

Final report on a straddle carrier retrofitting (technical viability, analysis of the gas supply chain and performance analysis)

D4.3.

Barcelona Port Authority (APB)

Public version





Core Network Corridors and Liquefied Natural Gas

2014-EU-TM-0732-S

D4.3. Final report on a straddle carrier retrofitting (technical viability, analysis of the gas supply chain and performance analysis)

Due date of deliverable: 31st December 2021

Actual submission date: 13rd May 2022

Start of project: 01 January 2014

Duration: 72 Months

Lead Contractor for this deliverable: Autoridad Portuaria de Barcelona

Revision: 0



Co-financed by the European Union
Connecting Europe Facility

Dissemination level

PU Public

X

Revision History

Deliverable Administration and summary		
Project Acronym: CORE LNGas Hive		INEA/CEF/TRAN/M2014/1026196
Document Identifier: D4.3. Final report on a straddle carrier retrofitting (technical viability, analysis of the gas supply chain and performance analysis)		
Leading partner: Barcelona Port Authority (APB)		
Report version: 0		
Report preparation date: 31-12-2021		
Classification: PUBLIC		
Author(s) and contributors: Autoridad Portuaria de Barcelona (APB), Applus Idiada (former Idiada Automotive Technology), HAM Criogénica (HAM), APM Terminals Barcelona (former Terminal de Contenidors de Barcelona, TCB), Naturgy (former Gas Natural SDG). BEST (former Terminal Catalunya, resigned from the project in 2018, but contributed to tasks 1 and 2)		
Status		Plan
		Draft
		Working
	x	Final
		Submitted
		Approved

The Core LNGas Hive consortium has addressed all comments received, making changes as necessary. Changes to the document are detailed in the change log table below.

Date	Edited by	Status	Changes made
13-05-2022	APB	public	Public version with some confidential parts censored

Copyright

This report is © CORE LNGas Hive Consortium 2015. Its duplication is allowed only in the integral form for personal use or for the purposes of research and education.

Citation

Autoridad Portuaria de Barcelona, Applus Idiada, Ham Criogénica, APM Terminals Barcelona, Naturgy (2021). D4.3. Final report on a straddle carrier retrofitting (technical viability, analysis of the gas supply chain and performance analysis). CORE LNGas Hive consortium, www.corelngashive.eu

Acknowledgements

The work presented in this document has been conducted in the context of the action INEA/CEF/TRAN/M2014/1026196 CORE LNGas Hive. CORE LNGas HIVE is a 72 months project started on January 1st, 2014.

The project consortium is composed by: Enagás Transporte, S.A.U. (Enagás), Sociedad de Salvamento y Seguridad Marítima (SASEMAR), Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Universidade de Santiago de Compostela (USC), ENTE VASCO DE LA ENERGÍA (EVE), Autoridad Portuaria de Barcelona - Port de Barcelona (APB), Port Authority of Cartagena (PAC), AUTORIDAD PORTUARIA DE FERROL-SAN CIBRAO (APF), Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras (APBA), Port Authority of Huelva (PAH), COMPAÑÍA ESPAÑOLA DE PETRÓLEOS S.A.U. (CEPSA), Regasificadora del Noroeste, S.A. (RdN), HAM CRIOGENICA, S.L. (HAM), BUREAU VERITAS IBERIA SLU (BVI), SIEMENS ENGINE SAU (former Guascor Power SA (gp), APPLUS IDIADA (former Idiada Automotive Technology IAT), FLOTA SUARDIAZ, S.L. (Suardiaz), ITSAS GAS BUNKER SUPPLY SL (ITSAS), COMPAÑIA DE REMOLCADORES IBAIZABAL, S.A. (IBAI), APM TERMINALS BARCELONA (former Terminal de Contenidors de Barcelona, TCB), BEST (former Terminal Catalunya, TC), UTE REMOLCADORES DE BARCELONA-SAR, UNION TEMPORAL DE EMPRESAS, LEY 18/1982 (URB), ASTILLEROS ARMON, S.A. (AA), NATURGY (former Gas Natural SDG, S.A., GN), INSTITUTO ENERXÉTICO DE GALICIA (IEG), Fundación de la Comunidad Valenciana para la Investigación, Promoción y Estudios Comerciales de Valenciaport (Fundación Valenciaport) (FV), Planta de Regasificación de Sagunto, S.A. (PRS), MOLGAS ENERGÍA, SAU (ME), Autoridad Portuaria de Valencia (APV), SEAPLACE SL (Seaplace), BOLUDA CORPORACION MARITIMA S.L. (BCM), Autoridad Portuaria de Bilbao (APBi), RENFE MERANCÍAS S.A. (Renfe), Puertos del Estado (PdE), Dirección General de la Marina Mercante (DGMM), PORT AUTHORITY OF GIJON (PAG), Port Authority of Melilla (PAM), Santander Port Authority (SPA), Port Authority of Tarragona (PAT), Port Authority of Vigo (PAV), Port Authority of Santa Cruz de Tenerife (PASCT) and REN Gasoductos, S.A. (RENG).

More Information

Public CORE LNGas HIVE reports and additional information related with the project execution and results are available through CORE LNGas Hive public website at www.corelngashive.eu

1.	Introduction.....	13
2.	The two machines needs study in both terminals.....	15
3.	Technical feasibility study.....	18
3.1.	APMT real-driving emissions test	18
3.2.	BEST real-driving emissions test	23
3.3.	Determination of engine performance and exhaust emissions in a test bench 26	
3.4.	Engine & Straddle Carrier Conversion	31
4.	LNG supply logistics study	38
5.	Risk analysis.....	48
6.	Self-protection plan	52
7.	LNG supply procedures	55
8.	Engine conversion design for a straddle carrier at APMT	57
9.	Status report of APMT engines conversion	70
10.	Commissioning of the straddle carrier at APMT and emissions testing	74
11.	Operator's manual: Training for stevedoring and maintenance personnel ...	89
12.	Conclusions	93

Annexes

Annex 1:	Deliverable 1.1: The two machines needs study in both terminals
Annex 2:	Deliverable 2.1: Technical feasibility study
Annex 3:	Deliverable 3.1: LNG supply logistics
Annex 4:	Deliverable 3.2: Risk Analysis
Annex 5:	Deliverable 3.3: Self-protection plan
Annex 6:	Deliverable 3.3 bis: LNG supply procedures
Annex 7:	Deliverable 4.1: Engine conversion design for a straddle carrier at APMT
Annex 8:	Confidential
Annex 9:	Confidential
Annex 10:	Confidential

List of tables

Table 1.	Allowed speed of APMT straddle Carrier.....	16
Table 2.	APMT tests pollutant emissions.	22
Table 3.	APMT tests fuel consumption. (*Only for 1 engine).....	23
Table 4.	Real life test pollutant emissions summary table	26
Table 5.	Test cycled defined pollutant emissions summary table.....	26
Table 6.	Engine parameters measured	28
Table 7.	BEST converted SCs LNG consumptions for the scenarios analysed.....	41
Table 8.	BEST LNG costs excluding logistics of the converted SCs in 10 years for the scenarios analysed (considering an LNG cost of 0.57 €/kg)	41
Table 9.	Costs of conversion for second and following BEST straddle carriers. The first one has an extra- cost of 14,750€ (engine and machine homologation)	42
Table 10.	APMT converted SCs LNG consumptions for the scenarios analysed ..	42
Table 11.	APMT LNG costs excluding logistics of the converted SCs in 10 years for the scenarios analysed (0.57€/kg LNG)	43
Table 12.	Costs of conversion for second and following APMT straddle carriers. The first one has an extra- cost of 14,750€ (engine and machine homologation) ...	43
Table 13.	Costs per refuelling operation of the mobile supply station	44
Table 14.	BEST costs of the mobile supply station solution in 10 years for the scenarios analysed.....	44
Table 15.	BEST cost of the fixed supply station for each of the scenarios.....	45
Table 16.	BEST total costs in 10 years for the refilling operations of the LNG tank of the fixed supply station for the scenarios analysed	45
Table 17.	BEST total cost of the logistics solution with the fixed station for the scenarios analysed.....	45
Table 18.	BEST costs of the logistics solution with mobile supply station and the costs with a fixed supply station considering a supply period of 10 years for the scenarios analysed.....	46
Table 19.	APMT costs of the logistics solution with mobile supply station and the costs with a fixed supply station considering a supply period of 10 years for the scenarios analysed.....	46
Table 20.	BEST fuel savings for the converted SCs in 10 years for the scenarios analysed	47
Table 21.	APMT fuel savings for the converted SCs in 10 years for the scenarios analysed	47
Table 22.	Cylinder head parameters of original engine and IDIADA proposal....	62

Table 23.	Mechanized area of the head to allow the spark plug	62
Table 24.	Spark plug and ignition coil assembly with the engine.....	63
Table 25.	Summary of test conditions and results	85
Table 26.	Steady-state cycle emission results of diesel and NG engine.....	87
Table 27.	Stage V emission tests results of NG engine	87
Table 28.	Stage V emission tests results of NG engine with intercooler.....	88
Table 29.	Example of a table with the set of components needed for maintenance: Intake duct components - turbo compressor (left engine).....	91

List of figures

Figure 1.	APMT diesel consumption (2016).....	16
Figure 2.	BEST diesel consumption (2016).	17
Figure 3.	Left – proposed APMT LNG storage; right – proposed BEST LNG storage	18
Figure 4.	APMT straddle Carrier	19
Figure 5.	Satellite view of the testing area in APM Terminals Barcelona.	20
Figure 6.	Vehicle tested. PEMS.	20
Figure 7.	APMT test tracks.	21
Figure 8.	Example of one of the test made in APMT: Laden 01 vehicle speed, exhaust flow and CO2 emissions.....	21
Figure 9.	Example of one of the test made in APMT: Step 5. vehicle speed, exhaust flow and NOX emissions. In this test we lifted a container several times.	22
Figure 10.	BEST Straddle Carrier.	23
Figure 11.	Test cycle defined.	24
Figure 12.	Real-life test tracks (BEST).....	24
Figure 13.	PEMS modules installation.	25
Figure 14.	Real life speed and exhaust results.....	25
Figure 15.	Non-transformed APMT engine.	27
Figure 16.	APMT engine characteristic curve.	29
Figure 17.	NOx emissions of APMT engine	30
Figure 18.	Fuel consumption of APMT engine,	30
Figure 19.	3D scan of the different parts of the APMT engine.	31
Figure 20.	Planned modifications of the APMT engine.	32
Figure 21.	Modifications and new components installation in the BEST straddle carrier engine.	33
Figure 22.	CAD geometry of the BEST straddle carrier.....	34
Figure 23.	LNG Tank on the top (BEST)	34
Figure 24.	LNG Tank on the bottom (APMT)	35
Figure 25.	LNG Tank on the bottom (APMT)	35
Figure 26.	LNG tank (Dewar)	36
Figure 27.	P&I Storage system.....	37
Figure 28.	Mobile supply station: dimensional and safety drawings	39

Figure 29.	Mobile supply station photographs. Trailer (above). Detail of LNG filling connections in the trailer (below)	40
Figure 30.	Refuelling area at APMT	49
Figure 31.	Refuelling area at BEST.....	49
Figure 32.	Example of a plan showing the intervention zone, warning zone and domino effect zone for a jet fire accident.	50
Figure 33.	BEST supply area. Safety distance.....	51
Figure 34.	APMT supply area. Safety distance	51
Figure 35.	Pilot site and vulnerable elements	53
Figure 36.	Evacuation routes and muster points	54
Figure 37.	Tanker control panel and emergency or death man buttons	56
Figure 38.	Hose and liquid gun connected to the nozzle of the straddle carrier ..	57
Figure 39.	Engines location at APMT straddle carrier	58
Figure 40.	Proposal of the engine conversion	59
Figure 41.	Engine location at the APMT straddle carrier	60
Figure 42.	APMT original engine	60
Figure 43.	3D scanning results	61
Figure 44.	Intake manifold system.....	63
Figure 45.	Assembly of the pressure regulator at the gas rail	64
Figure 46.	Engine synchronization system	65
Figure 47.	After-treatment system: MOC catalyst	66
Figure 48.	SISU Valmet 612 engine actuators and sensors	67
Figure 49.	Piston mechanization	68
Figure 50.	Head mechanization	68
Figure 51.	Intake manifold parts	68
Figure 52.	First converted engine installed in test bench.....	69
Figure 53.	Engine installation in the test bench with instrumentation.	70
Figure 54.	Particles found in the intake ports after failure	72
Figure 55.	Piston 2 status after failure.....	73
Figure 56.	Cylinder liner 2 status after failure	73
Figure 57.	Cylinder liner and piston 2 status after failure	73
Figure 58.	Natural gas engine and LNG tank installed at APMT straddle carrier ..	75
Figure 59.	Exhaust gas configuration on the straddle carrier	75

Figure 60.	ECU installation on the engine	76
Figure 61.	LNG tank.....	77
Figure 62.	Piping route.....	78
Figure 63.	LNG refuelling operation.....	79
Figure 64.	PEMS installed on top of the straddle carrier, front and back side views	80
Figure 65.	Coriolis Flowmeter for the gas-fuelled engine.....	81
Figure 66.	Spreader to lift containers	81
Figure 67.	Test 02 duty cycle corresponding to 1st PEMS testing day (data corresponding to the diesel engine)	82
Figure 68.	Test 02 instantaneous CO2 emissions comparison between both days..	83
Figure 69.	Overall CO2 emissions on Tests 02	83
Figure 70.	Overall CO emissions on Tests 02.....	84
Figure 71.	Overall THC emissions on Tests 02	84
Figure 72.	Overall NOx emissions on Tests 02.....	84
Figure 73.	Instantaneous fuel consumption of both engines over each test day .	85
Figure 74.	Full load curve results.....	86
Figure 75.	Example of this manual: Intake manifold turbo assembly components	90
Figure 76.	Example: Crankshaft monitoring device parts drawing	90
Figure 77.	Example: Disconnection procedure LNG pistol.....	91
Figure 78.	Example: parts of the LNG tank	92
Figure 79.	Engine installation at test bench.....	93
Figure 80.	Engine installation at the APMT straddle carrier.....	94
Figure 81.	Natural gas engine calibration and emissions measurements (PEMS)	94
Figure 82.	LNG tank installation	95
Figure 83.	1 st LNG refuelling	96
Figure 84.	2nd LNG refuelling.....	96
Figure 85.	Recording a video for communication tasks	97
Figure 86.	Part of the EPM3 sub-activity technicians at Idiada facilities. 2018....	97

1. Introduction

The EPM3 sub-activity of the Core LNGas Hive project consists **of the diesel engine's** conversion to demonstrate the use of liquefied natural gas (LNG) as fuel for straddle carriers inside the Barcelona port container terminals, APM Terminals Barcelona and BEST terminals.

The **engines' conversion** were developed by Applus Idiada (former Idiada Automotive Technology); the installation of liquefied natural gas (LNG) tanks to use natural gas as fuel was developed by HAM; Naturgy (former Gas Natural SDG) drafted the gas supply logistics study for each terminal in the pilot phase and in the final phase; APM Terminals Barcelona, with the collaboration of Idiada, was in charge of the installation of the converted motor and the commissioning of the converted machine; the Port of Barcelona led the sub-activity and was in charge of the pilot safety studies. The other container terminal, BEST (Former Terminal Catalunya), resigned from the project on 31 March 2018.

The original role of BEST was to provide its own straddle carrier machine to carry out the transformation of the engine to use natural gas, so as to analyse the technical and economic viability of its transformation. The straddle carrier at APMT was equipped with two diesel engines and only one engine was intended to be converted into a gas engine. While the straddle carrier at BEST was equipped with an engine, whose conversion was agreed to be into a dual-fuel engine.

But in 2018, BEST did not allow the conversion just as not to lose the guarantee of the straddle carrier, and the conversion and the pilot phase could not take place in the BEST Terminal. IDIADA and HAM developed the preliminary design study of the BEST engine conversion, which can be found in the deliverable 2.1 Technical feasibility study (annex 2).

Due to the exit of BEST as a partner in the project, it was decided to carry out the conversion of two engines of the APMT machine to obtain a totally converted straddle carrier, so the role of BEST was taken by APMT, to hand over another engine and participate in its future installation, when it would had been transformed. During the development of the conversion of the engines, carried out by Idiada, 4 engines were dismantled and studied, in order to finally transform 2 of them.

The calibration of the second converted engine in test bench was successfully performed, but the engine failed during the performance test and stopped working, making it non-operational. More information about this failure, as well as the different issues appeared when studying and converting the engines, can be found in annex 8 **"Status report of APMT engines conversion"**.

Then, it was decided not to convert any other engine for the limited time and budget available and to partially convert the APMT machine, with one non-transformed diesel engine and a transformed natural gas engine. But, for safety reasons and to check the last version of the ECU (electronic control unit) calibration performed with the second converted engine, the first engine was again installed in

the test bench and tested.

Finally, this converted engine was installed in APMT's straddle carrier, where it was tested between May and July 2021.

The following report is intended to be a compilation of the partial reports generated to comply with the project tasks of the EPM3 sub-activity of the Core LNGas Hive project.

To carry out the transformation of the straddle carrier engines, it is essential to identify the current use and their working performance at the terminal (times, autonomy, power demanded, speed, etc.) for each of the two machines (Task 1: The two machines needs study in both terminals).

Afterwards, a technical feasibility study (Task 2) was developed on how to modify or replace the machine's engine with a gas or dual-fuel engine. This activity defined the main indicators to be used to assess the feasibility of the adapted vehicles, as well as the technical definition of the machines, main points of modification/adaptation and the concept of adapting them to obtain maximum performance according to the conditions and needs established in the previous task. In this phase, emission measurements were carried out on the diesel engines of the machines prior to their conversion.

Then, in task 3, the LNG supply logistics study was developed for each terminal, a risk study was drafted for the LNG supply at each terminal and a self-protection plan and procedures for the LNG supply at the APMT terminal were drafted.

In task 4, the engine conversion design for a straddle carrier at APMT is described and the transformation of the engines and calibration work was carried out on the Idiada test bench. The design of the necessary LNG tanks had been defined in Task 2. Finally, since only one converted engine was to be installed at the APMT straddle carrier, only one LNG tank was planned to be installed.

Finally, the pilot phase was carried out at APMT (Task 5), with the assembly of the converted engine and the LNG tank, the LNG refuelling and the pollutant emission measurements. A comparative study was carried out between the emissions of the non-converted diesel engine and the engine converted to natural gas.

And in the last phase, an **operator's** manual has been written to operate and maintain both the converted engine and the gas system. In the end, due to lack of time after the end of the pilot phase, the planned training of the terminal's mechanical staff and stevedores was not carried out.

This is a public version of the main report, where some parts are confidential so as to protect the industrial knowledge of some of the partners. If you need more information, please do not hesitate to ask us for further information. You could contact the Port of Barcelona (medi.ambient@portdebarcelona.cat) as the leader of the sub-activity if you need extra information.

The following partial reports are included in the annexes:

- Annex 1: Deliverable 1.1: The two machines needs study in both terminals
- Annex 2: Deliverable 2.1: Technical feasibility study
- Annex 3: Deliverable 3.1: LNG supply logistics
- Annex 4: Deliverable 3.2: Risk Analysis
- Annex 5: Deliverable 3.3: Self-protection plan
- Annex 6: Deliverable 3.3 bis: LNG supply procedures
- Annex 7: Deliverable 4.1: Engine conversion design for a straddle carrier at APMT
- Annex 8: Confidential
- Annex 9: Confidential
- Annex 10: Confidential

The following is a brief summary of each of these reports, but for more details, please refer to the annexes. The reports of the different risk analysis, LNG supply procedures and the operator's manual are written in Spanish, in order to avoid safety problems caused by translation errors into English during the implementation of the pilot.

2. The two machines needs study in both terminals

In annex 1 the two machines needs study in both terminals is drafted. This document summarizes the main visits developed at APMT and BEST terminals by Applus IDIADA during the initial phase of the project. Also, the received information was studied to make some scenarios of the engine conversion process and after that, a planning of the prime activities involved was taken into account. Once the characteristics of the machines and engines were identified, a first solution of the conversion was given. The LNG storage and LNG supply station capacity was specified in order to design the fuel supply system.

The machines of APMT work around 185 hours per month on average, some of them even work 360 hours. The average monthly consumption of fuel of the APMT straddle carriers is 3,860 litres. In this terminal, there are 17 straddle carriers similar to the one that would be transformed whose consume is 65,597 litres of diesel per month.

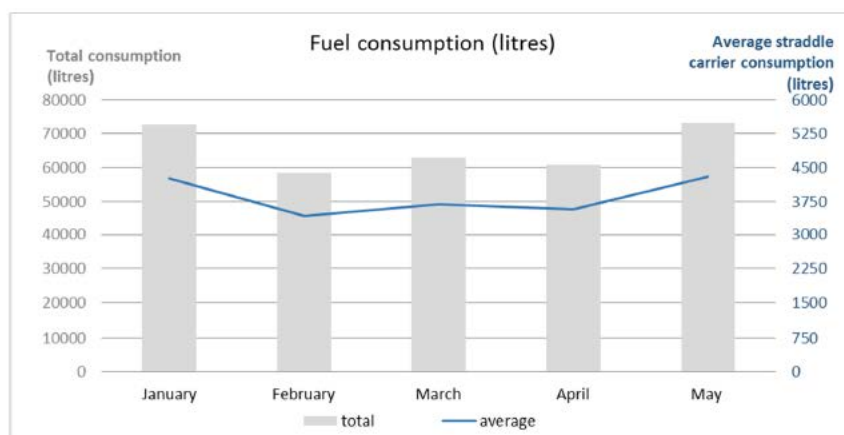


Figure 1. APMT diesel consumption (2016).

The straddle carrier is equipped with two Valmet 612 DS engines with a maximum power of 135 kW/2,300 rpm. The minimum speed of the engine is 750 rpm (± 50 rpm) while the maximum speed is 2500 rpm. The load capacity of these machines is 40 tones.

Speed	No-load operation	Load operation
Drive speed	25 km/h	24 km/h
Lifting speed	24 m/min	18 m/min
Descending speed	18 m/min	18 m/min

Table 1. Allowed speed of APMT straddle Carrier.

Finally, it was decided to convert the diesel engine of the straddle carrier into a 100% natural gas engine. Hence the conversion of the Valmet 612 engine would be based on the modification of few parts and the substitution or implementation of some systems. In other words, the combustion chamber would be modified by the mechanization of the piston and a part of the head, in order to reproduce accurately the gas combustion. At this point, a study of the piston bowl shape and compression ratio values would be developed.

This type of combustion needs spark plugs to ignite the mixture and gas injectors, which would be located in a new design of intake manifold. To obtain the best conditions, Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation was going to take part during the design process.

Moreover, new components – such as supports – and new systems were analysed according to the engine status. For example, components that were not installed in an old engine should be taken into account like the Electronic Control Unit (ECU), electric wiring and sensors. According to the engine operating conditions, it would be necessary to choose a throttle valve, a turbocharger, an intercooler and a

catalyst. Most of these systems should be studied after the gas combustion environment.

The BEST machines work around 450 hours per month doing 4 shifts of 6 hours. The average annual fuel consumption of the BEST straddle carriers is 71,277 litres. In this terminal, there are 25 straddle carriers available that consume a total of 1,710,663 litres of diesel per year.

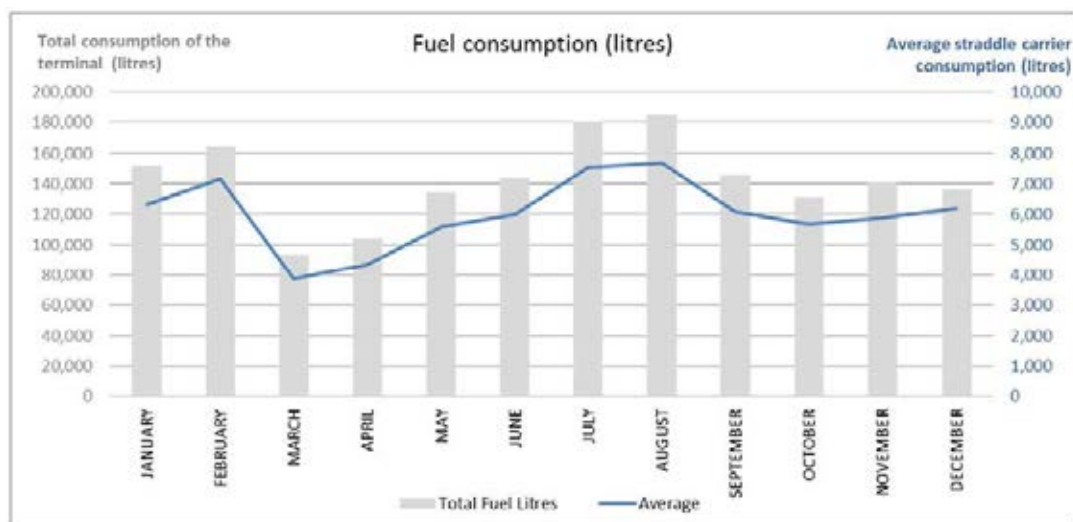


Figure 2. BEST diesel consumption (2016).

The straddle carrier is equipped with a SISU 273 kW/1500Nm engine. The maximum load lifted by the straddle carrier is 50 tons.

It was decided to convert the diesel engine of the BEST straddle carrier into a dual fuel engine, which means that the engine operates with diesel or both diesel and natural gas. This sort of engine allows returning to diesel combustion at any moment.

In the case of the APMT straddle carrier, if it was considered that both engines consume in total 19.60 kg/h approximately during 8 h every day. So, the overall fuel consumption is about 157 kg per day. Therefore, the proposed LNG supply storage station should be larger than 750 kg with a capacity of 6 m³. This station would have to be refilled once per week.

At BEST terminal, the engine which BEST uses consumes around 14.9 kg/h during 14 h per day; so, the total fuel consumption is about 208 kg per day. Therefore, the proposed LNG storage station should be bigger than 700 kg with a capacity of 6 m³. Like in APMT, this station should be refilled once per week.



Figure 3. Left – proposed APMT LNG storage; right – proposed BEST LNG storage

3. Technical feasibility study

In Annex 2 we can see the technical feasibility study. This document summarizes the main tests carried out on the APMT and BEST diesel engines. These tests consisted of measuring vehicle speed, pollutant emissions and fuel consumption. Moreover, the engine and straddle carrier conversions are explained considering their technical feasibility. Also, the LNG store and station capacity is specified in order to design the fuel supply system.

The following is a brief resume of the report. For more details, please, refer to annex 2.

3.1. APMT real-driving emissions test

In 2016 the non-transformed APMT straddle carrier was tested. Several tests were performed in order to determine if straddle carrier engines running with LNG fuel were suitable to reach the targets of oil and pollutant emissions reduction.

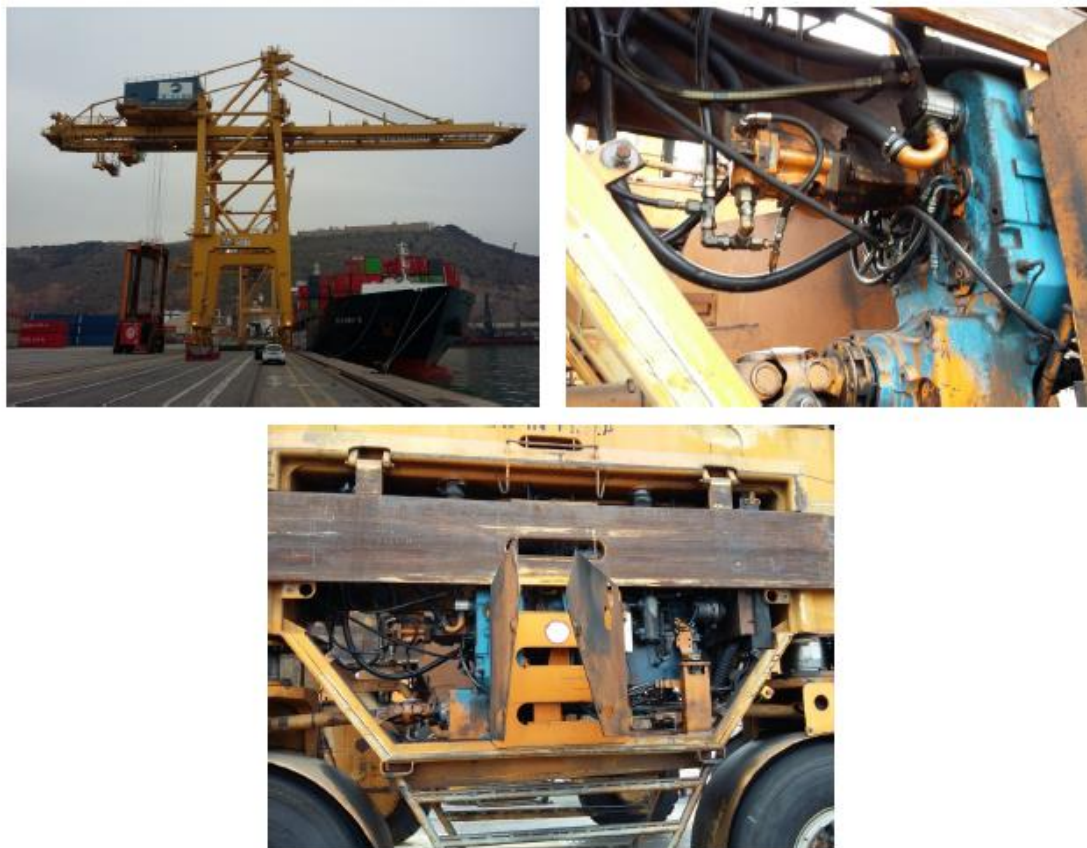


Figure 4. APMT straddle Carrier

Real-driving emissions test procedures used the Portable Emissions Measurement System (PEMS from now on) to measure gaseous pollutant and particle number emission during a range of normal operating conditions. To run this sort of test, it was essential to prepare the vehicle or, in this case, the straddle carrier with the PEMS device. Likewise, a design of the route that usually follows the machine or adjusted to avoid any issues on the correct functionality of the terminal was necessary. The test route should be controlled to perform the same trajectories, distances and manoeuvres during the pilot phase with the converted engine. The straddle carriers at APMT have 2 engines that operate theoretically in parallel and delivering each one of them exactly the same power. Given this condition, only one PEMS was installed. The exhaust emissions of one of the two engines were measured and the total emissions would be the result of multiplying by 2 times the obtained values.



Figure 5. Satellite view of the testing area in APM Terminals Barcelona.



Figure 6. Vehicle tested. PEMS.

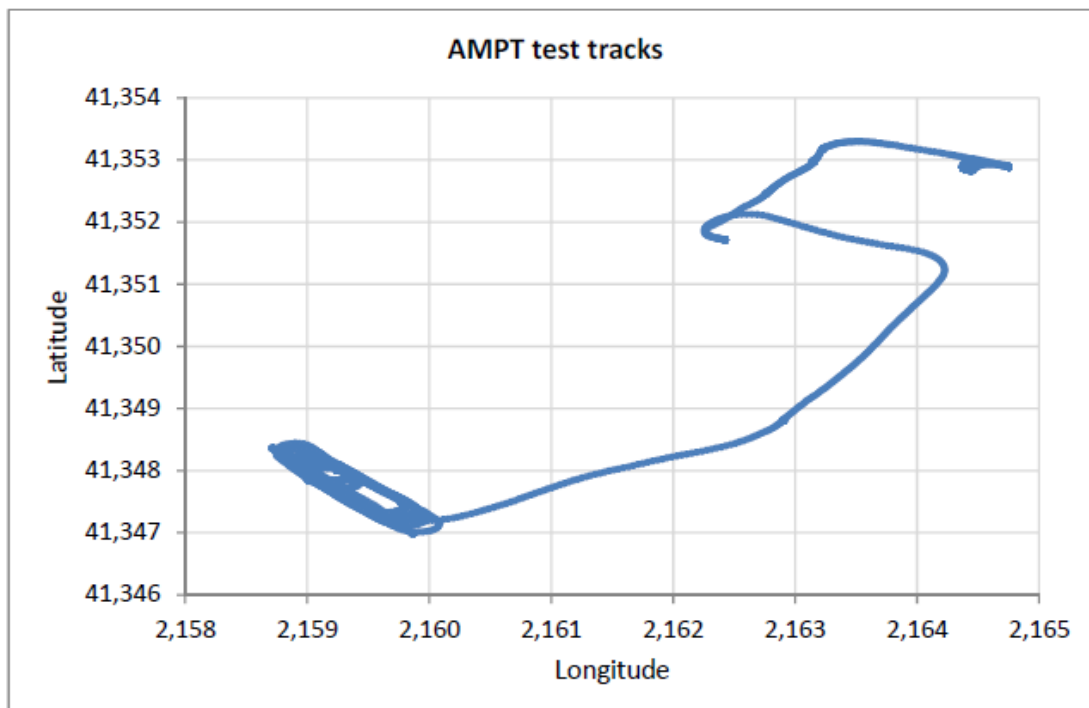


Figure 7. APMT test tracks.

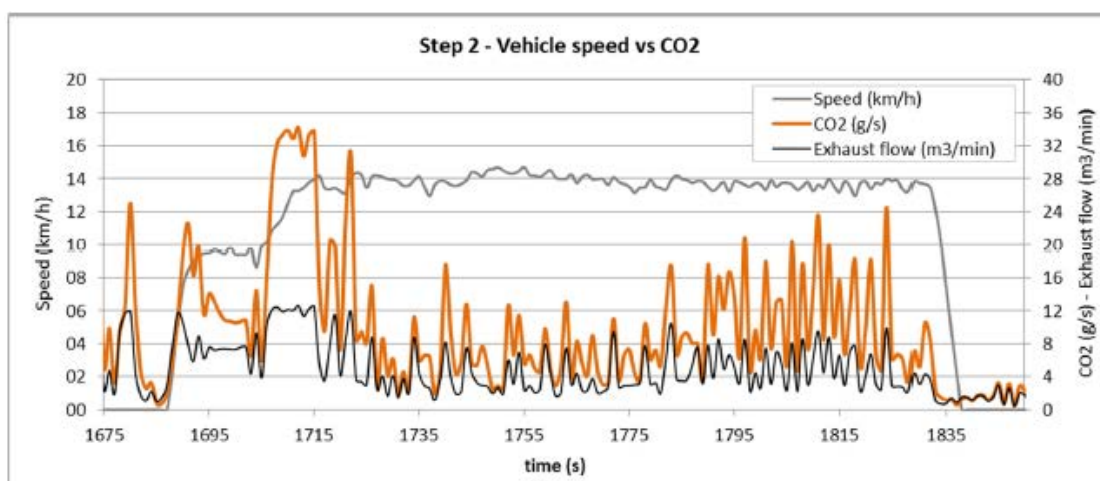


Figure 8. Example of one of the test made in APMT: Laden 01 vehicle speed, exhaust flow and CO2 emissions.

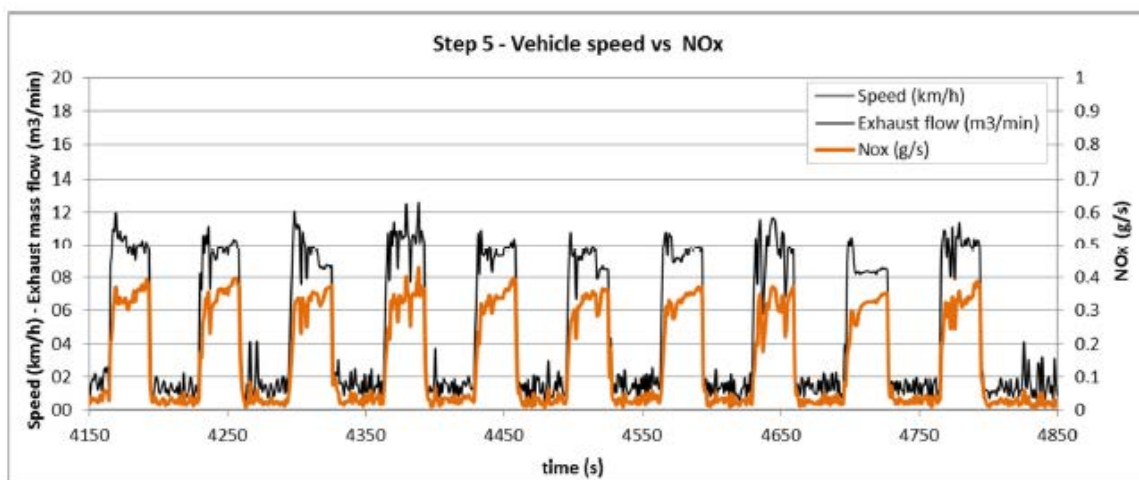


Figure 9. Example of one of the test made in APMT: Step 5. vehicle speed, exhaust flow and NOX emissions. In this test we lifted a container several times.

Once the complete test was performed **and each step's results obtained**, the dependency between the vehicle speed and pollutant emissions could be seen. CO₂ and NO_x emissions were higher in the moments of high vehicle speed and in the instant where the vehicle had just slowed down. In contrast, THC emissions were very low compared to CO₂ and NO_x emissions and remained almost constant, nevertheless, they increased at the same moments as the other pollutant emissions; whereas CO emissions were worse before and after vehicle speeding.

The following table shows the results of the four pollutant emissions in the APMT cycle:

	NO _x	CO	THC	CO ₂
Total emissions cycle (g)	744.21	878.82	38.81	50703.89
Cycle time (h)	1.34	1.34	1.34	1.34
Emissions (g/s)	0.15	0.18	0.008	10.51
Distance (km)	8.16	8.16	8.16	8.16
Emissions (g/km)	91.20	107.70	4.75	6213.70
Emissions (g/km/Tn)	3.04	3.59	0.16	207.12

Table 2. APMT tests pollutant emissions.

	Total cycle litres	Litres/h
Fuel consumption	19.33	14.40*

Table 3. APMT tests fuel consumption. (*Only for 1 engine).

3.2. BEST real-driving emissions test

Like in APM terminals Barcelona, several tests were performed in the BEST terminal. The straddle carriers at BEST have one single SISU engine, 273 Kw/1500 Nm.



Figure 10. BEST Straddle Carrier.

Initially, it was planned to develop at BEST terminal the same real-driving emissions test as performed in the APMT, but it was not possible since the daily activities of the straddle carriers operators could not be interrupted, among other reasons. In order to get the emissions results in the normal operation course of the machine, two different tests were studied.

On the one hand, a real-life test was designed to follow part of the usual route of

the straddle carrier according to the suggestions of the BEST employees. On the other hand, a new test was created by IDIADA according to the terminal restrictions. Both tests were performed using a calibrated test container whose weight was 25 Tm.



Figure 11. Test cycle defined.

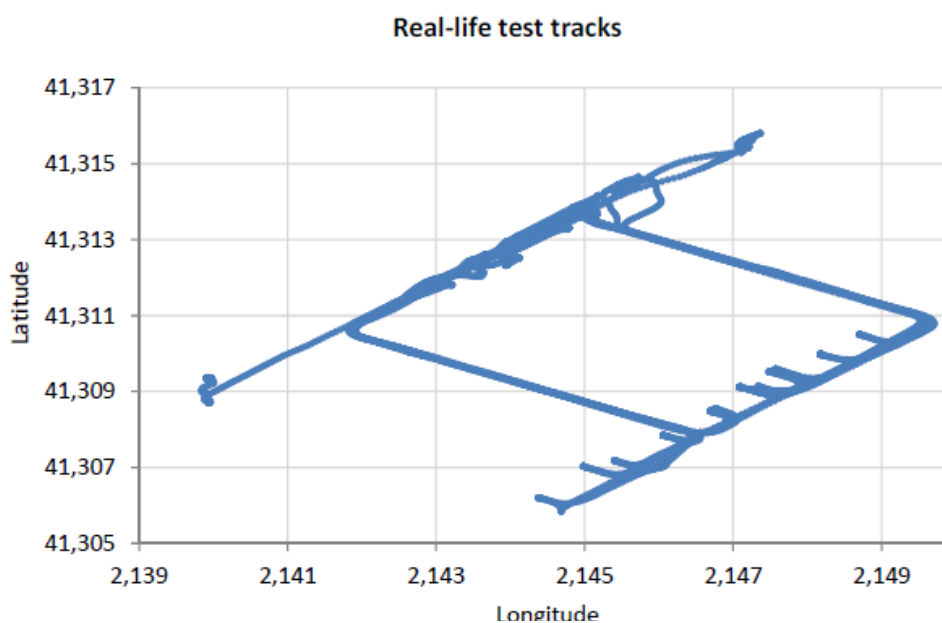


Figure 12. Real-life test tracks (BEST).



Figure 13. PEMS modules installation.

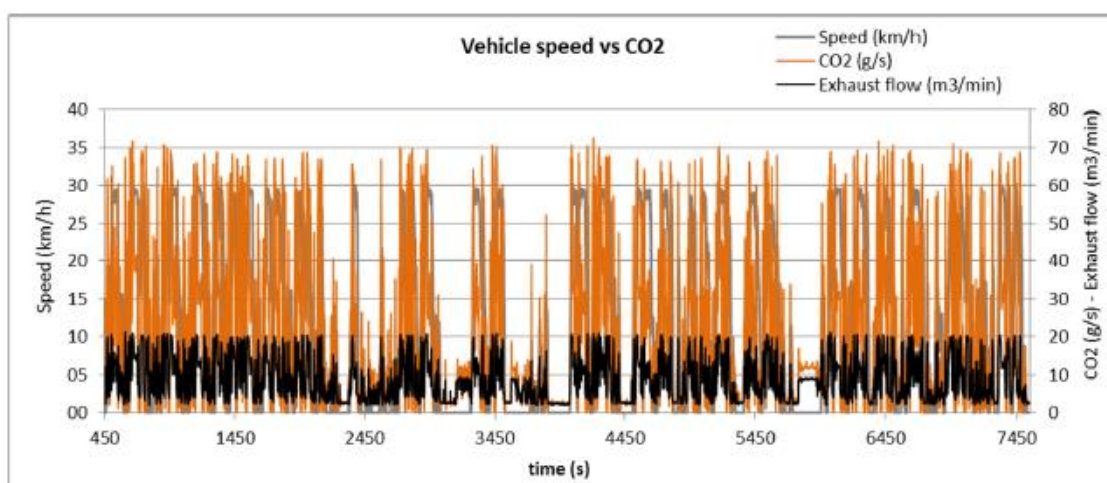


Figure 14. Real life speed and exhaust results.

	NO _x	CO	THC	CO ₂
Total emissions cycle (g)	447.70	74.26	0.09	142,683.06
Cycle time (h)	1.97	1.97	1.97	1.97
Emissions (g/s)	0.063	0.0105	1.2E-05	20.09
Distance (km)	25.28	25.28	25.28	25.28
Emissions (g/km)	17.71	2.94	0.0034	5,643.02
Emissions (g/km/Tn)	0.71	0.12	0.00014	225.72

	Total cycle litres	litres/h
Fuel consumption	54.40	27.58

Table 4. Real life test pollutant emissions summary table

	NO _x	CO	THC	CO ₂
Total emissions cycle (g)	164.00	10.93	0.04	43,568.39
Cycle time (h)	0.61	0.61	0.61	0.61
Emissions (g/s)	0.075	0.0049	1.63E-05	19.80
Distance (km)	5.30	5.30	5.30	5.30
Emissions (g/km)	30.95	2.06	0.0068	8,223.67
Emissions (g/km/Tn)	1.24	0.08	0.00027	328.95

	Total cycle litres	Litres/h
Fuel consumption	16.61	27.18

Table 5. Test cycled defined pollutant emissions summary table

3.3. Determination of engine performance and exhaust emissions in a test bench

In order to define the current status of the engines, both engines required to be subjected to a performance and exhaust emissions tests. This type of tests were

developed at IDIADA facilities, concretely in a test bench where the engine was fully instrumented and rehearsed. These tests would be useful in the future to view the capabilities of the converted engine and to compare the variation of exhaust gas emissions between the engine powered by diesel and by natural gas.

For this reason, the terminals had to send an engine from their straddle carrier to IDIADA to carry out the corresponding tests. The APMT terminal could submit an engine since it had some machines in disuse. On the contrary, the BEST terminal had all its machines in operation and was not able to leave the engine for about a month at IDIADA. Therefore, the performance and exhaust emissions test in a test bench was only performed for the APMT engine.



Figure 15. Non-transformed APMT engine.

Full load tests were carried out in accordance with Regulation No 85 which defines the procedure for the representation of the power curve at full load as a function of the engine speed. During the full load test the smoke was also measured.

In addition, an engine mapping was performed to measure the exhaust emissions and complete the data. An engine mapping is a kind of test that determines the performance curve to see the behaviour of the engine when it is subjected to changes in speed, load and ignition timing among many other parameters.

The engine was installed on the test bench and mechanically verified. Then it was equipped with sensors whose functions are to measure flows, temperatures and pressures, and with equipment that calculates the exhaust emissions parameters and other factors that have some effect on the engine output. Moreover, the test bench has a dynamometer, an opacimeter to measure the smoke production and an exhaust gas analyser.

Parameter	Units
Air flow	kg/h
Intake air pressure (after air filter)	mbar
Intake air temperature (after air filter)	°C
T ^a air after high compressor	°C
P air after high compressor	mbar
Exhaust pressure before turbine-1	mbar
Exhaust T ^a before turbine-1	°C
Exhaust T ^a after turbine-1	°C
Exhaust pressure (after turbine)	mbar
Lambda	--
NO _x	ppm
NO	ppm
NO ₂	ppm
HC	ppm
CO	ppm
CO ₂	%
O ₂	%
Oil pressure	bar
Oil temperature	°C
Fuel pressure before engine	bar
Fuel temperature before engine	°C
Fuel pressure after engine	bar
Fuel temperature after engine	°C
Inlet Engine Coolant Temperature	°C
Outlet Engine Coolant Temperature	°C
Engine Coolant Pressure	°C
Engine coolant massflow	kg/h

Table 6. Engine parameters measured

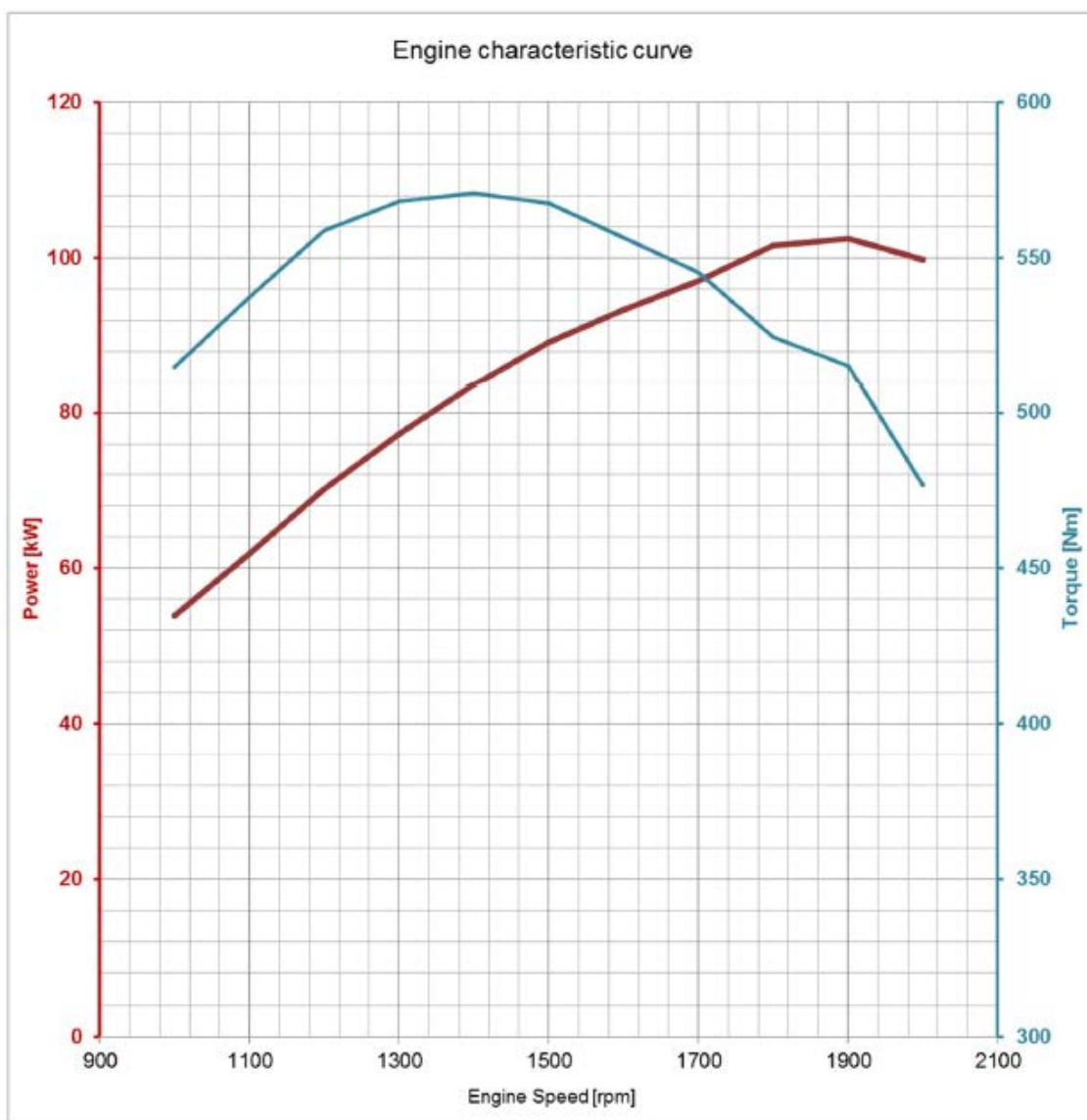


Figure 16. APMT engine characteristic curve.

The exhaust emissions and the fuel consumption value can be plotted by contour maps, where three-dimensional data can be graphed. Once the engine mapping has taken place, it is interesting to view the exhaust emissions in terms of speed and load. Brake Mean Effective Pressure (BMEP) is a parameter generally used to represent the torque behaviour in standardized terms and, therefore, is an indicator of the load applied to the engine.

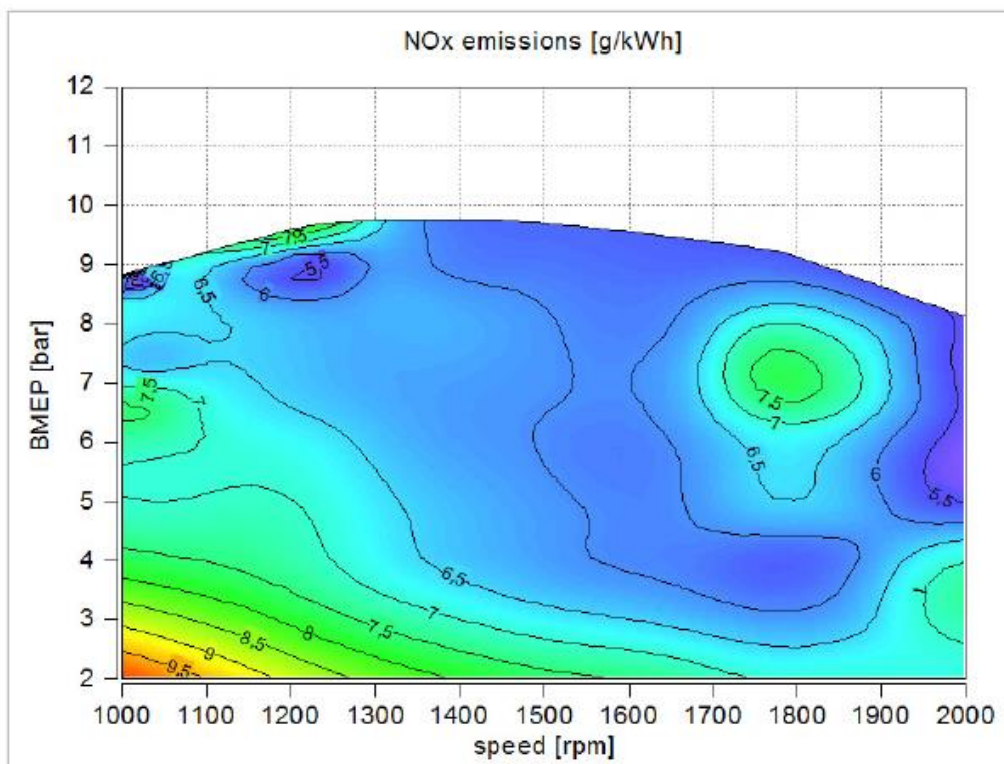


Figure 17. NOx emissions of APMT engine

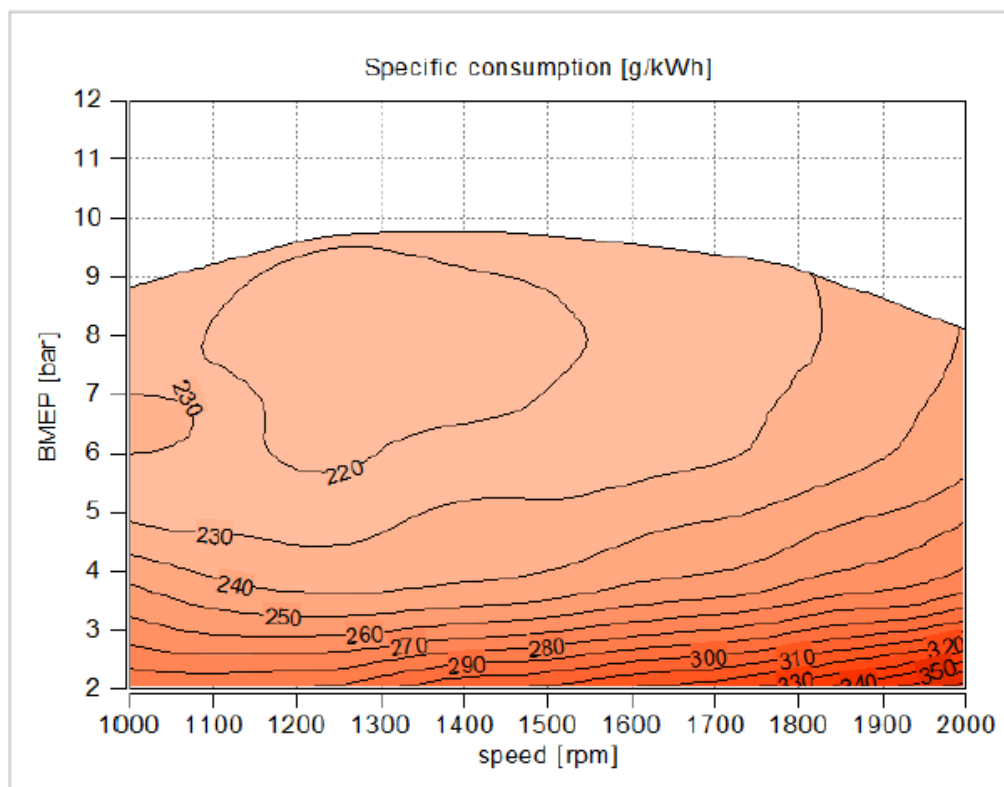


Figure 18. Fuel consumption of APMT engine,

3.4. Engine & Straddle Carrier Conversion

Since there is not any regulation in place allowing natural gas for Non-Road applications yet, this new gas engine will follow the Directive 2012/46/EU and equivalences from Regulation 49.06 and Regulation 595. Since this project deals with the development of an engine conversion pilot and to view the exhaust emissions reductions of a natural gas, it is not necessary to subject the prototype to a homologation process. This means that the engine does not need to comply with the current emissions standards despite it will be designed and calibrated to achieve the highest reduction of pollutant emissions.

Moreover, as the engine is supplied and powered by natural gas, the new components will follow the regulation No 110 concerning the approval of those specific components of motor vehicles that use compressed natural gas or liquefied natural gas.

The APMT straddle carrier uses **two VALMET 612's with 134 kW each**. It was decided to convert the diesel engine of the straddle carrier into a gas engine powered by natural gas.

The entire engine was scanned as well as the different parts of it like the intake and exhaust manifold. As an example, 3D scanning allowed engineers to draw the new intake manifold where natural gas injectors will be located and design it according to the baseline geometry taking into account the inlet holes.

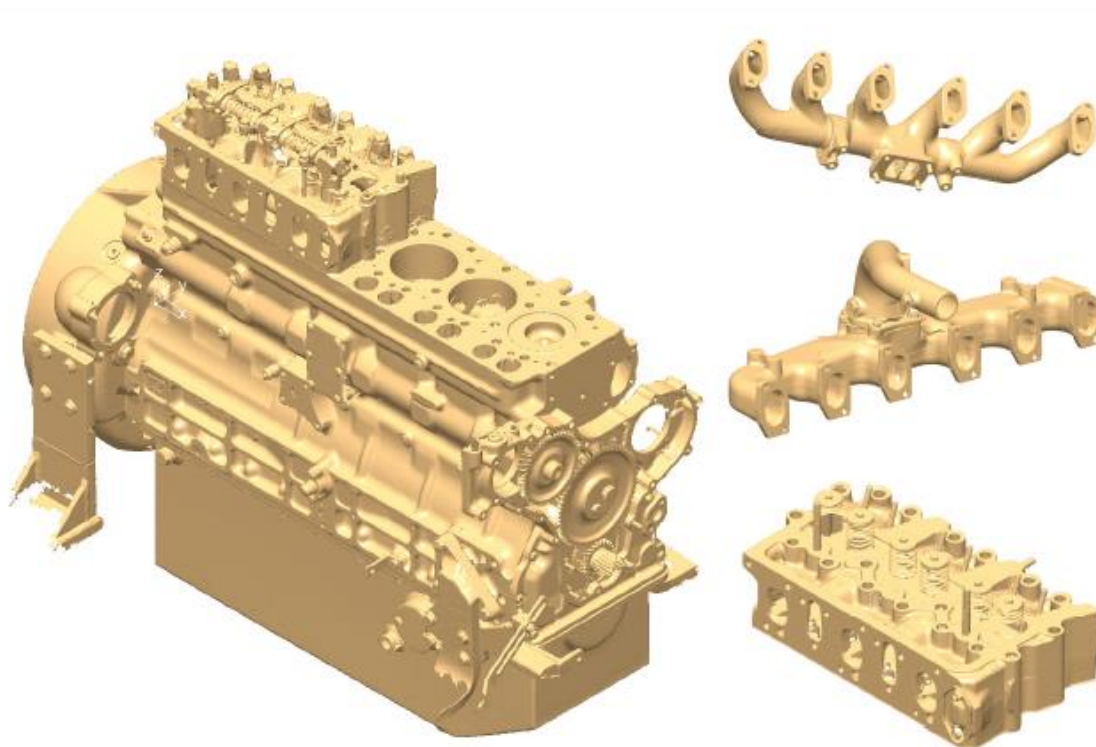


Figure 19. 3D scan of the different parts of the APMT engine.

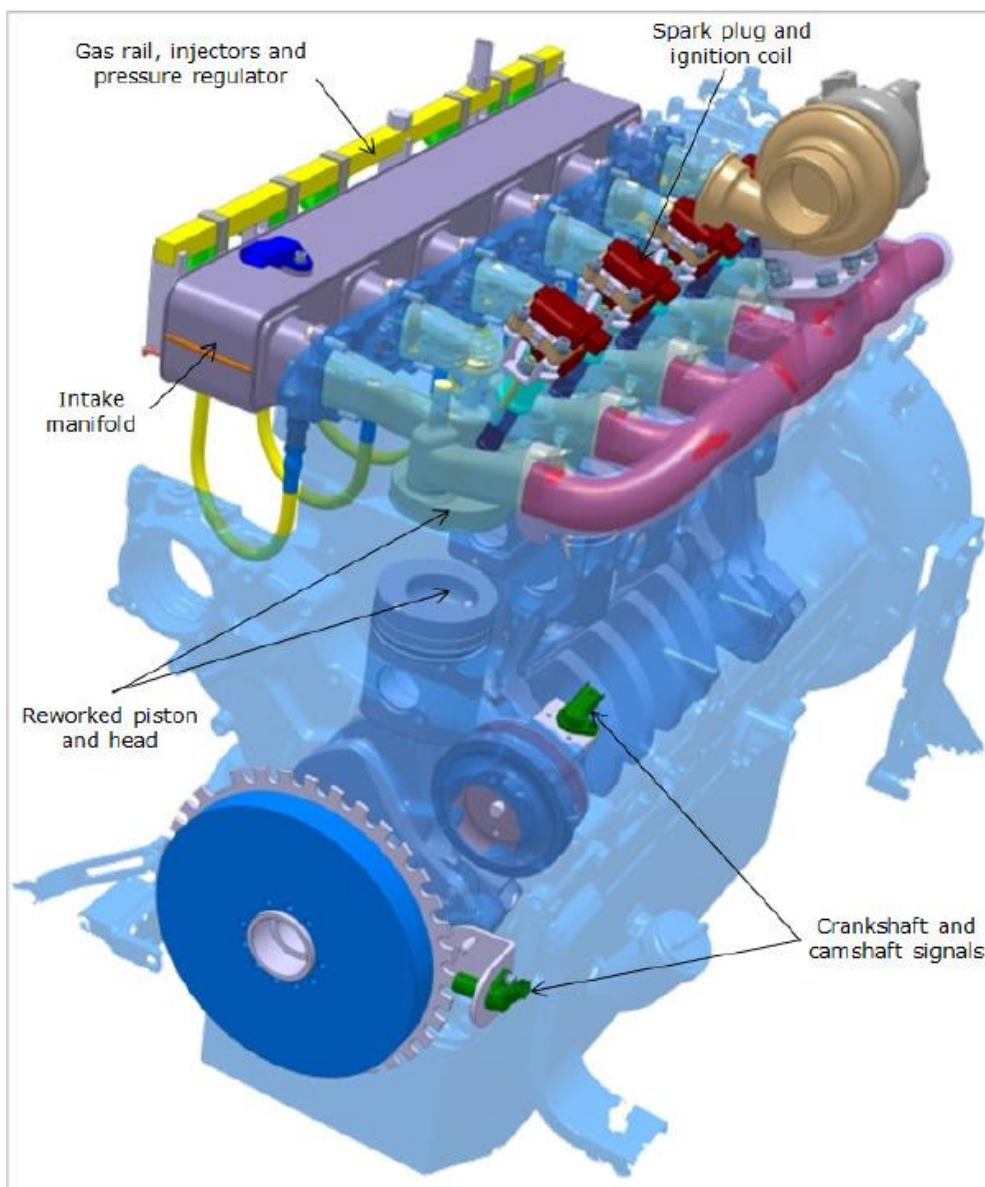


Figure 20. Planned modifications of the APMT engine.

From the BEST side, the terminal uses a SISU engine of 273 kW/1500 Nm. It was decided to convert the diesel engine of the BEST straddle carrier into a dual fuel engine, which means that the engine operates with diesel or with both diesel and natural gas. **Finally, in order not to lose the machine's guarantee, it was decided not to transform the BEST straddle carrier, and, in March 2018, BEST resigned from the project.**

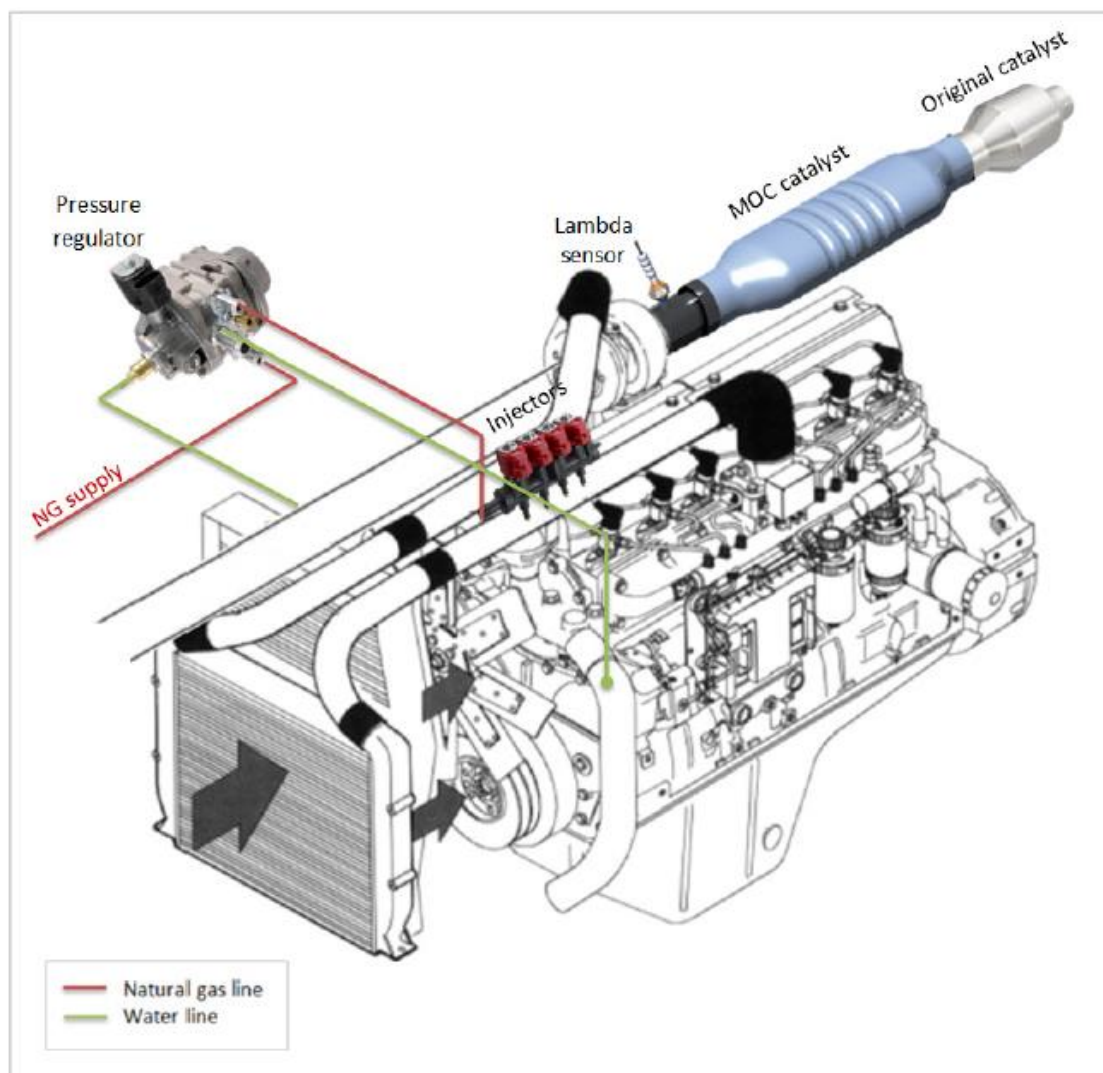


Figure 21. Modifications and new components installation in the BEST straddle carrier engine.

Since the engine of the straddle carrier will be converted, the machine also involves some modifications, particularly in the fuel supply. The supply of natural gas requires a fuel tank and pipe network whose design should be studied in accordance with the straddle carrier dimensions.



Figure 22. CAD geometry of the BEST straddle carrier

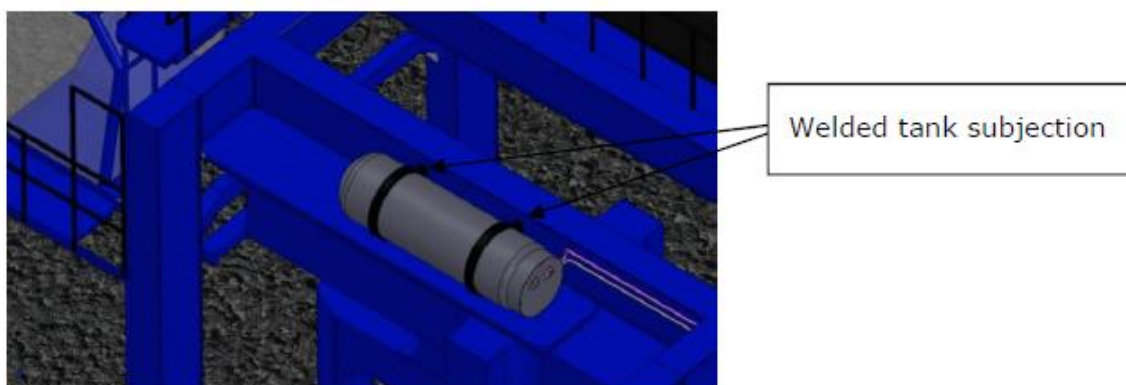
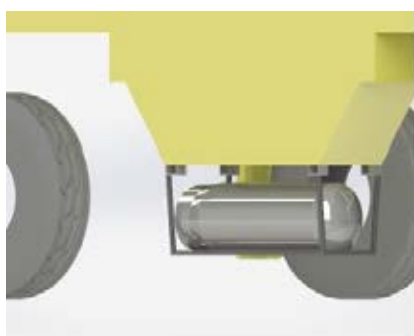


Figure 23. LNG Tank on the top (BEST)



The LNG storage tank will be located on a bench, protected and subjected.

The subsection will be part of the structure of the bench. Between faces of the subsection, will be located a rubber to avoid the contact face to face of the metal.

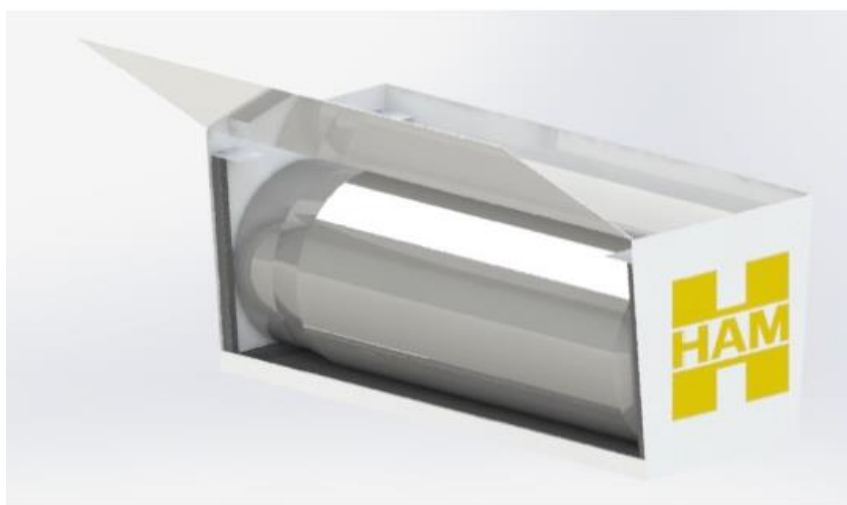


Figure 24. LNG Tank on the bottom (APMT)



Figure 25. LNG Tank on the bottom (APMT)



- LNG density: 450Kg/m^3
- LNG Capacity: $481\text{ L} = 0.481\text{ m}^3$
- LNG Wg; WL = $450\text{Kg/m}^3 * 0.594\text{m}^3 = 216.5\text{ Kg}$
- Tare tank: 254Kg
- Total Tare: $216.5\text{Kg} + 254\text{Kg} = \mathbf{470.5Kg}$

Figure 26. LNG tank (Dewar)

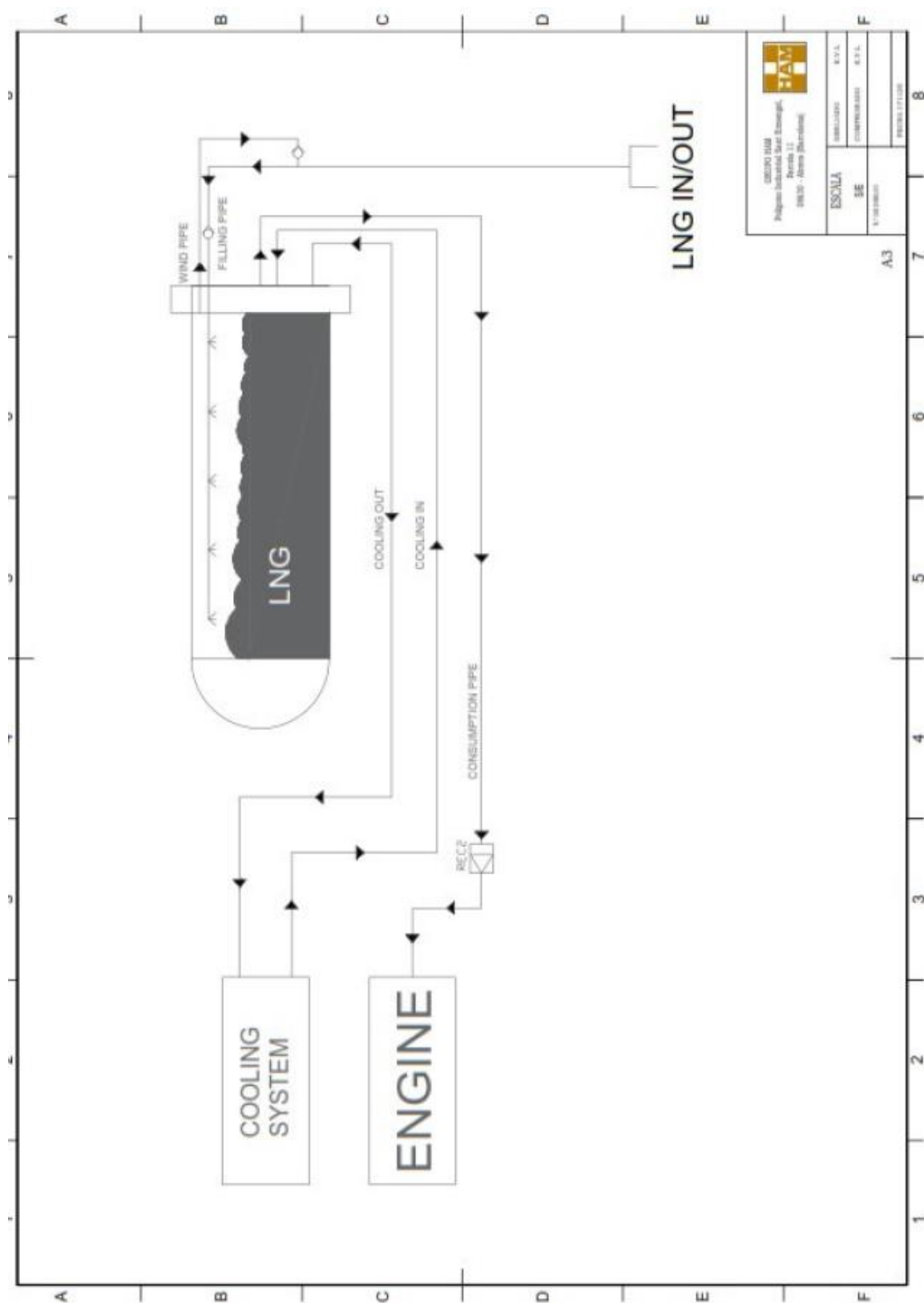


Figure 27. P&I Storage system

4. LNG supply logistics study

In annex 3 we can see the LNG supply logistics study. The purpose of this report is to evaluate within the available technology the most appropriate LNG supply and logistics solution for the APMT and BEST terminals, for the cases that 5, 10 and 20 machines will be transformed to natural gas. Considering a 10-year business model and the costs of the transformation of the machines, the profitability of the transformation was also evaluated.

Due to the sporadic supply of the LNG to carry out the tests of the converted straddle carrier, the solution considered is a mobile supply station with an integrated LNG dispenser and payment system. The LNG storage capacity considered is 57.5m³, a quantity easily transportable by a standard tractor unit supplied and operated by HAM.

Below dimensional and safety drawings of the mobile supply station, technical characteristics and photographs are shown.

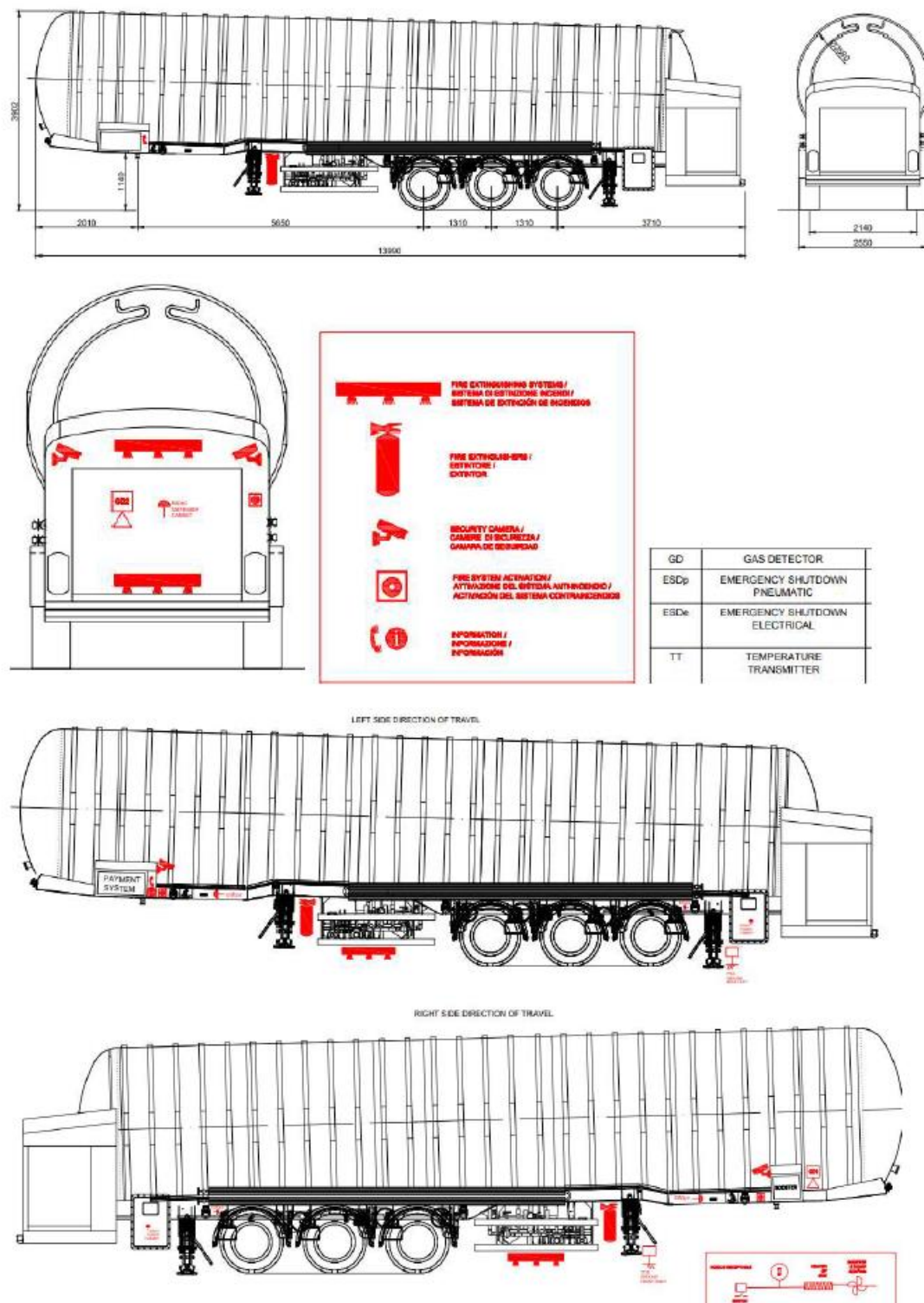


Figure 28. Mobile supply station: dimensional and safety drawings



Figure 29. Mobile supply station photographs. Trailer (above). Detail of LNG filling connections in the trailer (below)

Below the data considered for each terminal for the study of the LNG logistics solution and study of the profitability of the SC transformation are shown.

Scenario N°	LNG supply m³/day	LNG supply m³/week	LNG supply m³/year	LNG supply m³/10 years
1. 5 SC transformed	2.05	14.35	748.25	7,482.5
2. 10 SC transformed	4.1	28.7	1,496.50	14,965
3. 20 SC transformed	8.2	57.4	2,993	29,930

Table 7. BEST converted SCs LNG consumptions for the scenarios analysed

Scenario N°	LNG supply m³/10 years	LNG supply kg/10 years	Cost of LNG consumed in 10 years excluding logistics costs (€)
1. 5 SC transformed	7,482.5	3,367,125	1,919,261.25
2. 10 SC transformed	14,965	6,734,250	3,838,522.5
3. 20 SC transformed	29,930	13,468,500	7,677,045

Table 8. BEST LNG costs excluding logistics of the converted SCs in 10 years
for the scenarios analysed (considering an LNG cost of 0.57 €/kg)

Concept		Cost (€)	Observations
Motor conversion		296,000	Initial budget of Idiada contemplated for the conversion of the engine.
Natural gas system	Engineering	6,000	Includes LNG tank, natural gas conditioning and feed up system to the engine estimated by HAM.
	Materials	23,000	
	Assembly	2,500	
	Homologation	6,400	
Engine and machine homologation		0	It is considered that all the engines of the machines of the terminal are the same, as well as the machines, so only the first engine and the first machine must be homologated.
Conversion total cost		333,900	
Industrial benefit		66,780	An industrial benefit of 20% on the total cost of the conversion has been considered, as the costs quoted are real costs.
CONVERSION TOTAL COST FOR FOLLOWING MACHINES TRANSFORMATION		400,680	

Table 9. Costs of conversion for second and following BEST straddle carriers. The first one has an extra-cost of 14,750€ (engine and machine homologation)

Scenario N°	LNG supply m ³ /day	LNG supply m ³ /week	LNG supply m ³ /year	LNG supply m ³ /10 years
1. 5 SC transformed	3.73	26.11	1,361.45	13,614.5
2. 10 SC transformed	7.45	52.15	2,719.25	27,192.5
3. 20 SC transformed	14.91	104.37	5,442.15	54,421.5

Table 10. APMT converted SCs LNG consumptions for the scenarios analysed

Scenario N°	LNG supply m ³ /10 years	LNG supply kg/10 years	Cost of LNG consumed in 10 years excluding logistics costs (€)
1. 5 SC transformed	13,614.5	6,126,525	3,492,119.25
2. 10 SC transformed	27,192.5	12,236,625	6,974,876.25
3. 20 SC transformed	54,421.5	24,489,675	13,959,114.75

Table 11. APMT LNG costs excluding logistics of the converted SCs in 10 years for the scenarios analysed (0.57€/kg LNG)

Concept		Cost (€)	Observations
Engines conversion		404.710,1	The cost of each engine is 202,355.05 euros.
Natural gas system	Engineering	6,000	Includes two LNG tanks, natural gas conditioning and feed up system to the engines.
	Materials	46,000	
	Assembly	5,000	
	Homologation	6,400	
Engines and machine homologation		0	It is considered that all the engines of the machines are the same, as well as the machines, so only the first engine and the first machine have to be homologated.
Conversion total cost		468,110.1	
Industrial benefit		93,622.02	An industrial benefit of 20% on the total cost of the conversion has been considered.
CONVERSION TOTAL COST FOR FOLLOWING MACHINES TRANSFORMATION		561,732.12	

Table 12. Costs of conversion for second and following APMT straddle carriers. The first one has an extra-cost of 14,750€ (engine and machine homologation)

The following supply solutions are analysed for each of the two BEST and APMT terminals to determine the most suitable solution for each scenario:

- A. Mobile supply station with LNG dispenser and payment system.
- B. Fixed LNG storage station with two LNG dispensers with payment system and one LNG tank.

The conventional tanker truck supply solution is not considered because it does not have an integrated payment system.

COSTS PER REFUELING OPERATION OF THE MOBILE SUPPLY STATION		
Type of cost	Unit costs	Costs per refilling operation
Technical assistant	165 €/h (3,960 €/day 24h)	1.5 x 165 €/h = 247.5 €
Logistics	1.95 €/ km of displacement (round trip). Minimum 300 €.	106 km x 1.95 €/km = 206.7 €. The minimum of 300€ is considered.
TOTAL COST		547.5 €

Table 13. Costs per refuelling operation of the mobile supply station

Scenario N°	N° of refilling operations per month	N° of refilling operations in 10 years	Cost of refilling operations in 10 years (€)	Total costs of mobile supply station for rent option in 10 years (€)	Total costs for mobile supply station for purchase option in 10 years (€)
1. 5 SC transformed	2	240	131,400	1,931,400	771,400
2. 10 SC transformed	3	360	197,100	1,997,100	837,100
3. 20 SC transformed	6	720	394,200	2,194,200	1,034,200.

Table 14. BEST costs of the mobile supply station solution in 10 years for the scenarios analysed

Due to the high cost of the mobile supply station rent in 10 years (1,800,000 €) the alternative option of purchase it is selected between the two options which has a much lower cost in 10 years (640,000 €).

It was also studied the cost of a fixed LNG supply solution:

Scenario No.	LNG tank capacity (m³)	Fixed Station Cost (€)	Fixed station maintenance cost for 10 years (€)	Fixed Station Cost including maintenance for 10 years (€)
1. 5 SC transformed	20	465,000	105,000	570,000
2. 10 SC transformed	40	490,000	105,000	595,000
3. 20 SC transformed	70	550,000	105,000	655,000

Table 15. BEST cost of the fixed supply station for each of the scenarios

Scenario No.	Cost per operation (€)	Nº operations in 10 years	Total costs of operations in 10 years (€)
1. Supply to 5 SC	1,121.75	520	583,310
2. Supply to 10 SC	1,196	520	621,920
3. Supply to 20 SC	1,705.4	520	886,808

Table 16. BEST total costs in 10 years for the refilling operations of the LNG tank of the fixed supply station for the scenarios analysed

Scenario Nº	GNL tank capacity (m³)	Fixed station cost including maintenance for 10 years (€)	Total costs of refilling operations of the LNG tank in 10 years (€)	Total cost of fixed station solution (€)
1. 5 SC transformed	20	570,000	583,310	1,153,310
2. 10 SC transformed	40	595,000	621,920	1,216,920
3. 20 SC transformed	70	655,000	886,808	1,541,808

Table 17. BEST total cost of the logistics solution with the fixed station for the scenarios analysed

The table below shows the costs of the logistics solution with mobile supply station and the costs with a fixed supply station considering a supply period of 10 years.

Scenario No	Total costs of mobile supply station for rent option in 10 years (€)	Total costs for mobile supply station for purchase option in 10 years (€)	Total cost with fixed supply station for the operations in 10 years (€)
1.Supply to 5 SC	1,931,400	771,400	1,153,310
2.Supply to 10 SC	1,997,100	837,100	1,216,920
3.Supply to 20 SC	2,194,200	1,034,200	1,541,808

Table 18. BEST costs of the logistics solution with mobile supply station and the costs with a fixed supply station considering a supply period of 10 years for the scenarios analysed

The same analysis was made for the APMT solution, taking into account the differences in the fuel consumption of the transformed machine. In order to reduce this summary report, for more details, please refer to annex 3.

Scenario No	Total costs of mobile supply station for rent option in 10 years (€)	Total costs for mobile supply station for purchase option in 10 years (€)	Total cost with fixed supply station for the operations in 10 years (€)
1.Supply to 5 SC	1,997,100	837,100	1,187,334
2.Supply to 10 SC	2,128,500	928,500	1,496,778
3.Supply to 20 SC	2,457,000	1,297,000	2,258,704

Table 19. APMT costs of the logistics solution with mobile supply station and the costs with a fixed supply station considering a supply period of 10 years for the scenarios analysed

From the above it is concluded that the total cost of operations with a mobile supply station with the purchase option in 10 years is lower than the cost of logistics of the rent option of a mobile supply station and the cost of a fixed supply station, so between these three solutions the optimal supply solution would be the purchase of a mobile supply station to be installed in the terminal. This mobile station can be filled directly in the port load of regasification plant, every time is needed.

Considering a 10-year business model and the costs of transforming BEST and APMT's straddle carriers, the profitability of the machine transformation is then

evaluated for both of the terminals, considering a cost of diesel of 0.9 €/l and a cost of LNG of 0,57€/kg. This prices can change, so it may appear some differences because of the fuel cost.

The following tables shows the cost of transforming the machines, the total cost of supplying diesel B, total cost of LNG supply including logistics costs with the option of purchase a mobile supply station and the difference between the total diesel B costs and total LNG costs in 10 years:

Scenario Nº	Cost of machines transformation (€)	Total cost of diesel B in 10 years (€)	Total cost of LNG in 10 years (€)	Diesel B cost – LNG cost (€)
1. 5 SC transformed	2,021,100	4,443,050	2,690,661.25	1,752,388.75
2. 10 SC transformed	4,024,500	8,812,100	4,675,622.5	4,136,477.5
3. 20 SC transformed	8,031,300	17,550,200	8,711,245	8,838,955

Table 20. BEST fuel savings for the converted SCs in 10 years for the scenarios analysed

Scenario Nº	Cost of machines transformation (€)	Total cost of diesel B in 10 years (€)	Total cost of LNG in 10 years (€)	Diesel B cost – LNG cost (€)
1. 5 SC transformed	3,313,950.6	7,553,288	4,329,219.25	3,224,068.75
2. 10 SC transformed	6,122,611.2	15,032,576	7,903,376.25	7,129,199.75
3. 20 SC transformed	11,739,932.4	29,991,152	15,256,114.75	14,735,037.25

Table 21. APMT fuel savings for the converted SCs in 10 years for the scenarios analysed

In both terminals, BEST and APMT, the total logistics costs over a 10-year operating period for the refilling operations of the straddle carriers with a mobile supply station with the purchase option is lower than the cost of logistics of the rent option of a mobile supply station and the cost of a fixed supply station, so between these three options the optimal supply solution is the purchase of a mobile supply station to be installed in the terminal.

The mobile supply station will be left fixed in the terminal and the only movements will be the displacements to the regasification plant for the refilling with LNG. The supply station shall be located in an area that does not interfere with the normal operation of the terminal.

The total costs of diesel B in 10 years are for both terminals and all scenarios considered higher than those of LNG. In the scenario number 1 of 5 straddle carriers transformed for both terminals the fuel savings using LNG do not cover the total costs of transforming the machines to gas but the 86,7 % of the costs of the conversion are covered for BEST terminal and the 97,29 % for APMT terminal. In the other two scenarios where 10 and 20 straddle carriers are converted to gas for **both terminals all the cost of the machines'** conversion is covered and there are even savings.

Given the fluctuations that both fuels costs LNG and Diesel B are suffering, these fuel savings could be reduced or increased in the 10-year period considered.

To encourage the transformation of the straddle carriers to gas, one measure would be to subsidize the cost of the transformation due to the environmental benefits of LNG with respect to Diesel B.

5. Risk analysis

In annex 4 the risk analysis study of the pilot phase is shown. To avoid safety issues during the pilot phase due to translation problems, it is written in Spanish.

The objective of this analysis is to identify potential hazards and operational problems that may affect safety, the environment, property, and operational issues, arising from the activities performed with the straddle carriers during the pilot. In particular it was studied the movement of a LNG mobile station to the loading point, connection, unloading and the refuelling (LNG) of the straddle carriers (SC's) from that mobile station, and the circulation/operations of the SCs powered by LNG (one per terminal) at the APM Terminals Barcelona and BEST.

The proposed location of the supply area at each terminal is shown below. As is said in the previous sections, the BEST pilot was not done because of the resignation of the partner in 2018, but the risk study was done at this terminal. It should also be said that during the pilot phase one refuelling operation was done at the initial proposed location at APMT, but the second one was done in the north of the terminal. The same safety distances and recommendations in this new location were taken into account.



Figure 30. Refuelling area at APMT

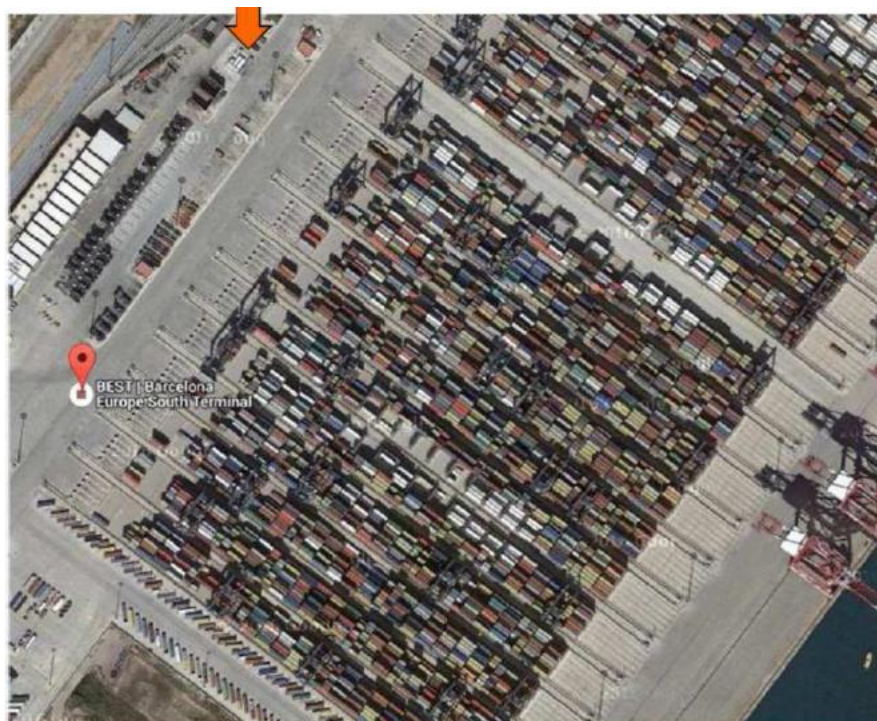


Figure 31. Refuelling area at BEST.

Hazard identification was carried out by means of a *What if...?* survey. This technique is an inductive method that uses process-specific information to generate a series of relevant questions during the lifetime of an installation. It consists of defining trends, formulating questions, developing answers and evaluating them, including the widest possible range of consequences. It does not require special quantitative methods or extensive planning.

Afterwards, a consequences analysis of the scenarios envisaged was carried out. For the consequence calculations, the calculation models implemented in TNO's EFFECTS 10.0.6. software were used.

The Basic Civil Protection Guideline for the control and planning of major-accident hazards involving dangerous substances establishes that the scope of three levels of damage must be assessed:

- Intervention Zone:
- Alert Zone
- Domino effect zone

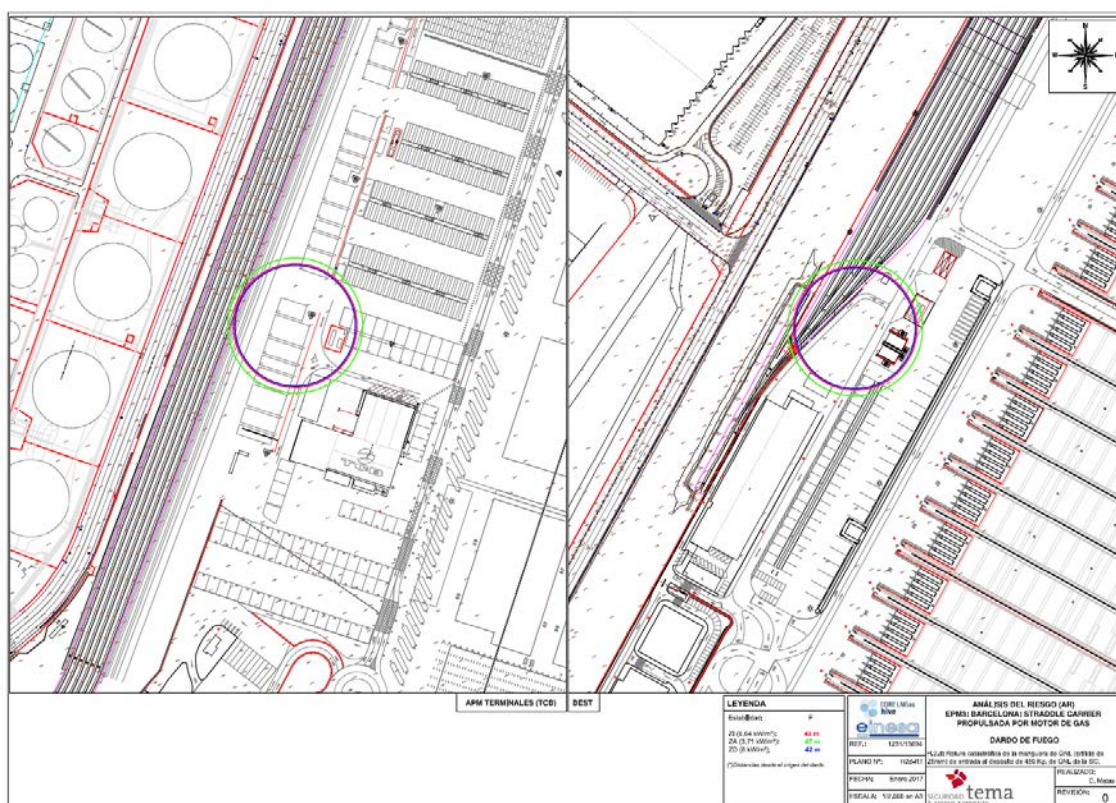


Figure 32. Example of a plan showing the intervention zone, warning zone and domino effect zone for a jet fire accident.

Afterwards, the qualitative risk matrix and existing safeguards were analysed, and plans were drawn up.

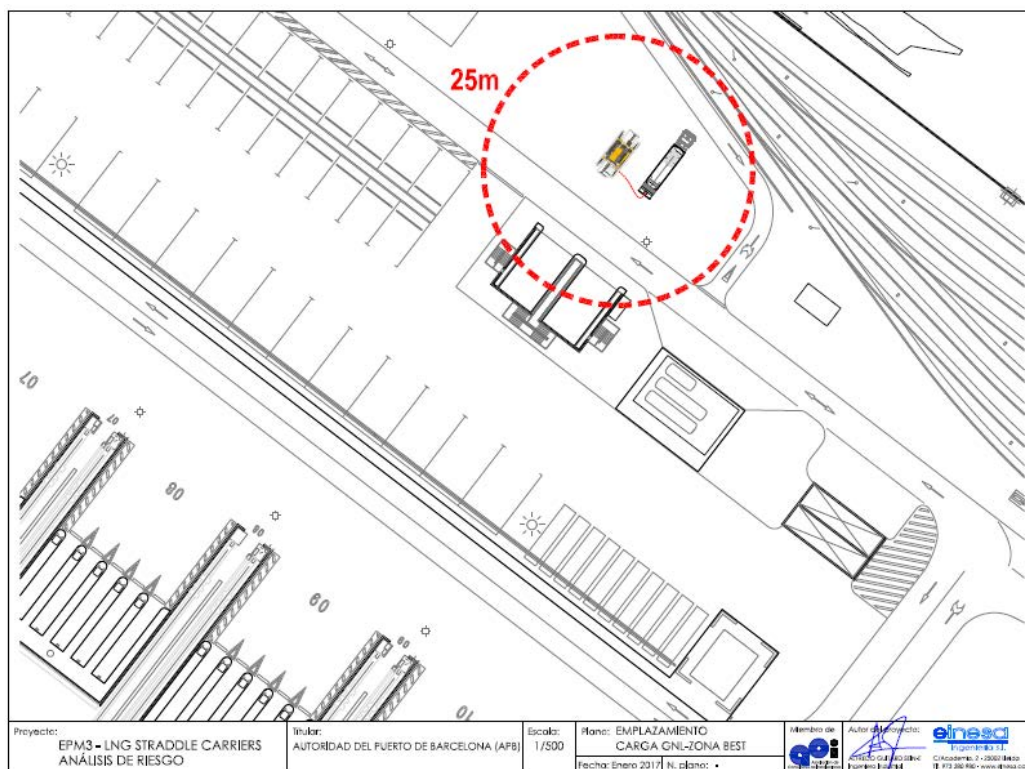


Figure 33. BEST supply area. Safety distance.

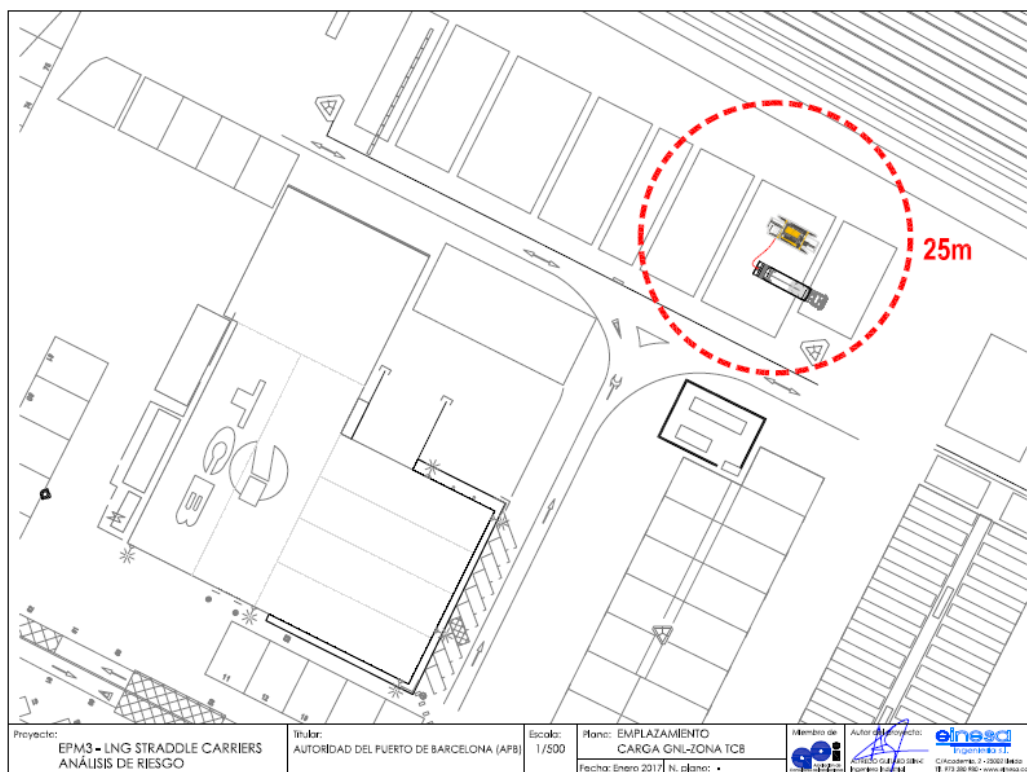


Figure 34. APMT supply area. Safety distance

6. Self-protection plan

In annex 5 a self-protection plan (PAU, by its Spanish acronym) of the pilot phase is drawn. The self-protection plan is the document that establishes the organic and functional framework foreseen for a site, establishment, space, or facility, to prevent and control risks to persons and property, and to provide an adequate response to possible emergency situations in the area under the responsibility of the owner of the activity, guaranteeing the integration of these actions with the public civil protection system.

The self-protection plan deals with the identification and assessment of risks, actions and measures necessary for the prevention and control of risks, as well as the protection measures and other actions to be taken in the event of an emergency.

Due to the resignation of BEST, only the PAU for the pilot phase at the APMT terminal was developed. The scope of the project includes the following operations:

- Circulation of a Mobile LNG Loading Station (LNG Tanker) through the interior of the APMT terminal to the location of the loading point, connection, unloading and disconnection.
- LNG refuelling operations to the straddle carrier.
- Circulation and operations of the straddle carrier with an LNG tank inside the APMT terminal (former TCB).

The content of the PAU follows the minimum content specified by Annex II of the Decree 30/2015, of 3 March, which approves the catalogue of activities and centres obliged to adopt self-protection measures and establishing the content of these measures (DOGC no. 6824, dated 5 March 2015), although the activity to be carried out in the pilot with the transformed straddle carrier is exempt from the application of the provisions of this decree. For more details, please refer to annex 5. On this basis, the PAU consists of:

- Document 1. Identification of the establishment: inventory, analysis and assessment of the risk.
- Document 2. Inventory and description of the means and measures for self-protection.
- Document 3. Action manual.
- Document 4. Implementation, maintenance and updating.

The following documents are also incorporated

- Directory of communications.
- Emergency management forms.
- Plans.
- Action sheets.
- Safety Data Sheets.



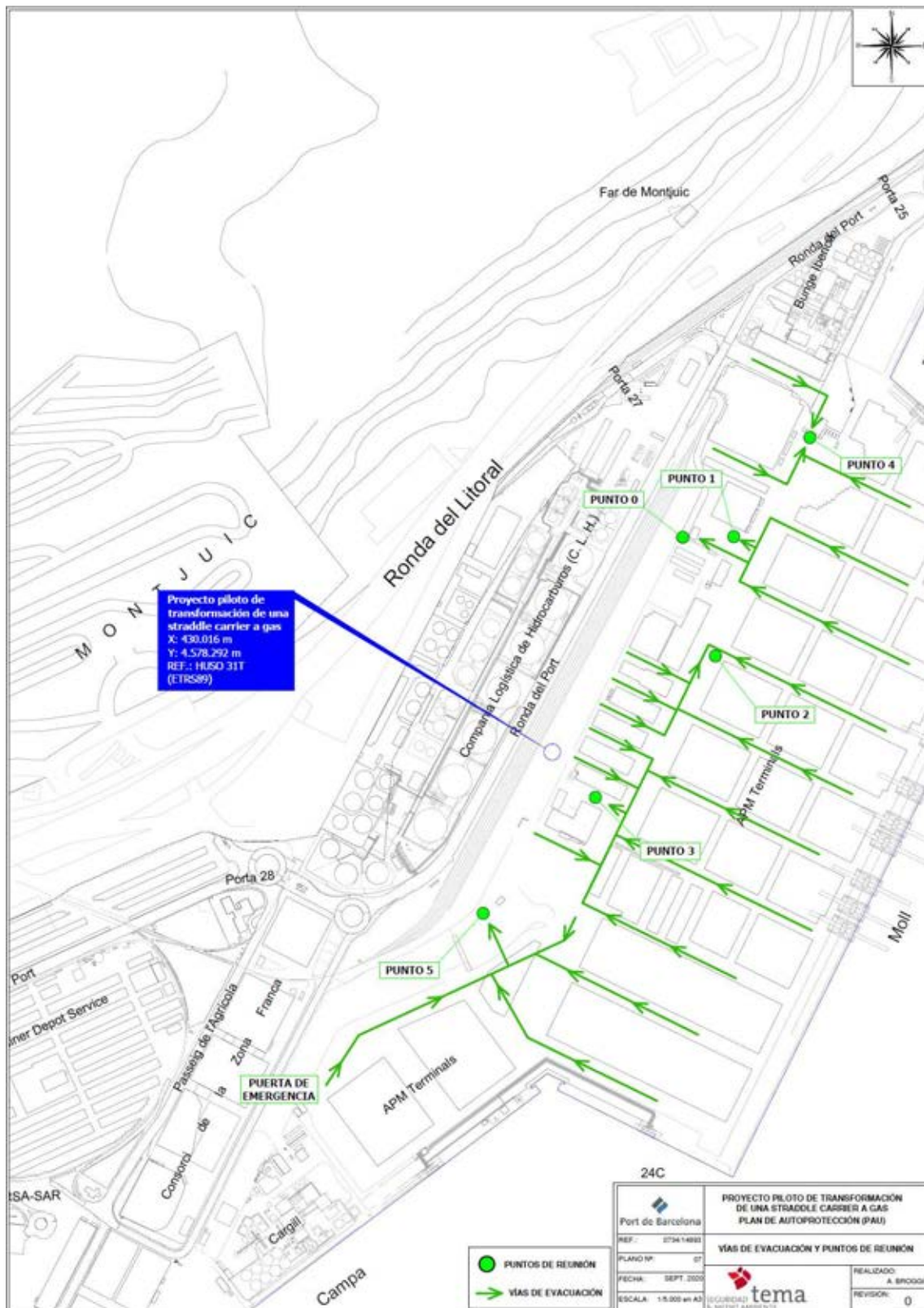


Figure 36. Evacuation routes and muster points

7. LNG supply procedures

In annex 6 the LNG supply procedures are drawn. The following points are described:

- Objective
- Risks Involved in LNG Refuelling
- Personal Protective Equipment (PPE)
- Incidents
- LNG loading process from the tanker:
- Liquid gun connection
- Liquid gun disconnection
- LNG safety data sheet

These operations will be carried out by HAM, the LNG supply partner, and specifically, by the driver of the vehicle himself, previously trained by personnel with proven experience and training to carry out this type of operation.

The risks of the operation are:

- Handling of cryogenic liquid (liquefied natural gas -160 °C). Possible risks of cold burns, cold air, displacement of oxygen, etc....
- Handling flammable gas. Possible risks associated with flammability. Risks detailed in the attached safety sheets.

Apart from the PPE specific to the job, such as safety shoes, high-visibility waistcoats, etc., the following is a description of the PPE specific to LNG:

- Face protection: Helmet with visor or equivalent approved.
- Hand and forearm protection: Approved long cryogenic gloves.
- Total body protection: Approved fire retardant and spark-proof clothing
- Trunk protection: Leather apron.

Possible refuelling incidents and how to proceed are described below.

- Leakage from the filling gun seal.
- Leakage from the vent gun.
- Leakage from the LNG hose or vents.
- Starting of the break away.

The refuelling procedure is described below:

1. Park and stop the vehicle, switch off all ignition sources.
2. Fit the wheel chocks.
3. Put on the appropriate PPE.
4. Connect the earth clamp.
5. Insert the payment card to authorise charging.
6. Clean and dry the nozzle of the truck and the loading gun.

7. Connect the liquid phase hose to the truck tank.
8. Press the START button. The following 2 possibilities are available:
 - 8.1. The dispenser starts the cold start-up operation. Proceed to step 8.
 - 8.2. The dispenser detects that the truck tank is over pressurised. The dispenser will issue the instructions to be carried out:
 - 8.2.1. Disconnect liquid phase hose.
 - 8.2.2. Connecting the gas phase hose and opening the truck depressurisation valve.
 - 8.2.3. Press the START button. The dispenser shall start to depressurise the LNG tank of the truck.
 - 8.2.4. Disconnect the gas phase hose once the dispenser indicates this.
 - 8.2.5. Reconnecting the liquid phase hose.
 - 8.2.6. Press the START button on the dispenser and the dispenser starts the cold start-up operation. Proceed to step 8.
9. The dispenser detects the end of the refuelling and indicates it on the display END REFUELING. AT ANY TIME YOU CAN PRESS THE STOP BUTTON AND THE REFUELLING WILL STOP.
10. Disconnect the liquid phase hose. See section DISCONNECTING LIQUID GUN.
11. We check the correct state of the hose, gun and charging nozzle.
12. Disconnect the earth connection.
13. We leave the refuelling area with precaution.

During the charging process the horn will sound every X amount of time (Death man). Each time it sounds, the start button must be pressed. This is done for safety reasons so that the driver is always in the loading area. If the start button is not pressed within X amount of time the loading will stop.



Figure 37. Tanker control panel and emergency or death man buttons



Figure 38. Hose and liquid gun connected to the nozzle of the straddle carrier

8. Engine conversion design for a straddle carrier at APMT

In annex 7 we can see the Engine conversion design for a straddle carrier at APM Terminals Barcelona. In this report is described the technical modifications that will be made to the engines of APM Terminals Barcelona in order to convert them into natural gas engines. This task, which includes the design of the conversion and the physical conversion, was carried out by IDIADA.

Additionally, the design was established considering the available space of the machine to avoid, as far as possible, the minimum modifications of the straddle carrier. For more details, please, refer to annex 7.

The APMT straddle carrier is equipped with two Valmet 612 DS turbocharged, four stroke, direct-injection in-line diesel engines. The engines are located at the bottom of the machine, one at each end of the U-shaped structure as marked in the next Figure.



Figure 39. Engines location at APMT straddle carrier

The conversion of the Valmet 612 engine was based on the modification of some of its parts and the replacement or implementation of new systems to work with natural gas fuel. In this project, different approaches and technologies were studied to convert the diesel engine into a natural gas engine according to its performance characteristics. The most feasible solution was adopted afterwards.

The main modifications required by the engine to become a natural gas engine are based on the adaptation of heat addition. Mainly, this consists of the installation of the natural gas supply and the reduction of the compression ratio, whose studies were carried out in first place. To continue, other components or systems that must be modified were taken into consideration.

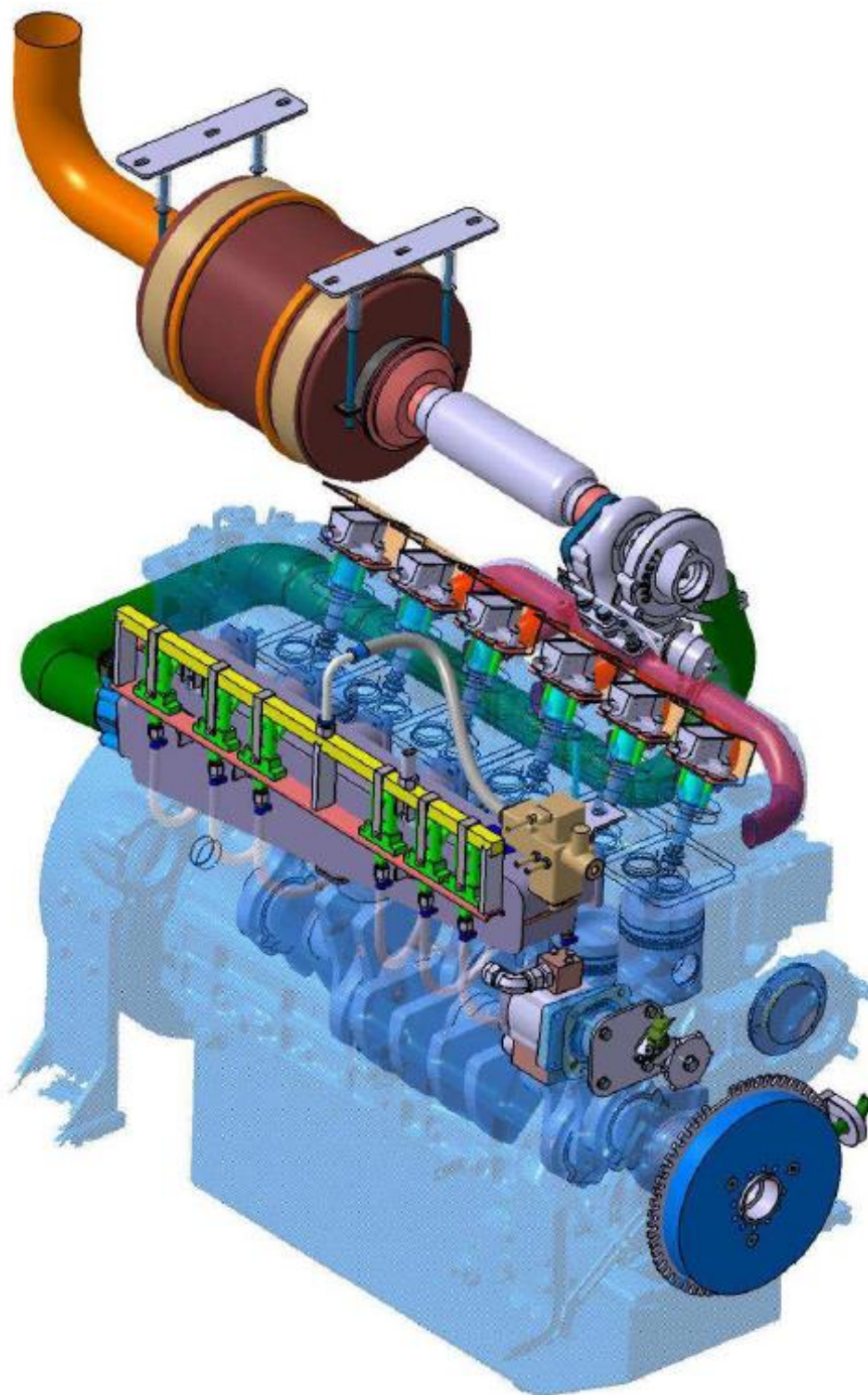


Figure 40. Proposal of the engine conversion

The new components and systems were studied in accordance with the original engine dimensions. Although these parts exceed the original width, they **didn't** touch the straddle carrier walls.



Figure 41. Engine location at the APMT straddle carrier

The first step was to study the mechanics of the entire engine. A useful tool that allows design engineers to define the original dimensions and shapes, and then study and draw the modifications that will be implemented in the engine was 3D scanning. A 3D scanner obtains the three-dimensional data of the different parts and systems of the engine.



Figure 42. APMT original engine

At the beginning of the project, the entire engine and its different parts, such as the intake and exhaust manifold, were scanned. As an example, 3D scanning enables engineers to draw the new intake manifold where natural gas injectors will be located and designed according to the baseline geometry and the entry holes.

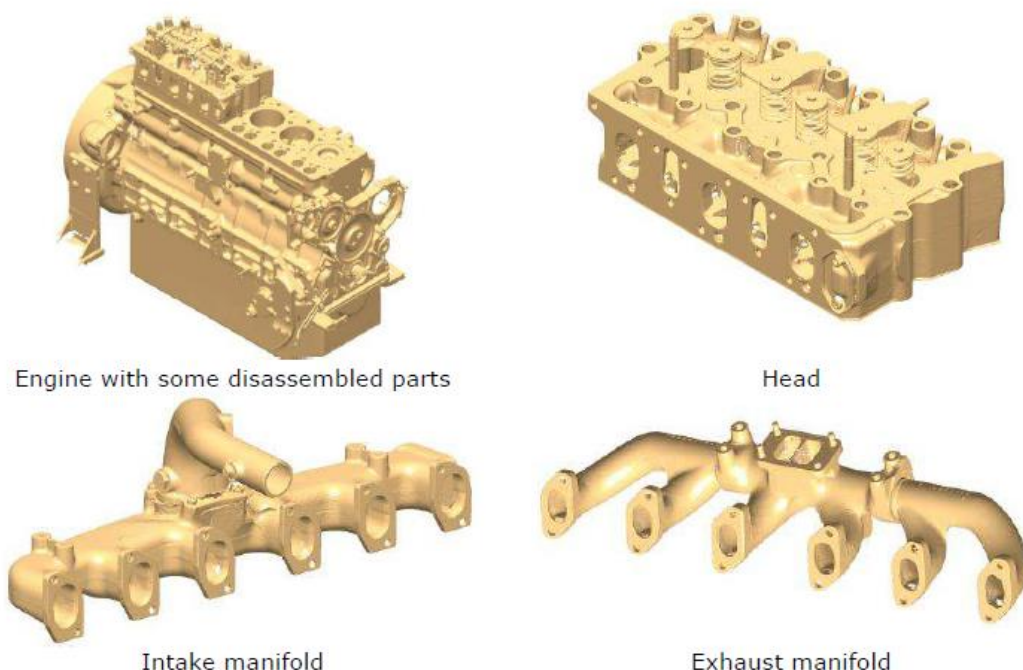


Figure 43. 3D scanning results

As explained in annex 7, natural gas engines could be lean or stoichiometric engines. In this project, it was decided to use the lean burn technology to reach similar combustion temperatures as diesel engines. With a stoichiometric engine, combustion temperatures are usually higher than diesel (about 200 °C higher), which could damage the cylinder head, seat valves and exhaust manifold. Modifying these components to withstand high temperatures is very time-consuming, mostly due to important modifications on the materials. That is the main reason to perform the conversion from diesel into NG lean-burn engine. Since the engine will run with lean mixtures, very fast combustion is needed to enable an operation with extremely lean air/fuel mixture. Also, a higher compression ratio, which results in a better thermodynamic efficiency, and a higher level of bulk flow and turbulence are required.

Then, in this strategy, a cylindrical bowl on the piston head would be effective. This shape provides an increased angular velocity of the swirling flow as the radius is dramatically reduced when the gas is forced into the bowl.

Confidential

Table 22. Cylinder head parameters of original engine and IDIADA proposal

Confidential

Table 23. Mechanized area of the head to allow the spark plug

To burn the natural gas and air mixture, a device for the external ignition source is essential: a spark plug, which delivers electric current from an ignition system to the combustion chamber for igniting the compressed fuel/air mixture by means of an electric spark.

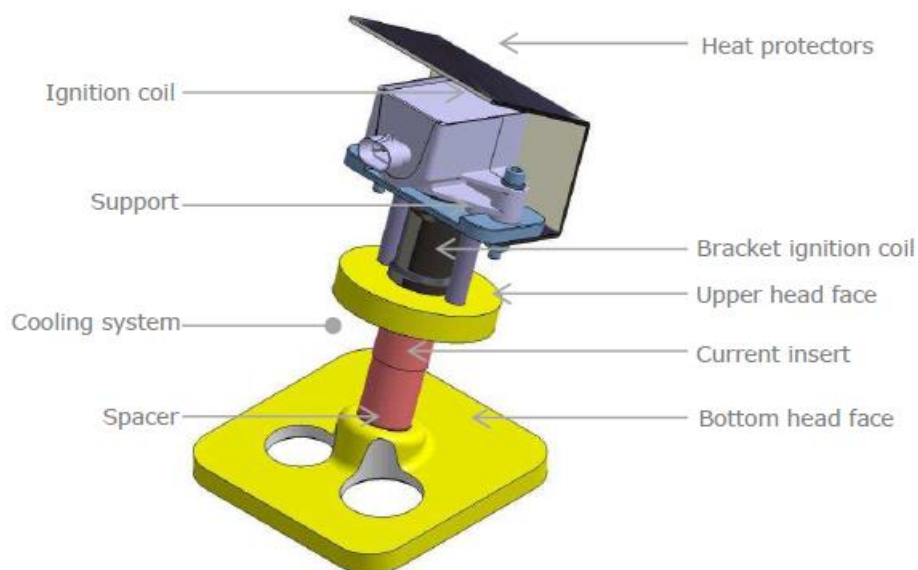


Table 24. Spark plug and ignition coil assembly with the engine

The status of the original intake manifold and the installation of the natural gas rail required the design and construction of a new intake manifold. Moreover, the original intake manifold **couldn't** be reused due to the lack of space to install the gas injectors and its damage.

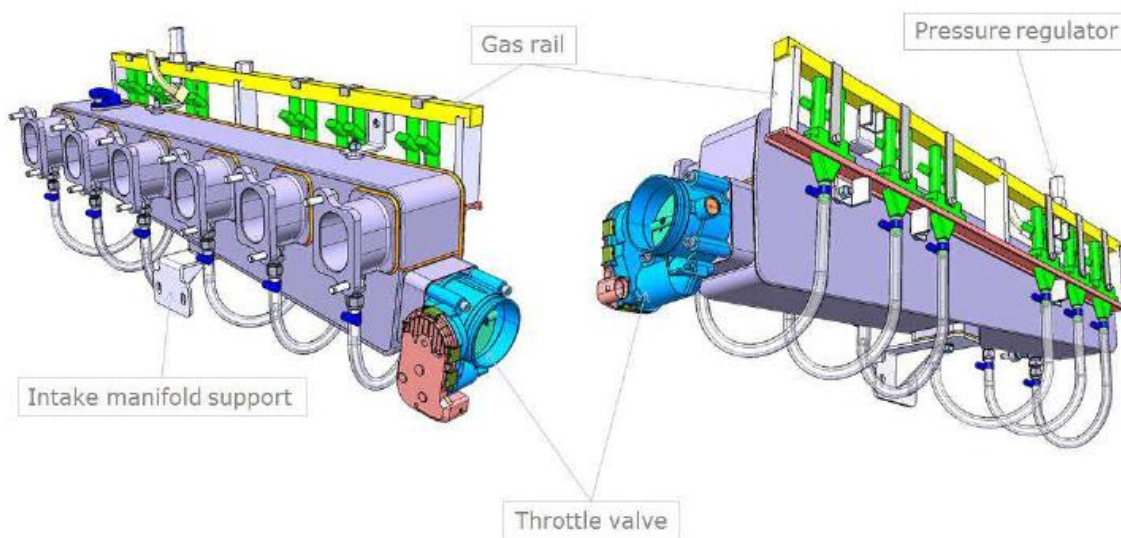


Figure 44. Intake manifold system

The natural gas pressure coming from the fuel tank is reduced to about 9.5 bar thanks to the pressure regulator.

Confidential

Figure 45. Assembly of the pressure regulator at the gas rail

Due to its oldness, the machine did not have electronic control of the engine operation and, for this reason, a mechanism that controls the piston position along its stroke was required. This synchronisation enables the management of the natural gas injection timing and the ignition of the spark plug. Originally, the injection timing of the first cylinder was marked on the vibration damper at the front end of the crankshaft. There are also marks on the timing gear for camshaft and injection pump during assembly.

Confidential

Figure 46. Engine synchronization system

One of the main objectives of the project was to analyse and assess the reduction of exhaust emissions that the converted engine can achieve. The objective was to try to get an engine as similar as possible to a Stage V engine. The after-treatment system, among other approaches, contributes to the reduction of these emissions. Since the original engine was not equipped with any catalyst or particle filter system, better results of exhaust emissions could be obtained by installing this technology. In this case, a methane oxidation catalyst (MOC) was chosen because it reduces CH₄ emissions if it operates in exhaust temperatures of around 500°C.

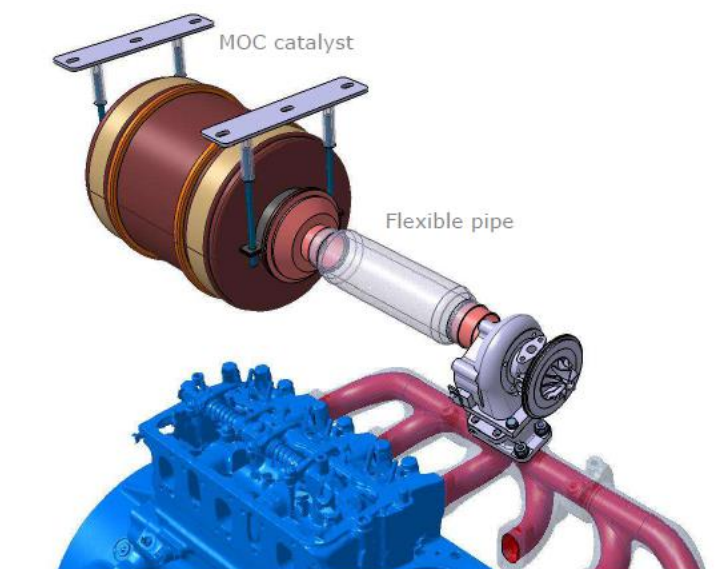


Figure 47. After-treatment system: MOC catalyst

The diesel engine of the project is an old motor with a modest electronic control managed mechanically and so, in order to electronically manage the engine, as machines and vehicles are managed nowadays, an ECU (Electronic Control Unit) is required, and some sensors and actuators must be implemented.

An ECU is a type of electronic control unit that controls and verifies a number of actuators of an internal combustion engine to ensure optimum engine performance by reading values from a multitude of sensors on the engine, interpreting the data using multidimensional performance maps and adjusting the engine actuators accordingly.

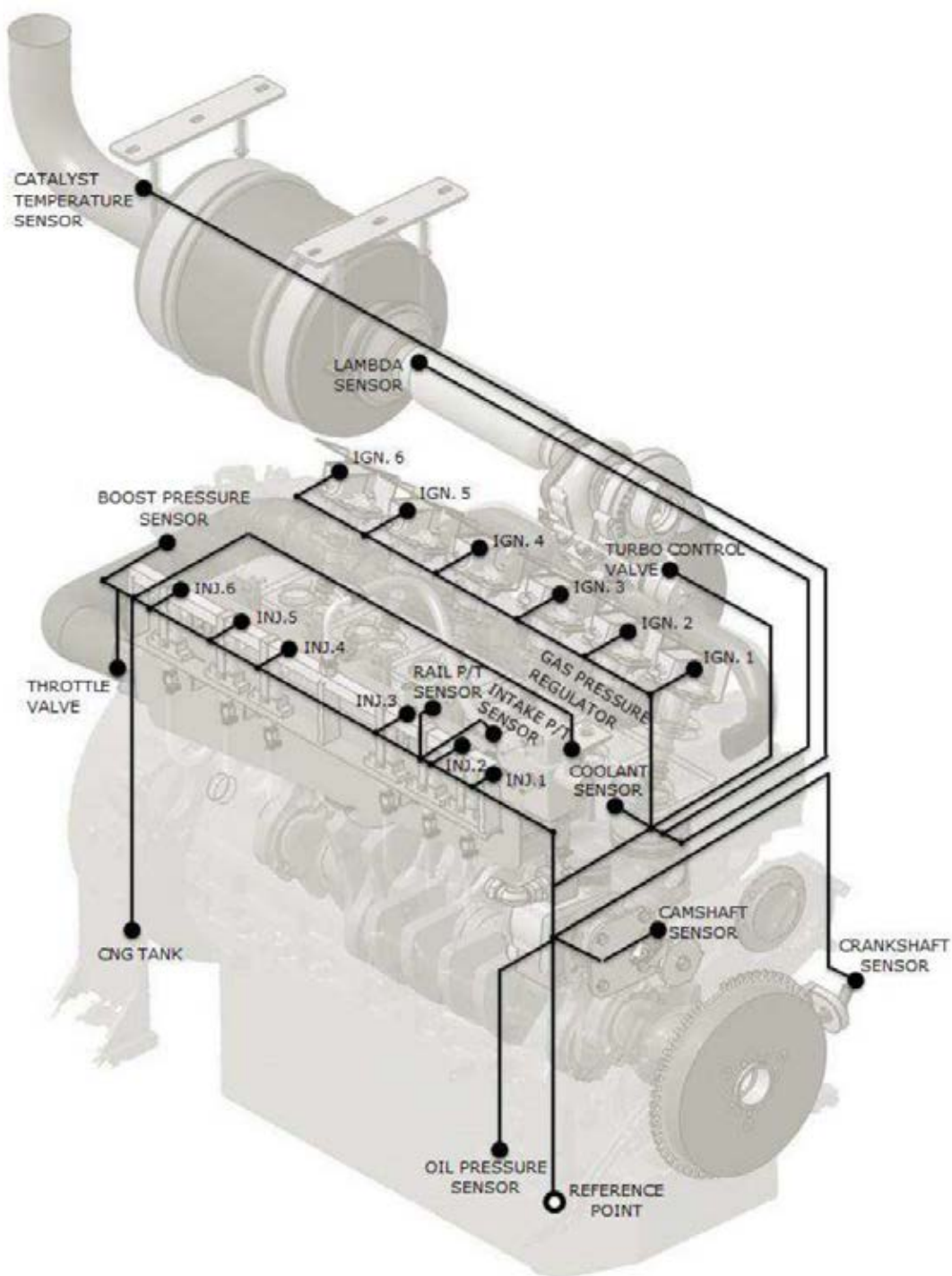


Figure 48. SISU Valmet 612 engine actuators and sensors

The detailed process to retrofit the engines is explained in the annex 7.

Confidential

Figure 49. Piston mechanization

Confidential

Figure 50. Head mechanization

Confidential

Figure 51. Intake manifold parts

The engine was carefully checked and installed on the test bench later on. At this point of the conversion, the engine was ready to start.



Figure 52. First converted engine installed in test bench



Figure 53. Engine installation in the test bench with instrumentation.

9. Status report of APMT engines conversion

In annex 8 can be seen the full report of APMT engines conversion. The following report describes in detail the problems concerning the development of the conversion of the two engines.

At the beginning of 2018, BEST terminal did not allow the conversion for the following reasons: the machine was still covered by guarantee and Kalmar, the manufacturer of the machine, indicated that a new CE marking was necessary if the conversion activity required substantial changes. The approval of the CE marking means that the engine must comply with the current emission standard Stage V, among other requirements. This requirement was not assured before the design of the conversion and could involve solutions not included in the scope of the project. Finally, the conversion and the pilot phase could not take place in the BEST Terminal due to the lack of legal security. The preliminary design study of the BEST engine conversion can be found in annex 2 (technical feasibility study).

Against this background, a feasible study of two-engines of the APMT straddle carrier was carried out and a whole straddle carrier conversion into a natural gas was later agreed by the partners of the project. In annex 4 is described the engine conversion design for a straddle carrier at APMT.

During the project's development, four different engines were studied and

dismantled, two of which were finally transformed.

- The first engine was completely dismantled for a detailed study in order to design the transformation. The 3-D scan of the engine was performed to obtain the digital model of the engine. Some parts were cut to allow the 3D scan inside the engine, so this engine became unusable.
- The second engine was dismantled and completely transformed to 100% gas use.
- Once the third engine was dismantled, it was found that its transformation was not viable because it was seized. Some pieces were reusable, so they were used in the fourth engine.
- This fourth engine was completely transformed to 100% gas, using some parts of the third engine. This converted engine broke down severely during the calibration on the test bench. The damage in the pistons and the cylinders were so severe that it was not repairable.

The calibration of the second converted engine in test bench was successfully performed, but the engine failed during the performance test and stopped working, making it non-operational.

Finally, it was decided not to convert any other engine for the limited time and budget available and to partially convert the APMT machine (with a diesel engine and a converted natural gas engine). But, for safety reasons and to check the last version of the ECU calibration performed with the forth converted engine, the second engine was again installed in the test bench and tested.

The cause of the breakage of this engine could be due to several factors:

- These engines are very old and some of them were in very poor condition or have been out of service for many years. For example, when the 3rd engine was dismantled and studied, it was seen it was seized.
- In this fourth engine some parts from two different engines were used, together with new pieces. These parts may have differential wear, which may have caused a lack of full adjustment and possibly causing a fluid entry into the combustion chamber.
- A breakage due to an increase of temperature caused by the use of natural gas in an engine designed to use diesel is practically ruled out. A lean mixture of natural gas is used, with less gas in the combustion chamber, precisely to reduce the combustion temperature.

Neither by project schedule nor lack of budget of the partner who makes the transformations (Idiada), it was no feasible to start the transformation of another engine.

Nevertheless, we must point out that during the project these two transformed engines have been calibrated and tested on a test bench, before the catastrophic failure of the second transformed engine. Therefore, the most part of the project's objectives have been achieved, like checking the conversion feasibility of two

engines and monitoring pollutant emissions, in this case on a test bench.

These machines are powered by 2 engines, each of which moves the pair of wheels on each side, to give an example, as if it were a tank. Therefore, during the pilot only this converted engine to run on natural gas was installed in the APMT straddle carrier and the other one was a non-converted diesel engine.

For this project, a PEMS test was carried out to measure KPI's on this converted natural gas engine installed in the APMT straddle carrier, obtaining all the information needed to achieve the project's objectives.

During the pilot, the PEMS test was carried out again on the other diesel engine installed, in order to **be able to compare between KPI's obtained in the tests with a gas engine**. Although the test on the untransformed diesel engine was done in 2016, it is important to test under similar conditions between both engines (with similar driving times and weather conditions, doing a same route and with the same driver) to avoid errors when comparing between two tests.

In the following pictures we can see the status of this second transformed engine (the 4th one in which Idiada worked) that had this catastrophic failure:

Confidential

Figure 54. Particles found in the intake ports after failure

Confidentia

Figure 55. Piston 2 status after failure

Confidentia

Figure 56. Cylinder liner 2 status after failure

Confidentia

Figure 57. Cylinder liner and piston 2 status after failure

10. Commissioning of the straddle carrier at APMT and emissions testing

In annex 9 the pilot phase report is drawn. This document contains the description of the activities performed during the commissioning of the straddle carrier of APM Terminals Barcelona with the installation of the converted natural gas engine, auxiliaries and LNG tank, and the synchronization of the engines (diesel and converted engine). Moreover, this document includes testing phase with the definition of tests, the instrumentation of straddle carrier and measurements and calculation of pollutant emissions and consumption during current operations.

The engine conversion performed by IDIADA is explained in deliverable 4.1. (Annex 7). After the conversion and start-up of the engine, the calibration was adjusted at IDIADA test bench to maximize fuel consumption and emission reduction. The engine tests performed to demonstrate the emissions and performance of the converted engine are also included in this document.

Once this activity was completed, in October 2020 the engine was sent to APMT facilities. In November 2020, IDIADA visited APMT facilities to finish designing the installation of auxiliary equipment, and during the following months, APMT and IDIADA installed the engine with auxiliaries and systems such as air intake, exhaust gases and natural gas system, among others. HAM then installed the LNG tank and pipes, and supplied LNG to the machine.

In April 2021, with the machine refuelled, IDIADA, with the support of APMT, began the activities of starting the straddle carrier and they synchronized the engines. Due to the consumption of the LNG, a second refuelling was coordinated by HAM. Finally, during June 2021, IDIADA performed the PEMS tests and results were subsequently analysed and reported in this document.

As we said before, the straddle carrier machine has 2 engines, each one driving each pair of wheels. Therefore, during the assembly process, the original diesel engine was set up on the left side of the machine and the converted natural gas engine was installed on the right side.

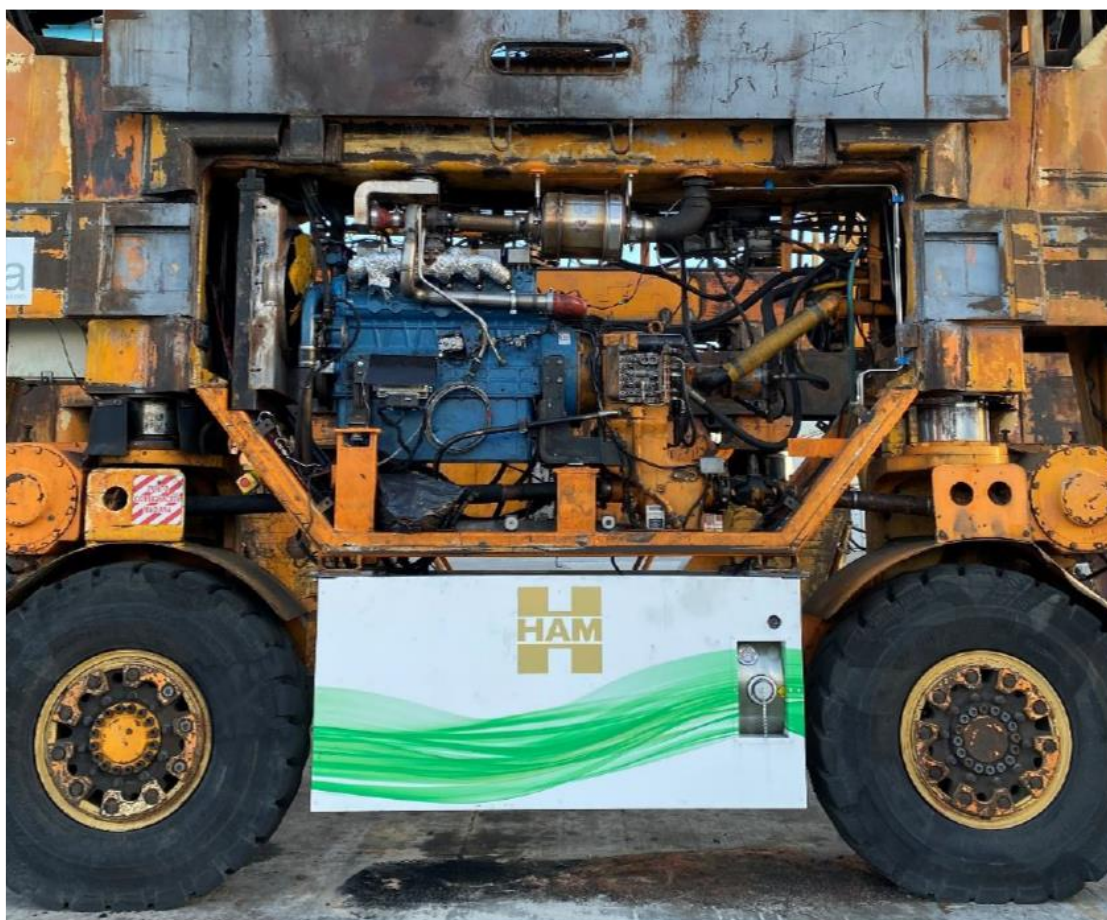


Figure 58. Natural gas engine and LNG tank installed at APMT straddle carrier

Confidential

Figure 59. Exhaust gas configuration on the straddle carrier

The best location of the new engine ECU was studied to protect it from environmental conditions. The ECU was placed next to the engine, taking advantage of some engine guides and a support was fabricated to protect the ECU from rain.



Figure 60. ECU installation on the engine

The LNG fuel tank (also called Dewar) is a cryogenic container with a 450l capacity. A pipeline was designed and installed in order to connect the exit flow fitting LNG cryogenic tank to the inlet of the pressure regulator. The route of this pipeline was designed taking care of the possible troubles that can appear during all the assembly (engine, LNG tank; maintenance, leaks, etc).



Figure 61. LNG tank



Figure 62. Piping route

The driving force for the natural gas delivery to the engine is provided by the fuel pressure. There are no pumps in a typical system. When the engine demands fuel, the pressurized liquid natural gas flows out of the tank toward the engine. Then the cold pressurized LNG passes through a heat exchanger. The heat exchanger uses the heat from the engine coolant to vaporize the liquid and turn it into gas. Once out of the heat exchanger, the fuel is a warm gas, at tank pressure, ready to be burned by the engine. Tank pressure is maintained by a tank mounted pressure control regulator that vents excess pressure into the fuel line during periods of engine operation.

On the other hand, and due the possible over pressure on the LNG cryogenic tank, it was installed a pipeline to a secure zone in order to avoid build-up of methane gas just in case that the security relief valve actuate. This vent pipe is located on the top of the machine maintenance runway.

Finally, also due to lack of project time and budget, the machine was not certified according to RD1215/1997, of minimum safety and health requirements for the use of work equipment by workers, as it was not foreseen to be put into operation in the day-to-day operation of the terminal. During the pilot phase, the tests were carried out in a controlled area, isolated from the terminal operations, and the machine was operated by APMT engineers, so it was not considered necessary to obtain this certificate.

For the entrance of the HAM's LNG mobile station (Macrofueller) to APMT Terminal to refuel the straddle carrier, the following documents had to be submitted:

- Insurance policy.
- Circulation permits (ADR)
- Technical inspection of vehicles.

HAM also submitted these documents and the refuelling procedures to the Port Authority of Barcelona.

When the tanker truck was at the entrance gate, APMT terminal activated the Risk Prevention Group (GPR, according to its Spanish acronym) of the Barcelona Fire Brigade, as an extra precaution. When the fire truck arrived, the tanker was able to enter the terminal and begin to position itself for refuelling.

Two refuelling operations were done during the pilot phase.



Figure 63. LNG refuelling operation

The scope of task 5 of the sub-activity was to measure and compare the exhaust emissions between a straddle carrier with a non-converted diesel engine and a converted natural gas engine.

During June 2021, accredited IDIADA staff entered the terminal to instrument the machine and start up the measurement equipment for PEMS testing activity. On 11th June 2021 and 21st June 2021 official tests were carried out. Between these days, IDIADA staff changed the measuring equipment from the natural gas engine to the diesel engine.

In order to measure and analyse the pollutants emitted by both the diesel and natural gas engine, a HORIBA OBS-ONE Portable Emissions Measurement System (PEMS) was installed at the top of the straddle carrier.

To obtain more information about the real operation of the gas engine with respect to diesel, it was decided to install a flowmeter in each engine, and thus find out the

fuel flow consumed by each of the engines

The first approach of the project was to perform the same tests defined and performed in June 2016. Despite the desire to perform these tests, the same test sequence could not be followed due to the safety operation of other straddle carrier systems. Thus, a new test sequence was defined. It must be mentioned that there were considerable differences in the test sequence or duty cycle compared to the tests performed in 2016. This time, all tests were performed with no container, so no payload was applied, as the machine could not be driven to pick it up nor to carry it between defined start and end points of the duty cycle. The machine was unable to be moved, so the tests were carried out in a static mode, with no payload, in order to maintain safety conditions and not interfere with the terminal's operations. The tests were performed by raising and lowering the spreader (the part of the machine that would hold the container), which weighs about 2 tons.

As we said, tests were finally performed on 11th June 2021 and 21st June 2021. During both days, all instrumentation signals were recorded in both engines, but PEMS was only measuring one of the engines. First and second days were dedicated to measuring by means of PEMS the natural gas and diesel engines respectively.



Figure 64. PEMS installed on top of the straddle carrier, front and back side views



Figure 65. Coriolis Flowmeter for the gas-fuelled engine



Figure 66. Spreader to lift containers

In this PEMS test, ten spreader lifts and lowers were carried out at maximum load, with 10-second pauses in between each action. To do this, the following sequence was carried out at the machine start-up point:

1. Lifting the spreader from the ground at maximum power.
2. Stop for 10 seconds with the spreader in the upper position and the engine in full load.
3. Lower the spreader to the ground.
4. Stop for 10 seconds with the spreader in the lower position and the engine idling.

After performing the sequence ten times, *Test 01* was complete. After a 5-minute break, the test was repeated with a change of the gas-fuelled engine ECU calibration. This test repetition was called *Test 02*.

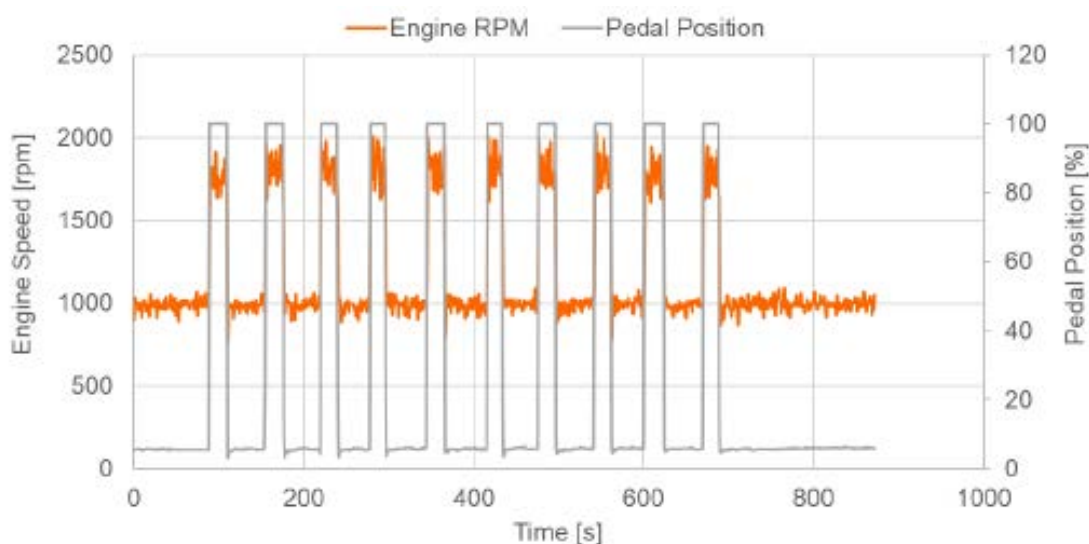


Figure 67. Test 02 duty cycle corresponding to 1st PEMS testing day (data corresponding to the diesel engine)

After the tests were performed for both the diesel and the gas-fuelled engine, it was decided that Test 02 was to be taken as representative of both engines and then compared. The duration of the warm-up was a little bit shorter on Day 1 (11th June). This fact could have affected the comparison of Test 01 between both days, but as Test 01 was decided not to be evaluated because the calibration of the engine was changed to further improve the emissions and performance of the machine. Therefore, Test 01 was used as an extension part of the warm-up phase.

Although the duration of the Tests 02 was the same, thus, comparable between them, the execution of the test was slightly different in terms of sequence, as the human factor plays a role in that aspect. In the following graph, where the CO₂ emissions corresponding to Tests 02 are plotted second by second, this fact can be observed.

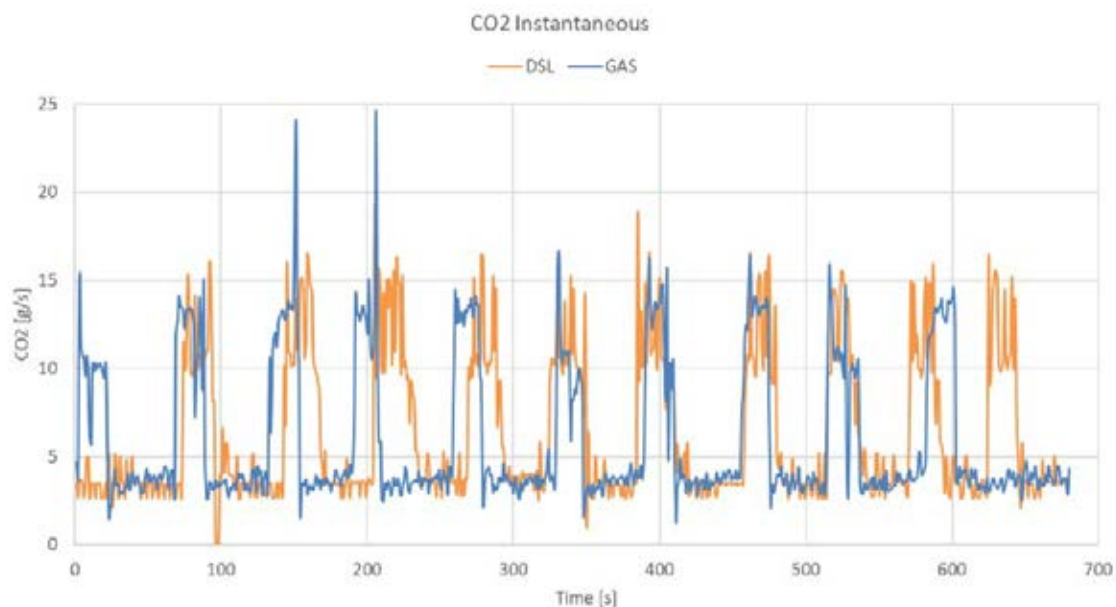


Figure 68. Test 02 instantaneous CO₂ emissions comparison between both days

In the following graphs we can see the comparison of the pollutant emissions between the diesel and natura gas engine.

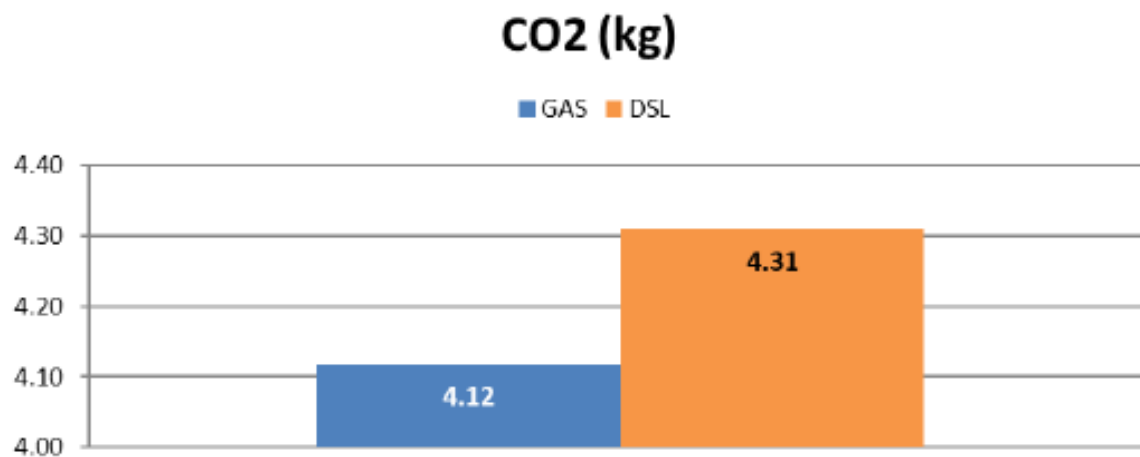


Figure 69. Overall CO₂ emissions on Tests 02

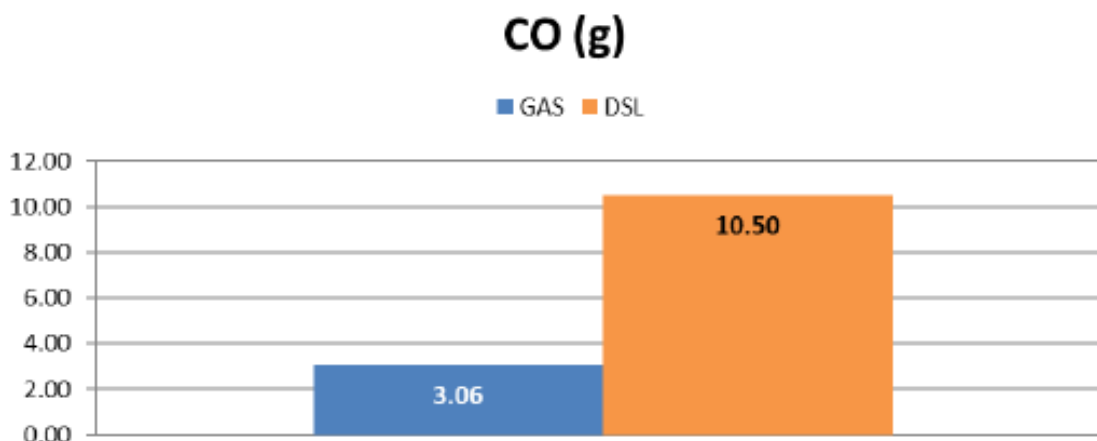


Figure 70. Overall CO emissions on Tests 02

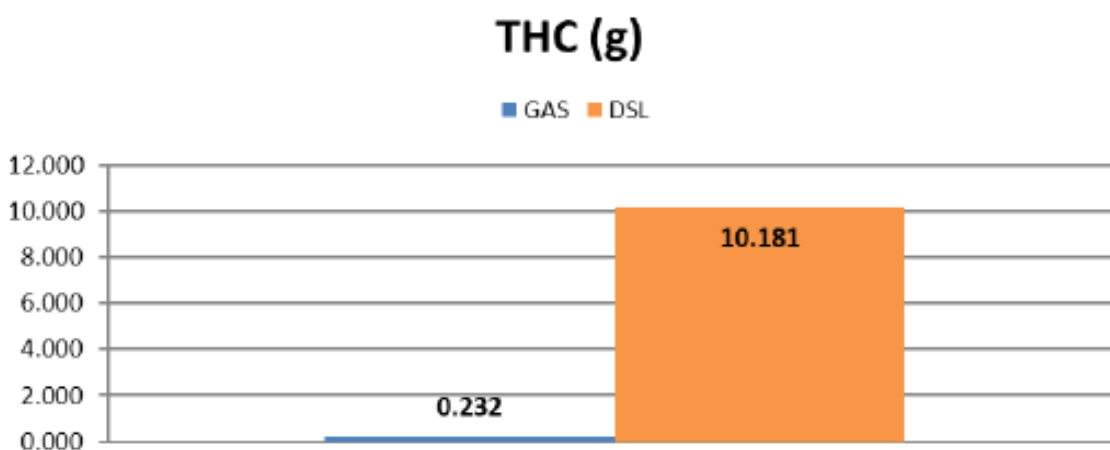


Figure 71. Overall THC emissions on Tests 02

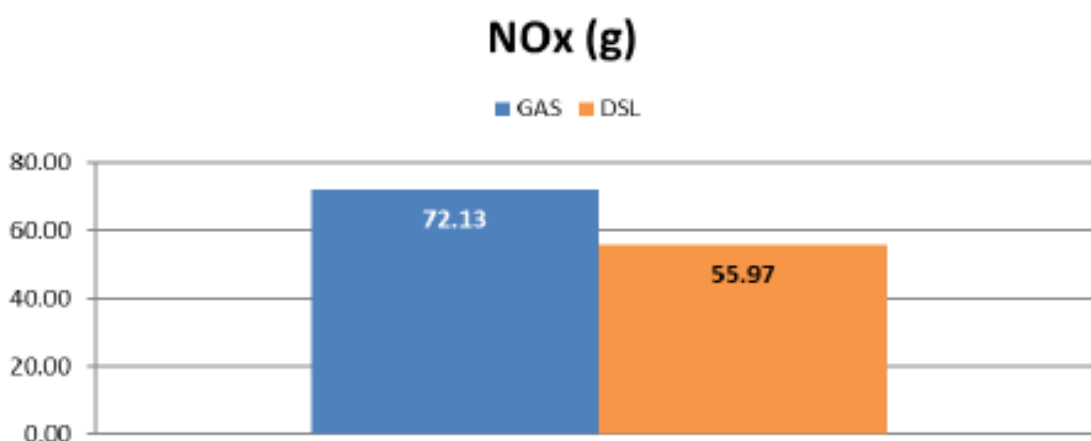


Figure 72. Overall NOx emissions on Tests 02.

In that case, the NO_x emitted by the natural gas-fuelled engine was 29% (16.15 grams) higher than the one that the diesel-fuelled engine emits. This increase in NO_x emissions might be attributable to higher combustion temperatures in gas-fuelled engines and not having a dedicated catalyst for NO_x reduction.

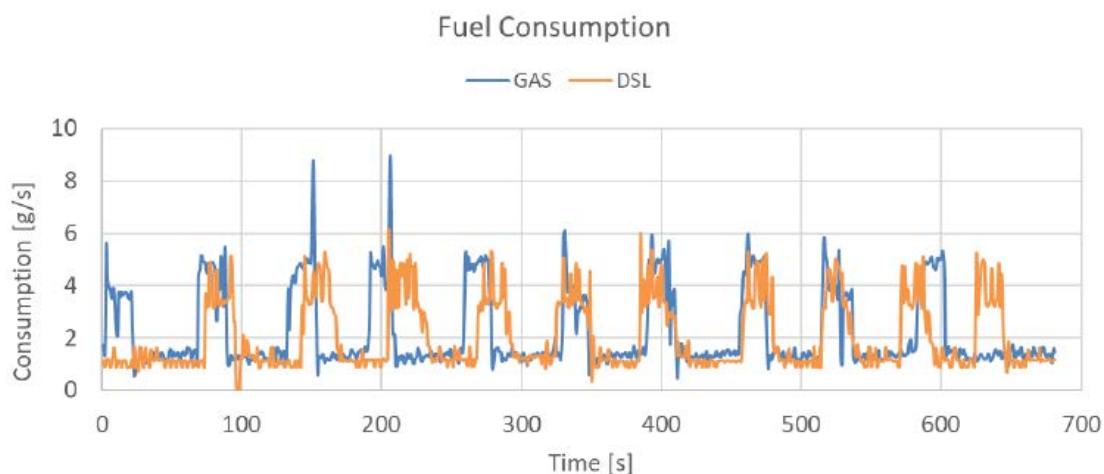


Figure 73. Instantaneous fuel consumption of both engines over each test day

Position of exhaust analyser	Gas engine	Diesel engine
Test	Test 02	Test 02
Date	11/06/21	21/06/21
Gas engine ECU Calibration	Cali.2	N/A
Gas Consumption (kg)	1.503	--
DSL Consumption (kg)	--	1.427
Duration (s)	680.00	680.00
CO (g)	3.06	10.50
CO ₂ (kg)	4.12	4.31
THC (g)	0.232	10.181
NO _x (g)	72.13	55.97
Ambient temperature (°C)	34.01	30.58
Relative Humidity (%)	23.81	42.27
Ambient Pressure (kPa)	101.78	101.40

Table 25. Summary of test conditions and results

As explained in previous reports, the diesel engine and the converted engine were installed at IDIADA test bench to configure the most appropriate calibration of the gas engine to work under the same power and torque conditions as the diesel engine. At the same time, the improvement of pollutant emissions and optimization of fuel consumption were carried out on the natural gas engine before installing it

on the straddle carrier. IDIADA completed this activity with performance and emission tests to analyse the benefits of the natural gas engine compared to the original engine.

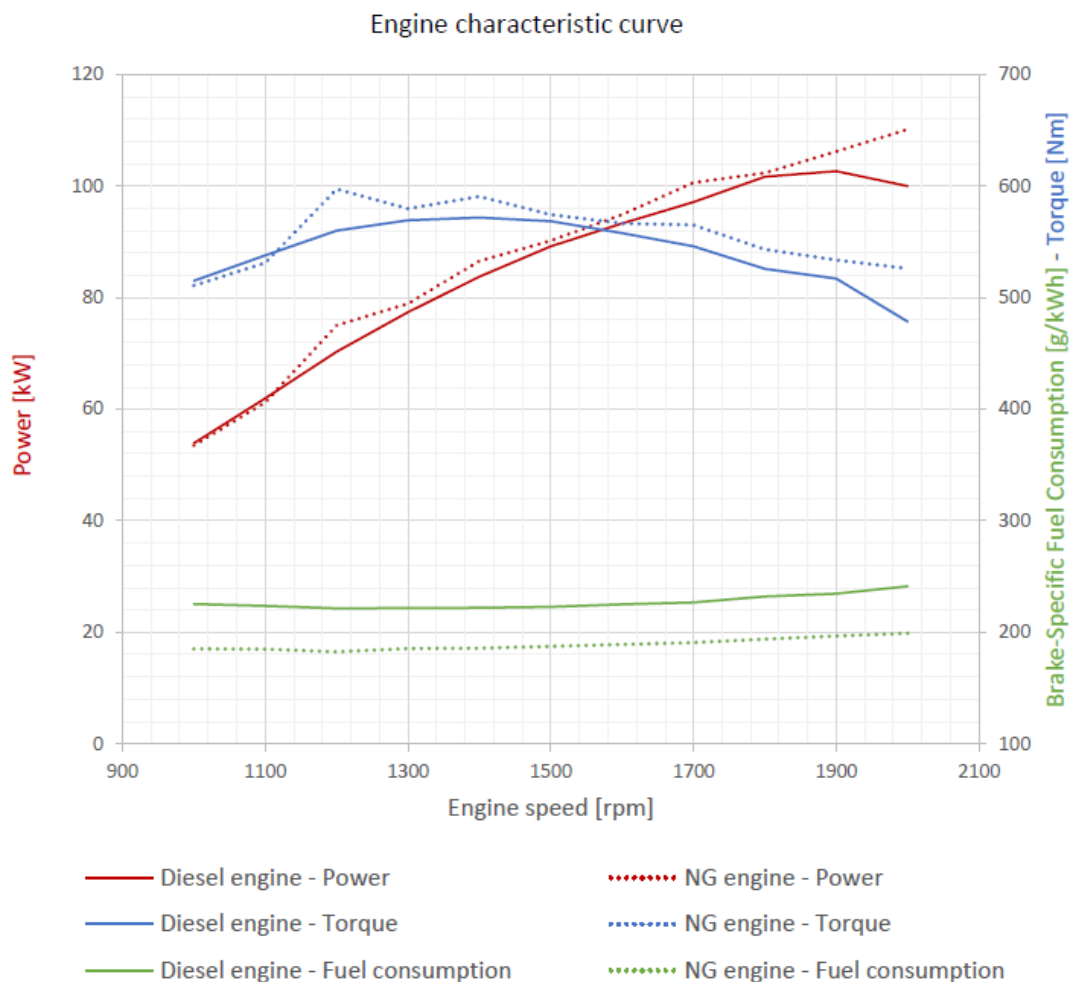


Figure 74. Full load curve results

The converted engine has similar performance as the baseline engine; power and torque curves follow the same trend and have comparable values. An improvement in torque and power of the converted engine was observed; from 1100 rpm and during the rest of the curve, the engine torque improved, obtaining 20Nm more than in the diesel engine. The natural gas power is also slightly higher, starting at 1100 rpm.

The Brake-Specific Fuel Consumption (BSFC) achieved after the calibration of the converted engine decreases significantly in comparison with the diesel engine, reducing it by around 6%, which indicates that at full power, the natural gas engine has a similar efficiency improvement regardless of the engine speed. Fuel consumption is improved because the lambda value and the ignition timing have been optimized.

The same steady-state cycle composed of several stabilized points at different load and speed similar to the actual behaviour of the machine were carried out for each engine. Pollutant emissions were measured at the end of the exhaust tailpipe and, in the case of the natural gas engine, after the MOC (Methane Oxidation Catalyst). The specific emissions were calculated by means of average emission mass flow rate and average engine power. Specific fuel consumption was also calculated:

	NO _x g/kWh	CO g/kWh	HC g/kWh	CO ₂ g/kWh	Fuel consumption g/kWh
Diesel engine	7.922	2.546	0.788	752.601	238.12
NG engine	12.333	0.000	0.006	622.111	211.75
Reduction	-56%	100%	99%	17%	11%

Table 26. Steady-state cycle emission results of diesel and NG engine

Since the original engine was manufactured before 1999, concretely from the 80s, so it did not comply with any Stage and did not follow any emissions limits, it can be considered prior to Stage I.

The gas engine was tested following the current regulation R(EU) 2016/1628. According to the engine category (NRE-v-5), a steady-state cycle NRSC (Non-Road Stationary Cycle) was performed followed by a transient test NRTC (Non-Road Transient Cycle). For the transient test, a hot-start cycle was launched. The results are shown in the following table.

	NO _x g/kWh	CO g/kWh	HC g/kWh	CO ₂ g/kWh	Fuel consumption g/kWh
NRSC	7.605	0.000	0.003	663.358	228.94
NRTC	8.079	0.000	0.009	746.464	255.09

Table 27. Stage V emission tests results of NG engine

The results are in line with the values obtained from the previous stationary test. Except NO_x, the pollutants emissions are below the limits of Stage V.

These tests were carried out with the same auxiliaries of the machine to be able to achieve the same working conditions. Originally, the straddle carrier did not have an intercooler, but a second batch of emission tests with the installation of an

intercooler in the test bench was launched in order to see the NO_x production. Using an intercooler will mean lower air temperature, a reduction in the combustion temperature and more air for the same amount of fuel. The following table presents the results of the emission tests performed with intercooler.

	NO _x g/kWh	CO g/kWh	HC g/kWh	CO ₂ g/kWh	Fuel consumption g/kWh
NRSC	5.992	0.000	0.003	670.089	246.46
NRTC	7.804	0.000	0.007	761.947	278.92

Table 28. Stage V emission tests results of NG engine with intercooler

The results show that the lower air temperature and higher air/fuel ratio reduce the NO_x emission even when fuel consumption is higher.

The installation of an intercooler could be implemented in future steps of the project to further improve the emissions performance of the straddle carrier. There are, along with this proposal, other solutions that would allow a reduction of emissions but which, mainly for reasons of machine space and capacities as well as economic reasons, do not fall within the scope of this project:

- Installation of intercooler

Although the benefits of installing an intercooler can be clearly seen in the test bench results, the machine does not have an intercooler or space to install it. In addition, a thermal management study would be necessary for its sizing, which could even mean modification of cooling system of the machine.

- Installation of NO_x trap catalyst

To significantly reduce NO_x emissions in the current engine configuration, a urea-SCR system should be used. The Selective Catalytic Reduction (SCR) converts NO_x emissions with NH₃ to N₂ (atmospheric nitrogen) and H₂O and an Ammonia Slip Catalyst (ASC) prevents NH₃ emissions, which may be caused by the SCR at low temperatures. But the engine compartment in the machines makes it impossible to install an additional catalyst with urea injection system. To install both catalysts as well as the auxiliaries such as urea injectors, pump and tank, an additional machine study is required.

- Stoichiometric mixture

The new engine works with lean mixtures to avoid high combustion temperatures and thus protect the original engine materials. Working with stoichiometric mixtures would mean improved emissions but higher temperatures. This would imply the change of material of components in contact with the combustion of natural gas, such as valve seats and valve, piston rings or exhaust manifold. According to this

type of combustion strategy, a different configuration of emissions aftertreatment must be used. Three-Way Catalyst (TWC) can be used on stoichiometric natural gas engines to reduce NO_x and oxidize HC/CH₄ and CO emissions. The emission reduction can further improve with additional elements; there are three possible configurations, the performance of which should be investigated to know which is the most suitable configuration for this project.

- Option 1: TWC + SAOC + Uncoated PF. The TWC is responsible for NO_x control in this configuration, which also includes an ammonia catalyst (SAOC) and an uncoated particle filter (PF).
- Option 2: TWC + de-NO_x cat + SAOC + Uncoated PF. This option focuses on the improvement of NO_x (de-NO_x catalyst), NH₃ (SAOC) and particles emission (uncoated DF). In this case, the control of NO_x emission is further adjusted but will require a large space envelope to fit all parts.
- Option 3: TWC + coated PF + SAOC This option includes an innovative component called coated PF, which combines the TWC and PF functionalities into a single element and is positioned before SAOC. The reduction functionality of the de-NO_x catalyst is more challenging in this option.

Both the change of materials and the installation of a more complex aftertreatment system would be a challenge for the improvement of the engine, and it involves an important investment in design, manufacturing and installation of new parts.

11. **Operator's** manual: Training for stevedoring and maintenance personnel

This manual shows (see annex 10) the mechanically and electronically necessary instructions that must be followed to convert VALMET 612 diesel engines to natural gas engines.

The document is divided into several sections based on: general diagram of a gas engine, mechanical modifications, implementation of the electronic engine control system or operation and detection of possible breakdowns. Each section contains detailed information accompanied by a multitude of images of assemblies, many of **them with parts and assemblies' breakdowns, created in order to facilitate assembly and disassembly for replacement and/or repair work.**

This document is expected to be a useful tool for those operators who are in charge of this converted straddle carrier, either for use or maintenance. It has been written in Spanish because it is addressed to the stevedoring and maintenance personnel of APMT Terminal Barcelona, located in the Port of Barcelona.

It has to be noted that the training of the APMT's mechanical staff and of the stevedores was not carried out as initially planned, due to the lack of time after the pilot phase.

In the following images we can find some examples of different assemblies:

Confidential

Figure 75. Example of this manual: Intake manifold turbo assembly components

Confidential

Figure 76. Example: Crankshaft monitoring device parts drawing

	Confidential		

Table 29. Example of a table with the set of components needed for maintenance: Intake duct components - turbo compressor (left engine)



Figure 77. Example: Disconnection procedure LNG pistol

Confidential

Figure 78. Example: parts of the LNG tank

For more details, see the report in Annex 10.

12. Conclusions

This report compiles all the work carried out over more than 5 years by the partners of the EPM3 sub-activity to develop the transformation of a straddle carrier to natural gas.

Throughout the project, problems have arisen, some of them major, such as the catastrophic failure of a converted engine on the test bench, together with the inconvenience caused by the covid, which have caused delays in the implementation of the pilot phase.

But despite these delays, finally, it has been possible to convert a straddle carrier with a 100% natural gas engine, 2 LNG refuellings and the PEMS emission measuring tests have been carried out.

In the following link you can see a video summary of all the pilot phases of the EPM3 sub-activity of the Core LNGas hive project.

https://youtu.be/M9-ni_k0QrA



Figure 79. Engine installation at test bench



Figure 80. Engine installation at the APMT straddle carrier.



Figure 81. Natural gas engine calibration and emissions measurements (PEMS)

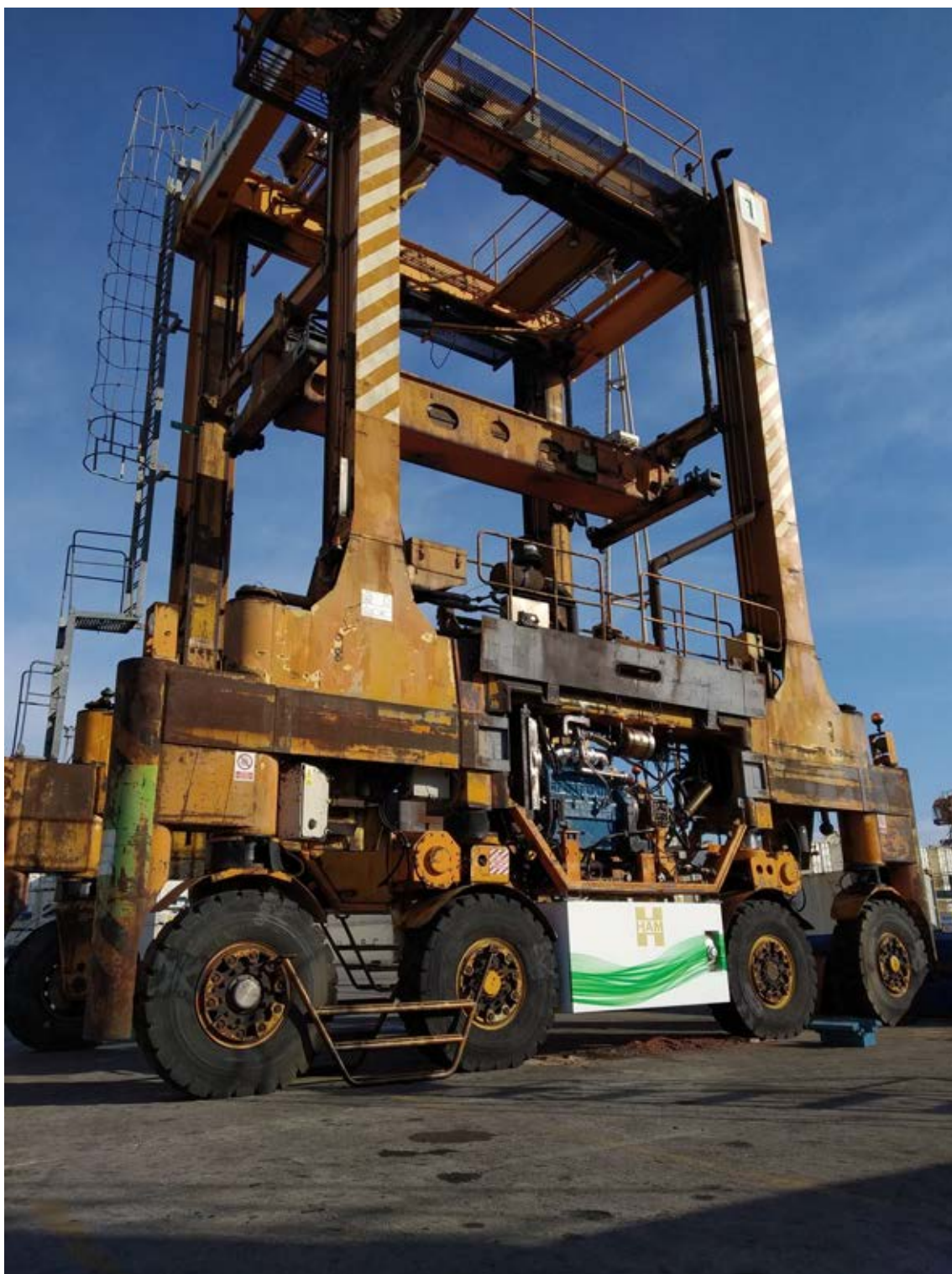


Figure 82. LNG tank installation



Figure 83. 1st LNG refuelling



Figure 84. 2nd LNG refuelling

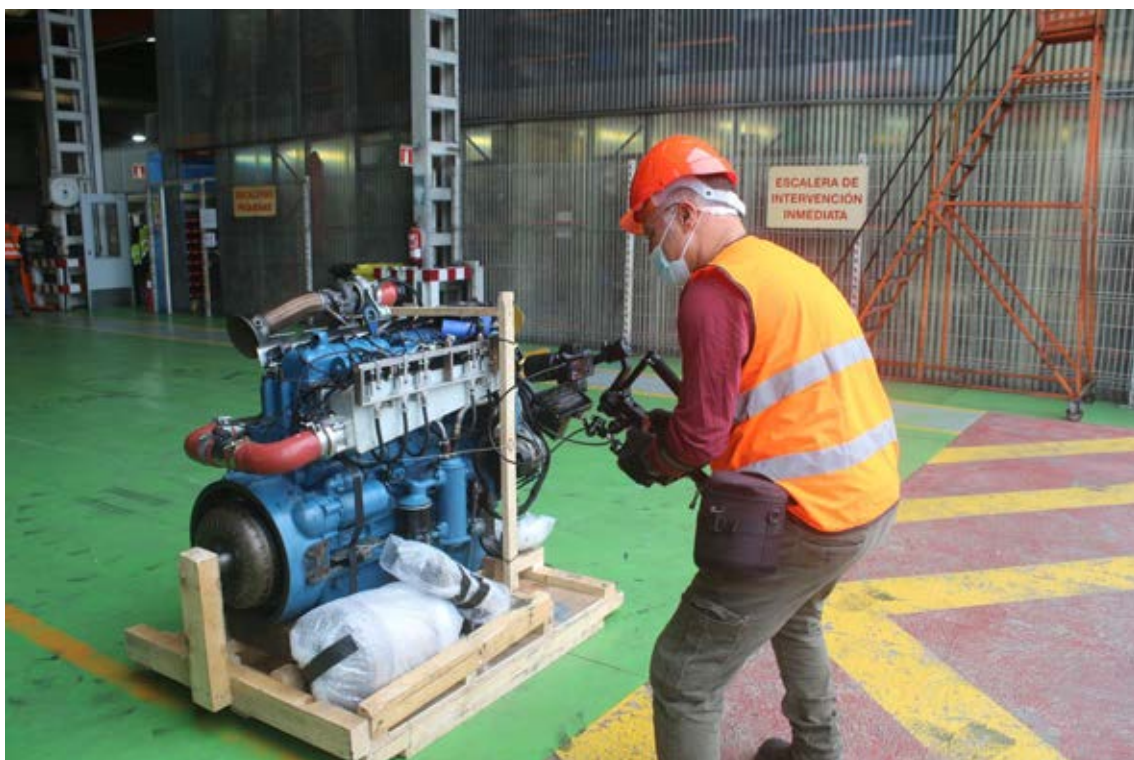


Figure 85. Recording a video for communication tasks



Figure 86. Part of the EPM3 sub-activity technicians at Idiada facilities. 2018

Annex 1

Deliverable 1.1

**The two machines
needs study in both
terminals**

Deliverable 1.1

The two machines needs study in both terminals



CORE LNGas
hive



Core Network Corridors and Liquefied Natural Gas

2014-EU-TM-0732-S

EPM3 – LNG STRADDLE CARRIERS

Deliverable D1.1: The two machine needs study in both terminals

Due date of deliverable: 15/07/2016


Actual submission date: 20/06/2018

Start of project: 01 January 2014

Duration: 60 Months

Lead Contractor for this deliverable: Sara Batista

Revision: EPM3 – LNG STRADDLE CARRIERS

 Co-financed by the European Union Connecting Europe Facility		
Dissemination level		
PU	Public	
CO	Confidential, only for members of the consortium (including the Commission Services)	X

Revision History

Deliverable Administration and summary		
Project Acronym: CORE LNGas Hive		INEA/CEF/TRAN/M2014/1026196
Document Identifier: The two machines needs study in both terminals		
Leading partner: Applus IDIADA		
Report version: version 1		
Report preparation date: October 2017		
Classification: Technical report		
Nature: CO		
Author(s) and contributors: APMT BEST IDIADA		
Status		Plan
		Draft
		Working
	x	Final
		Submitted
		Approved

The Core LNGas Hive consortium has addressed all comments received, making changes as necessary. Changes to the document are detailed in the change log table below.

Date	Edited by	Status	Changes made

Copyright

This report is © CORE LNGas Hive Consortium 2015. Its duplication is allowed only in the integral form for personal use or for the purposes of research and education.

Citation

Applus IDIADA (2017). Deliverable EPM3 – LNG STRADDLE CARRIERS – The two machines needs study in both terminals. CORE LNGas Hive consortium, www.corelngashive.eu

Acknowledgements

The work presented in this document has been conducted in the context of the action INEA/CEF/TRAN/M2014/1026196 CORE LNGas Hive. CORE LNGas HIVE is a 60 month project started on January 1st, 2014.

The project consortium is composed of: Enagás Transporte, S.A.U. (Enagás), Sociedad de Salvamento y Seguridad Marítima (SASEMAR), Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Universidade de Santiago de Compostela (USC), ENTE VASCO DE LA ENERGÍA (EVE), Autoridad Portuaria de Barcelona - Port de Barcelona (APB), Port Authority of Cartagena (PAC), AUTORIDAD PORTUARIA DE FERROL-SAN CIBRAO (APF), Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras (APBA), Port Authority of Huelva (PAH), COMPAÑÍA ESPAÑOLA DE PETRÓLEOS S.A.U. (CEPSA), Regasificadora del Noroeste, S.A. (RdN), HAM CRIOGENICA, S.L. (HAM), BUREAU VERITAS IBERIA SLU (BVI), GUASCOR POWER SA (GP), IDIADA AUTOMOTIVE TECHNOLOGY S.A (IAT), FLOTA SUARDIAZ, S.L. (Suardiaz), ITSAS GAS BUNKER SUPPLY SL (ITSAS), COMPAÑÍA DE REMOLCADORES IBAIZABAL, S.A. (IBAI), TERMINAL DE CONTENIDORS DE BARCELONA, S.L. (TCB), Terminal Catalunya, S.A. (TC), UTE REMOLCADORES DE BARCELONA-SAR, UNION TEMPORAL DEEMPRESAS, LEY 18/1982 (URB), ASTILLEROS ARMON, S.A. (AA), GAS NATURAL SDG, S.A. (GN), INSTITUTO ENERXÉTICO DE GALICIA (IEG), Fundación de la Comunidad Valenciana para la Investigación, Promoción y Estudios Comerciales de Valenciaport (Fundación Valenciaport) (FV), Planta de Regasificación de Sagunto, S.A. (PRS), MOLGAS ENERGÍA, SAU (ME), Autoridad Portuaria de Valencia (APV), SEAPLACE SL (Seaplace), BOLUDA CORPORACION MARITIMA S.L. (BCM), Autoridad Portuaria de Bilbao (APBi), RENFE MERANCÍAS S.A. (Renfe), Puertos del Estado (PdE), Dirección General de la Marina Mercante (DGMM), PORT AUTHORITY OF GIJON (PAG), Port Authority of Melilla (PAM), Santander Port Authority (SPA), Port Authority of Tarragona (PAT), Port Authority of Vigo (PAV), Port Authority of Santa Cruz de Tenerife (PASCT) and REN Gasoductos, S.A. (RENG).

More Information

Public CORE LNGas HIVE reports and additional information related with the project execution and results are available through CORE LNGas Hive public website at www.corelngashive.eu

Table of contents

List of figures	6
List of tables	7
1. Introduction.....	8
2. Visits to the terminals	9
2.1. Visits to APMT	9
2.2. Visit to BEST.....	11
3. Usage and performance of the straddle carriers.....	12
3.1. APMT straddle carrier usage and performance.....	12
3.1.1 Times of current usage	12
3.1.2 Autonomy and fuel consumption	12
3.1.3 Definition of loads and power.....	13
3.1.4 Speed of use throughout the operating cycle	13
3.1.5 Machine maintenance plan	13
3.2. BEST straddle carrier usage and performance	14
3.2.1 Times of current usage	14
3.2.2 Autonomy and fuel consumption	14
3.2.3 Definition of loads and power.....	14
3.2.4 Speed of use throughout the operating cycle	14
3.2.5 Absolute consumption of different consumables during the annual use 15	
3.2.6 Machine maintenance plan	16
4. Engine conversion	16
4.1. Engine conversion options	17
4.1.1. APMT engine conversion.....	17
4.1.2. BEST engine conversion	18
5. LNG storage station	18
5. Risk assessment.....	20
6. Conclusions	21
7. List of Acronyms and Abbreviations	22

List of figures

Figure 1: Left – straddle carrier; Right – Barcelona Seaport; Bottom – Smog in Barcelona city	8
Figure 2: APMT terminal	10
Figure 3: BEST straddle carrier	11
Figure 4: APMT fuel consumption	13
Figure 5: BEST fuel consumption	14
Figure 6: left – APMT LNG storage; right – BEST LNG storage.....	19

List of tables

Table 1: Allowed speed of APMT straddle carrier	13
Table 2: Annual fuel consumption of the different BEST straddle carriers	15
Table 3: Annual AdBlue consumption of the different BEST straddle carriers	16
Table 4: Fuel consumption to estimate the LNG storage station	19
Table 5: Risk assessment in the project.....	20

1. Introduction

As part of CORE LNGas Hive, a pilot activity is being developed in order to demonstrate the use of LNG as fuel for straddle carriers inside two terminals of Barcelona Seaport.

The activity started in January 2016 and will last until 2019. The main activities will be performed in 2016 and 2017, while the pilot follow up will continue until 2019.

The pilot is estimated to be performed inside APMT and BEST terminals, both inside Barcelona Seaport. Thus, the following participants are involved in this project: APB, BEST, GNF, HAM, APMT and IDIADA.

This document summarizes the main visits developed at APMT and BEST terminals by Applus IDIADA during the initial phase of the project. Also, the received information is studied to make some scenarios of the engine conversion process and after that, a planning of the prime activities involved is taken into account. Once the characteristic of the machines and engines are identified, a first solution of the conversion is given. The LNG storage and station capacity is specified in order to design the fuel supply system. To finalize, a risk assessment is presented.

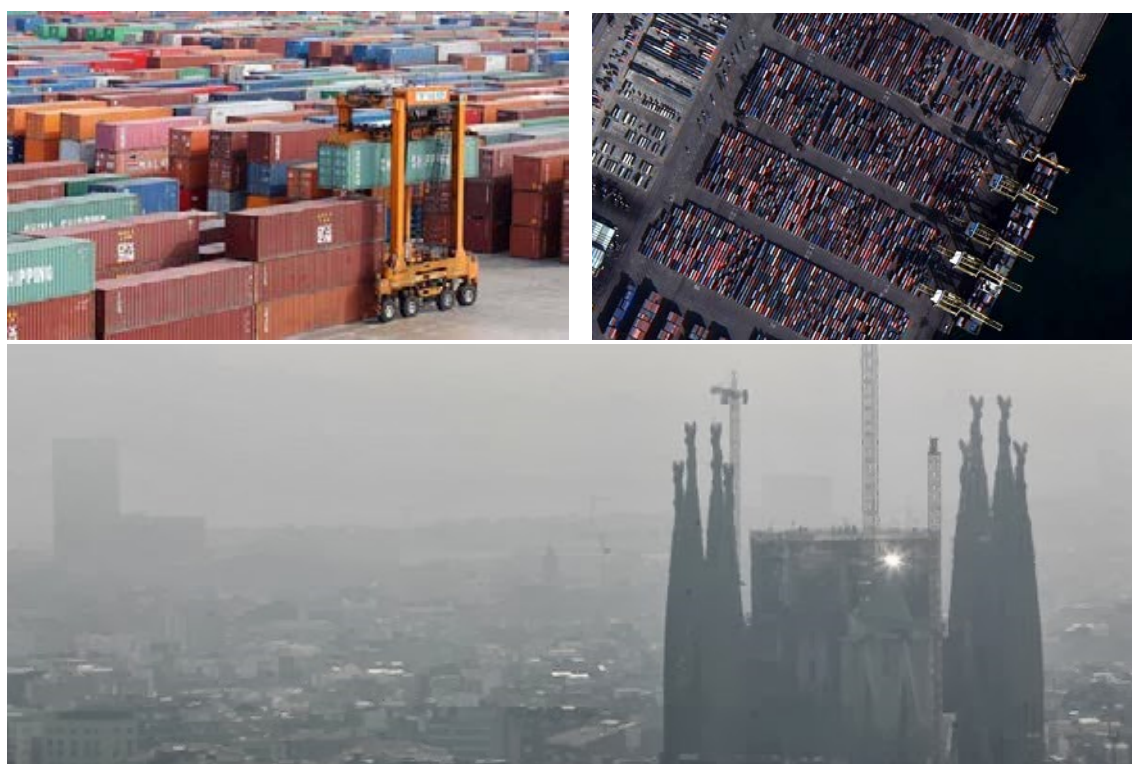


Figure 1: Left – straddle carrier; Right – Barcelona Seaport; Bottom – Smog in Barcelona city

2. Visits to the terminals

2.1. Visits to APMT

In this project, to study the operation of straddle carriers, their location and a lot more issues, IDIADA had to visit both APMT and BEST terminals. The first visit to APMT terminal was on 29th January 2016.

The main topics of the visit were:

- Visit the straddle carrier.
- Visit the Diesel refilling zone.
- Visit the workshop.

As seen at APMT terminal, this one makes use of a Straddle Carrier which uses two VALMET 612 engines with an age between 15 and 20 years. Each engine has an output power of 180 hp with an average consumption of 19 litres per hour in addition to a maximum daily usage of 8 hours.

Apart from the straddle carriers, APMT showed their facilities, workshop, refilling zone (Diesel only) and confirmed their support for any machine modification either on the workshop or the mechanics.

APMT was able to see some opportunities in this project. One of them is that APMT have a high interest in the knowledge about the new fuel usage, they know there is a project under development but they require the details of it. One of their concerns is related to the LNG refilling process.

IDIADA informed that all involved stakeholders must perform a workshop/training, especially the maintenance team, owing to their responsibility for the refilling process.

On 22nd February 2016 the second visit was held and the main topic was the gathering of information about the engine and straddle carriers, especially workshop manuals.

In that meeting there was a handover of workshop manual between APMT and IDIADA, the refilling zone was located and identified and APMT Occupational Health and Safety were involved in the project.

During that second visit, the straddle carrier fuel consumption was higher than first visit, being about 25 litres per hour; so it will be serviced before resuming services in the terminal.

At this point, IDIADA had to confirm the following issues:

- Fuel consumption and emissions test schedule.
- A general project schedule.

GNF had to confirm:

- The status of the logistic study and tentative configuration for the LNG station.

IDIADA considered that the best solution would be a fixed facility located more than 15 m from Diesel station, which could allocate a daughter station with a LNG tank whose capacity would be from 4 to 5 m³; knowing that LNG density is 450 kg/m³. This would manage to reduce GNF refilling activities to once per week approximately.

Nevertheless, the real usage expected by APMT is still unknown up to date, for that reason, the LNG tank sizing would be necessary.



Figure 2: APMT terminal

2.2. Visit to BEST

The visit to BEST terminal was performed on 10th February 2016.

The main topics of this visit were the following:

- Visit the KALMAR straddle carrier.
- Visit the Diesel refilling zone.
- Visit the workshop.

As seen at BEST terminal, the straddle carrier makes use of a single 8.4 litre SISU engine with an output power of 273 kW and a torque of 1500 Nm, and its location is on the roof with a very difficult access. This engine is approximately 3 or 4 years old with an average fuel consumption of 19 litres per hour, being its maximum daily usage about 14 hours. Unfortunately, the straddle carriers are daily used and, for that reason, their availability for IDIADA's tasks is very limited.



Figure 3: BEST straddle carrier

Despite those issues, BEST showed their facilities, workshop, refilling zone (Diesel and AdBlue) and confirmed their support for any machine modification, either the workshop or the mechanics.

LNG tanks were decided to be installed on the machine sides.

IDIADA had to confirm the following issues:

- A fuel consumption and emissions test schedule.
- A general project schedule.

GNF had to confirm:

- The status of the logistic study and tentative configuration for the LNG station.

Like APMT terminal, IDIADA considered that the best solution would be a fixed facility located more than 15 m from Diesel station, which could allocate a daughter station with a LNG tank whose capacity would be from 5 to 6 m³; knowing that LNG density is 450 kg/m³. This would manage to reduce GNF refilling activities to once per week approximately.

Nevertheless, the real usage expected by BEST is still unknown up to date, for that reason, a sizing of the LNG tank would be necessary.

3. Usage and performance of the straddle carriers

In this section, the current activities of the straddle carriers of each terminal are identified -including topics such as their usage, the fuel consumption and the maintenance plan - in order to study and make the transformation of the engine of these machines.

3.1. APMT straddle carrier usage and performance

3.1.1 Times of current usage

The machines of APMT work around 185 hours per month on average, some of them even work 360 hours.

The average breakdown time of the straddle carriers is approximately 27 hours per month, within which 21 hours are dedicated to corrective actions, 4 hours to preventive actions and 2 hours are due to accidents.

3.1.2 Autonomy and fuel consumption

The average monthly consumption of fuel of the APMT straddle carriers is 3,860 litres. In this terminal, there are 17 straddle carriers similar to the one that will be transformed whose consume is 65,597 litres of diesel per month.

The following diagram shows the monthly fuel consumption of all the straddle carrier of the terminal, as well as the average fuel consumption of this set of straddle carriers during the last months.

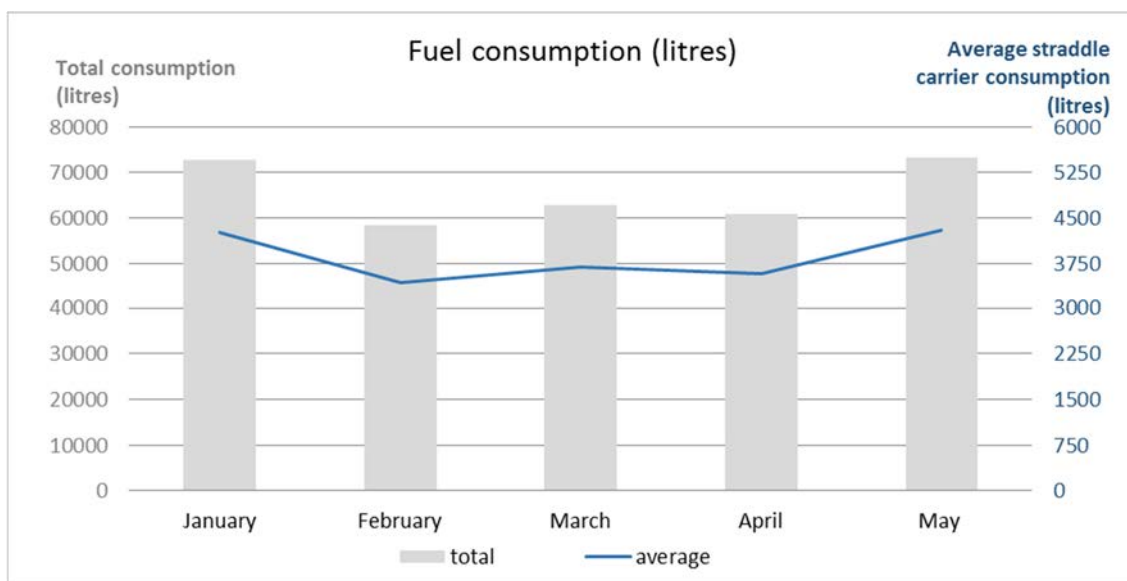


Figure 4: APMT fuel consumption

3.1.3 Definition of loads and power

The straddle carrier is equipped with two Valmet 612 DS engines with a maximum power of 135 kW/2,300 rpm. The minimum speed of the engine is 750 rpm (± 50 rpm) while the maximum speed is 2500 rpm.

The load capacity of these machines is 40 tones.

3.1.4 Speed of use throughout the operating cycle

The drive speed of the machine during a no-load operation is 25 km/h and when it is charged, it reduces to 24 km/h.

During the process of elevation and descent, the speeds are those mentioned below:

Table 1: Allowed speed of APMT straddle carrier

Speed	No-load operation	Load operation
Drive speed	25 km/h	24 km/h
Lifting speed	24 m/min	18 m/min
Descending speed	18 m/min	18 m/min

3.1.5 Machine maintenance plan

The maintenance plan of the machine takes into account the VALMET engine as well as the gearbox and power transmission, the hydraulic system of the machine, the spreader, the steering, the different mechanical assemblies, the lubrication system, the electrical equipment and the brake system.

The maintenance intervals of the straddle carrier machine are 250 hours, 500 hours, 1000 hours and 2000 hours and, for each interval, all points and components that must be verified, changed, adjusted or cleaned are specified in the internal service instructions.

3.2. BEST straddle carrier usage and performance

3.2.1 Times of current usage

The machines work around 450 hours per month doing 4 shifts of 6 hours; from 8 am to 2 pm, from 2 pm to 8 pm, from 8 pm to 2 am and from 2 am to 8 am.

The maintenance tasks of the machines are performed in intervals of 1000 hours, 2000 hours and 4000 hours.

3.2.2 Autonomy and fuel consumption

The average annual fuel consumption of the BEST straddle carriers is 71,277 litres. In this terminal, there are 25 straddle carriers available that consume a total of 1,710,663 litres of diesel per year.

The following diagram shows the monthly fuel consumption of all the straddle carrier of the terminal, as well as the average fuel consumption of this set of straddle carriers. As can be seen, during winter and summer months the fuel consumption increases.

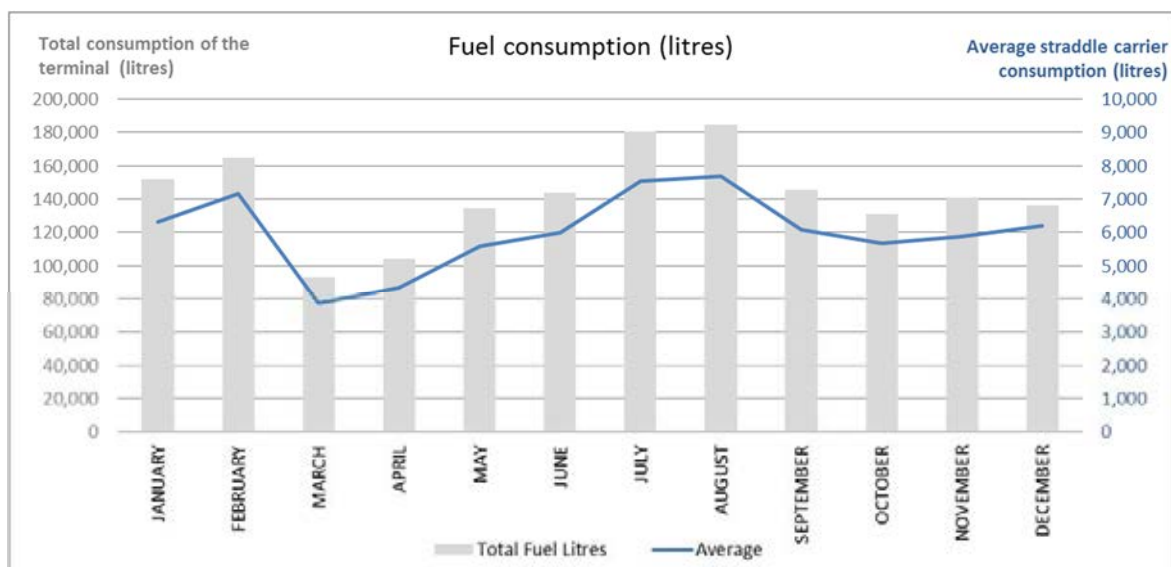


Figure 5: BEST fuel consumption

3.2.3 Definition of loads and power

The straddle carrier is equipped with a 273 kW/1500Nm engine. The maximum load lifted by the straddle carrier is 50 tons.

3.2.4 Speed of use throughout the operating cycle

The operation speed is around 30 km/h and it is limited depending on the radius of rotation and the height of the load.

3.2.5 Absolute consumption of different consumables during the annual use

The annual fuel consumption of the different straddle carriers of the terminal is shown in the following table, whose average is 71,277 litres of diesel as explained above.

Table 2: Annual fuel consumption of the different BEST straddle carriers

Straddle Carrier	Total Fuel Litres
SC-01	74,734
SC-02	64,788
SC-03	76,613
SC-04	75,476
SC-05	71,730
SC-06	64,099
SC-07	78,763
SC-08	74,312
SC-09	63,243
SC-10	77,790
SC-11	83,677
SC-12	70,990
SC-14	68,510
SC-15	78,931
SC-16	67,731
SC-17	63,462
SC-18	59,252
SC-19	60,858
SC-20	57,843
SC-21	71,096
SC-22	71,727
SC-23	82,406
SC-24	82,289
SC-25	70,345
Total	1,710,663

With respect to other additives, the engine of the BEST straddle carrier is equipped with an SCR system, Selective Catalytic Reduction, which is an aftertreatment technology used in diesel engines designed to permit the reduction of nitrogen oxide (NOx). It reduces levels of NOx by injecting a liquid-reductant agent through the catalyst system. This reductant is urea more commonly known as AdBlue, the trademark registered.

The annual consumption of AdBlue of BEST straddle carriers is specified in the following table. The average AdBlue consumption of the machine is 2,800 litres per year.

Table 3: Annual AdBlue consumption of the different BEST straddle carriers

Straddle Carrier	Total AdBlue Litres
SC-01	3,796
SC-02	3,377
SC-03	2,682
SC-04	3,245
SC-05	3,373
SC-06	2,236
SC-07	2,475
SC-08	2,211
SC-09	2,448
SC-10	3,006
SC-11	2,929
SC-12	4,851
SC-14	2,369
SC-15	2,396
SC-16	1,705
SC-17	1,825
SC-18	1,725
SC-19	1,002
SC-20	2,239
SC-21	2,418
SC-22	4,291
SC-23	4,544
SC-24	3,132
SC-25	2,945
Total	67,221

3.2.6 Machine maintenance plan

The maintenance plan is complex and 3 types of inspections are carried out, every 1000 hours, 2000 hours and 4000 hours where the previous plan is repeated and additional points are added. For example, in the 2000 hours plan, 1000 hours plan is repeated and some points are attached.

The maintenance plan of the machine includes not only the engine, but also the lifting and translation systems, the spreader and machine structure.

4. Engine conversion

According to the information gathered up to wk8-2016, the scenario for APMT straddle carrier means that two engines are needed, instead of 1, as planned for the

project. Moreover, the baseline characterization is more complex with portable equipment. These two consequences impact timing and costs.

On the other hand, there are two positive points and they are that there was full availability, both of the straddle carrier for any activity and the engines for consumption and emissions assessment by IDIADA test bench team.

However, the scenario for BEST straddle carrier showed that there was not full availability of the straddle carrier for any activity, which means that IDIADA had to make a very strict schedule for minimum impact on BEST's daily operations. Besides, there was not full availability of the engines for consumption and emissions assessment by IDIADA test bench team either, so countermeasures would be evaluated.

These were the next steps related to straddle carriers baseline characterization:

- The design of a typical operating cycle by IDIADA in cooperation with APMT. The purpose of this cycle was to gather information of the fuel consumption and emissions. This activity was planned for week 9 in 2016.
- Consumption and emissions tests at APMT tentative planning performed by IDIADA from week 13 to week 14 in 2016.
- Consumption and emissions tests at BEST tentative planning carried out by IDIADA from week 15 to week 16 in 2016.

4.1. Engine conversion options

IDIADA has been able to identify some possible different engines based on the baseline engines used in the straddle carriers.

Since there is not any regulation in place allowing NG for Non-Road applications yet, IDIADA sent a technical question (17/02/2016) to Bureau Veritas in order to confirm if this company would accept a Straddle Carrier re-certification considering this new gas engine according to Directive 2012/46/EC and equivalencies from R49.06/Dir.595.

4.1.1. APMT engine conversion

From APMT's side, this terminal makes use of two VALMET 612's with 134 kW each as baseline engines. Initially, the proposed engine had the following issues:

- The modification of the baseline engine would have to be evaluated. Moreover, APMT would like to stand the chance to return to Diesel in the future, however, the straddle carrier maybe is too old so it could not be too critical.
- If the modification is not possible, some replacements are considered:
 - Cummins ISB6.7 G200 engines.
 - Weichai WP7 engines.
 - Other options are under evaluation.

Finally, it was decided to convert the diesel engine of the straddle carrier into a gas engine supplied by natural gas. Hence the conversion of the Valmet 612 engine will be based on the modification of few parts and the substitution or implementation of some systems. In other words, the combustion chamber will be modified by the

mechanization of the piston and a part of the head, in order to reproduce accurately the gas combustion. At this point, a study of the piston bowl shape and compression ratio values will be developed.

This type of combustion needs spark plugs to ignite the mixture and gas injectors, which will be located in a new design of intake manifold. To obtain the best conditions, Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation is going to take part during the design process.

Moreover new components – such as supports – and new systems will be analysed according to the engine status. For example, components that are not installed in an old engine should be taken into account like the Electronic Control Unit (ECU), electric wiring and sensors. According to the engine operating conditions, it will be necessary to choose a throttle valve, a turbocharger, an intercooler and a catalyst. Most of these systems shall be studied after the gas combustions environment.

4.1.2. BEST engine conversion

From BEST's side, the terminal uses a SISU 273 kW/1500 Nm engine. Initially, the proposed engine had the following specs:

- The modification of the baseline engine is not feasible due to the fact that BEST would like to return to come back to Diesel engines in the future.
- If the conversion is not possible, some replacements are considered:
 - Cummins ISL-G 320 engines.
 - Weichai WP12 engines.
 - Other options are under evaluation.

Lastly, it was decided to convert the diesel engine of the BEST straddle carrier into a dual fuel engine, which means that the engine operates with diesel or both diesel and natural gas. This sort of engine allows returning to diesel combustion at any moment. Before developing the engine conversion, the feasibility of the straddle carrier is needed to know.

5. LNG storage station

In order to calculate the capacities of the LNG storage station, an estimation of the natural gas consumption has been done considering that the transformation of the engines will reach similar performance values to current engines. Therefore, the lower calorific value¹ has used to convert the diesel consumption into natural consumption.

¹ LCV_{diesel}=11.80 kWh/kg; LCV_{LNG}=12.53 kWh/kg; Source: IDAE.

Table 4: Fuel consumption to estimate the LNG storage station

Straddle carrier	Diesel consumption	Estimated LNG consumption
APMT	25 l/h	19.6 kg/h
BEST	19 l/h	14.9 kg/h

In the case of the APMT straddle carrier, if it is considered that both engines consumes in total 19.60 kg/h approximately during 8 h every day, the overall fuel consumption is about 157 kg per day. Therefore, the proposed LNG storage station should be larger than 750 kg with a capacity of 6 m³. This station would have to be refilled once per week.

At BEST terminal, the engine which BEST uses consumes around 14.9 kg/h during 14 h per day; the total fuel consumption is about 208 kg per day so the proposed storage station should be bigger than 700 kg with a capacity of 6 m³. Like APMT, this station should be refilled once per week.

The location of the APMT and BEST stations are shown in the following figures:



Figure 6: left – APMT LNG storage; right – BEST LNG storage

To sum up, IDIADA considers the best solution would be a fixed facility located more than 15 m from the Diesel station, which could allocate a daughter station with a LNG tank of 6 m³ in each of the terminals.

5. Risk assessment




RISK DESCRIPTION	RISK EVALUATION	ACTION PLAN (INCLUDING COUNTERMEASURES)	RESPONSIBLE	DUE DATE	STATUS
No refilling LNG station		To confirm with GNF the real chances of implementing an LNG station	GNF	As soon as possible	Pending
No agreement with APMT and BEST for LNG purchase because of NG vs Diesel price		To confirm real prices of LNG that can be expected during the pilot	APB, GNF, APMT, BEST	As soon as possible	Pending
Permits for LNG station inside the Port terminal		APB to confirm terminals will have the rights to install LNG station	APB	As soon as possible	Pending

Table 5: Risk assessment in the project

6. Conclusions

Finally, some visits at APMT and BEST terminals were made with the purpose of knowing the machine abilities and the engines features.

The VALMET 612 engine, from APMT's terminal, was received to study and make its conversion. IDIADA is currently researching its transformation from a diesel running engine to a NG running engine.

The engine SISU at BEST terminal and its features have been possible to know them. However, the feasibility study of the engine conversion is currently taking into account.

The autonomy of both engines has been calculated as well, basically from the fuel consumption and the daily use of these engines.

7. List of Acronyms and Abbreviations

APB	Autoridad Portuaria de Barcelona – Port de Barcelona
APMT	APM Terminals
BEST	Barcelona Europe South Terminal
GNF	Gas Natural Fenosa
HAM	HAM Criogénica
LCV	Lower Calorific Value
LNG	Liquefied Natural Gas
NG	Natural Gas
NOx	Nitrogen oxides

Annex 2

Deliverable 2.1: Technical feasibility study

Deliverable 2.1:

Technical feasibility study

EPM3 – LNG STRADDLE CARRIERS



CORE LNGas
hive

CORE LNGas
hive

Core Network Corridors and Liquefied Natural Gas

2014-EU-TM-0732-S

D 2.1. Technical feasibility Study

Version 3


Due date of deliverable: 15/07/2016

Actual submission date: 9/05/2018

Start of project: 01 January 2014

Duration: 60 Months

Lead Contractor for this deliverable: Sara Batista (IDIADA)

 Co-financed by the European Union Connecting Europe Facility		
Dissemination level		
PU	Public	X
CO	Confidential, only for members of the consortium (including the Commission Services)	

Revision History

Deliverable Administration and summary		
Project Acronym: CORE LNGas Hive		INEA/CEF/TRAN/M2014/1026196
Document Identifier: The technic feasibility study		
Leading partner: Applus IDIADA		
Report version: version 3		
Report preparation date: july 2018		
Classification: Technical report		
Nature: PU		
Author(s) and contributors: IDIADA HAM		
Status		Plan
		Draft
		Working
	X	Final
		Submitted
		Approved

The Core LNGas Hive consortium has addressed all comments received, making changes as necessary. Changes to the document are detailed in the change log table below.

Date	Edited by	Status	Changes made

Copyright

This report is © CORE LNGas Hive Consortium 2015. Its duplication is allowed only in the integral form for personal use or for the purposes of research and education.

Citation

Applus IDIADA (2017). Deliverable EPM3 – LNG STRADDLE CARRIERS – Technical feasibility study. CORE LNGas Hive consortium, www.corelngashive.eu

Acknowledgements

The work presented in this document has been conducted in the context of the action INEA/CEF/TRAN/M2014/1026196 CORE LNGas Hive. CORE LNGas HIVE is a 60 months project started on January 1st, 2014.

The project consortium is composed by: Enagás Transporte, S.A.U. (Enagás), Sociedad de Salvamento y Seguridad Marítima (SASEMAR), Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Universidade de Santiago de Compostela (USC), ENTE VASCO DE LA ENERGÍA (EVE), Autoridad Portuaria de Barcelona - Port de Barcelona (APB), Port Authority of Cartagena (PAC), AUTORIDAD PORTUARIA DE FERROL-SAN CIBRAO (APF), Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras (APBA), Port Authority of Huelva (PAH), COMPAÑÍA ESPAÑOLA DE PETRÓLEOS S.A.U. (CEPSA), Regasificadora del Noroeste, S.A. (RdN), HAM CRIOGENICA, S.L. (HAM), BUREAU VERITAS IBERIA SLU (BVI), GUASCOR POWER SA (GP), IDIADA AUTOMOTIVE TECHNOLOGY S.A (IAT), FLOTA SUARDIAZ, S.L. (Suardiaz), ITSAS GAS BUNKER SUPPLY SL (ITSAS), COMPAÑIA DE REMOLCADORES IBAIZABAL, S.A. (IBAI), TERMINAL DE CONTENIDORS DE BARCELONA, S.L. (TCB), Terminal Catalunya, S.A. (TC), UTE REMOLCADORES DE BARCELONA-SAR, UNION TEMPORAL DEEMPRESAS, LEY 18/1982 (URB), ASTILLEROS ARMON, S.A. (AA), GAS NATURAL SDG, S.A. (GN), INSTITUTO ENERXÉTICO DE GALICIA (IEG), Fundación de la Comunidad Valenciana para la Investigación, Promoción y Estudios Comerciales de Valenciaport (Fundación Valenciaport) (FV), Planta de Regasificación de Sagunto, S.A. (PRS), MOLGAS ENERGÍA, SAU (ME), Autoridad Portuaria de Valencia (APV), SEAPLACE SL (Seaplace), BOLUDA CORPORACION MARITIMA S.L. (BCM), Autoridad Portuaria de Bilbao (APBi), RENFE MERANCÍAS S.A. (Renfe), Puertos del Estado (PdE), Dirección General de la Marina Mercante (DGMM), PORT AUTHORITY OF GIJON (PAG), Port

Authority of Melilla (PAM), Santander Port Authority (SPA), Port Authority of Tarragona (PAT), Port Authority of Vigo (PAV), Port Authority of Santa Cruz de Tenerife (PASCT) and REN Gasoductos, S.A. (RENG).

More Information

Public CORE LNGas HIVE reports and additional information related with the project execution and results are available through CORE LNGas Hive public website at www.corelngashive.eu

Table of contents

List of figures	8
List of tables.....	11
1. Introduction	13
2. APMT real-driving emissions test	14
2.1. Tests description	15
2.1.1 Testing Area	15
2.1.2 PEMS installation and measurement devices	16
2.1.3 Tests sequence	20
2.2. APMT tests results	22
2.2.1 Step 1: Unladen 01	22
2.2.2 Step 2: Laden 01	24
2.2.3 Step 3: Test 01a	26
2.2.4 Step 4: Test 01b	28
2.2.5 Step 5: Test 02.....	30
2.2.6 Step 6: Test 03a	32
2.2.7 Step 7: Test 03b	34
2.2.8 Step 8: Test 04.....	36
2.2.9 Step 9: Laden 02	38
2.2.10 Step 10: Unladen 02.....	40
2.2.11 Reliance between vehicle speed and emissions	42
3. BEST real-driving emissions test	45
3.1. Tests description	46
3.1.1 Testing Area	46
3.1.2 PEMS installation and measurement devices	49
3.2. Real-life tests	51
3.3. Test cycle defined	56
4. Determination of engine performance and exhaust emissions in a test bench.....	59
4.1. APMT engine performance test	60

4.2.	APMT engine mapping	63
4.2.1	Exhaust gas emissions	64
4.2.2	Fuel consumption	66
5.	Engine & Straddle Carrier Conversion.....	67
5.1.	Engine conversion.....	67
5.1.1	APMT engine conversion.....	67
5.1.2	BEST engine conversion	70
5.2.	Straddle carrier conversion	73
5.2.1	BEST Straddle Carrier conversion	73
5.2.2	APMT Straddle Carrier conversion.....	76
5.2.3	LNG Supply	79
5.2.4	Regulation.....	83
6.	Risk Assessment.....	91
7.	Conclusions	92
8.	List of Acronyms and Abbreviations	93

List of figures

Figure 1.	Left – straddle carrier; Right – Barcelona Seaport; Bottom – Smog in Barcelona city	13
Figure 2.	APMT terminal.....	14
Figure 3.	Straddle carrier route.....	15
Figure 4.	Satellite view of the testing area in APM Terminal	16
Figure 5.	PEMS installed on the top of the Straddle Carrier.....	17
Figure 6.	Bundle of heated gas sampling, pressure and temperature lines tied to the railing	18
Figure 7.	Vehicle tested, front side view	18
Figure 8.	Air gas bottle installed laying down on the floor	19
Figure 9.	Pitot box and additional wiring	19
Figure 10.	APMT test tracks	21
Figure 11.	Unladen 01 vehicle speed, exhaust flow and CO2 emissions	22
Figure 12.	Unladen 01 pollutant emissions	23
Figure 13.	Laden 01 vehicle speed, exhaust flow and CO2 emissions...	24
Figure 14.	Laden 01 pollutant emissions.....	25
Figure 15.	Test 01a vehicle speed and exhaust flow	26
Figure 16.	Test 01a pollutant emissions.....	27
Figure 17.	Test 01b vehicle speed and exhaust flow	28
Figure 18.	Test 01b pollutant emissions	29
Figure 19.	Test 02 vehicle speed and exhaust flow	30
Figure 20.	Test 02 pollutant emissions	31
Figure 21.	Test 03a vehicle speed and exhaust flow	32
Figure 22.	Test 03a pollutant emissions.....	33
Figure 23.	Test 03b vehicle speed and exhaust flow	34
Figure 24.	: Test 03b pollutant emissions	35
Figure 25.	Test 04 vehicle speed and exhaust flow	36
Figure 26.	Test 04 pollutant emissions	37
Figure 27.	Laden 02 vehicle speed and exhaust flow	38
Figure 28.	Laden 02 pollutant emissions.....	39
Figure 29.	Unladen 02 vehicle speed and exhaust flow	40
Figure 30.	Unladen 02 pollutant emissions	41

Figure 31.	Vehicle speed vs CO2	42
Figure 32.	Vehicle speed vs NOx	43
Figure 33.	Vehicle speed vs THC	43
Figure 34.	Vehicle speed vs CO	43
Figure 35.	BEST Straddle Carrier	45
Figure 36.	Aerial view of the terminal	46
Figure 37.	Real-life BEST test	47
Figure 38.	Test cycle defined	47
Figure 39.	Real-life test tracks (BEST)	48
Figure 40.	Test cycle defined tracks (BEST)	48
Figure 41.	PEMS installed on the top of the Straddle Carrier	49
Figure 42.	Bundle of heated gas sampling, pressure and temperature lines	49
Figure 43.	PEMS modules installation	50
Figure 44.	Straddle Carrier a few minutes before the execution of the test	50
Figure 45.	Real life speed and exhaust results	51
Figure 46.	From 450 s to 2250 s	51
Figure 47.	From 2250 s to 4450 s	52
Figure 48.	From 4450 s to 7550 s	52
Figure 49.	NOx emissions in real-life test	53
Figure 50.	CO emissions in real-life test	54
Figure 51.	THC emissions in real-life test	55
Figure 52.	Test cycle defined speed, exhaust and CO2 emissions results	57
Figure 53.	NOx emissions in test cycle defined	57
Figure 54.	CO emissions in test cycle defined	57
Figure 55.	THC emissions in test cycle defined	58
Figure 56.	APMT engine views.	59
Figure 57.	APMT engine characteristic curve	61
Figure 58.	NO_x emissions of APMT engine	64
Figure 59.	THC emissions of APMT engine	65
Figure 60.	CO emissions of APMT engine	65
Figure 61.	Fuel consumption of APMT engine	66

Figure 62.	Schemes of direct and port injections	68
Figure 63.	3D scan of the different parts of the APMT engine	69
Figure 64.	Planned modifications of the APMT engine.....	70
Figure 65.	Scheme of the original engine SISU.	71
Figure 66.	Scheme of the dual fuel injection	71
Figure 67.	Modifications and new components installation in the BEST straddle carrier engine.	72
Figure 68.	CAD geometry of the BEST straddle carrier	73
Figure 69.	Location of the engine and the LNG system on the best straddle carrier	74
Figure 70.	LNG Tank fixed	75
Figure 71.	Straddle Carrier in Best Terminal	75
Figure 72.	Pipe system.....	76
Figure 73.	Filling zone.....	76
Figure 74.	Straddle carrier stairs	77
Figure 75.	Bench	77
Figure 76.	Drawer	78
Figure 77.	Closed drawer	78
Figure 78.	Straddle Carrier.....	78
Figure 79.	Straddle carrier actually.....	79
Figure 80.	LNG Dewar	79
Figure 81.	LNG: Tank dimentions	80
Figure 82.	P&I Storage system	82
Figure 83.	R110 Diagram	85

List of tables

Table 1: Step duration of APMT test	22
Table 2: Unladen 01 average parameters	24
Table 3: Unladen 01 pollutant emissions and fuel consumption	24
Table 4: Laden 01 average parameters	26
Table 5: Laden 01 pollutant emissions and fuel consumption	26
Table 6: Test 01a average parameters.....	28
Table 7: Test 01a pollutant emissions and fuel consumption.....	28
Table 8: Test 01b average parameters.....	30
Table 9: Test 01b pollutant emissions and fuel consumption.....	30
Table 10: Test 02 average parameters	32
Table 11: Test 02 pollutant emissions and fuel consumption.....	32
Table 12: Test 03a average parameters.....	34
Table 13: Test 03a pollutant emissions and fuel consumption.....	34
Table 14: Test 03b average parameters.....	36
Table 15: Test 03b pollutant emissions and fuel consumption.....	36
Table 16: Test 04 average parameters	38
Table 17: Test 04 pollutant emissions and fuel consumption.....	38
Table 18: Laden 02 average parameters.....	40
Table 19: Laden 02 pollutant emissions and fuel consumption	40
Table 20: Unladen 02 average parameters	42
Table 21: Unladen 02 pollutant emissions and fuel consumption.....	42
Table 22: APMT tests pollutant emissions.....	44
Table 23: APMT tests fuel consumption. (*Only for 1 engine)	44
Table 24: Real-life cycle pollutant emissions summary table.....	56
Table 25: Real-life cycle fuel consumption.....	56
Table 26: Test cycle defined pollutant emissions summary table.....	58
Table 27: Test cycle defined fuel consumption	58
Table 28: Engine parameters measured.....	60
Table 29: Main parameters of APMT engine.....	61
Table 30: Opacity results of APMT engine.....	62
Table 31: Engine mapping results of APMT engine	63

Table 32:LNG Tank description	80
Table 33: LNG Storage specifications.....	81
Table 34: Pipe description	83
Table 35 Application according to classes.....	86
Table 36 Inspections. Manual of vehicles reforms	90
Table 37: Risk assessment in this project.....	91

1. Introduction

As part of CORE LNGas Hive, a pilot activity is being developed in order to demonstrate the use of LNG as fuel for straddle carriers inside two terminals of Barcelona Seaport. LNG is the most promising fuel to reduce both oil dependency and emissions.

The activity started in January 2016 and will last until 2019. The main activities will be performed in 2016 and 2017, while the pilot follow up will continue until 2019.

The transformation of the machines in the terminals APMT and BEST will be studied. Thus, the following participants are involved in this project: APB, APMT, BEST, GNF, HAM, and IDIADA.

This document summarizes the main tests carried out on the APMT and BEST engines. These tests consisted of measuring vehicle speed, pollutant emissions and fuel consumption. Moreover, the engine and straddle carrier conversions are explained considering their technical feasibility. Also the LNG store and station capacity is specified in order to design the fuel supply system. In the final part, a new risk assessment is presented.



Figure 1. Left – straddle carrier; Right – Barcelona Seaport; Bottom – Smog in Barcelona city

2. APMT real-driving emissions test

APMT is one of the terminals of Barcelona Seaport and in it the engine Valmet 612 is tested. These carriers are equipped with a diesel engine to be replaced in the future by Gas Engines.

First of all, several tests have had to be performed in order to determine if straddle carrier engines running with LNG fuel are suitable to reach the targets of oil and pollutant emissions reduction.

Real-driving emissions test procedures uses the Portable Emissions Measurement System (PEMS from now on) to measure gaseous pollutant and particle number emission during a range of normal operating conditions. To run this sort of test, it is essential to prepare the vehicle or, in this case, the straddle carrier with the PEMS device. Likewise, a design of the route that usually follows the machine or adjusted to avoid any issues on the correct functionality of the terminal is necessary. The test route should be controlled to perform the same trajectories, distances and manoeuvres during the pilot phase with the engine converted.

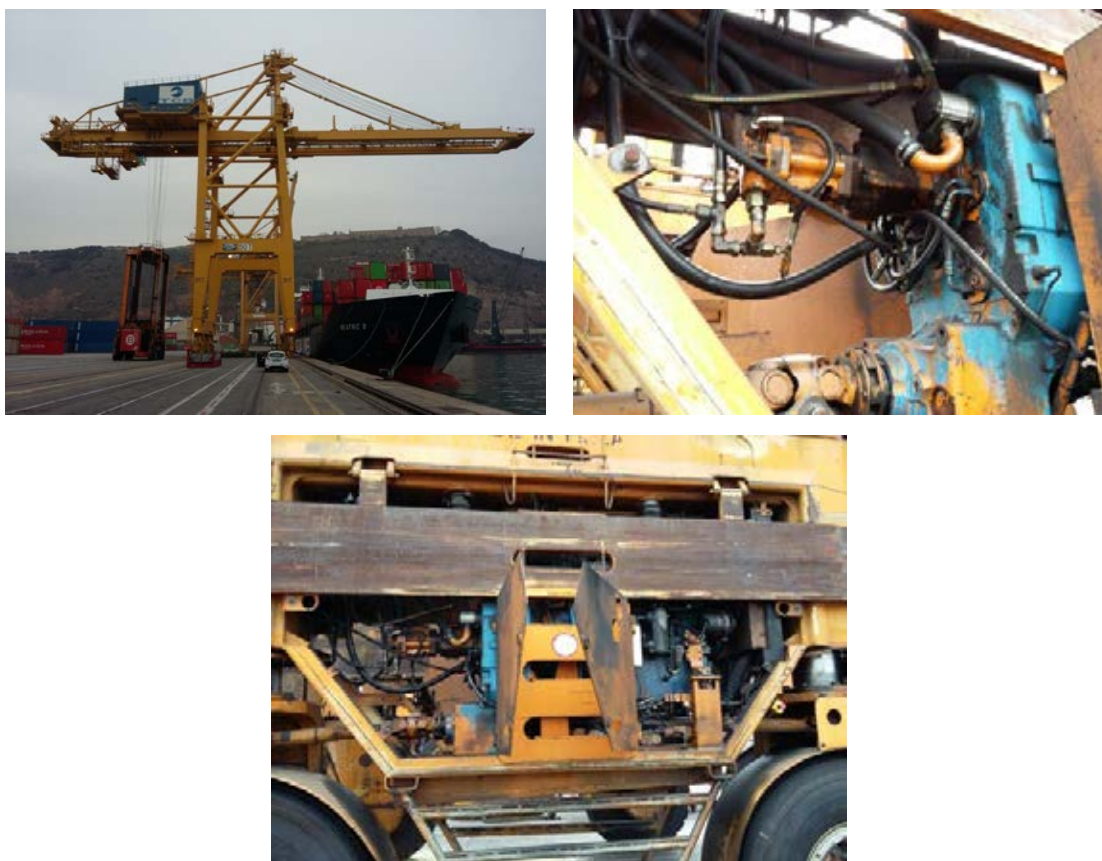


Figure 2. APMT terminal.

The straddle carriers at APMT have 2 engines that operate theoretically in parallel and delivering each one of them exactly the same power. Given this condition, only one PEMS was installed. The exhaust emissions of one of the two engines were measured and the total emissions would be the result of multiplying by 2 times the obtained values.

2.1. Tests description

In order to perform a good comparison between diesel and natural gas emissions, a series of specific tests have been designed. The purpose is to define a specific and repeatable duty cycle, so that the emission outputs can be compared with both fuels. Regarding the tests performed, some assumptions were taken into account. These assumptions are explained below:

- Every test cycle was carried out in a specific zone designated by APMT in order not to interfere with the terminal's daily work and, in order to perform all the tests more safely.
- The whole test cycle was performed with the same load.
- The person who drove these machines was an expert driver of straddle carriers.

2.1.1 Testing Area

The test was carried out inside the APMT terminal, in the Port of Barcelona. It was agreed to mark a restricted area where a circuit would be set using cones and where a series of pre designed tests could be performed using a calibrated test container whose weight is 30 Tm.

In the following image the straddle carrier route can be seen:

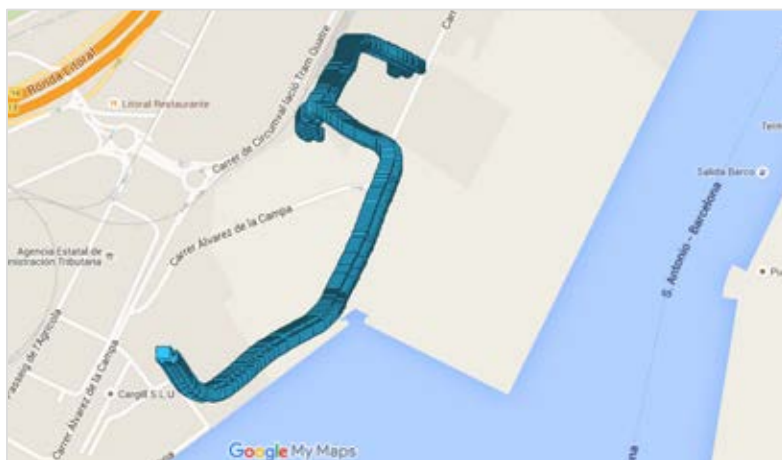


Figure 3. Straddle carrier route

Different zones divide the straddle carrier way. Apart from the way (marked in green), there are three red marked areas which are mentioned below from bottom to top:

- Test area
- Zone where the container is kept
- Zone where the straddle carrier is parked and instrumented.

The machine was instrumented next to the hangar area, just where it is usually parked overnight. Once the test has started, the straddle carrier must pick up the container and take it to the marked restricted area for testing. A series of pre-defined tests were performed in the testing area, and after finishing these tests, the operator

brings the container back to the same place and parks the machine in the same parking slot.

Just to give an order of magnitude, the dimensions of the testing area were around 150x50 metres, whereas the distance from the hangar area to the testing area around 1000 m.



Figure 4. Satellite view of the testing area in APM Terminal

2.1.2 PEMS installation and measurement devices

PEMS is the device that measures emissions from combustion engines as the vehicle or the equipment is being used and allows real-world in-use testing. The equipment installed on the straddle carrier consists on:

- **Gas analyser modules:** There are two different ones: a general main module which measures CO, CO₂, NO and NO_x concentration and a specific THC analyser, which also requires a H-He gas supply in order to keep a flame on and a high temperature inside the device, which is required for the proper work of the system.
- **Communication module:** collects all the information signals and communicates with the computer.
- **Power Supply Module:** receives a 24V DC supply and delivers this power to the other modules.
- **Heated sampling line,** which brings a constant exhaust gas sample of 2.5 l/min into the measuring modules. As its name says, this pipe is isolated and

heated in order to keep the exhaust gas sample hot, conditions required by the Gas Analysis modules.

- **Exhaust gas flow meter:** Consists on an extension of the exhaust pipe, where two pressure and two temperature sensors are installed. This device is a pitot type sensor: the gas flow is calculated through measuring the pressure difference between the front and the rear side of an obstacle place in the middle of a gas stream.
- **Pitot-Box:** receives the signals of pressure and temperature from the exhaust gas sensors. Then, calculates the pressure drop and using the temperature input and the sensor calibration parameters is able to calculate the exhaust gas flow.
- **Gas Bottles:** three different gas bottles were used:
 - o **Pure Air:** used before and after the test to calibrate the zero values of the measured pollutant concentrations.
 - o **Span Gas:** an externally certified gas bottle, where the concentration of the different measured pollutants is known. This bottle is also used at the beginning and at the end of the test to calibrate the high extreme of the pollutant concentration.
 - o **H-He:** used as fuel to keep the flame on (subsequently the temperature) inside the HC module.
- **GPS module:** measures Longitude, Latitude, Altitude and Vehicle Speed through Global Position Satellite system.
- **WS ("Weather Station") module:** measures ambient conditions.
- **Additional signal inputs:** In order to obtain additional information which would be helpful to analyse the data, some external sensors were installed and connected through a Racelogic "V-BOX" device.



Figure 5. PEMS installed on the top of the Straddle Carrier



Figure 6. Bundle of heated gas sampling, pressure and temperature lines tied to the railing



Figure 7. Vehicle tested, front side view



Figure 8. Air gas bottle installed laying down on the floor



Figure 9. Pitot box and additional wiring

2.1.3 Tests sequence

To perform the test cycle, a test sequence of ten steps has been followed. In each one, vehicle speed is measured in addition to exhaust flow, which involves CO, THC and NO_x emissions. All steps are explained below.

- **Step 1 - "Unladen 01"**: Engine Start and trip to the area where the test container was stored.
- **Step 2 - "Laden 01"**: Lift up the container and carry it through the terminal to the reserved testing area.
- **Main tests**: to perform the pre-defined tests once the restricted testing area is reached.
 - o **Step 3 - "Test 01a"**: three and a half anti clockwise (driver's cabin in the inner side of the turn) laps. Starting at the NW corner of the circuit and the container on the floor, full power elevation to the top, keep 5 seconds up, bring the container down to the minimum height where the machine is allowed to advance (around 1m over the floor), start the machine moving forward along the long side of the circuit (NW to SW corners), turn the SW and the SE corners and stop the straddle. Once the machine has stopped, wait for 5 seconds and lift the container up at full power. Once up, wait for 5 seconds, and bring the container back to the floor. Wait for 5 seconds and lift the container up to 1m and start again. Repeat this sequence after turning every 2 corners for 3 whole laps and a half (in order to finish at the same place as the beginning), in total 7 corners. The test ends when the container has been left again on the floor.
 - o **Step 4 - "Test 01b"**: manoeuvres to turn the straddle around repeat the same sequence in a clockwise way (driver's cabin now in the outer side of the turn) in order to catch the different power shares between the two engines when turning. Start at the NE corner, and repeat the static lifts-up-down after turning on the SW, NE during three full laps and perform the last lift at the NE corner.
 - o **Step 5 - "Test 02"**: At the NE corner, repeat 10 full power lifts up and downs whilst the machine remains stationary. Maintain the container for 10 seconds up and keep it another 10 seconds on the floor.
 - o **Step 6 - "Test 03a"**: Starting at the NE corner and keeping the cabin in the inner side of the lap, repeat 5 non-stop complete turns to the circuit and finally finish at the NE corner. The purpose is to accelerate the machine and lift the container up at the same time. This was performed on the straight from NE to SE corners. At the end of the straight, without decelerating and whilst the container is at the highest position, turn both NE and SE corners. Once the SW-NW long side has been faced, then take the container down (always keeping full speed) and turn NW and NE corners with the container at the lowest position.
 - o **Step 7 - "Test 03b"**: Same as before, 5 complete laps this time performing anticlockwise turns (cabin outside). Lifts ups always on the NW to SW straight, SW & SE turns always container is up, SE to NE container is dropped down, NE and NW turns always container remains

at the lowest position. End at the NW corner and leave the container on the floor.

- **Step 8 - "Test 04"**: 10 one way (no turning) full load lifts whilst full load longitudinal acceleration. When the container is at the highest point, container descent at full speed whilst longitudinal speed deceleration. Leave the container on the floor for ten seconds and repeat 10 times the sequence (go and return). As the engine power is divided into acceleration and lifting, it was necessary to use a longer straight than from come to cone. For this 4th exercise, the whole length of the delimited test area was used (from wall to wall)
- **Step 9 - "Laden 02"**: Once the fourth test was finished, the container is carried through the terminal back to the point where it was initially picked up.
- **Step 10 - "Unladen 02"**: Back to the parking area, without any load being carried.

The complete test was previously designed to last for around 2 hours of uninterrupted work. During the execution of the test, the number of turns and events was adapted in order to have in total these 2 hours of continuous data. The GPS tracks of the test sequence is shown below.

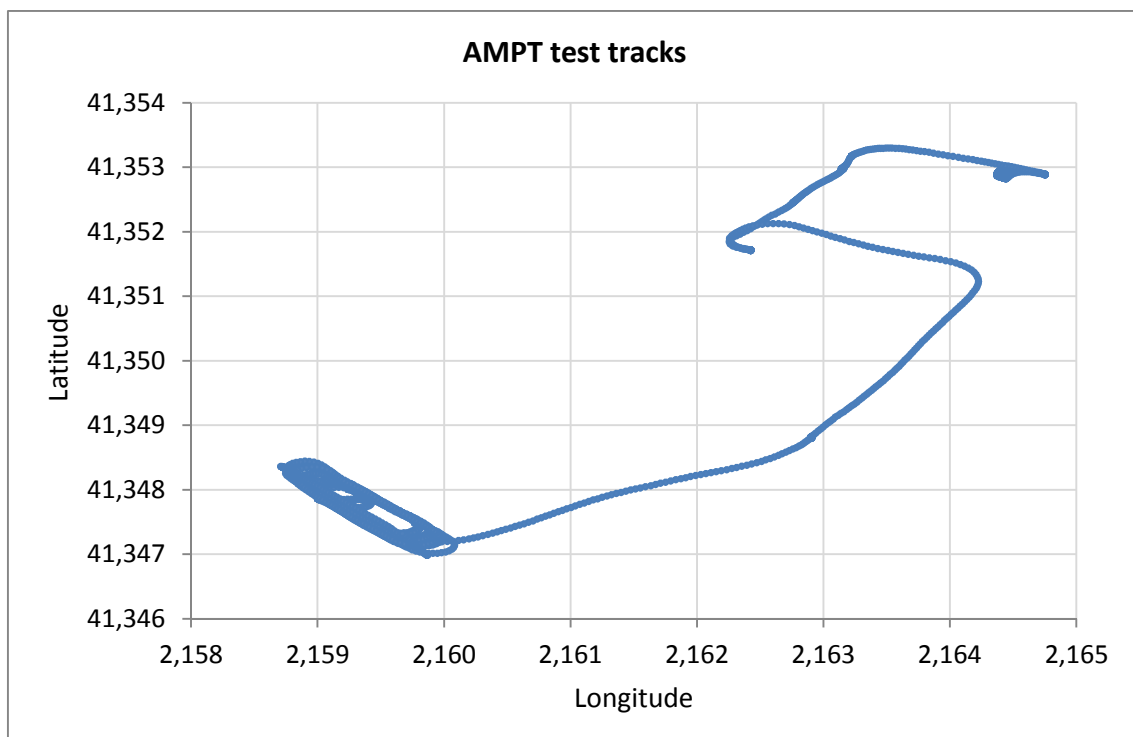


Figure 10. AMPT test tracks

In any case, between the different steps as well as at the start of the test, several manoeuvres were produced to carry out the following operation. For this reason, in the presentation of the results these periods of time have been avoided and only the real period that lasted each test has been taken into account as detailed below:

	Start (s)	End (s)
Step 1	1150	1675
Step 2	1675	1850
Step 3	2000	2710
Step 4	3065	3780
Step 5	4150	4850
Step 6	5010	5420
Step 7	5630	6200
Step 8	6300	6950
Step 9	7070	7330
Step 10	7330	7440

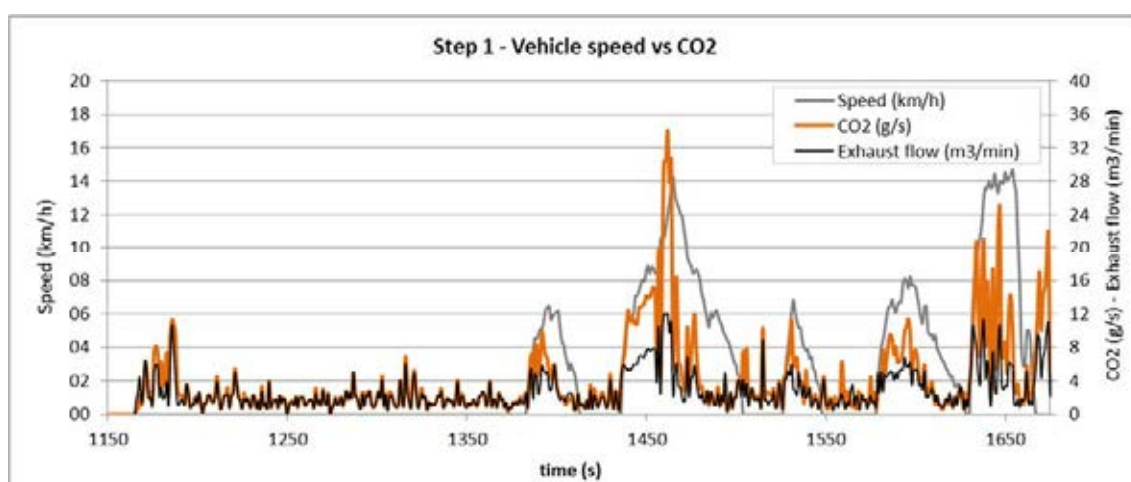
Table 1: Step duration of APMT test

2.2. APMT tests results

The results of the different test sequence are presented below.

2.2.1 Step 1: Unladen 01

This step basically consists of the engine start up and movement to the area where the test container is located. The results of this step are shown below:


Figure 11. Unladen 01 vehicle speed, exhaust flow and CO2 emissions

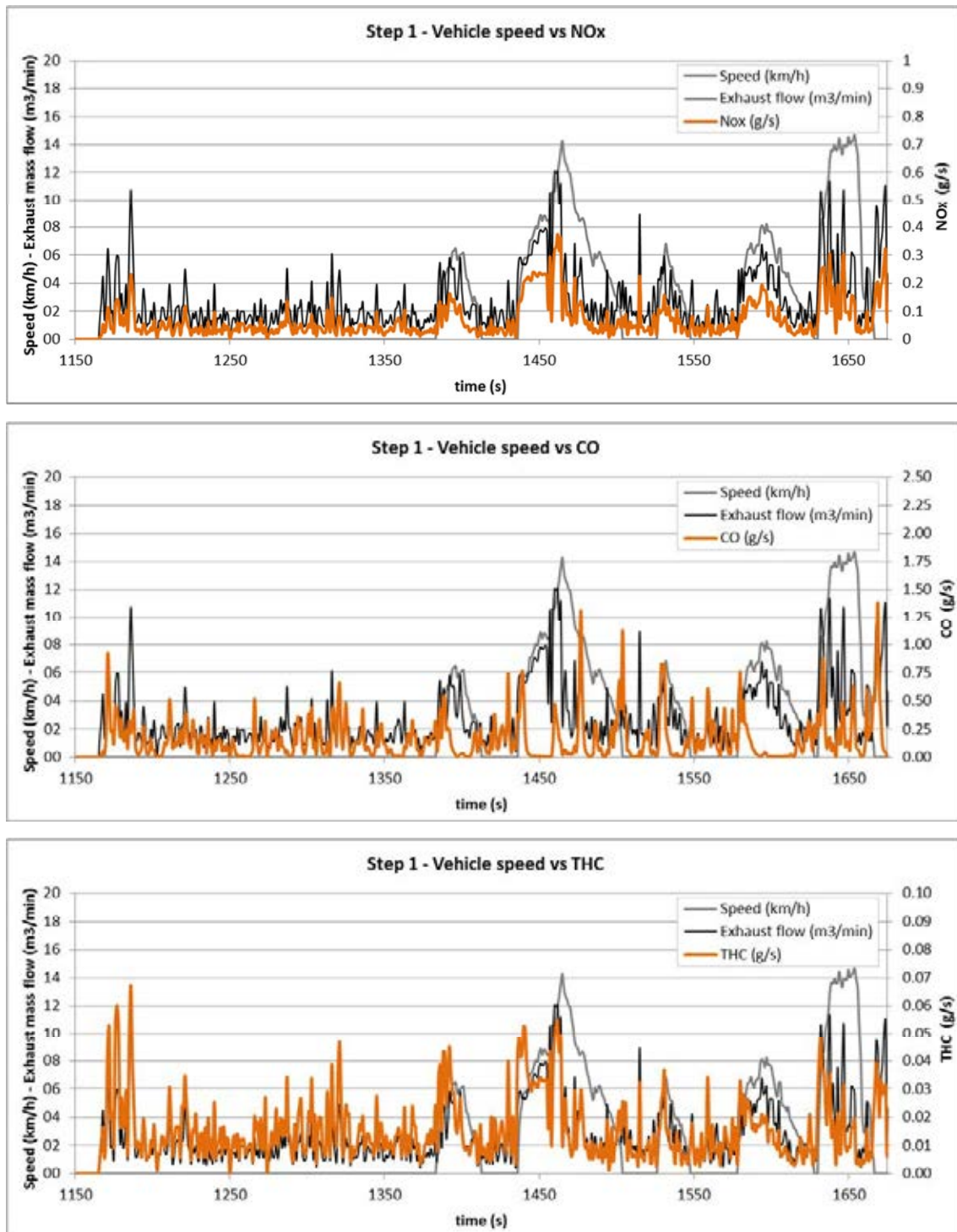


Figure 12. Unladen 01 pollutant emissions

STEP 1 AVERAGE PARAMETERS

Exhaust flow	[m ³ /min]	2.74
Vehicle speed	[km/h]	2.5

Table 2: Unladen 01 average parameters

STEP 1 PARAMETERS

CO ₂	[g]	2139.04
CO	[g]	84.94
THC	[g]	8.10
NO _x	[g]	35.86
Fuel consumption	[Total cycle litres]	0.82
Average fuel consumption	[l/h]	5.58

Table 3: Unladen 01 pollutant emissions and fuel consumption

2.2.2 Step 2: Laden 01

Step 2 deals with collecting the container and taking it through the terminal to the reserved testing area.

As step 1, these are the results of step 2:

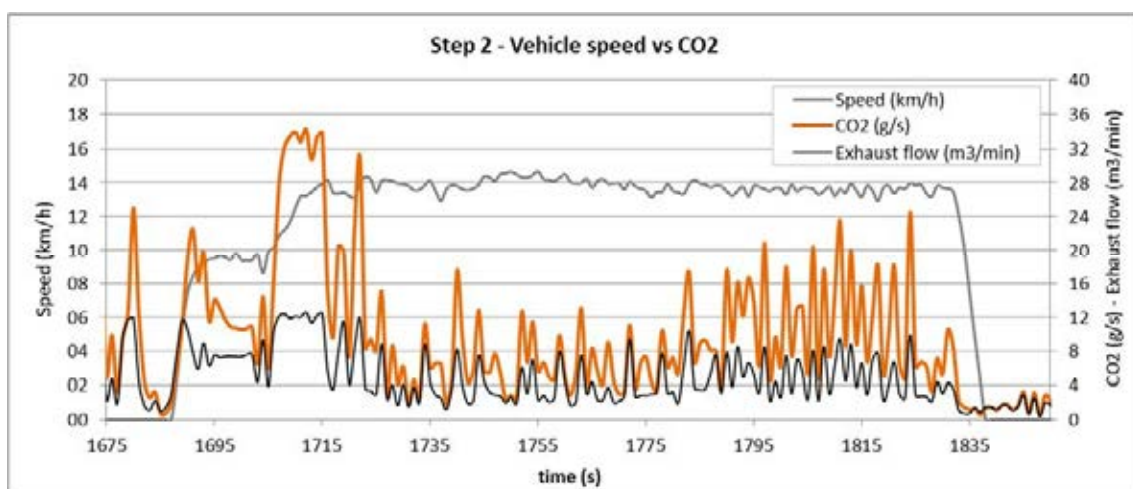


Figure 13. Laden 01 vehicle speed, exhaust flow and CO₂ emissions

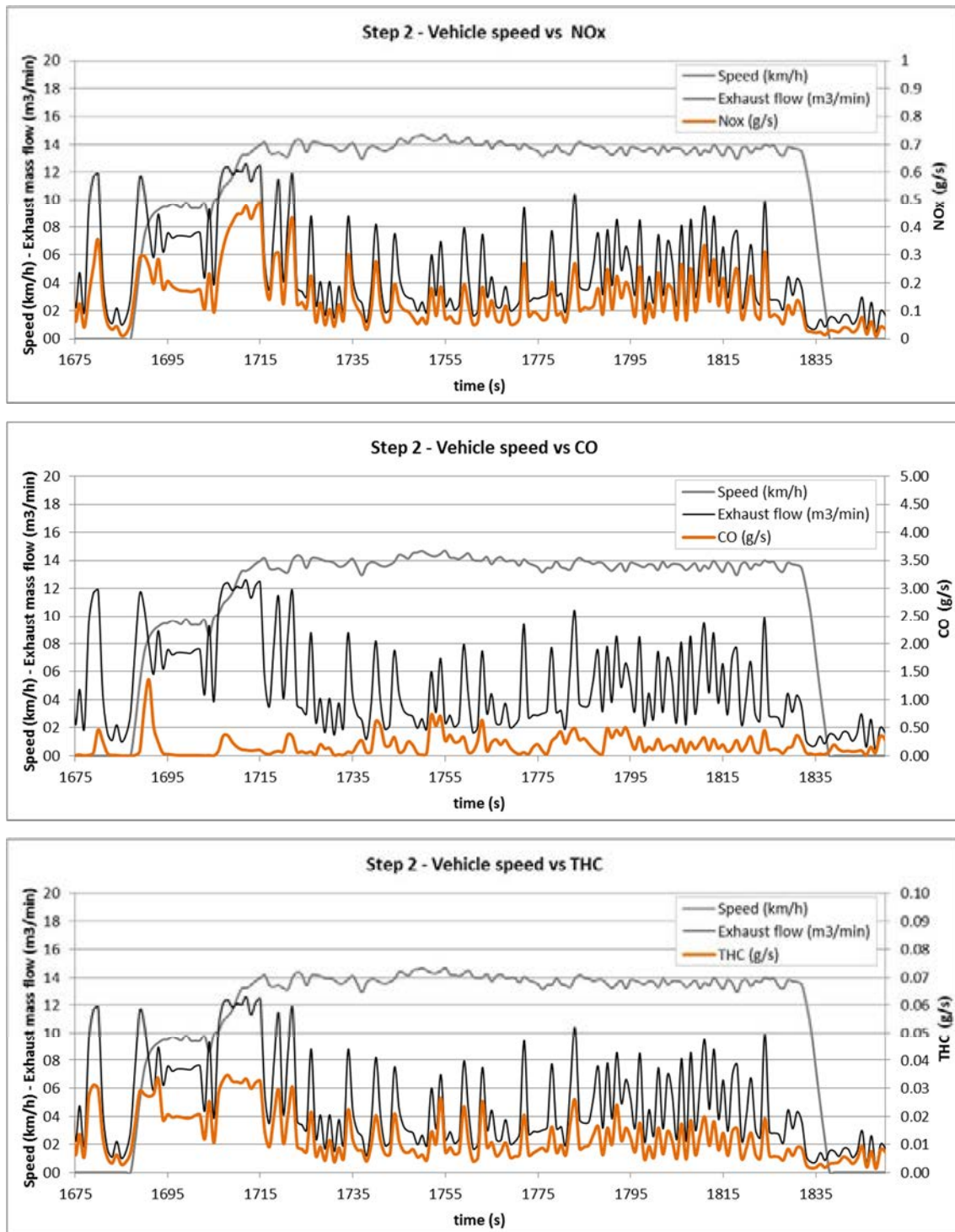


Figure 14. Laden 01 pollutant emissions

STEP 2 AVERAGE PARAMETERS

Exhaust flow	[m ³ /min]	4.93
Vehicle speed	[km/h]	11

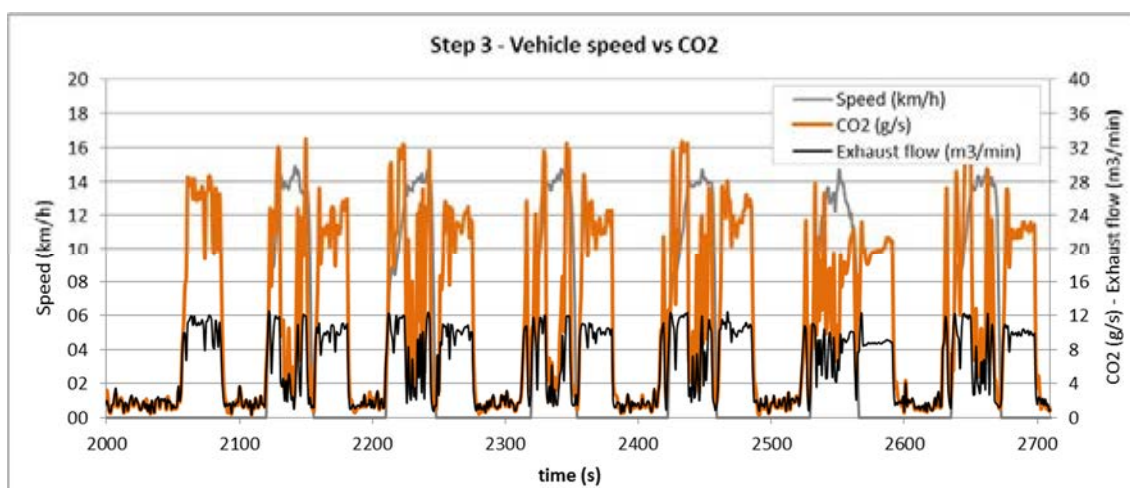
Table 4: Laden 01 average parameters
STEP 2 PARAMETERS

CO ₂	[g]	1731.88
CO	[g]	31.59
THC	[g]	2.22
NO _x	[g]	25.58
Fuel consumption	[Total cycle litres]	0.66
Average fuel consumption	[l/h]	13.51

Table 5: Laden 01 pollutant emissions and fuel consumption

2.2.3 Step 3: Test 01a

This test demands three and a half anticlockwise laps (operator's cabin is on the inner side of the turn). The results are as follows:


Figure 15. Test 01a vehicle speed and exhaust flow

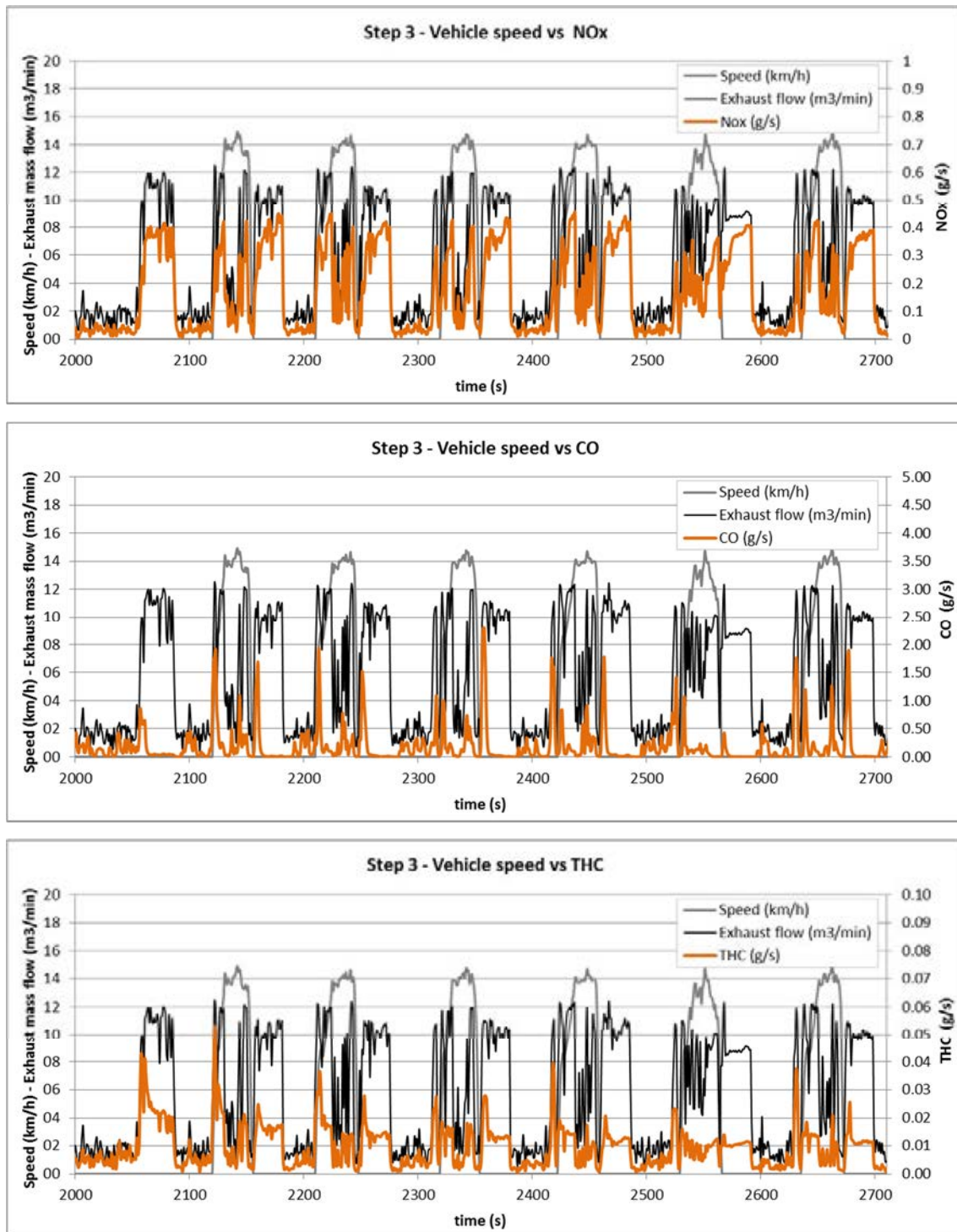


Figure 16. Test 01a pollutant emissions

STEP 3 AVERAGE PARAMETERS

Exhaust flow	[m ³ /min]	5.70
Vehicle speed	[km/h]	3.5

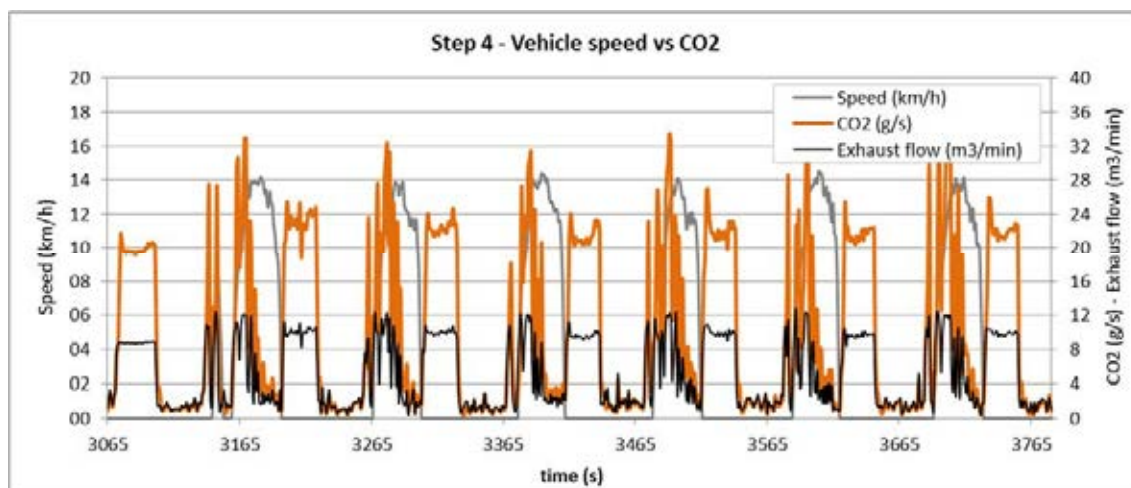
Table 6: Test 01a average parameters
STEP 3 PARAMETERS

CO ₂	[g]	8207.41
CO	[g]	140.08
THC	[g]	6.77
NO _x	[g]	123.01
Fuel consumption	[Total cycle litres]	3.13
Average fuel consumption	[l/h]	15.84

Table 7: Test 01a pollutant emissions and fuel consumption

2.2.4 Step 4: Test 01b

Unlike test 01a, this one is carried out by three and a half clockwise laps (operator's cabin on the outer side). These are the results:


Figure 17. Test 01b vehicle speed and exhaust flow

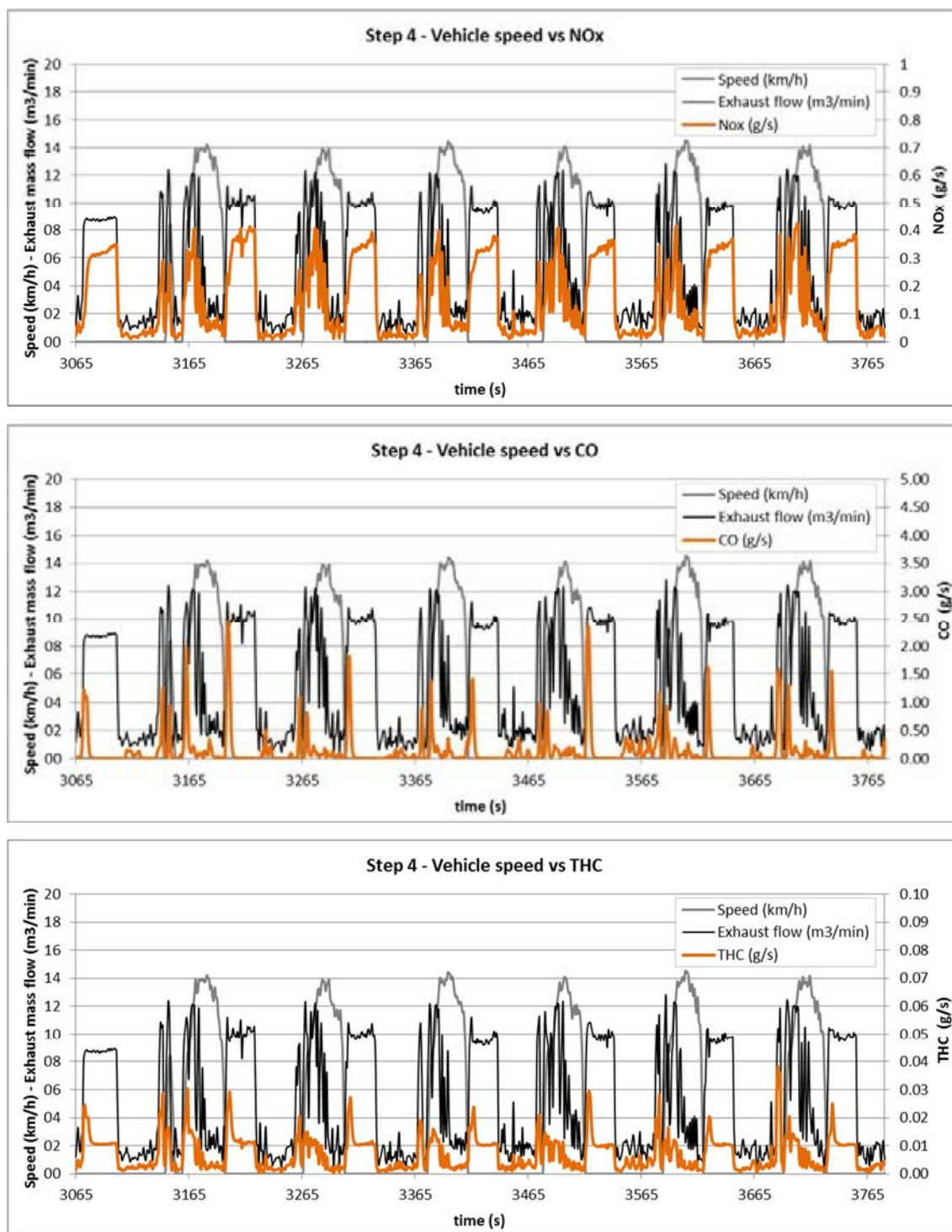


Figure 18. Test 01b pollutant emissions

STEP 4 AVERAGE PARAMETERS

Exhaust flow	[m ³ /min]	5.28
Vehicle speed	[km/h]	3.4

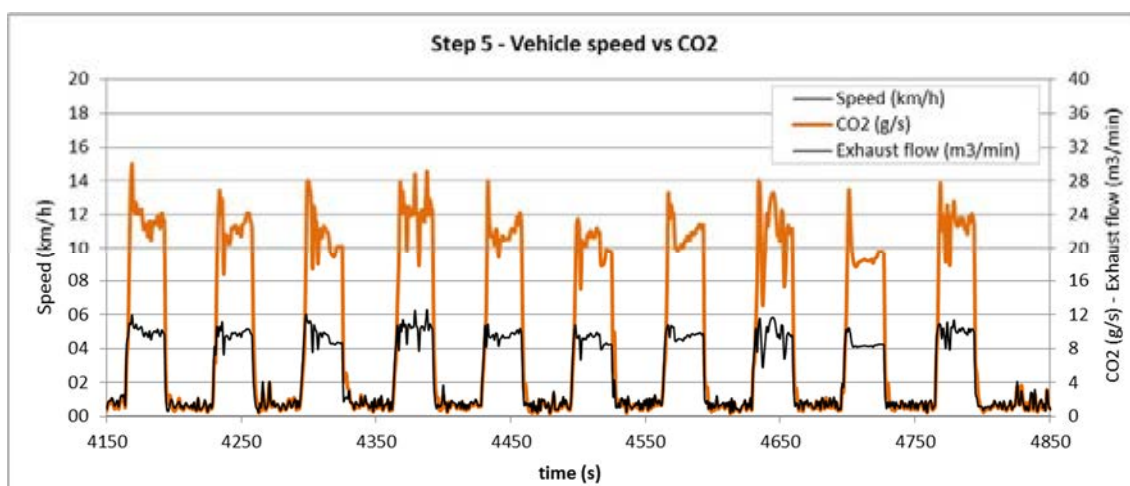
Table 8: Test 01b average parameters
STEP 4 PARAMETERS

CO ₂	[g]	7383.79
CO	[g]	108.92
THC	[g]	5.06
NO _x	[g]	109.39
Fuel consumption	[Total cycle litres]	2.81
Average fuel consumption	[l/h]	14.15

Table 9: Test 01b pollutant emissions and fuel consumption

2.2.5 Step 5: Test 02

This test is different from the previous one. In this case the straddle carrier has to perform ten container liftings without moving the machine.


Figure 19. Test 02 vehicle speed and exhaust flow

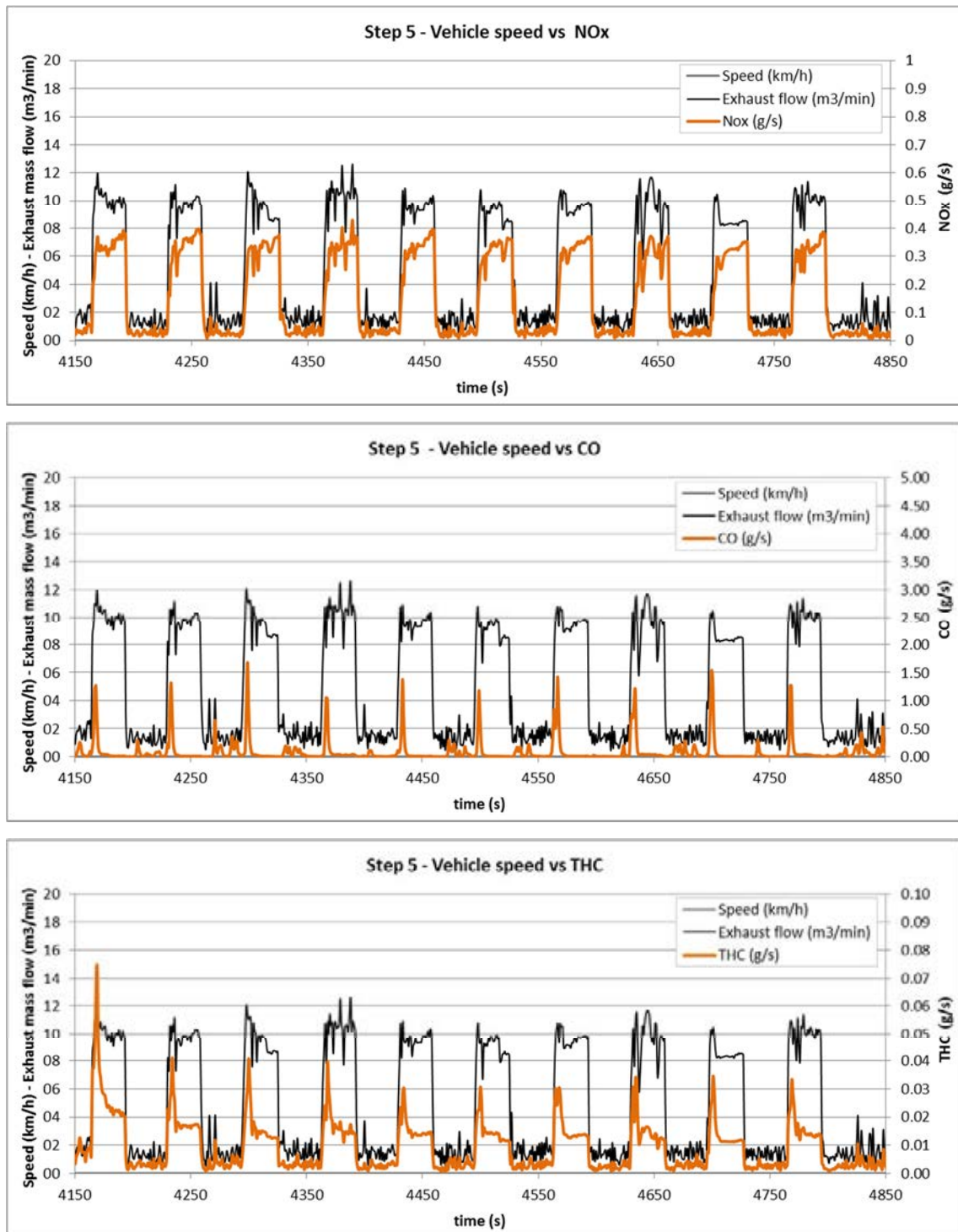


Figure 20. Test 02 pollutant emissions

STEP 5 AVERAGE PARAMETERS

Exhaust flow	[m ³ /min]	4.91
Vehicle speed	[km/h]	0.0

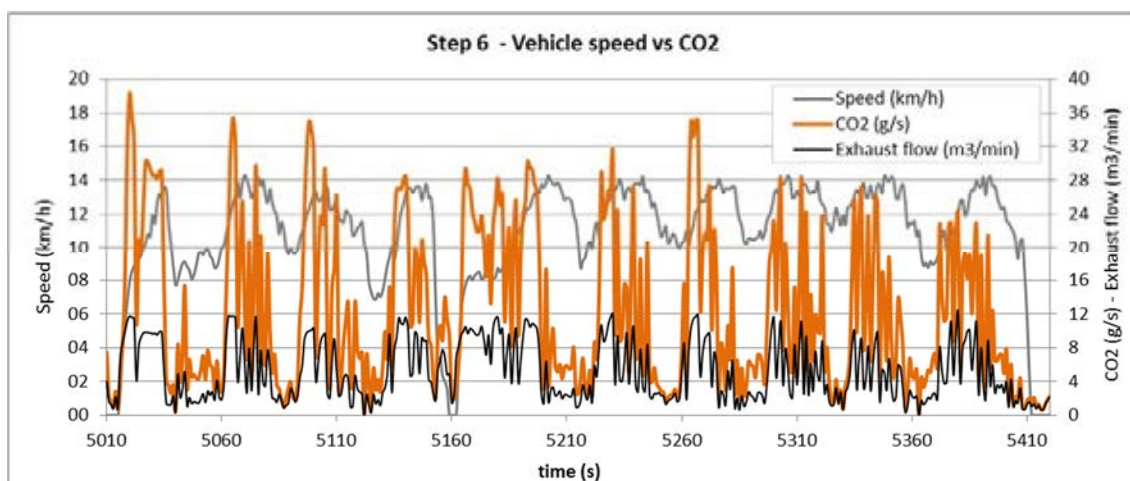
Table 10: Test 02 average parameters
STEP 5 PARAMETERS

CO ₂	[g]	6811.27
CO	[g]	63.15
THC	[g]	6.53
NO _x	[g]	107.50
Fuel consumption	[Total cycle litres]	2.60
Average fuel consumption	[l/h]	13.34

Table 11: Test 02 pollutant emissions and fuel consumption

2.2.6 Step 6: Test 03a

For this test, the straddle carrier has to carry out five clockwise laps in which the operator's cabin is on the inner side. The vehicle speed and exhaust flow results were as follows:


Figure 21. Test 03a vehicle speed and exhaust flow

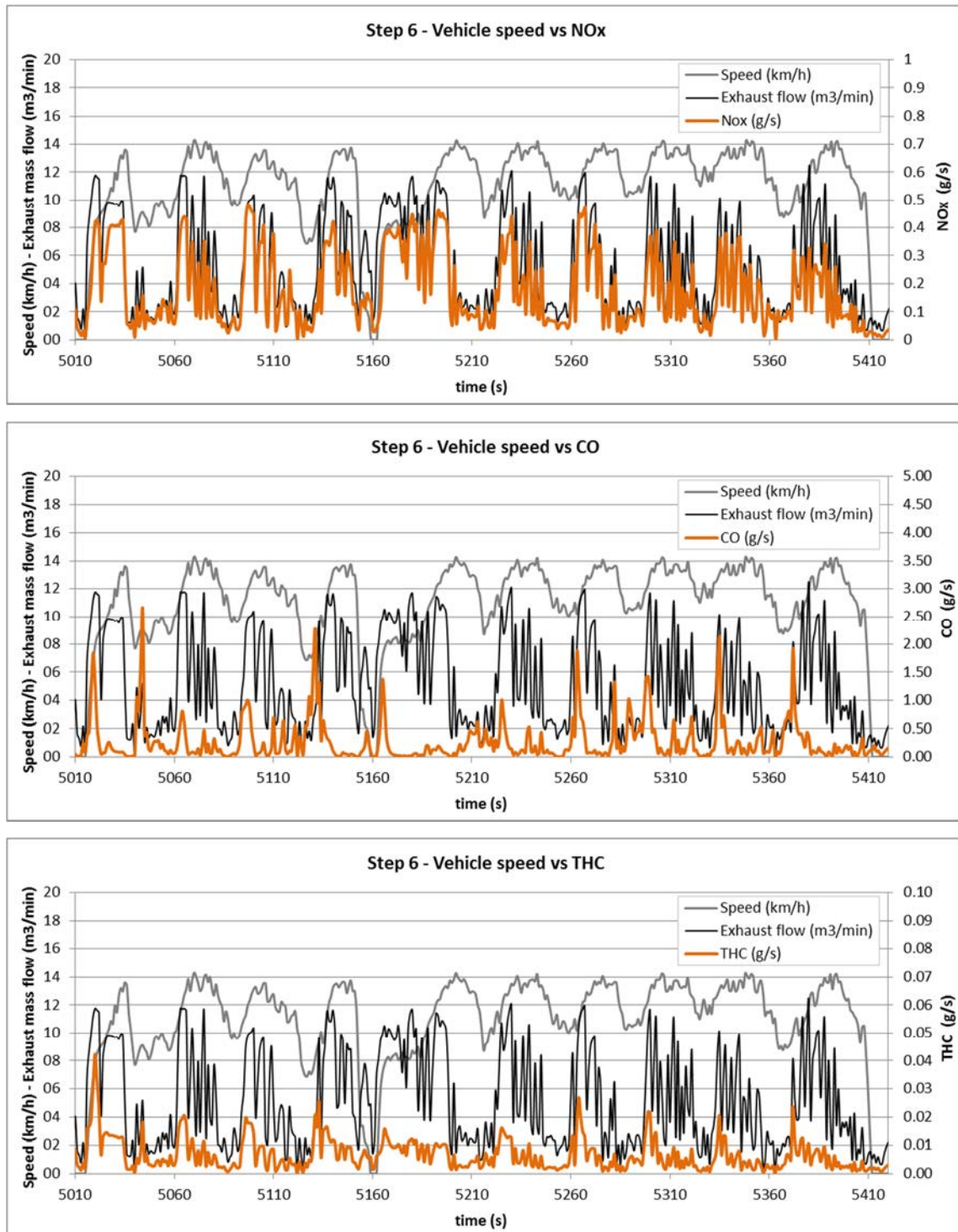


Figure 22. Test 03a pollutant emissions

STEP 6 AVERAGE PARAMETERS

Exhaust flow	[m ³ /min]	5.16
Vehicle speed	[km/h]	10.8

Table 12: Test 03a average parameters

STEP 6 PARAMETERS

CO ₂	[g]	5019.05
CO	[g]	112.76
THC	[g]	2.70
NO _x	[g]	72.38
Fuel consumption	[Total cycle litres]	1.91
Average fuel consumption	[l/h]	16.76

Table 13: Test 03a pollutant emissions and fuel consumption

2.2.7 Step 7: Test 03b

This test is almost the same as the previous one; nevertheless, in this case the main difference consists of five anticlockwise laps, the operator's cabin being on the outer side. The vehicle speed and exhaust flow results were as follows:

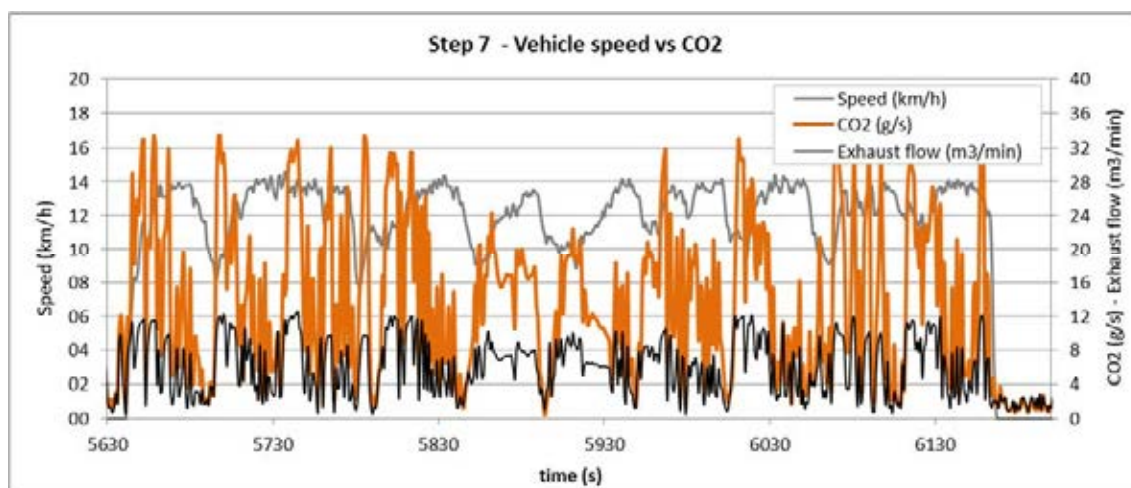


Figure 23. Test 03b vehicle speed and exhaust flow

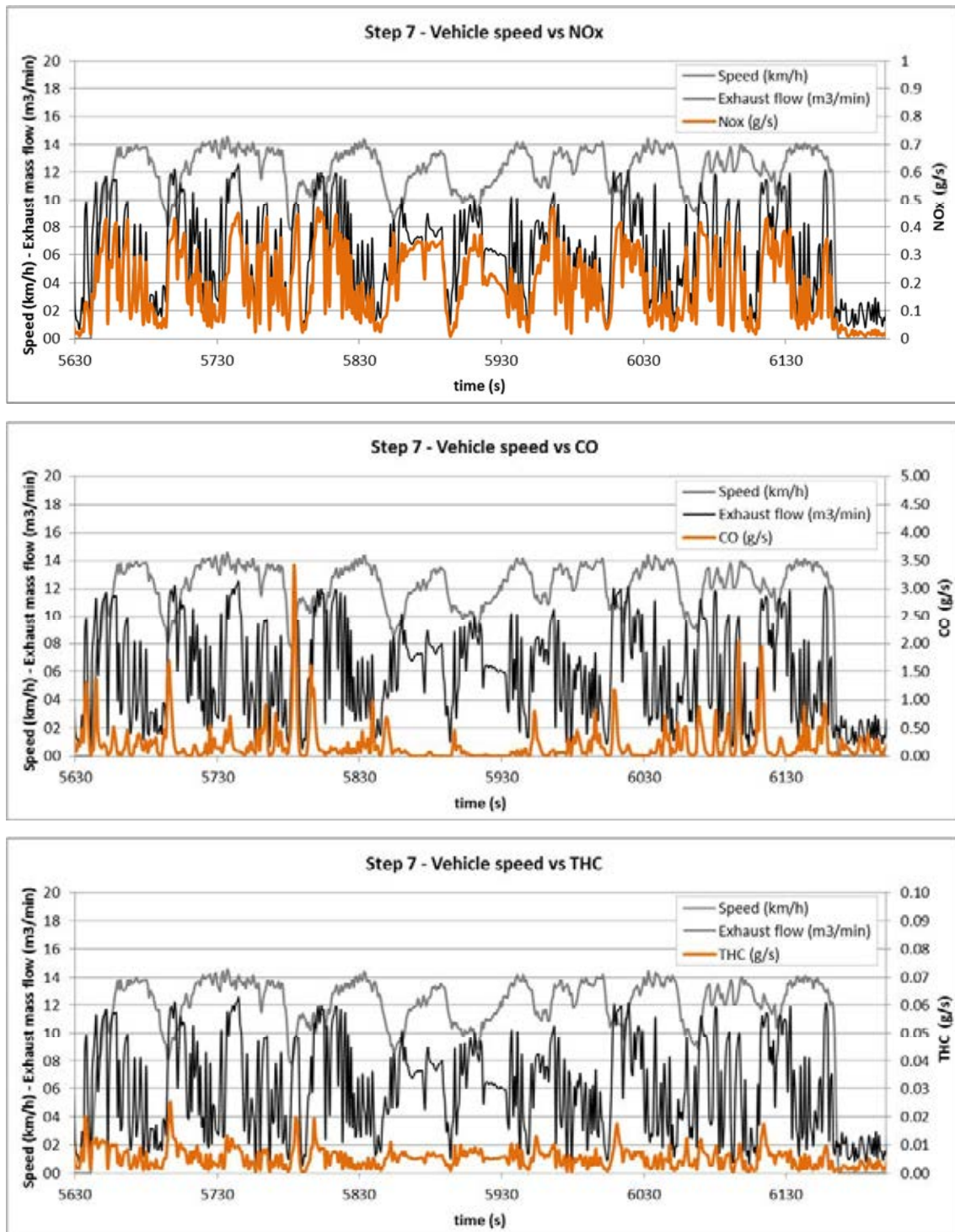


Figure 24.: Test 03b pollutant emissions

STEP 7 AVERAGE PARAMETERS

Exhaust flow	[m ³ /min]	5.96
Vehicle speed	[km/h]	11.2

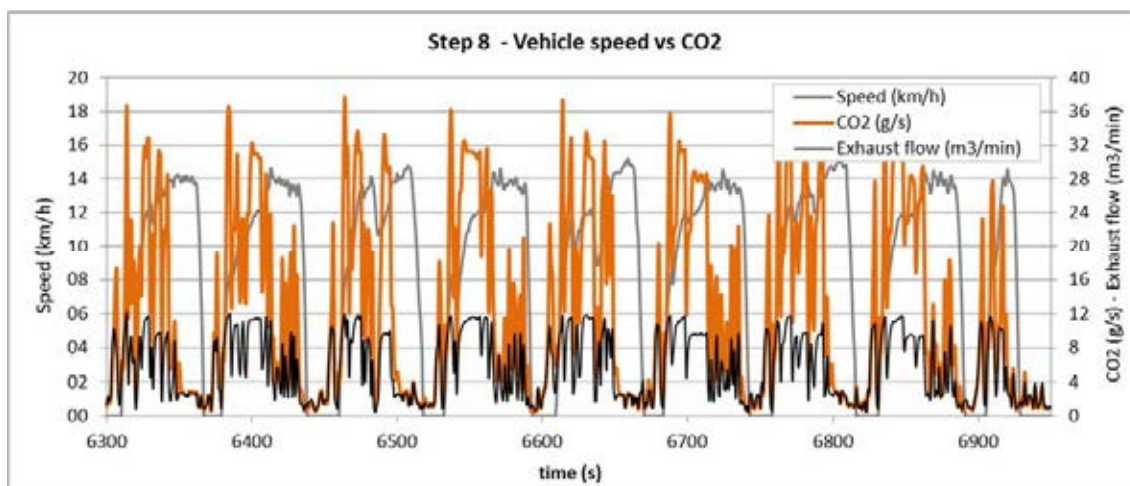
Table 14: Test 03b average parameters
STEP 7 PARAMETERS

CO ₂	[g]	7669.57
CO	[g]	125.37
THC	[g]	3.05
NO _x	[g]	110.53
Fuel consumption	[Total cycle litres]	2.92
Average fuel consumption	[l/h]	18.43

Table 15: Test 03b pollutant emissions and fuel consumption

2.2.8 Step 8: Test 04

For this test the straddle carrier does ten back and forth, which means, lifting the load on the back and downloading it on the return. The results were as follows:


Figure 25. Test 04 vehicle speed and exhaust flow

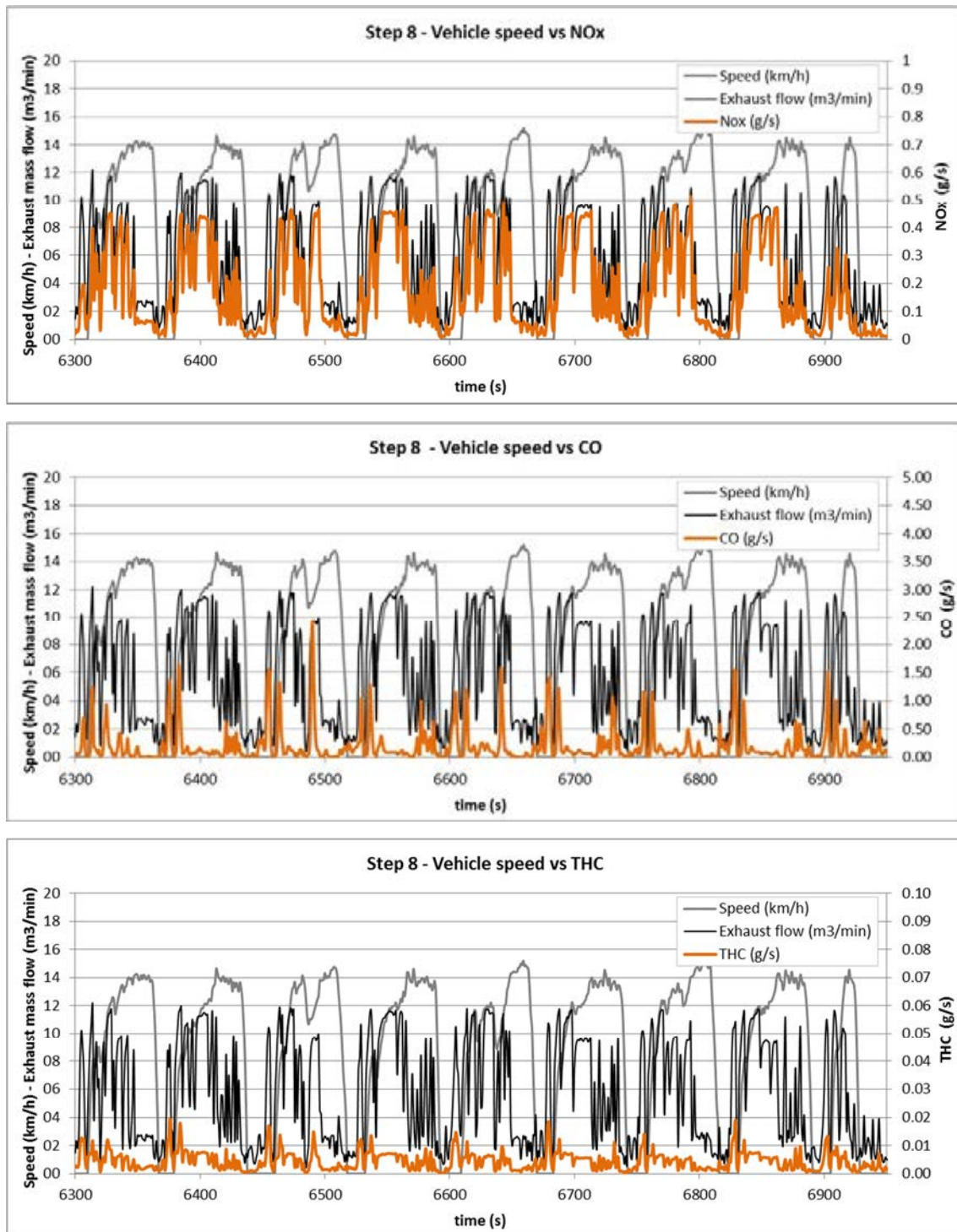


Figure 26. Test 04 pollutant emissions

STEP 8 AVERAGE PARAMETERS

Exhaust flow	[m ³ /min]	5.68
Vehicle speed	[km/h]	8.6

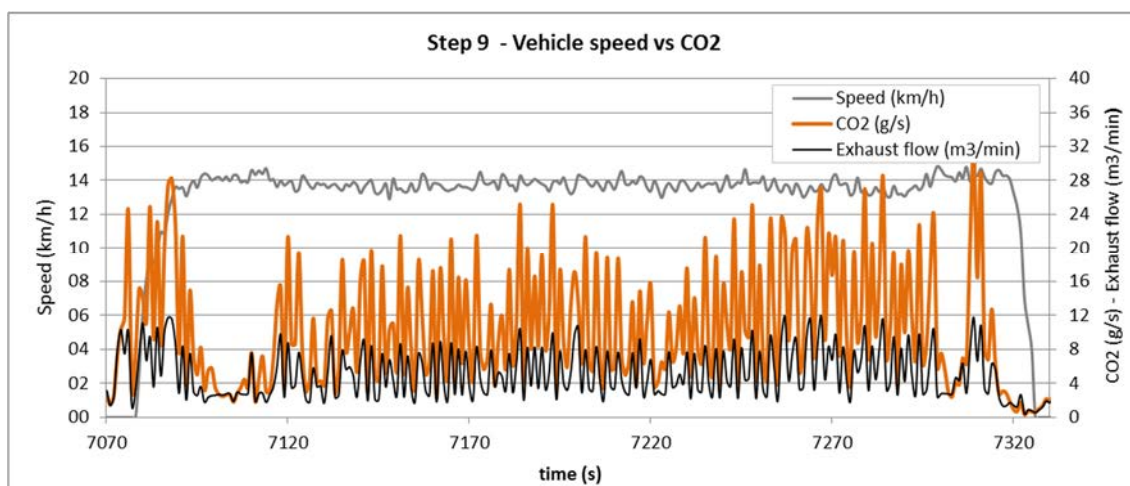
Table 16: Test 04 average parameters
STEP 8 PARAMETERS

CO ₂	[g]	8234.97
CO	[g]	135.68
THC	[g]	2.93
NO _x	[g]	116.93
Fuel consumption	[Total cycle litres]	3.14
Average fuel consumption	[l/h]	17.36

Table 17: Test 04 pollutant emissions and fuel consumption

2.2.9 Step 9: Laden 02

This step is performed when the fourth test has finished. The container is carried through the terminal back to the storage zone, specifically to the point where it was collected in the beginning. As previous steps, the results are shown below:


Figure 27. Laden 02 vehicle speed and exhaust flow

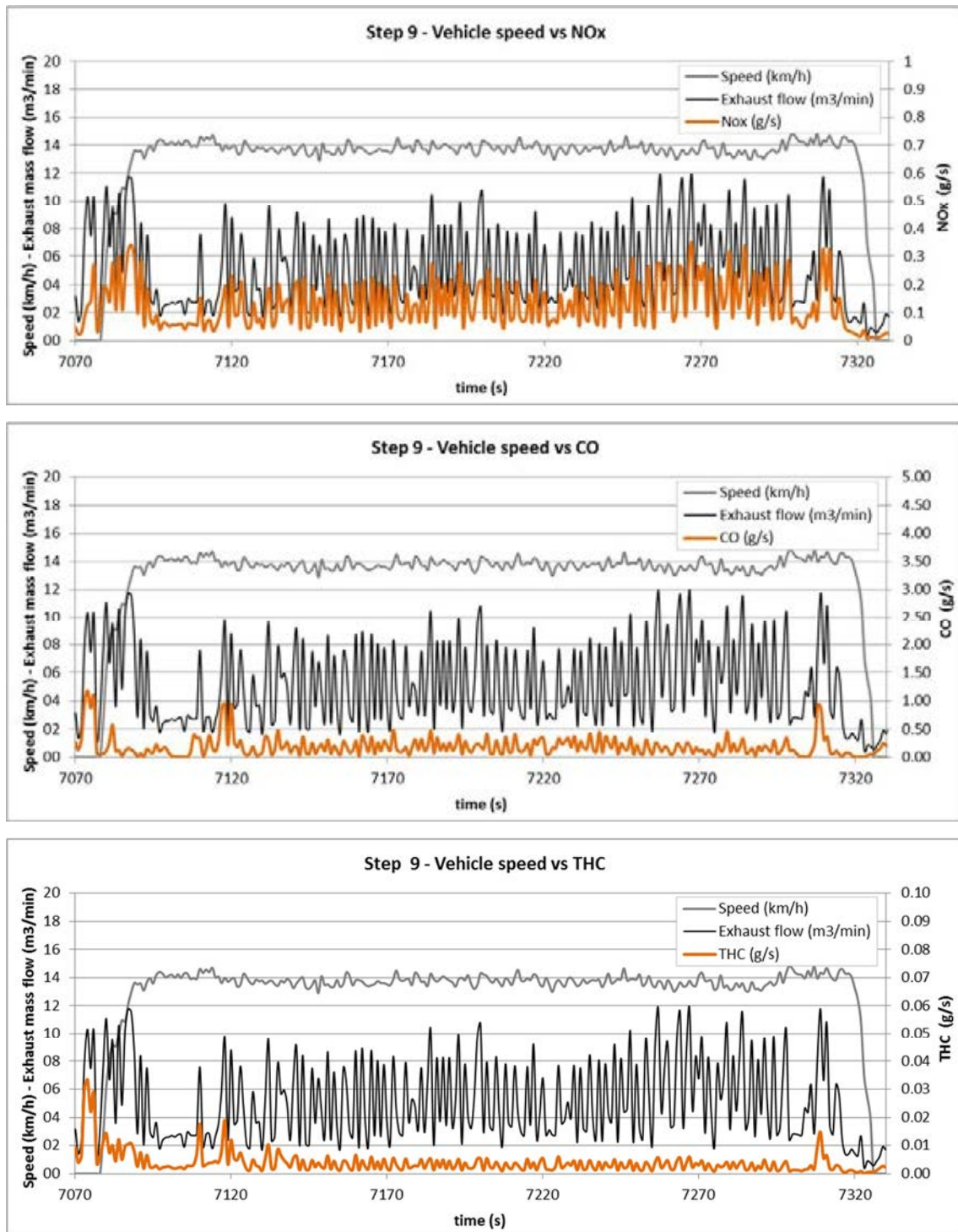


Figure 28. Laden O2 pollutant emissions

STEP 9 AVERAGE PARAMETERS

Exhaust flow	[m ³ /min]	5.11
Vehicle speed	[km/h]	12.8

Table 18: Laden 02 average parameters

STEP 9 PARAMETERS

CO ₂	[g]	2750.55
CO	[g]	51.59
THC	[g]	1.02
NO _x	[g]	33.38
Fuel consumption	[Total cycle litres]	1.05
Average fuel consumption	[l/h]	14.46

Table 19: Laden 02 pollutant emissions and fuel consumption

2.2.10 Step 10: Unladen 02

The final step consists of taking the straddle carried back to the parking area, without carrying any load. The results were as follows:

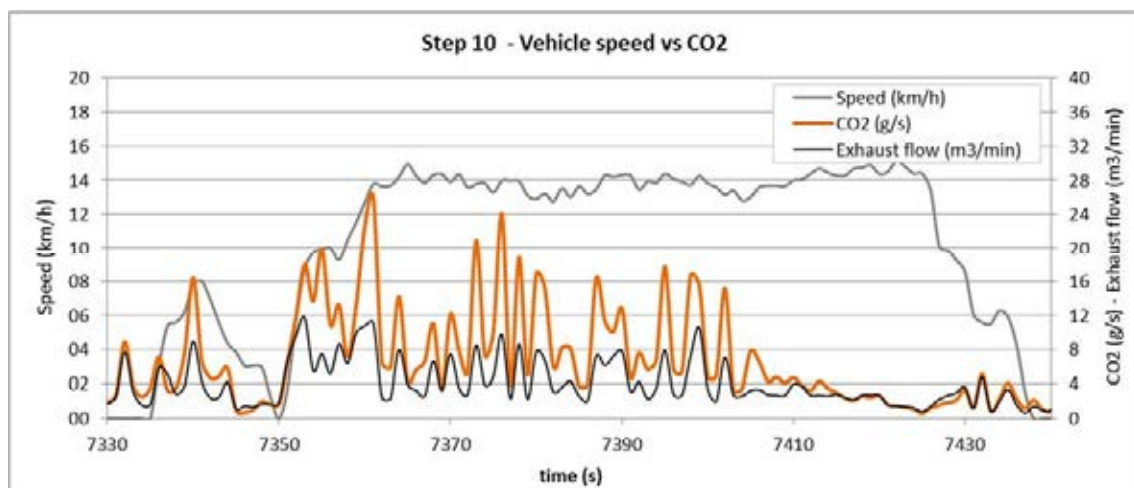


Figure 29. Unladen 02 vehicle speed and exhaust flow

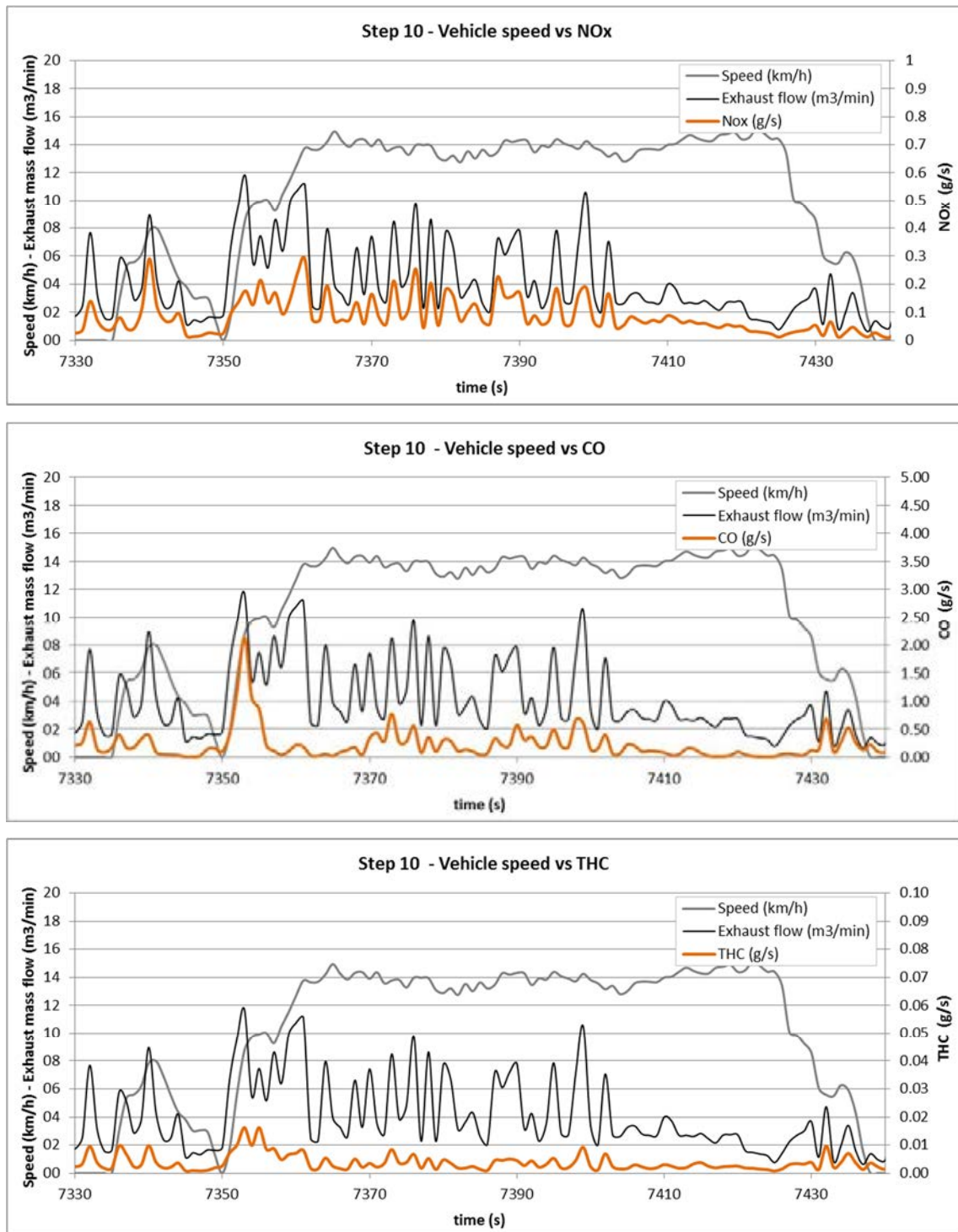


Figure 30. Unladen O₂ pollutant emissions

STEP 10 AVERAGE PARAMETERS

Exhaust flow	[m ³ /min]	4.05
Vehicle speed	[km/h]	10.4

Table 20: Unladen O2 average parameters

STEP 10 PARAMETERS

CO ₂	[g]	756.28
CO	[g]	24.74
THC	[g]	0.42
NO _x	[g]	9.64
Fuel consumption	[Total cycle litres]	0.29
Average fuel consumption	[l/h]	3.53

Table 21: Unladen O2 pollutant emissions and fuel consumption

2.2.11 Reliance between vehicle speed and emissions

Once the complete test is performed and each step's results obtained, the dependency between the vehicle speed and pollutant emissions can be seen.

The charts below show the reliance between these variables in the whole cycle. For each comparison, the zone belonging to test 4 is taken in order to observe clearly this dependency. The first comparison deals with vehicle speed and CO₂.

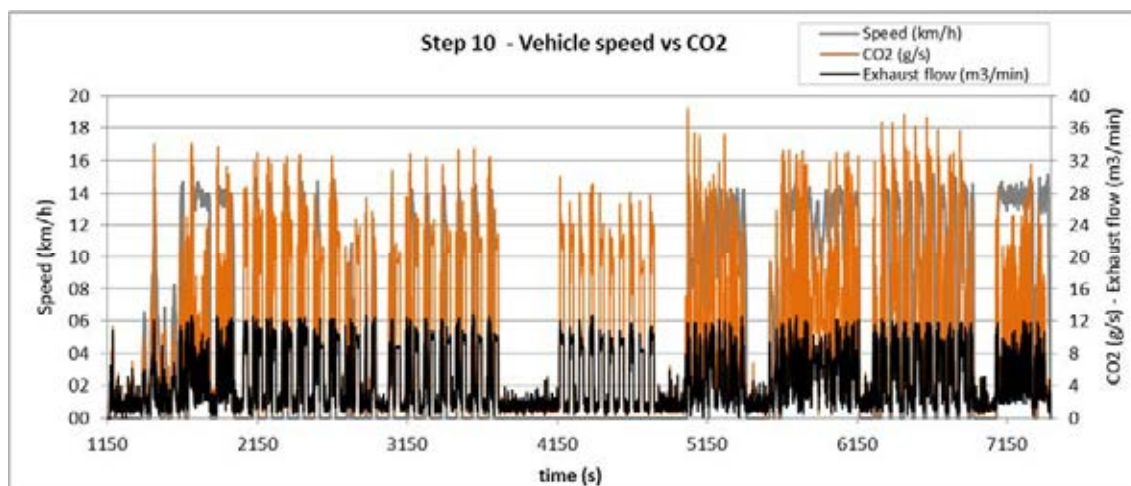


Figure 31. Vehicle speed vs CO₂

The second comparison is between the engine speed and NO_x emissions:

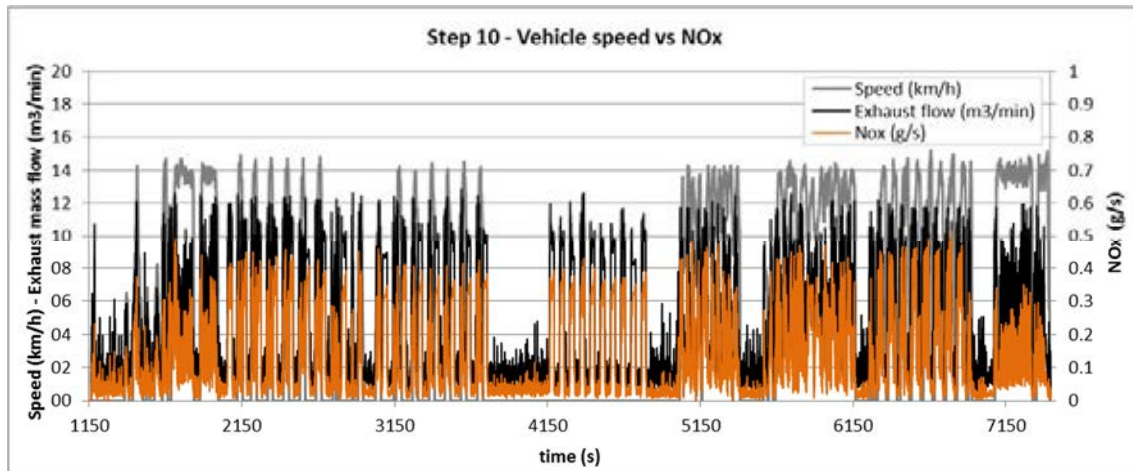


Figure 32. Vehicle speed vs NO_x

The comparison between vehicle speed and THC pollutant is as follows:

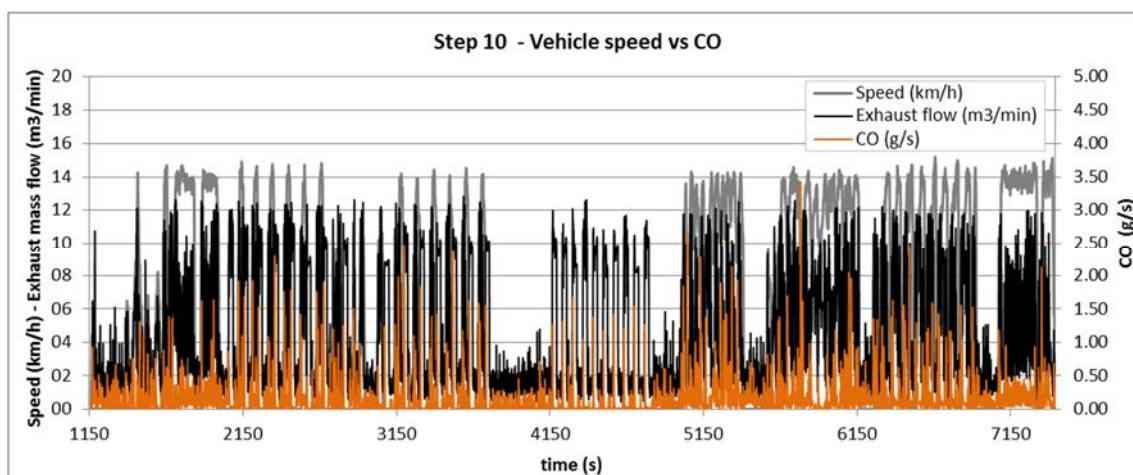


Figure 33. Vehicle speed vs THC

Vehicle speed and CO is the last comparison:

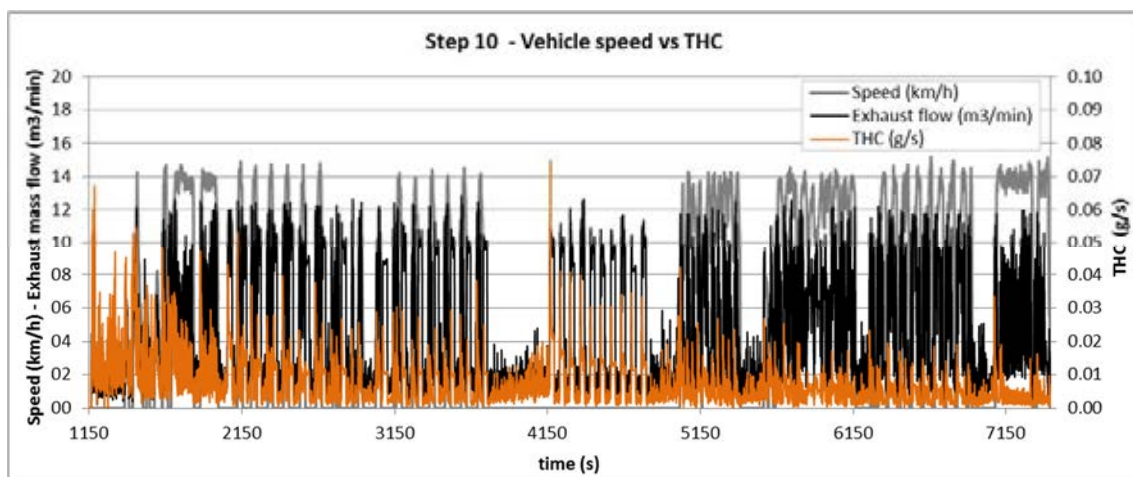


Figure 34. Vehicle speed vs CO

As can be seen in the previous charts and especially in the chart of each step, CO₂ and NO_x emissions are higher in the moments of high vehicle speed and in the instant where the vehicle has just slowed down.

In contrast, THC emissions are very low compared to CO₂ and NO_x emissions and remain almost constant, nevertheless, they increase at the same moments as the other pollutant emissions; whereas CO emissions are worse before and after vehicle speeding.

The following table shows the results of the four pollutant emissions in the TBC cycle:

	NO _x	CO	THC	CO ₂
Total emissions cycle (g)	744.21	878.82	38.81	50703.89
Cycle time (h)	1.34	1.34	1.34	1.34
Emissions (g/s)	0.15	0.18	0.008	10.51
Distance (km)	8.16	8.16	8.16	8.16
Emissions (g/km)	91.20	107.70	4.75	6213.70
Emissions (g/km/Tn)	3.04	3.59	0.16	207.12

Table 22: APMT tests pollutant emissions

Moreover, it is important to perform a comparison of the energy consumption in order to make evident the fuel savings provided by a natural gas engine. Hence the diesel consumption results are defined in the following table.

	Total cycle litres	Litres/h
Fuel consumption	19.33	14.40*

Table 23: APMT tests fuel consumption. (*Only for 1 engine)

3. BEST real-driving emissions test

Like TBC terminal, several tests must be performed in the BEST terminal because it makes use of engines which have to be converted in order to run with LNG fuel.

The straddle carriers at BEST have one single SISU engine, 273 Kw/1500 Nm. The power of this engine is divided into three systems that operate in parallel:

- Wheels
- Container elevator
- Steering (requires a very small power compared to the others)

Each one of these systems works independently. The engine is powerful enough to supply the power that each system requires to work at maximum performance level. This means that no one of the three systems will suffer a performance reduction when working at the same time. The engine will deliver its maximum power when the three independent systems require their respective maximum power: full longitudinal acceleration, container elevation at max speed and quick turn of the vehicle.

The first two operations occur frequently, whilst the third one rarely occur while any of the other two are taking place. Nevertheless, the steering system requires a minimal amount of power compared to the other two.



Figure 35. BEST Straddle Carrier

3.1. Tests description

Initially, it was planned to develop the same real-driving emissions test as performed in the APMT terminal at BEST terminal, but it was not possible since the daily activities of the straddle carriers operators could not be interrupted, among other reasons. In order to get the emissions results in the normal operation course of the machine, two different tests were studied.

On the one hand, a real-life test was designed to follow part of the usual route of the Straddle Carrier according to the suggestions of the BEST employees. On the other hand, a new test was created by IDIADA and the technicians advices according to the terminal restrictions.

Both tests were performed using a calibrated test container whose weight is 25 Tm.

3.1.1 Testing Area

The machine was instrumented where it is usually parked overnight, next to the hangar area. The tests would always start and finish in this place so that the beginning and the end of the test would always be a displacement across the terminal without carrying any load. The tests performed at BEST terminal were as follows:

- Real-life
- Test cycle defined



Figure 36. Aerial view of the terminal

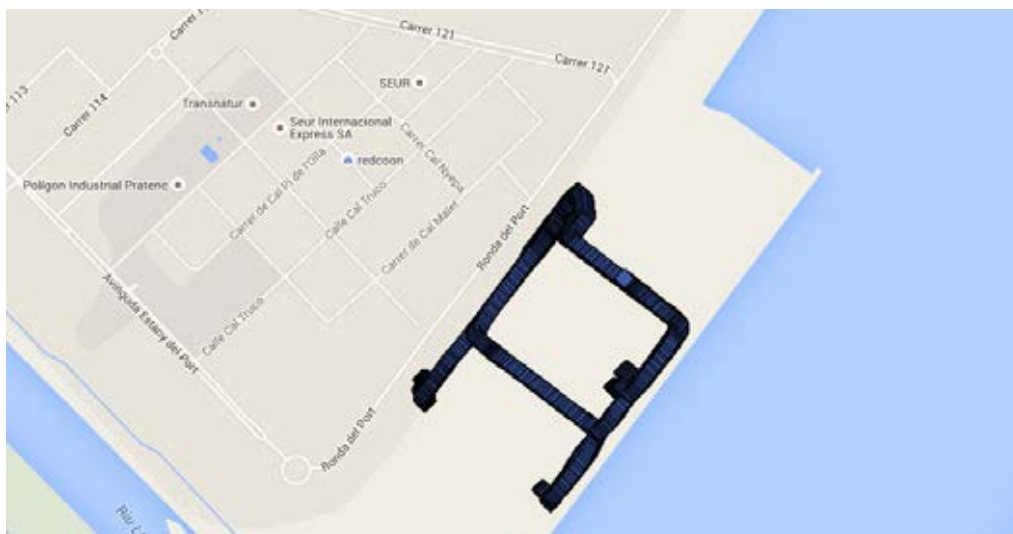


Figure 37. Real-life BEST test



Figure 38. Test cycle defined

It is also important to remark that the following assumptions need to be taken into account:

- The test was performed during 1 day. Firstly in a real-life work, after that, with a test cycle defined.
- These two parts of the test make use of different registered loads in order to normalise the result according to the load.
- The test was performed on the daily work zone, not specific work.

- The person who drove these machines was an expert driver of straddle carriers.

The real GPS tracks that follow each test are represented in the following graphs based on latitude and longitude.

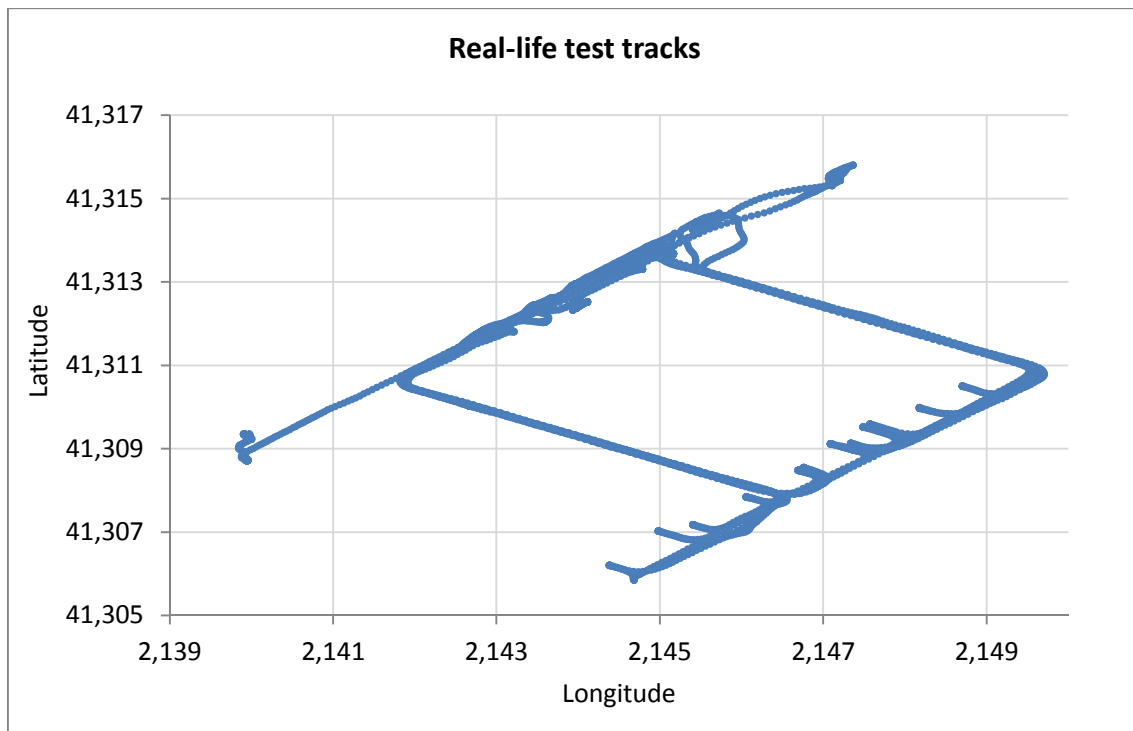


Figure 39. Real-life test tracks (BEST)

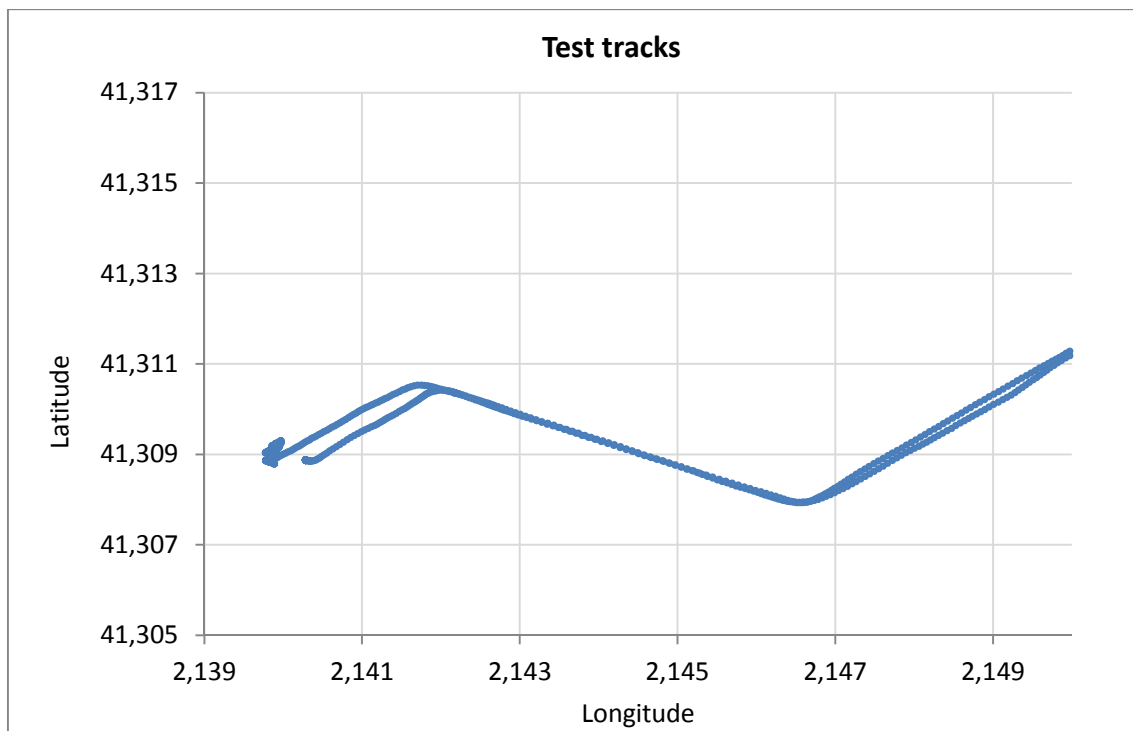


Figure 40. Test cycle defined tracks (BEST)

3.1.2 PEMS installation and measurement devices

For the tests of BEST terminal, the same devices as APMT tests are used, in other words, the PEMS device is needed to instrument. As described previously, PEMS installation consists on the following elements:

- Gas analyser modules
- Communication module
- Power supply module
- Heated sampling line
- Exhaust gas flow meter
- Pitot-box
- Gas bottles
- GPS module
- WS station
- Additional signal inputs



Figure 41. PEMS installed on the top of the Straddle Carrier



Figure 42. Bundle of heated gas sampling, pressure and temperature lines



Figure 43. PEMS modules installation



Figure 44. Straddle Carrier a few minutes before the execution of the test

3.2. Real-life tests

In this part, the results of real-life test are shown as a function of time. Firstly, like APMT tests, the vehicle speed, exhaust flow and CO₂ emissions are shown below:

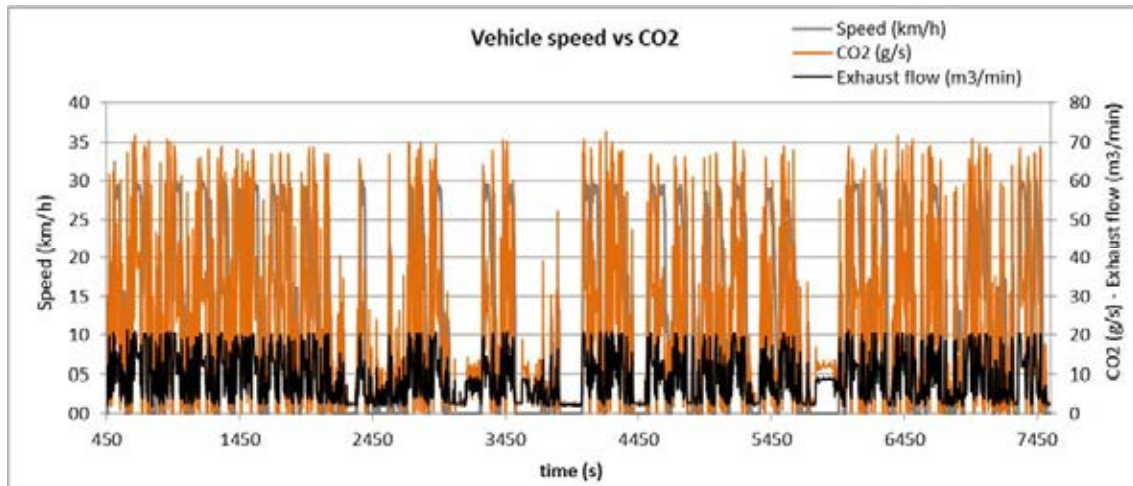


Figure 45. Real life speed and exhaust results

The previous chart is divided in parts in order to see more clearly these results:

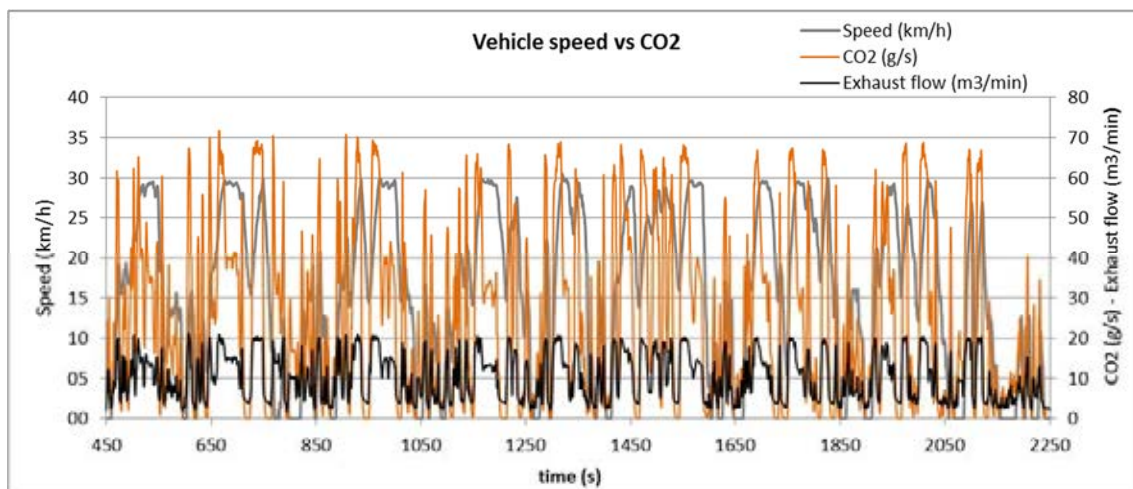


Figure 46. From 450 s to 2250 s

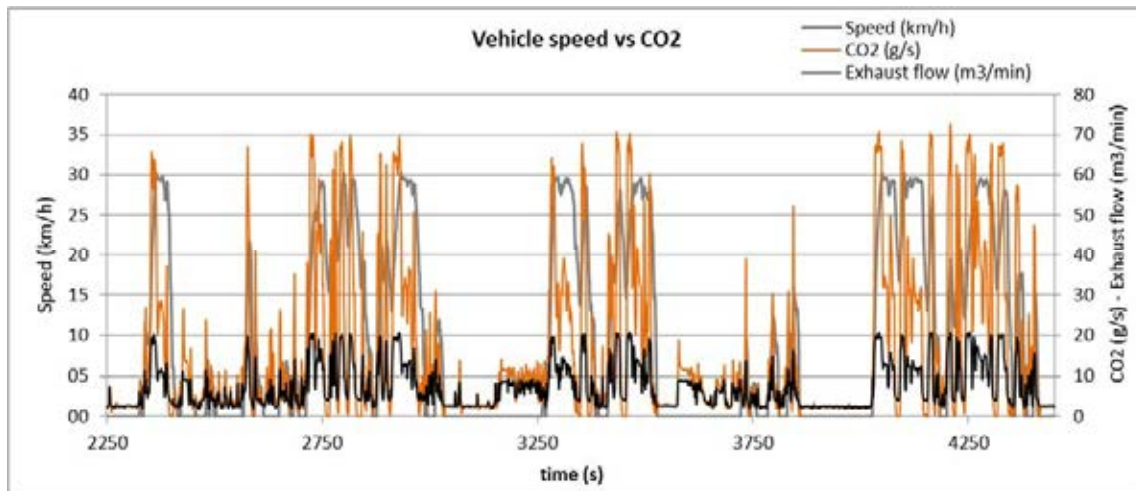


Figure 47. From 2250 s to 4450 s

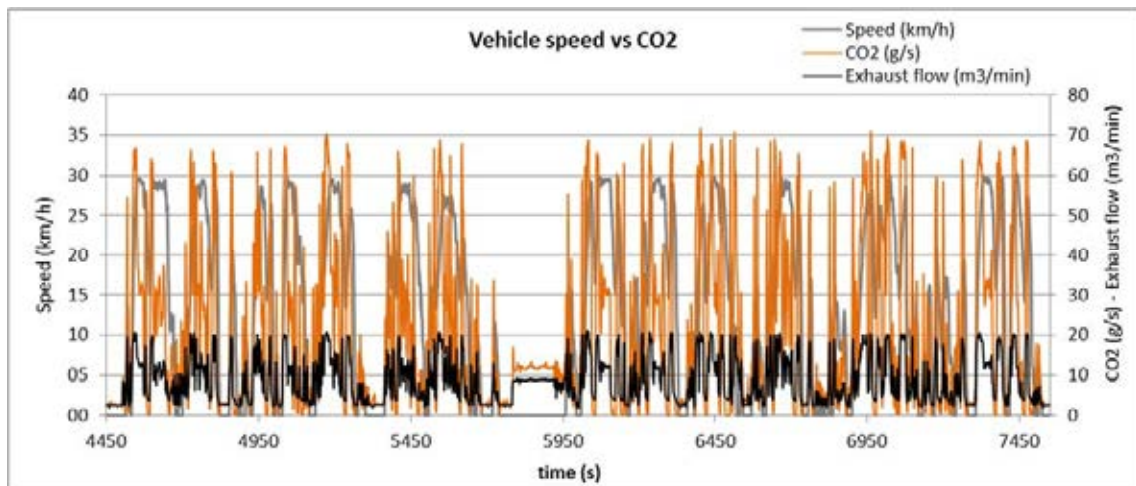


Figure 48. From 4450 s to 7550 s

Once the test results have been shown, it is time to show the results of the emissions in the whole cycle. The following charts show NO_x, THC and CO₂ emissions during the whole real life test.

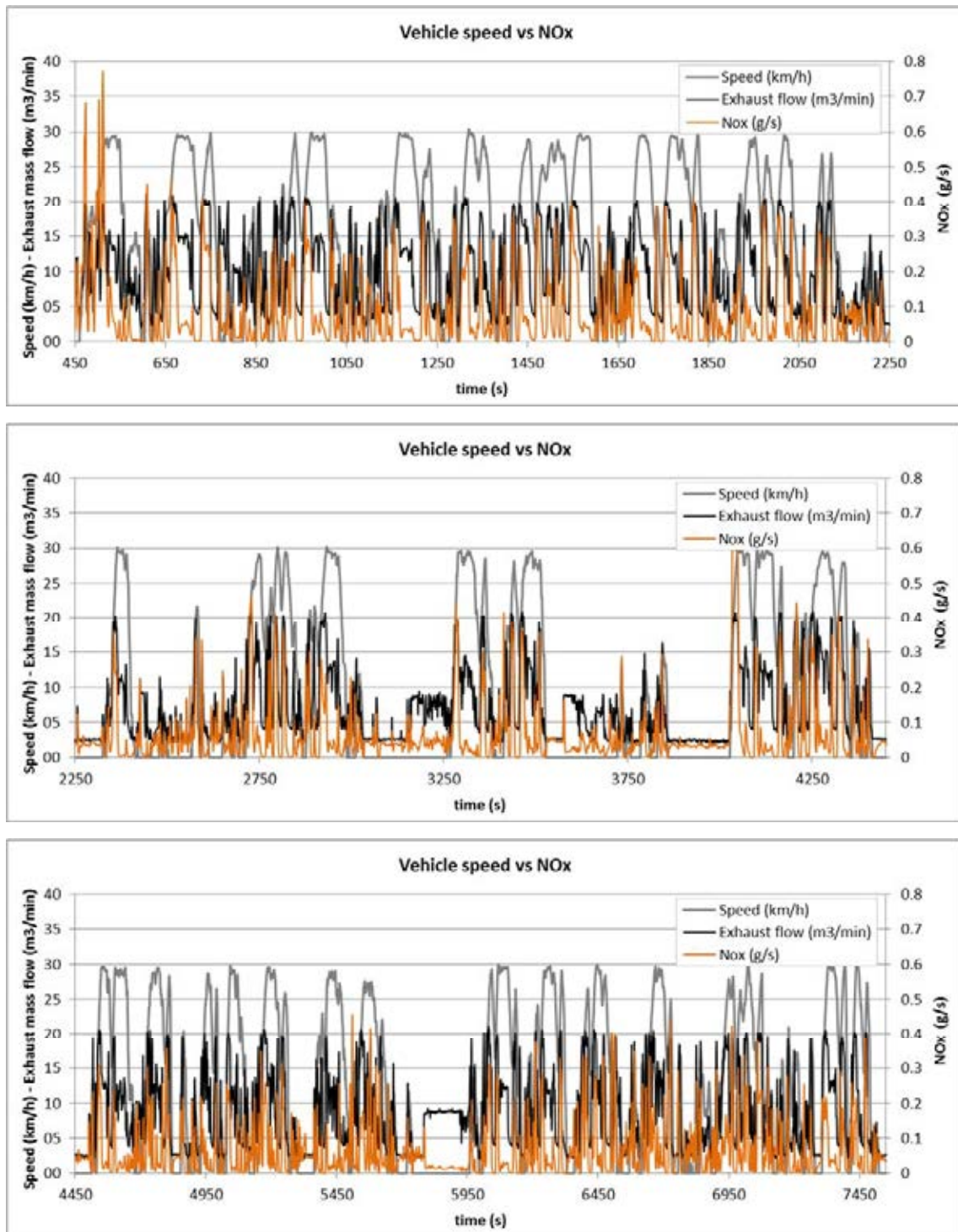


Figure 49. NOx emissions in real-life test

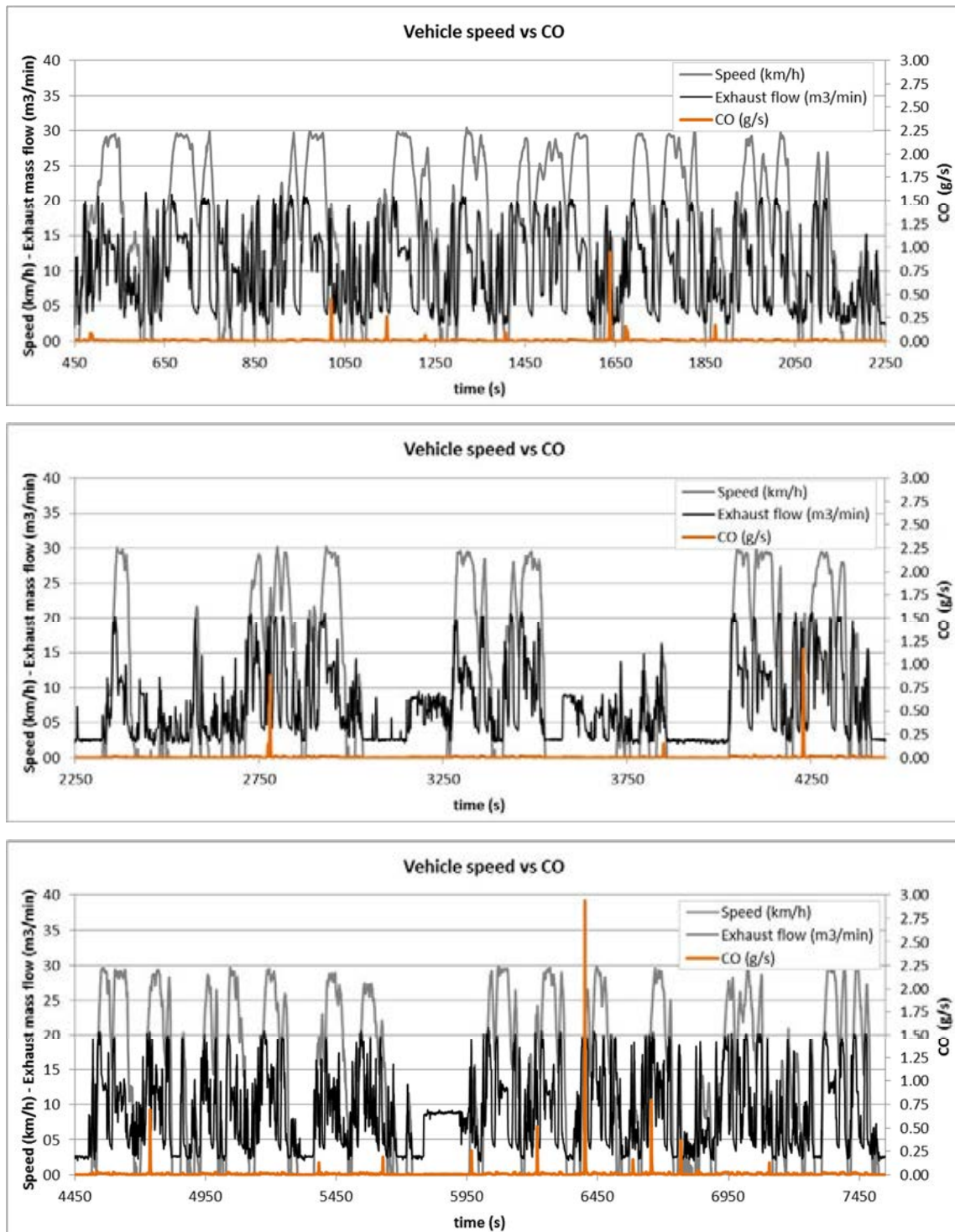


Figure 50.CO emissions in real-life test

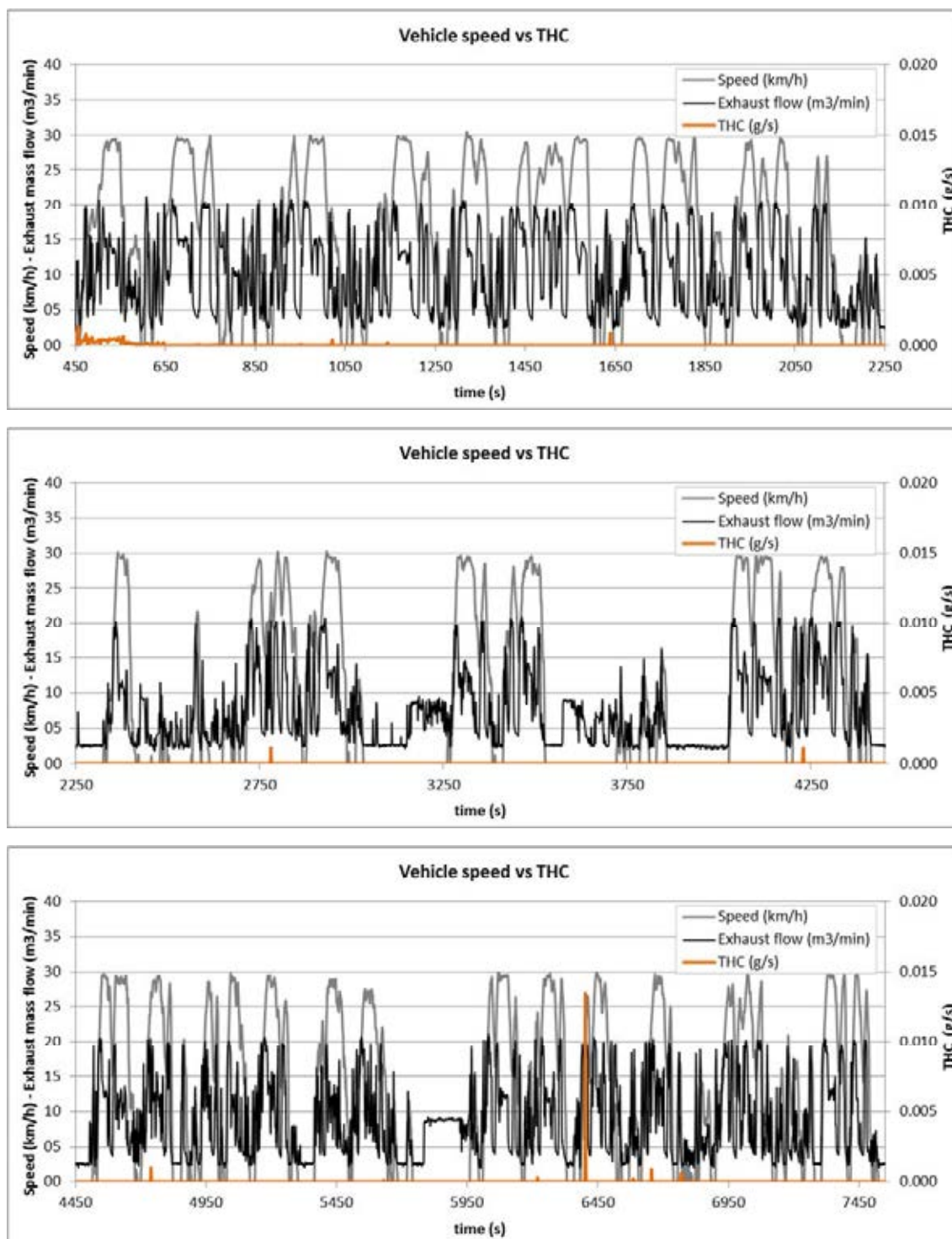


Figure 51. THC emissions in real-life test

And now, the following table deals with the summary of the emissions in addition to the fuel consumption:

	NO _x	CO	THC	CO ₂
Total emissions cycle (g)	447.70	74.26	0.09	142,683.06
Cycle time (h)	1.97	1.97	1.97	1.97
Emissions (g/s)	0.063	0.0105	1.2E-05	20.09
Distance (km)	25.28	25.28	25.28	25.28
Emissions (g/km)	17.71	2.94	0.0034	5,643.02
Emissions (g/km/Tn)	0.71	0.12	0.00014	225.72

Table 24: Real-life cycle pollutant emissions summary table

	Total cycle litres	litres/h
Fuel consumption	54.40	27.58

Table 25: Real-life cycle fuel consumption

3.3. Test cycle defined

After a real-life cycle, a test cycle was created in order to compare these results with the engine conversion results, in other words, the test must be executed in accordance with the following defined sequence:

1. From the Hangars to the place where the 25 Tm container is stored, 5 -10 minutes of idle or displacement delivering low power.
2. Carry the container from the place where is kept to the testing area.
3. Execution of the pre-defined test. The sequence was:
 - a. Container on the ground
 - b. Full acceleration forwards and full power container elevation. Container and max speed (30 km/h) are reached at a very similar time.
 - c. Maintain the max speed and container up during 2-3 seconds and brake. Stop the machine after two lamp posts (around 200 m).
 - d. Leave the container on the ground, max speed. Wait 5 seconds
 - e. Lift the container up at max speed. Hold up for 5 seconds.
 - f. Container back to the ground. Wait 5 seconds.
4. Repeat the same 10 times (5 times each way).

This is the next test performed after carrying out the real-life ones. Vehicle speed and exhaust flow results are shown below:

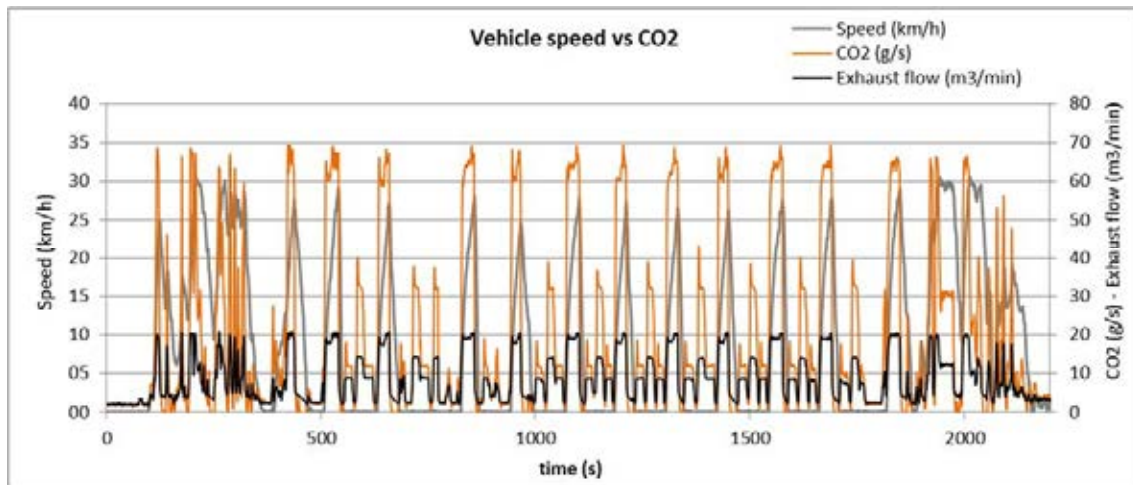


Figure 52. Test cycle defined speed, exhaust and CO2 emissions results

NO_x, CO, THC and CO₂ emissions are the next results to be shown:

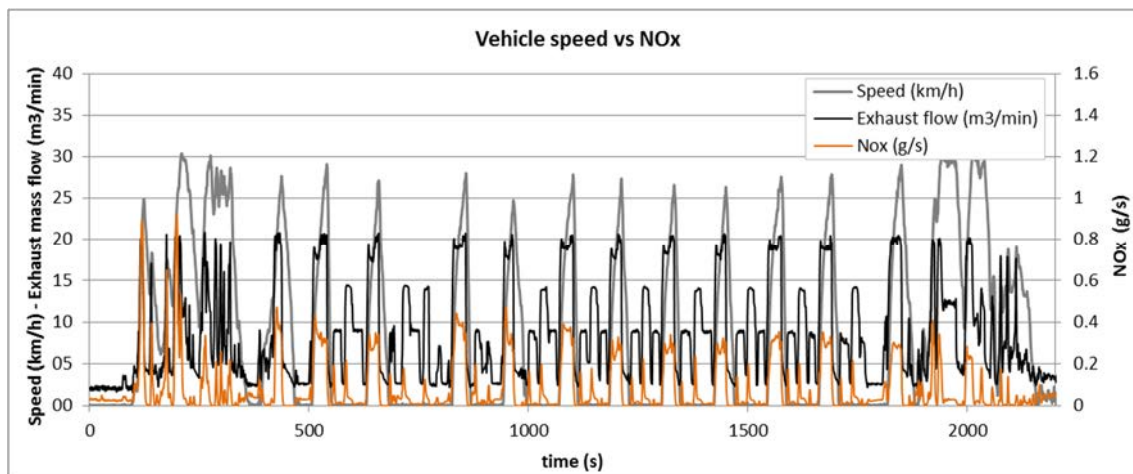


Figure 53. NOx emissions in test cycle defined

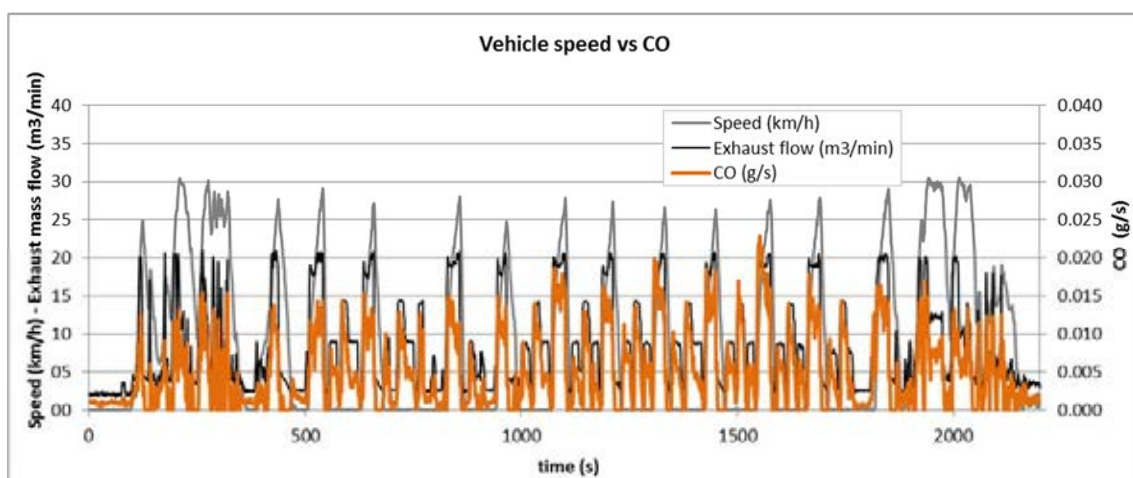


Figure 54. CO emissions in test cycle defined

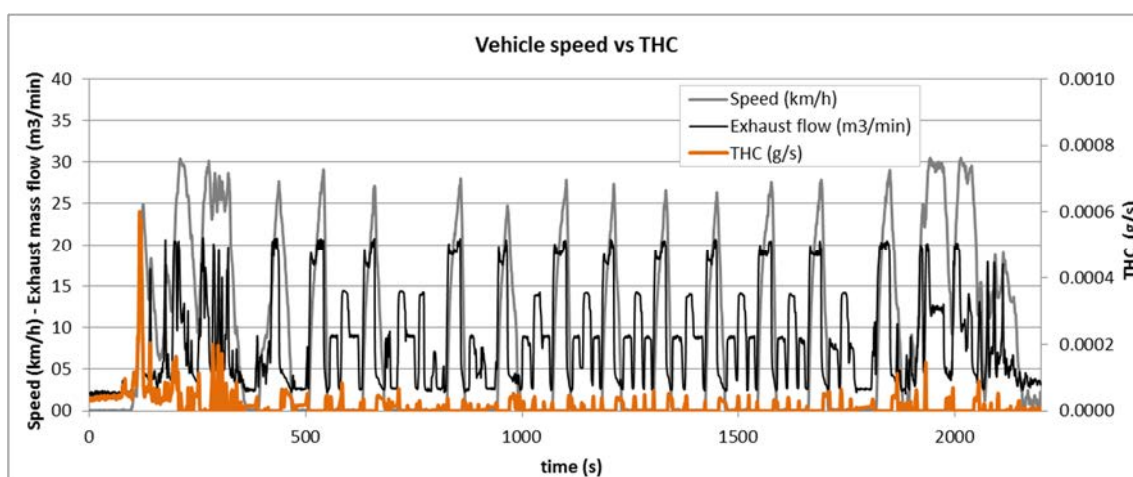


Figure 55. THC emissions in test cycle defined

As in the previous test, below the emissions summary as well as the fuel consumption in the whole cycle are shown:

	NO _x	CO	THC	CO ₂
Total emissions cycle (g)	164.00	10.93	0.04	43,568.39
Cycle time (h)	0.61	0.61	0.61	0.61
Emissions (g/s)	0.075	0.0049	1.63E-05	19.80
Distance (km)	5.30	5.30	5.30	5.30
Emissions (g/km)	30.95	2.06	0.0068	8,223.67
Emissions (g/km/Tn)	1.24	0.08	0.00027	328.95

Table 26: Test cycle defined pollutant emissions summary table

	Total cycle litres	Litres/h
Fuel consumption	16.61	27.18

Table 27: Test cycle defined fuel consumption

4. Determination of engine performance and exhaust emissions in a test bench

In order to define the current status of the engines, both engines required to be subjected to a performance and exhaust emissions tests. This type of test is developed at IDIADA facilities, concretely in a test bench where the engine is fully instrumented and rehearsed. These tests will be useful in the future to view the capabilities of the converted engine and to compare the variation of exhaust gas emissions between the engine powered by diesel and by natural gas.

For this reason, the terminals had to send an engine from their Straddle Carrier to IDIADA to carry out the corresponding tests. The APMT terminal could submit and engine since it has some machines in disuse. On the contrary, the BEST terminal has all its machines in operation and was not able to leave the engine for about a month at IDIADA. Therefore, the performance and exhaust emissions test in a test bench was only performed for the APMT engine.



Figure 56. APMT engine views.

Full load tests were carried out in accordance with Regulation No 85¹ which defines the procedure for the representation of the power curve at full load as a function of the engine speed. During the full load test the smoke was also measured.

In addition, an engine mapping was performed to measure the exhaust emissions and complete the data. An engine mapping is a kind of test that determines the performance curve to see the behaviour of the engine when it is subjected to changes in speed, load and ignition timing among many other parameters.

¹ Regulation No85 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) – Uniform provisions concerning the approval of internal combustion engines or electric drive trains intended for the propulsion of motor vehicles of categories M and N with regard to the measurement of net power and maximum 30 minutes power of electric drive trains.

4.1. APMT engine performance test

The engine was installed on the test bench and mechanically verified. Then it was equipped with sensors whose functions are to measure flows, temperatures and pressures, and with equipment that calculates the exhaust emissions parameters and other factors that have some effect on the engine output. Moreover, the test bench has a dynamometer, an opacimeter to measure the smoke production and an exhaust gas analyser.

Parameter	Units
Air flow	kg/h
Intake air pressure (after air filter)	mbar
Intake air temperature (after air filter)	°C
T ^a air after high compressor	°C
P air after high compressor	mbar
Exhaust pressure before turbine-1	mbar
Exhaust T ^a before turbine-1	°C
Exhaust T ^a after turbine-1	°C
Exhaust pressure (after turbine)	mbar
Lambda	--
NOx	ppm
NO	ppm
NO ₂	ppm
HC	ppm
CO	ppm
CO ₂	%
O ₂	%
Oil pressure	bar
Oil temperature	°C
Fuel pressure before engine	bar
Fuel temperature before engine	°C
Fuel pressure after engine	bar
Fuel temperature after engine	°C
Inlet Engine Coolant Temperature	°C
Outlet Engine Coolant Temperature	°C
Engine Coolant Pressure	°C
Engine coolant massflow	kg/h

Table 28: Engine parameters measured

The Valmet 612 engine with the characteristics of Table 29 was tested according to the test atmospheric conditions defined by the regulation.

Parameter	Description
Manufacturer	Valmet 612
Cycle	Four stroke
Cylinder number	6
Engine capacity	7.400 cm ³
Combustion system	Compression ignition
Fuel	Diesel

Table 29: Main parameters of APMT engine

The results of the power and torque curve at full load as a function of the engine speed are shown in the following graphs. As can be seen, the maximum net power is 102.5 kW at 1900 min⁻¹ while the maximum net torque is 570 Nm at 1400 min⁻¹.

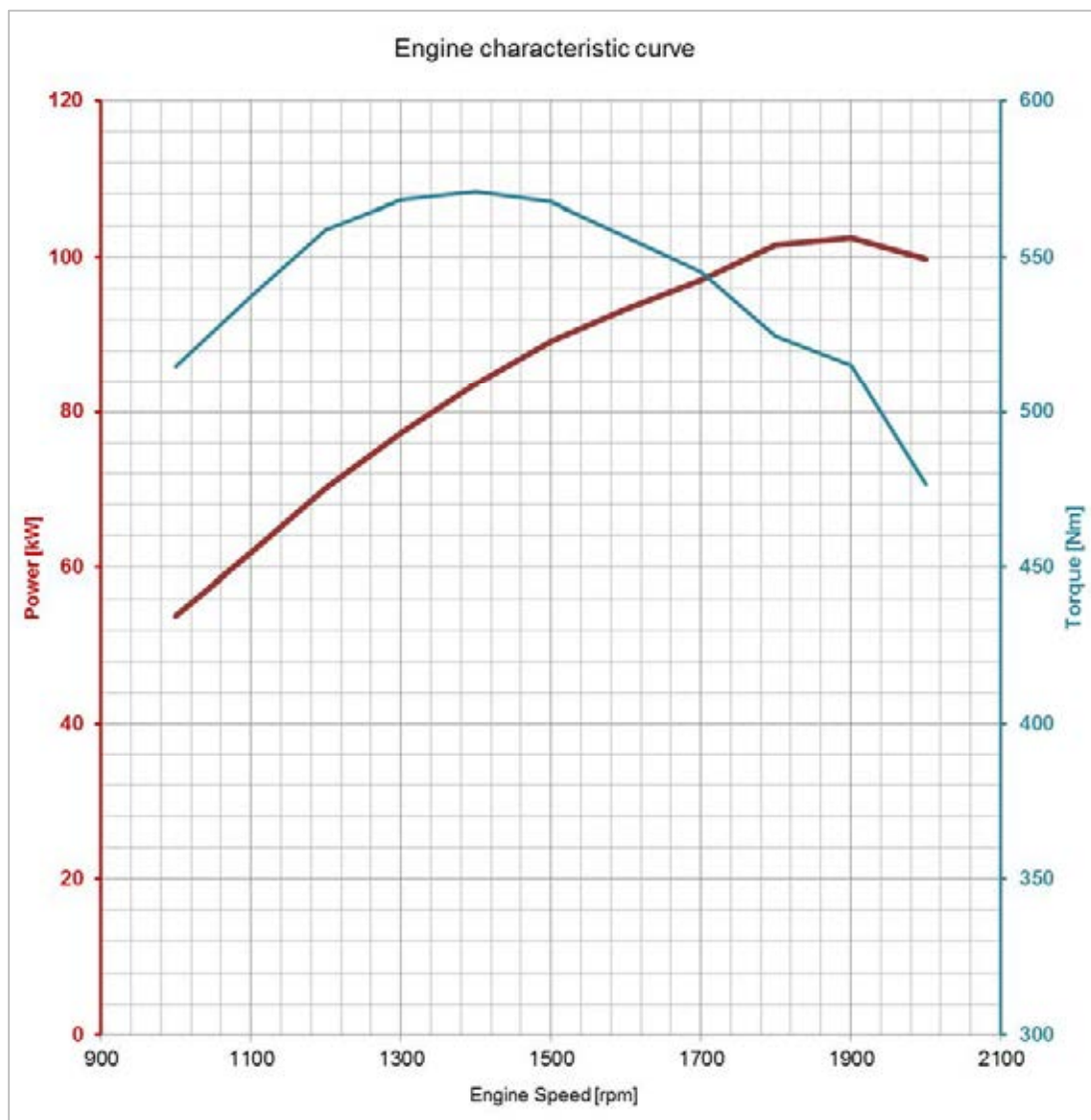


Figure 57. APMT engine characteristic curve

During the full load test, the smoke results at steady state speed were measured as shown in Table 30.

Speed rpm	Opacity 1/m
1000	1.916
1100	1.588
1200	1.449
1300	1.204
1400	1.011
1500	0.781
1600	0.665
1700	0.565
1800	0.485
1900	0.412
2000	0.386
1900	0.413
1800	0.481
1700	0.538
1600	0.665
1500	0.791
1400	1.004
1300	1.134
1200	1.371
1100	1.675
1000	2.012

Table 30: Opacity results of APMT engine

4.2. APMT engine mapping

The engine mapping was performed to measure the exhaust gas emissions at different speeds and loads taking advantage of the engine installation in the test bench. The results of this test will be taken into account after the engine conversion to compare its capabilities and develop an assessment of the pollutant emissions of both diesel and natural gas fuels.

SPEED rpm	Net power kW	Net torque Nm	Fuel consumption kg/h	NO_x ppm	CO ppm	THC ppm
1000	11.4	109.0	3.33	330.3	279.2	237.0
1000	22.5	215.1	5.33	424.5	156.2	219.4
1000	33.7	321.4	7.50	560.1	133.1	212.8
1000	45.2	431.8	10.04	669.7	279.8	210.9
1000	54.8	523.6	12.15	737.3	628.9	195.5
1000	54.9	524.3	12.23	994.4	1057.0	247.6
1200	13.7	108.7	4.00	260.7	183.0	202.5
1200	27.0	214.9	6.42	406.8	146.7	217.2
1200	40.5	322.6	8.89	539.7	108.8	198.1
1200	54.1	430.5	11.68	670.4	110.3	186.1
1200	67.1	534.2	14.68	746.1	262.9	158.6
1200	70.4	560.3	15.61	1029	582.4	193.5
1400	15.5	106.1	4.92	252.2	170.4	185.1
1400	31.2	212.5	7.61	385.5	143.6	193.0
1400	46.9	319.7	10.68	513.2	98.0	184.6
1400	62.6	427.2	13.69	626.9	85.4	173.7
1400	78.2	533.4	17.18	687.6	155.2	156.8
1400	83.9	572.4	18.63	706.1	219.7	138.8
1600	17.9	107.2	5.89	232.6	159.6	183.5
1600	35.7	213.2	9.04	349.7	129.2	182.2
1600	53.6	320.1	12.35	473.2	83.4	162.6
1600	71.6	427.2	15.91	584.8	72.3	153.0
1600	89.4	533.4	19.91	636.1	122.8	141.5
1600	93.8	559.8	21.01	643.8	152.3	131.4
1800	20.2	106.9	6.96	213.8	144.3	180.9
1800	40.2	213.2	10.64	322.6	113.3	169.9
1800	60.3	320.0	14.36	506.3	89.1	177.1
1800	80.5	427.2	18.52	704.4	107.6	183.0
1800	100.3	532.4	23.00	586.9	113.0	129.6
1800	100.9	535.4	23.17	584.9	123.4	119.9
2000	22.5	107.2	8.45	204.8	135.4	173.3
2000	44.7	213.2	12.52	401.0	155.9	205.4
2000	67.0	320.1	16.86	388.3	72.3	140.8
2000	89.6	427.9	21.67	466.9	78.4	125.1
2000	99.8	476.8	23.98	495.6	108.8	116.5

Table 31: Engine mapping results of APMT engine

4.2.1 Exhaust gas emissions

The engine mapping imposes several operating parameters of the engine for different working conditions. The exhaust emissions, fuel consumption and performance plots are used to be the cover letter of the machine.

The exhaust emissions and the fuel consumption value can be plotted by contour maps, where three-dimensional data can be graphed. Once the engine mapping has taken place, it is interesting to view the exhaust emissions in terms of speed and load. Brake Mean Effective Pressure (BMEP) is a parameter generally used to represent the torque behaviour in standardized terms and, therefore, is an indicator of the load applied to the engine.

Thus, nitrogen oxides (NO_x), carbon monoxides (CO) and total hydrocarbon (THC) emissions are displayed in the following contour maps based on engine speed and BMEP. As it can see, the engine produces less pollutant emissions at medium speeds and loads where it should work normally. In spite of this, it will be interesting to see how the pollutant emissions decrease with natural gas combustion with regard to the current combustion.

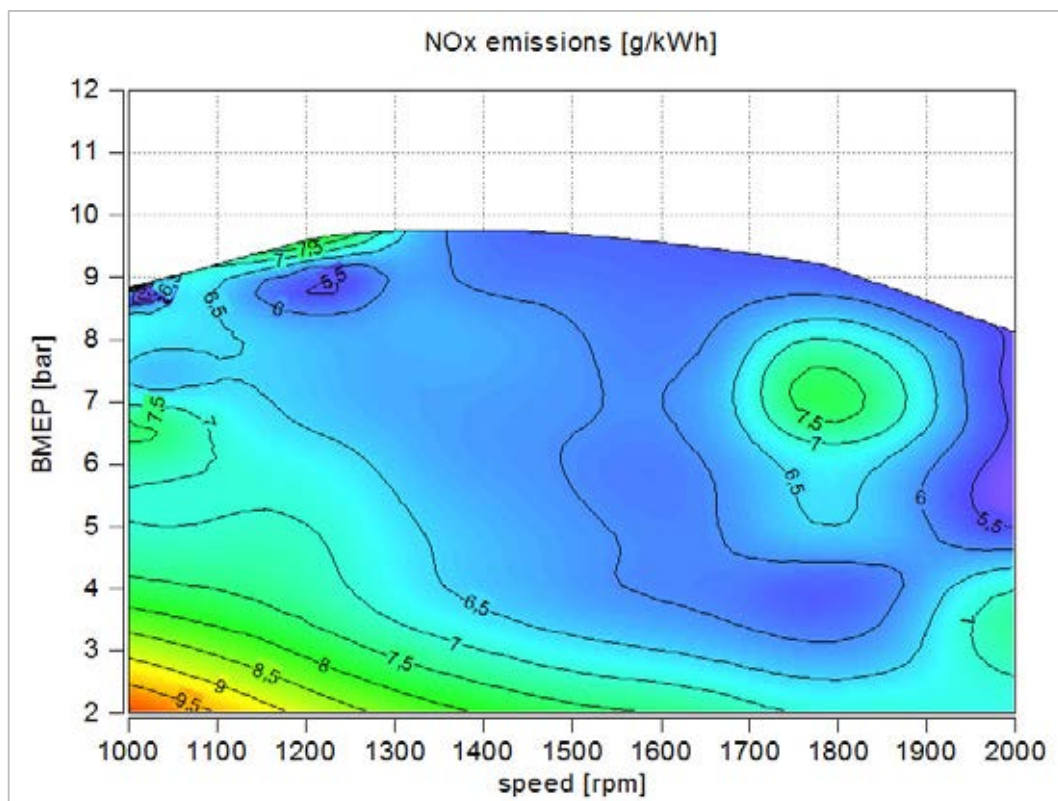


Figure 58. NO_x emissions of APMT engine

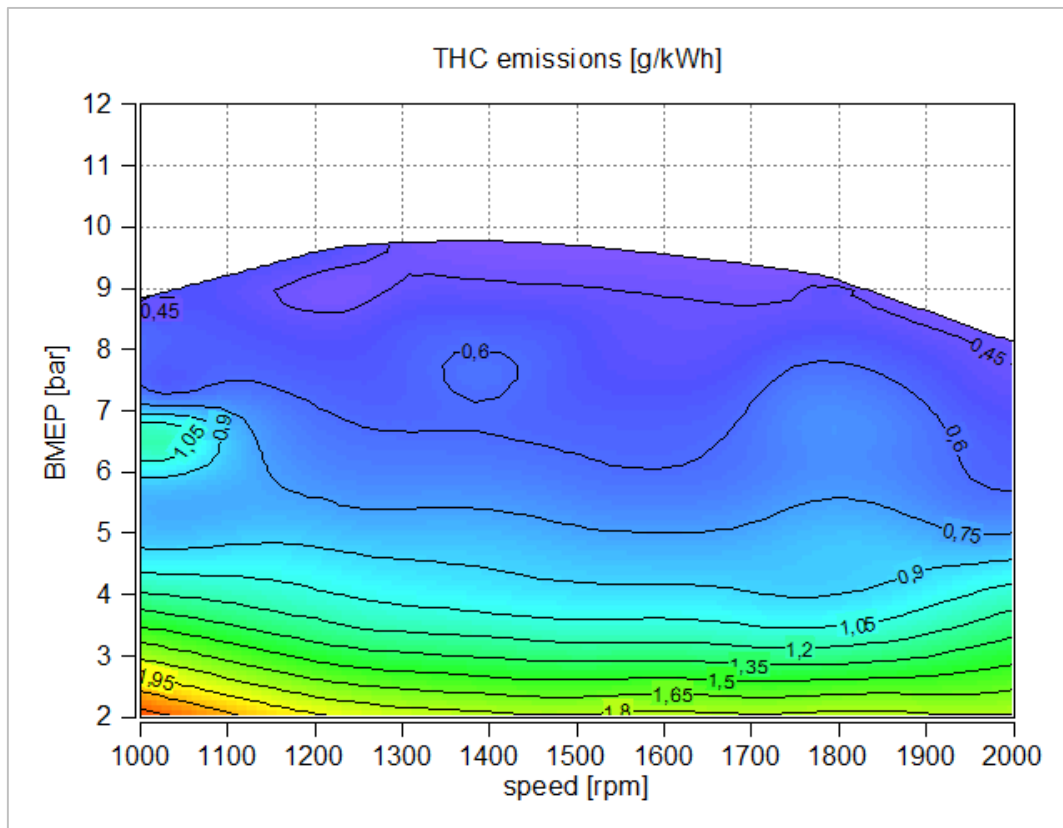


Figure 59. THC emissions of APMT engine

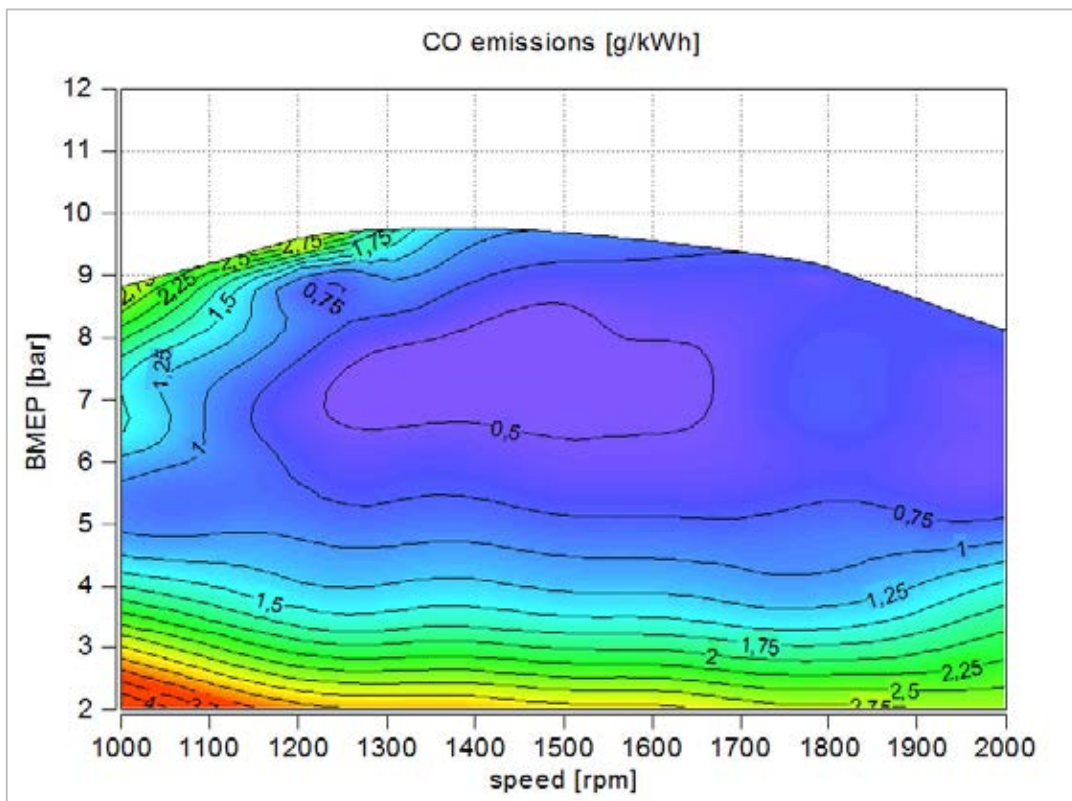


Figure 60. CO emissions of APMT engine

4.2.2 Fuel consumption

Relating the energy consumption, **iError! No se encuentra el origen de la referencia.** shows the specific diesel consumption of the engine, which indicates its efficiency to transform the fuel into mechanical energy, and it is expressed as the fuel consumed in terms of mass to obtain a characteristic power during a period of time (g/kWh).

The graph reveals that the engine presents an increase in fuel consumption at higher speeds while the best efficiency is achieved at high loads and medium speeds.

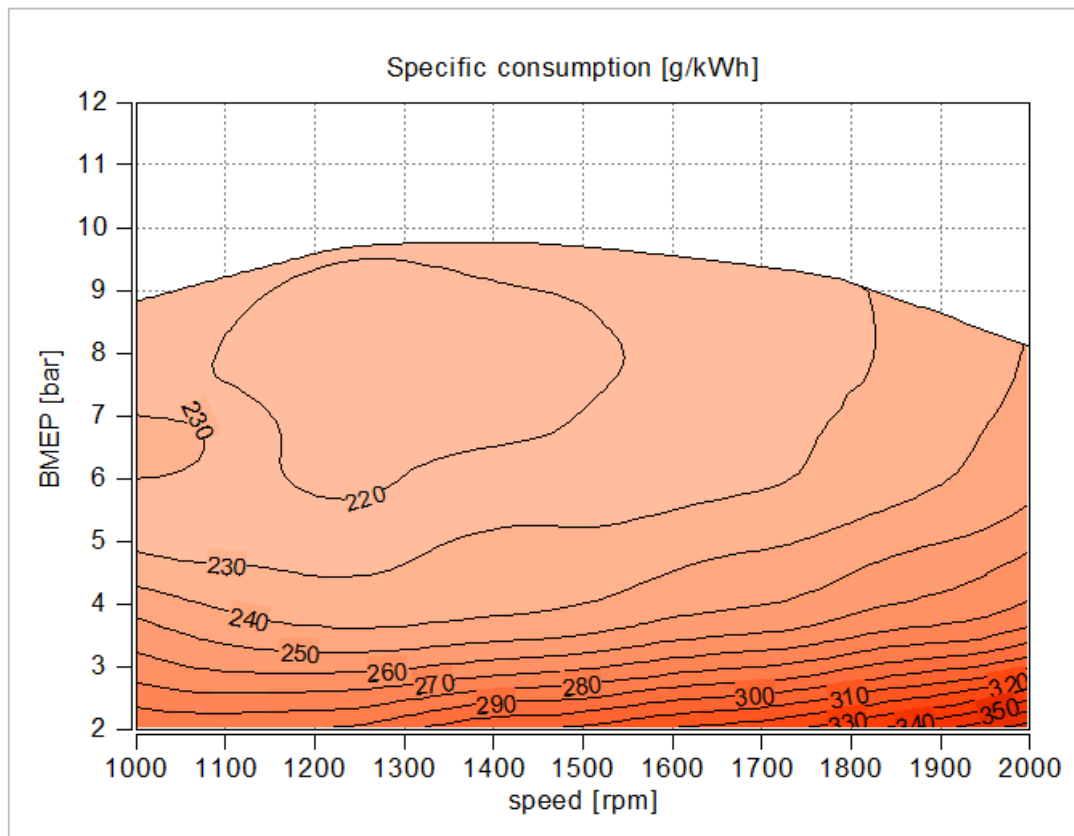


Figure 61. Fuel consumption of APMT engine

5. Engine & Straddle Carrier Conversion

This chapter explains the planned solutions to convert the straddle carrier and the original engines and obtain a natural gas and dual fuel combustion according to their needs and the availability of the machines.

5.1. Engine conversion

IDIADA identifies some possible different engines based on the baseline engines used in the straddle carriers.

Since there is not any regulation in place allowing NG for Non-Road applications yet, this new gas engine will follow the Directive 2012/46/EU² and equivalences from Regulation 49.06³ and Regulation 595⁴. Since this project deals with the development of an engine conversion pilot and to view the exhaust emissions reductions of a natural gas, it is not necessary to subject the prototype to a homologation process. This means that the engine does not need to comply with the current emissions standards despite it will be designed and calibrated to achieve the highest reduction of pollutant emissions.

Moreover, as the engine is supplied and powered by natural gas, the new components will follow the regulation No 110⁵ concerning the approval of those specific components of motor vehicles that use compressed natural gas or liquefied natural gas.

5.1.1 APMT engine conversion

From APMT side, this terminal makes use of two VALMET 612's with 134 kW each as baseline engines. It was decided to convert the diesel engine of the straddle carrier into a gas engine powered by natural gas. Hence the conversion of the Valmet 612

² Commission Directive 2012/46/EU of 6 December 2012, amending Directive 97/68/EC of the European Parliament and of the Council on the approximation of the laws of the Member States relating to measures against the emission of gaseous and particulate pollutants from internal combustion engines to be installed in non-road mobile machinery.

³ Regulation No 49 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) — Uniform provisions concerning the measures to be taken against the emission of gaseous and particulate pollutants from compression-ignition engines and positive ignition engines for use in vehicles

⁴ Regulation (EC) No 595/2009 of the European Parliament and of the Council of 18 June 2009 on type-approval of motor vehicles and engines with respect to emissions from heavy duty vehicles (Euro VI) and on access to vehicle repair and maintenance information and amending Regulation (EC) No 715/2007 and Directive 2007/46/EC and repealing Directives 80/1269/EEC, 2005/55/EC and 2005/78/EC.

⁵ Regulation No 110 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UNECE) — Uniform provisions concerning the approval of: I. Specific components of motor vehicles using compressed natural gas (CNG) and/or liquefied natural gas (LNG) in their propulsion system; II. Vehicles with regard to the installation of specific components of an approved type for the use of compressed natural gas (CNG) and/or liquefied natural gas (LNG) in their propulsion system [2015/999].

engine will be based on the modification of some parts and the replacement or implementation of some new systems to work with natural gas.

There are a variety of approaches and technologies to convert a diesel engine into natural gas engine in accordance with its performance characteristics. These technologies range in cost and complexity, as well as in efficiency and emissions. Natural gas fuelling technologies follow those of gasoline powered engines as natural gas; in consequence this engine should operate in accordance with the Otto cycle.

Heavy-duty machines or vehicles work much like gasoline engines with a spark-ignited internal combustion engines. They used to be supplied with liquefied natural gas (LNG) to meet range requirements. This fuel is cooled and stored cryogenically in a liquid form and in a security part of the machine. In comparison with compressed natural gas (CNG), LNG presents a higher energy density which means that the tank is able to store more fuel on board.

Fuel can be injected into the intake manifold (port fuel injection or PFI) or into the combustion chamber (direct injection or DI). With the former technology, the fuel is combined with air in the intake manifold where the mixture has more time to form and is directed to the combustion chamber. About the latter option, natural gas is injected directly into the combustion chamber where the flow movement allows the correct mixture. For the difficulties that the implementation of a direct injection presents because hard transformation of the head is needed, in that project a fuel injection will be considered at the intake port.

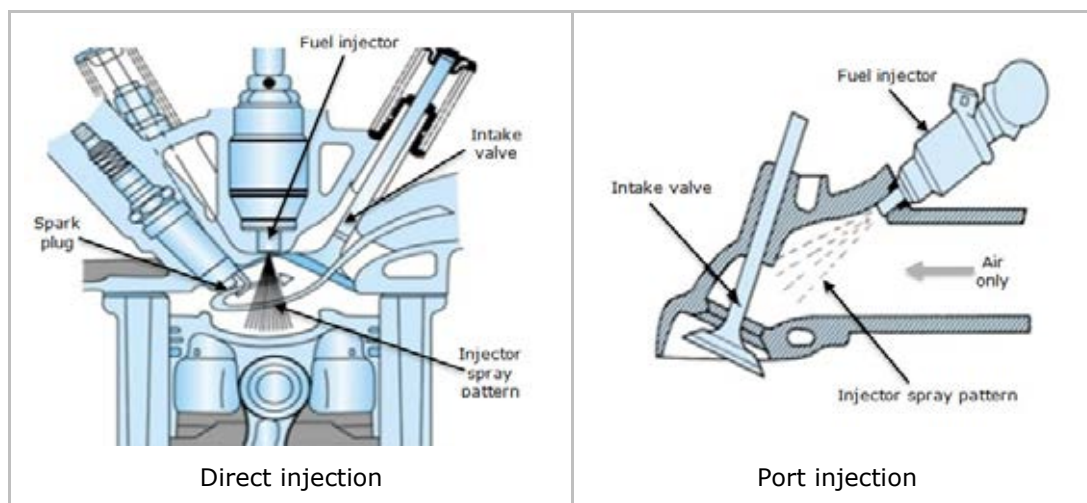


Figure 62. Schemes of direct and port injections

Then, the air-fuel mix is ignited by the spark of a spark plug following Otto cycle combustion. So the spark plug system must be studied including its characteristics and location in the engine.

Once the performance test of the APMT engine is completed and in order to study the dimensions, the components and, therefore, the modifications that will be implemented in the engine, it is necessary to carry out a three-dimensional data of the engine by a 3D scanner. The 3D scanner is a type of device that studies an object or environment to collect data about the external characteristics and, in particular, the dimensions, shapes and location of all engine systems.

Entire engine has been scanned as well as the different parts of it like the intake and exhaust manifold. As an example, 3D scanning allows engineers to draw the new intake manifold where natural gas injectors will be located and design it according to the baseline geometry taking into account the inlet holes.

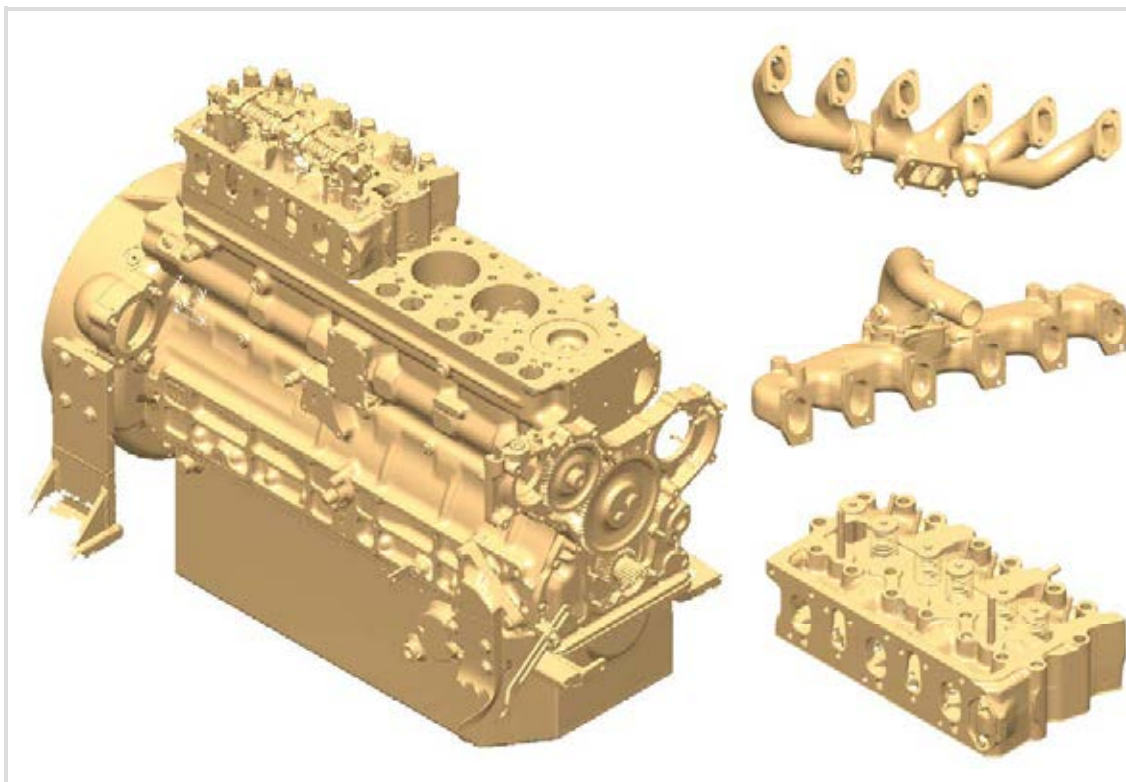


Figure 63. 3D scan of the different parts of the APMT engine

The combustion chamber will be modified by the mechanization of the piston and a part of the head, in order to reproduce accurately the gas combustion. At this point, a study of the shape of the piston bowl and the values of the compression ratio will be developed.

The gas combustion needs natural gas injectors, which will be located in a new design of intake manifold. To obtain the best mixing conditions, a Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation is going to take part during the design process to determine the location of the injectors. Since the diesel injector will be removed, the spark plug could be located in the hollow of the diesel injector.

Moreover, new components – such as supports – and new systems will be analysed according to the engine status and, especially, to its age. For example, components that are not installed in an old engine should be taken into account as the Electronic Control Unit (ECU), electrical wiring and sensors. According to the engine operating conditions, it will be necessary to choose a throttle valve, a turbocharger, an intercooler and a catalyst. Most of these systems will be studied after the gas combustions environment.

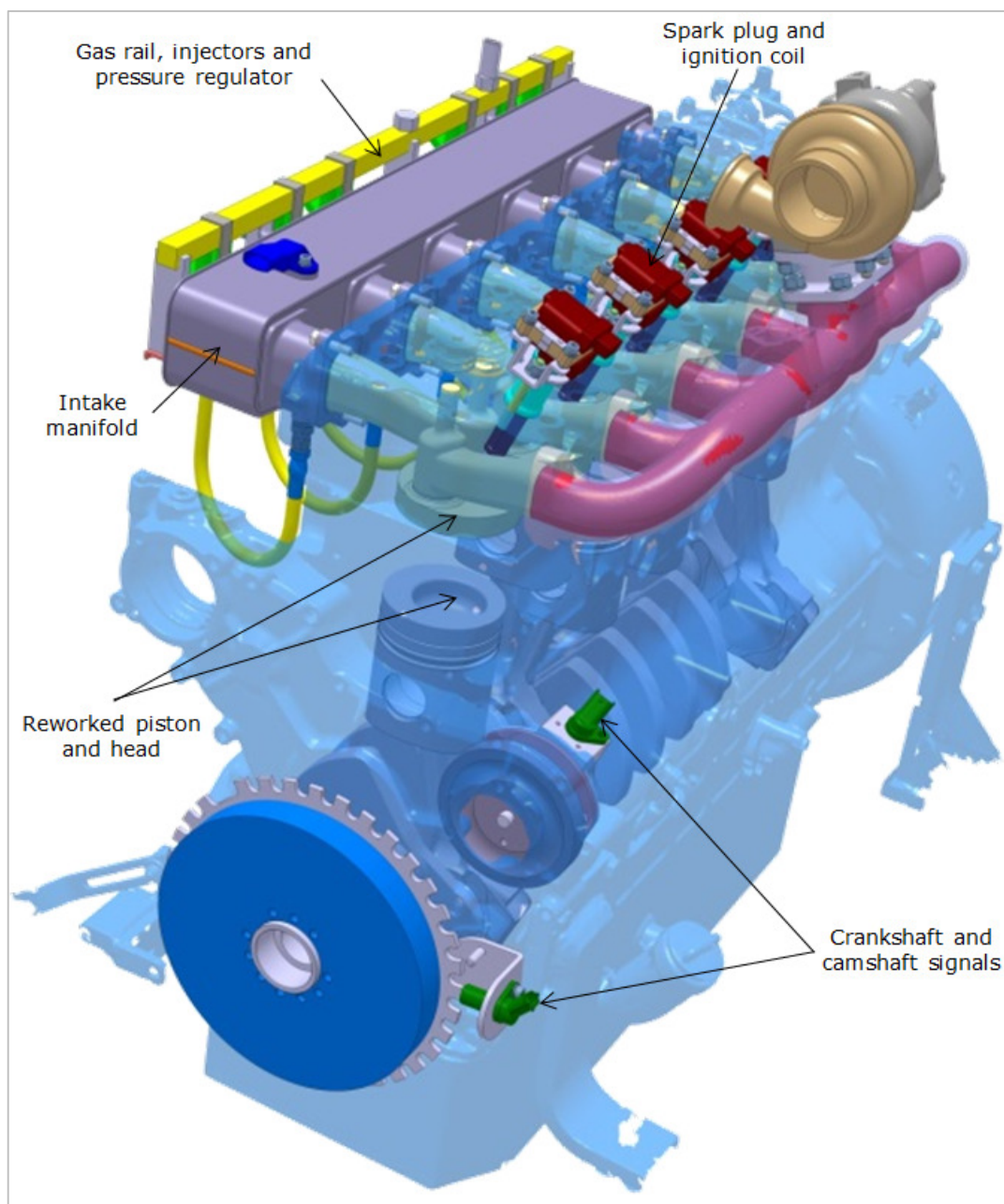


Figure 64. Planned modifications of the APMT engine

5.1.2 BEST engine conversion

From the BEST side, the terminal uses a SISU engine of 273 kW/1500 Nm. It was decided to convert the diesel engine of the BEST straddle carrier into a dual fuel engine, which means that the engine operates with diesel or with both diesel and natural gas. This type of engine allows to return to diesel combustion at any time and if the natural gas supply ends. But before developing the engine conversion, it is necessary to know the technical feasibility of the straddle carrier approved by the manufacturer.

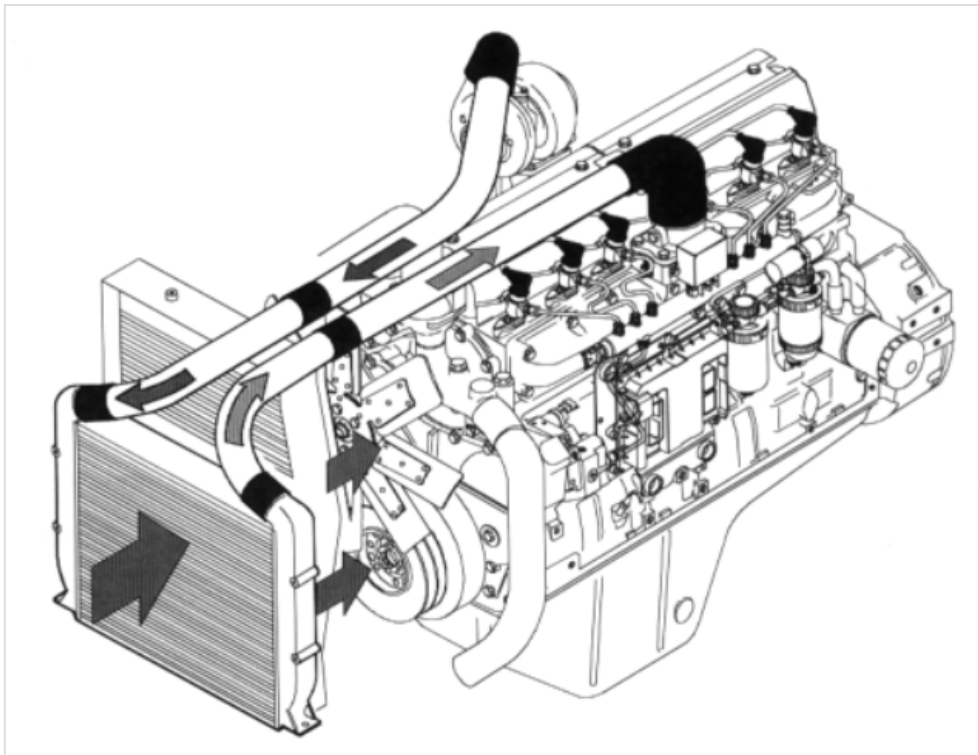


Figure 65. Scheme of the original engine SISU.

Dual fuel engine adopts a Diesel cycle combustion using diesel pilot injection like a spark plug and then the single combustion stroke continues by means of natural gas delivered into inlet duct of each cylinder.

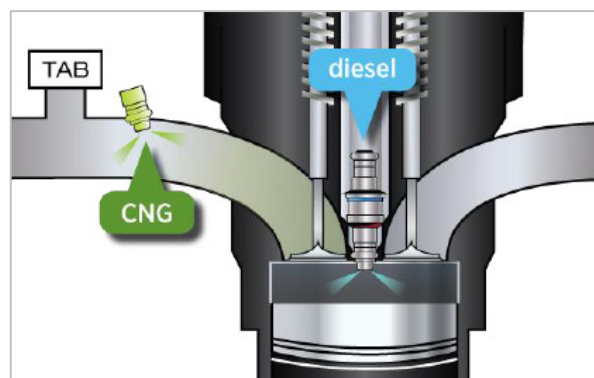


Figure 66. Scheme of the dual fuel injection

In dual fuel engines, natural gas is mixed with the inlet air in the combustion chamber either by direct mixing in the intake manifolds with air or by injection directly into the cylinder. The injection solution is to implement a gas port injection installed in the intake pipe, while pilot quantities of diesel are injected directly into the cylinder to ignite the gas as the baseline operation of the engine. Since dual fuel engine requires significant synchronization of the injection systems to optimize diesel substitution and, therefore, the combustion process, a standard engine control unit – an electronic control unit (ECU) – must be integrated with some new sensors.

Furthermore, additional exhaust after-treatment systems will be added in order to manage the exhaust emissions from the methane combustion.

Therefore, the conversion takes into account mechanical modifications to inject natural gas and control the exhaust emissions and, consequently, electronic modifications, whose function is to govern the natural gas system. The result of the conversion is that the engine will replace a percentage of the diesel without loss of performance.

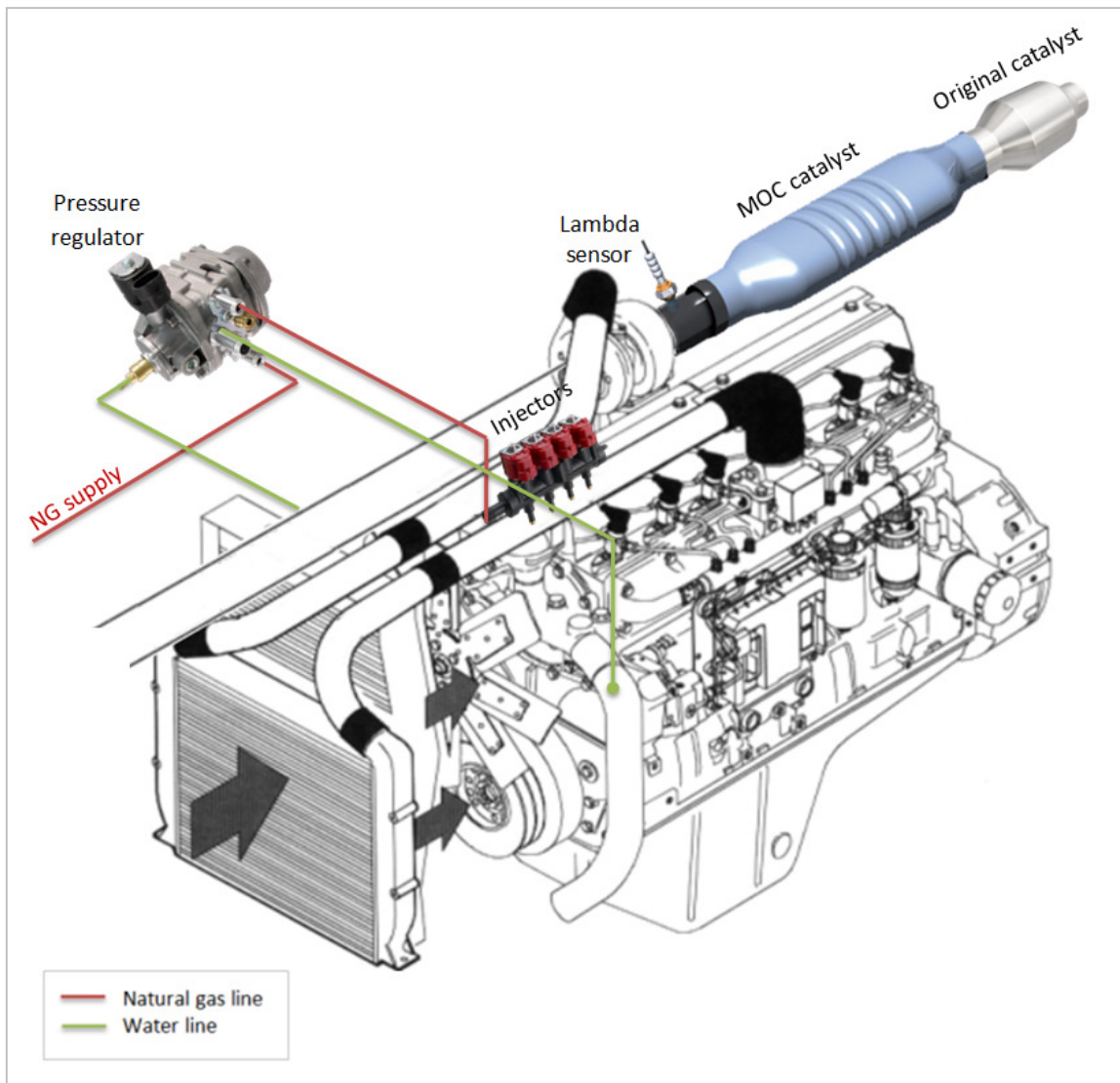


Figure 67. Modifications and new components installation in the BEST straddle carrier engine.

5.2. Straddle carrier conversion

Since the engine of the straddle carrier will be converted, the machine also involves some modifications, particularly in the fuel supply. The supply of natural gas requires a fuel tank and pipe network whose design should be studied in accordance with the straddle carrier dimensions.

5.2.1 BEST Straddle Carrier conversion

With regard to the BEST straddle carrier, a study of the main changes should be submitted to the manufacturer of the machine – KALMAR – in order to approve the technical feasibility of the straddle carriers considering the engine conversion and in particular all the new components installed.



Figure 68. CAD geometry of the BEST straddle carrier

To this end, IDIADA performs a CAD geometry of the machine considering the most relevant parts. For its part, HAM studies the feasibility of installing the LNG system according to the straddle carrier dimensions. Under the usable space and the defined engine location, the LNG tank will be located as close as possible to the engine in order to avoid complex pipe lines. As it can see in the next figure,

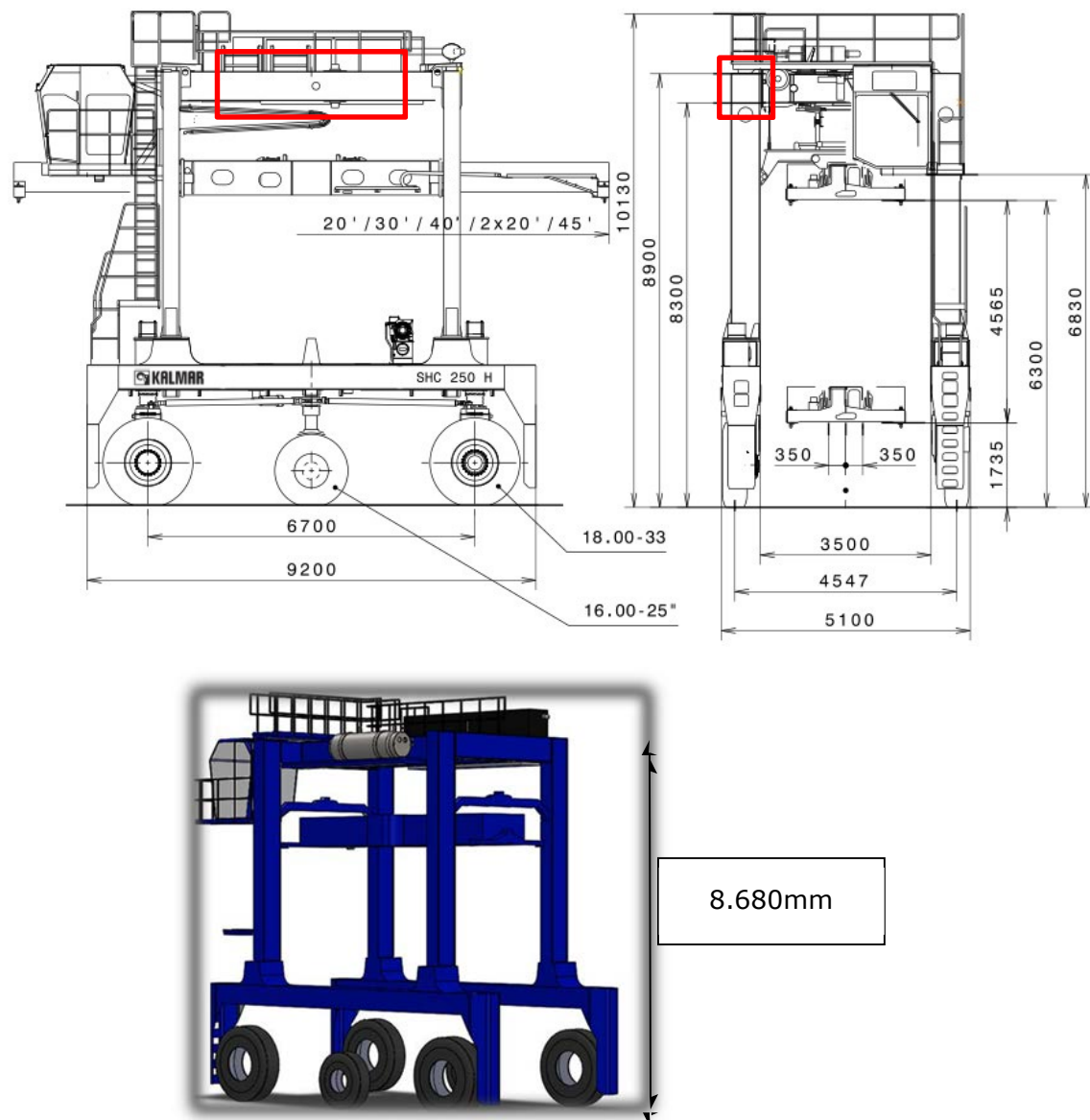


Figure 69. Location of the engine and the LNG system on the best straddle carrier

The subsection is located around the tank and welded on the structure of the Straddle Carrier. The maximum solicitation that this subsections will have to support is 5.713N. In the internal face, is located a rubber to avoid the contact metal-metal.

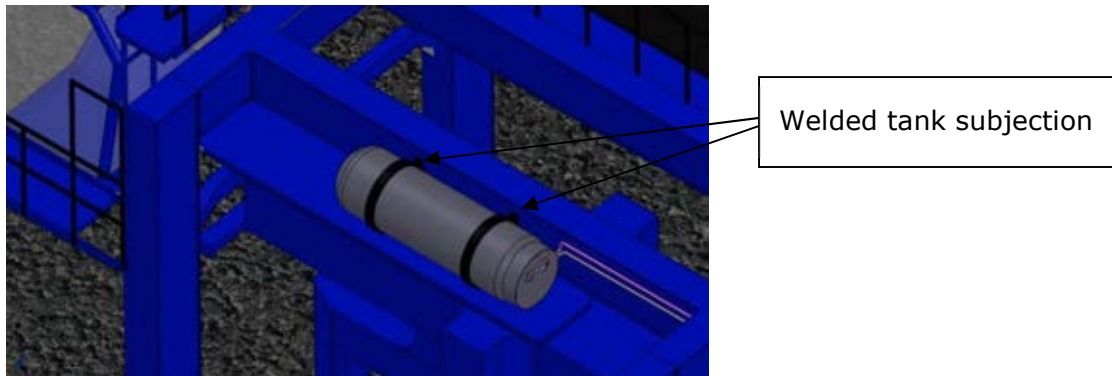


Figure 70. LNG Tank fixed



Figure 71. Straddle Carrier in Best Terminal

The pipe system will be located on the same way as hydraulic installed system, using clamps on the structure.

The pipe system is defined as;

- Filling pipe: From the tank to the filling zone.
- Cooling system: From the tank to an exchange system (cabi heating pipe).
- Consumption pipe: From tank to engine

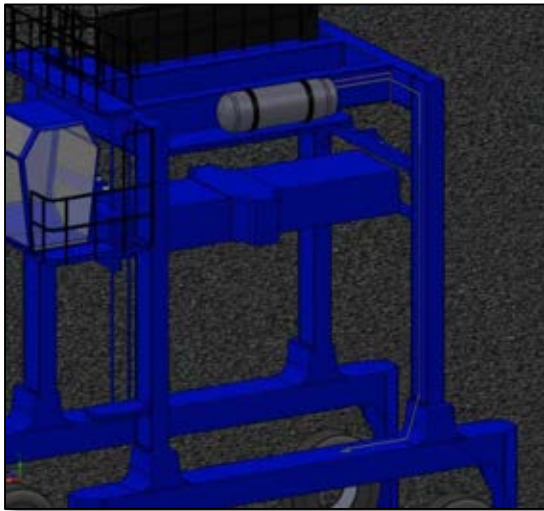


Figure 72. Pipe system



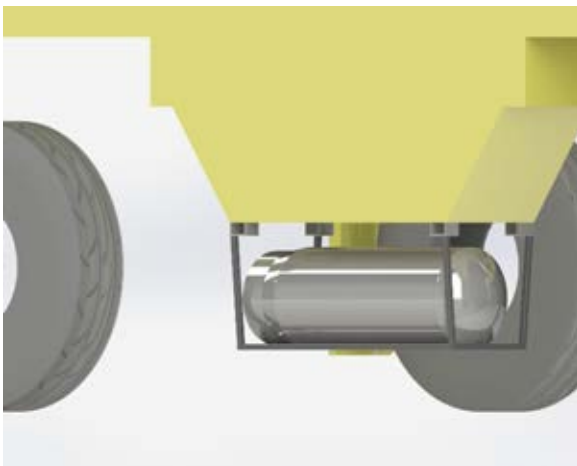
Figure 73. Filling zone

5.2.2 APMT Straddle Carrier conversion

The LNG storage on the APMT Straddle Carrier, will be located under the engine, between the heels. At the moment, on that location is installed a stairs for maintenance, that stairs will be modified in order to adjust the tank.



Figure 74. Straddle carrier stairs



The LNG storage tank will be located on a bench, protected and subjected.

The subsection will be part of the structure of the bench. Between faces of the subsection, will be located a rubber to avoid the contact face to face of the metal.

Figure 75. Bench

To give more protection to the LNG storage tank and to avoid the weather wear, a drawer will protect the kit.

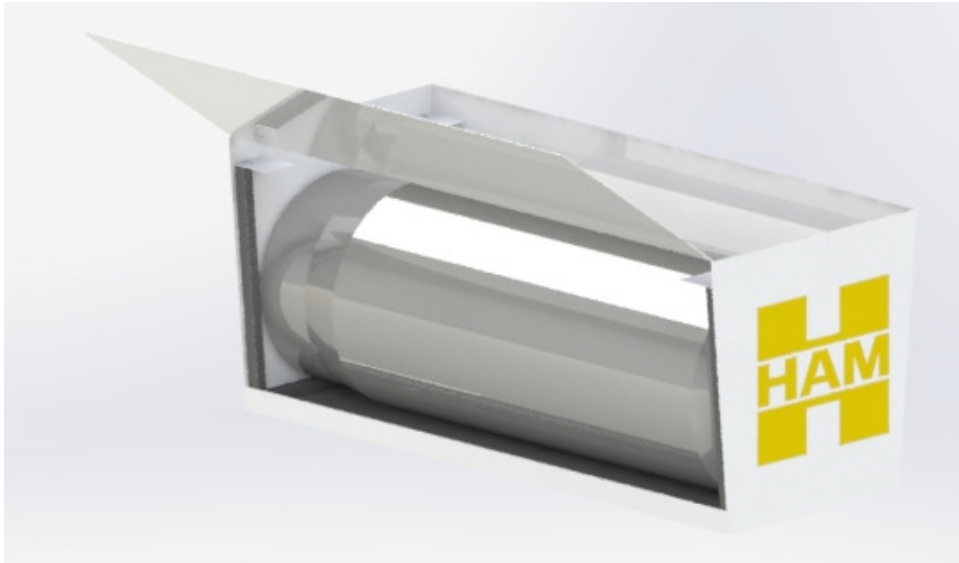


Figure 76. Drawer



Figure 77. Closed drawer

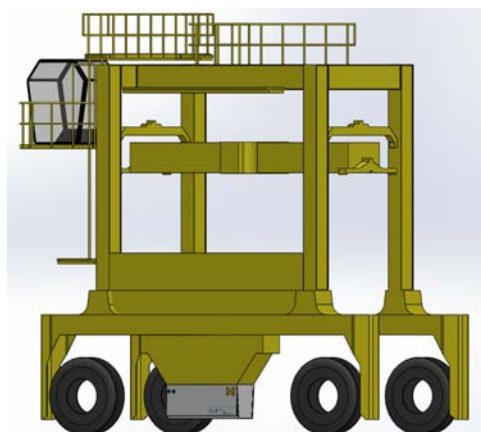


Figure 78. Straddle Carrier



Figure 79. Straddle carrier actually

5.2.3 LNG Supply

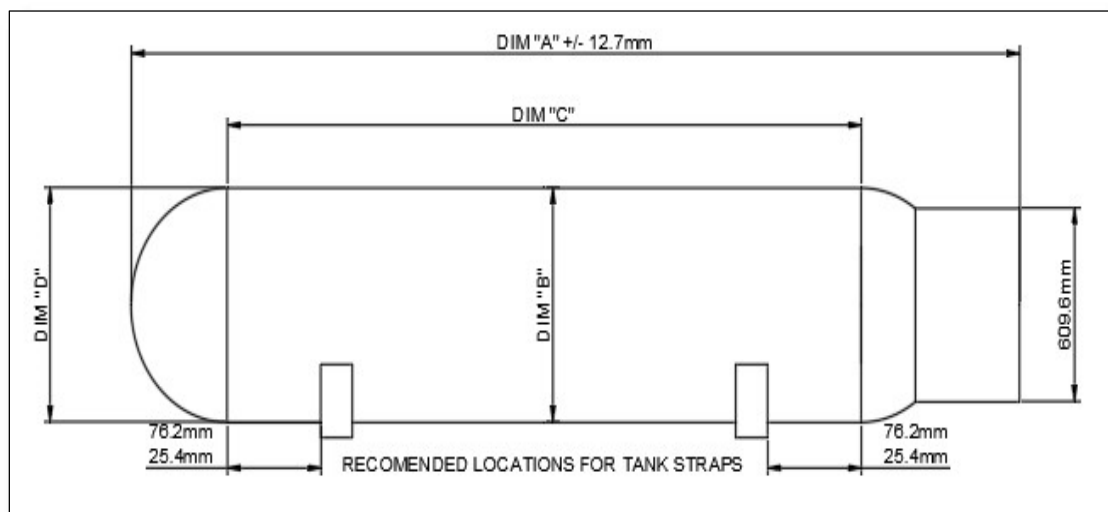
The LNG supply system of the straddle carrier will be created to feed the dual engine system designed, that implies that the initial fuel system is not going to be modified.

The LNG supply system is going to be located on the bottom of the Straddle Carrier, specifically on the opposite site of the engine.



Figure 80. LNG Dewar

<i>PLUMBING STYLE</i>	<i>SINGLE</i>
<i>DESCRIPTION</i>	HLNG158
<i>DIM "A" (mm)</i>	1917
<i>DIM "B" (mm)</i>	660
<i>DIM "C" (mm)</i>	1454
<i>DIM "D" (mm)</i>	162
<i>LIQUID CAPACITY (L)</i>	481
<i>ESTIMATED TARE WT (Kg)</i>	254
<i>FULL ESTIMATED TARE (Kg)</i>	470.5

Table 32:LNG Tank description

Figure 81.LNG: Tank dimentions

- LNG density: 450Kg/m³
- LNG Capacity: 481 L = 0.481 m³
- LNG Wg; WL = 450Kg/m³ * 0.594m³ = 216.5 Kg
- Tare tank: 254Kg
- Total Tare: 216.5Kg + 254Kg = **470.5Kg**

Table 33: LNG Storage specifications

Designed, constructed and tested to all applicable standards:

- US Specifications: SAE, J2343, NFPA, SE, CA Title13, TRRC.
- Available Specifications: R110, TPED, RDW, AS1210, PESO, GOST, KGA, KHK.
- System drop and fire tested per R110.
- Auto refrigeration system.
- 2nd Generation cryogenic super insulation.
- “Integrated” system vaporizer.

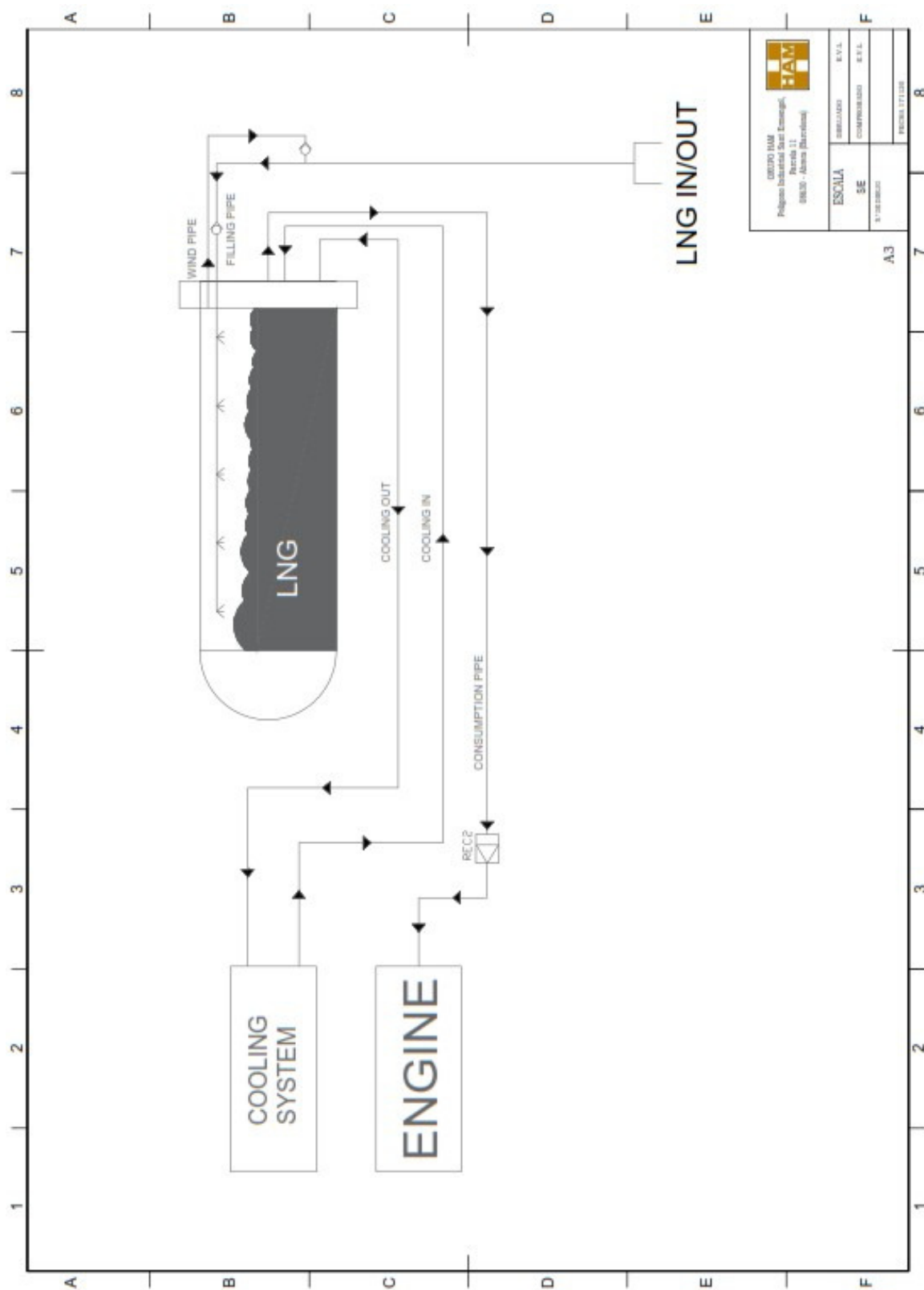


Figure 82. P&I Storage system

SYSTEM	DESCRIPTION
FILLING PIPE	Pipe next to the structure from the point of fill and the entrance of the tank.
WIND PIPE	Pipe used to get down the internal pressure of the tank. This pipe act just in case that it's necessary. (Automaticaly).
COOLING IN	System used to get up the temperature inside the tank. It's used to get more service pressure inside the tank.
COOLING OUT	Pipe to extract the cooling in system.
CONSUMPTION	Direct pipe to the engine.
REC2	Regulator before entry on the engine.
LNG IN/OUT	Filling and wind pipe.

Table 34: Pipe description

5.2.4 Regulation

In order to define a regulatory framework for the regulation of the modification, the Straddle Carrier is defined as a vehicle of the MAA category, Automotive Machines (according to the General Vehicle Regulations). Likewise, and within the same category, MAA is defined as, automotive machine to carry out agricultural, forestry and works and/or services of category 1 with a maximum construction speed ≤ 40 km / h.

Defined within the framework according to the General Vehicle Regulations, the regulations are.

5.2.4.1 Regulation N°.110 R110

This regulation No. 110 applies to:

Specific components for vehicles of category M and N powered by CNG (compressed natural gas) and LNG (liquefied natural gas).

Vehicles of category M and N with respect to the installation of specific components powered by CNG (compressed natural gas) and LNG (liquefied natural gas).

Classification of the components according to:

- *Class 0.* Parts subjected to high pressures including tube and fittings containing CNG at a pressure higher than 3 MPa and up to 26 MPa.
- *Class 1.* Parts operating at medium pressure, containing CNG. Pressure between 450kPa and 3,000kPa (3Mpa).
- *Class 2.* Components of low pressure. CNG containers at pressures between 20Kpa and 450Kpa.
- *Class 3.* Parts as safety valves or elements protected by the same CNG containers at a pressure between 450kPa and 3,000kPa (3MPa).
- *Class 4.* Parts in contact with gas at a pressure below 20 kPa.
- *Class 5.* Parts in contact with the gas at a temperature below -40°C.
- *Class 6.* Elements in contact with the gas at pressure higher than 26Mpa.

All components must be by the following Class definition diagram.

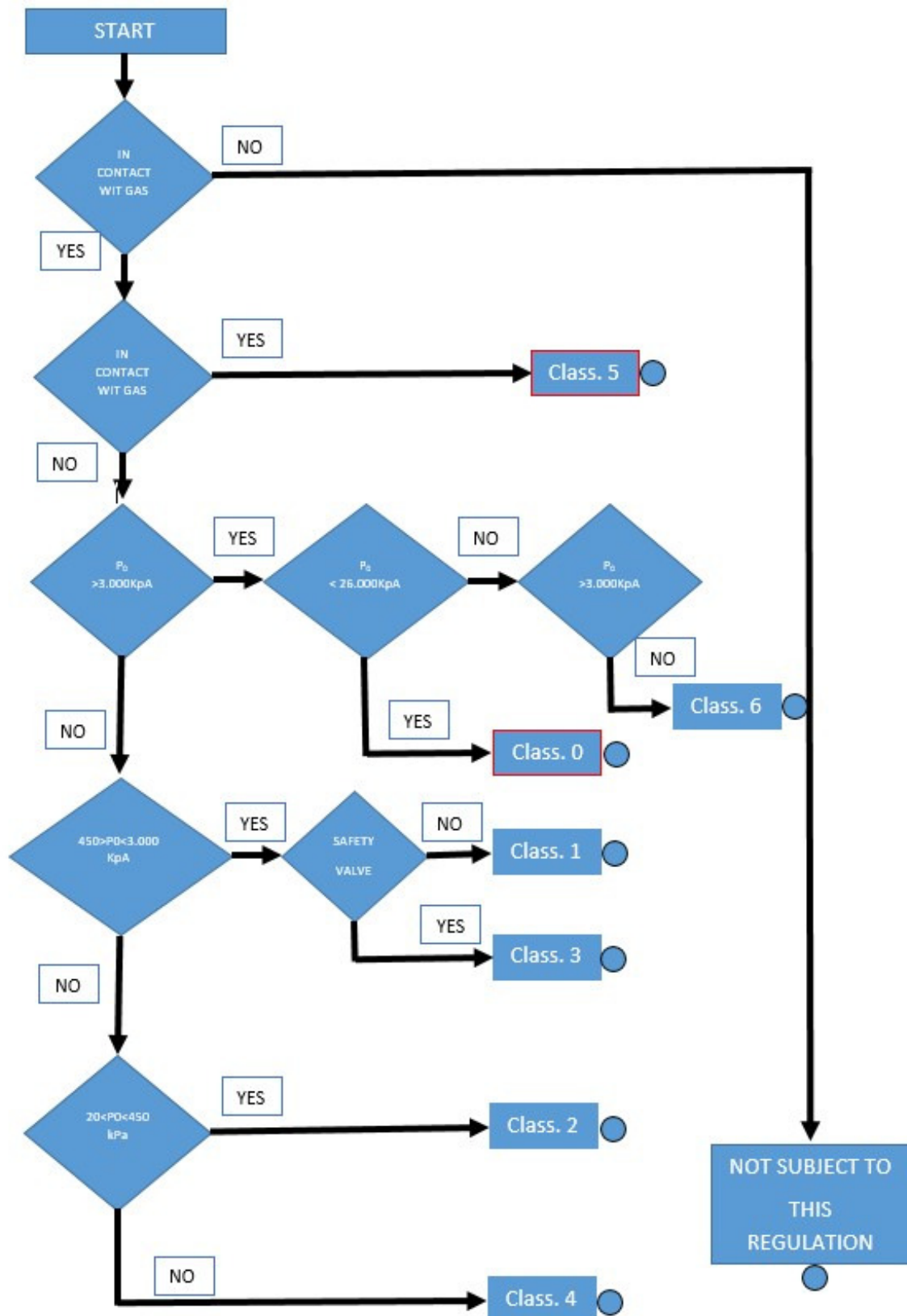


Figure 83. R110 Diagram

Specific testing according to component.

Specific and applicable test according to classes (excluding the LNG tank).

TEST	CL.0	CL.1	CL.2	CL.3	CL.4	CL.5	CL.6	ANEXO
SOBREPRESIÓN O FUERZAS	X	X	X	X	O	X	X	5A
FUGA EXTERNA	X	X	X	X	O	X	X	5B
FUGA INTERNA	A	A	A	A	O	A	A	5C
TEST DURABILIDAD	A	A	A	A	O	A	A	5L
COMPATIBILIDAD LNG	A	A	A	A	A	A	A	5D
RESISTENCIA CORROSION	X	X	X	X	X	A	X	5E
RESISTENCIA CALOR SECO	A	A	A	A	A	A	A	5F
ENVEGECIMIENTO	A	A	A	A	A	A	A	5G
TEST DESTRUCTIVO	X	O	O	O	O	A	X	5M
CICLO TEMPERATURA	A	A	A	A	O	A	A	5H
CICLO PRESION	X	O	O	O	O	A	X	5I
RESISTENCIA VIBRACIONES	A	A	A	A	O	A	A	5N
TEMPERATURAS DE OPERACION	X	X	X	X	X	X	X	5O
BAJA TEMPERATURA LNG	O	O	O	O	O	X	O	5P

Table 35 Application according to classes

Requirements for the installation

- A) The LNG system of the vehicle must operate correctly and safely at operating pressure and operate according to the temperature at which it was designed.
- B) All the components must be marked individually or jointly.
- C) Necessary the use of appropriate materials for its function.

- D) All components must be installed correctly for their function.
- E) The LNG system must be pressurized in order to test the non-appearance of leaks. Process through a system that does not generate bubbles or equivalent for 3 minutes.
- F) The system must be designed and assembled, avoiding possible danger points, collisions, etc.
- G) Only specific components can be connected for proper operation.
- H) The vehicle can have heating for the driver's compartment and / or the cargo area of the tank of the LNG system.
- I) the heating system will be accepted if it complies with the technical requirements, adequate and with the appropriate safety measures without influencing the proper functioning of the LNG system.
- J) The identification of "fed with LNG" in the vehicle would be necessary.
- K) Vehicles of category M2 and M3 must have a level as marked in Annex 6.
- L) The level must be installed in the front part in vehicles of category M2 or M3 and on the other hand, in the external part of the doors.
- M) A level must be installed at the point of loading of the vehicle.

Own requirements of the installation, tank / tanks of LNG

The storage system must:

- The tank or tanks must be installed permanently.
- The installation does not allow the system to be metal-metal contact.
- When the vehicle is ready to move, the tanks should not be less than 200mm from the ground surface.

The tank or tanks must be installed and fixed to support the following accelerations.

- Vehicles M1 and N1:
 - o 20g in the direction of travel.
 - o 8g perpendicular to the line of travel.
- M2 and N2 vehicles:
 - o 10g in the direction of travel.
 - o 8g perpendicular to the line of travel.
- M3 and N3 vehicles:
 - o 6.6g in the direction of travel.
 - o 5g perpendicular to the line of travel.

5.2.4.2 Manual of reforms in vehicles. RD866/10 2014

Royal Decree 866/2010 regulates the processing of vehicle reforms. Its purpose is to unify criteria of Spanish legislation on the subject and that issued by the European Union. This Royal Decree maintains the coherence between the European regulation of homologation of vehicles and the national one on the reforms of the same ones; its application will allow to maintain the conditions of active and passive safety of the vehicles and their behaviour in regard to the protection of the environment. Likewise, it establishes the documentation that must be presented before the bodies of the competent Administration in the matter of technical inspection of vehicles, the transformation and the specific requisites required will be those contained in this Manual of Vehicle Reforms.

The Royal Decree 866/2010, in its article 3, defines the Manual of Vehicle Reforms in this way:

"Document prepared by the Ministry of Industry, Tourism and Commerce in collaboration with the competent bodies in the field of ITV of the Autonomous Communities, which establishes the descriptions of the typified reforms, their codification and the precise documentation for their processing."

STRUCTURE OF THE MANUAL

This manual divides the vehicles into four sections;

- I. VEHICLES OF CATEGORIES M, N AND O.
- II. VEHICLES OF CATEGORIES L, QUADS AND UTV.
- III. AGRICULTURAL VEHICLES
- IV. WORK VEHICLES AND / SERVICES

Definition of actions according to Royal Decree for modifications on the configuration of the drive unit of a vehicle.

"Modification of the location, replacement, adition or reduction of the number of fuel tanks".

<p align="center">MANUAL DE REFORMAS DE VEHÍCULOS III.- VEHÍCULOS AGRÍCOLAS Grupo N° 2. Unidad Motriz (2.7)</p>
--

DESCRIPCIÓN: Modificaciones sobre la configuración de la unidad motriz del vehículo
2.7.- Modificación de la ubicación, sustitución, adición o reducción del número de depósitos de combustible

CAMPO DE APLICACIÓN												
Categorías												
T1	T2	T3	T4	T5.1	T5.2	MTC	MAA	MA2	MA3	TCA	RA	MAR
SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO

ACTOS REGLAMENTARIOS														
Sistema afectado	Referencia	Aplicable a												
		T1	T2	T3	T4	T5.1	T5.2	MTC	MAA	MA2	MA3	TCA	RA	MAR
Depósito de combustible	74/151/CEE (III)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	-	-	-	-	-	x	x
Depósitos de combustible	70/221/CEE(I)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(1)	-	x	x
Masa máxima en carga	74/151/CEE (I)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	-	(1)	x	x
Masas y dimensiones (resto vehículos)	97/27/CE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(1)	-	x	x
Equipos especiales para GLP	Reglamento CEPE/ONU 67R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(1)	-	x	x
Equipos especiales para GNC	Reglamento CEPE/ONU 110R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(1)	-	x	x
Sistemas especiales de adaptación al GLP o GNC	Reglamento CEPE/ONU 115R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(1)	-	x	x
Ver Apartado 4 del preámbulo.														

<p align="center">MANUAL DE REFORMAS DE VEHÍCULOS III.- VEHÍCULOS AGRÍCOLAS Grupo N° 2. Unidad Motriz (2.7)</p>
--

DOCUMENTACIÓN NECESARIA				
Proyecto Técnico	Certificación final de obra	Informe de Conformidad	Certificado del Taller	Documentación adicional
NO	NO	SI	SI	NO

- Informe de conformidad
- Certificado del Taller

CONJUNTO FUNCIONAL
<p>El titular del vehículo o la persona por él autorizada aportará:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Copia de la Resolución de la Autoridad de homologación. - Informe según Anexo II. - Certificado del taller según Anexo III.

INSPECCIÓN ESPECÍFICA. PUNTOS A VERIFICAR SEGÚN MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN DE LAS ESTACIONES ITV (SECCIÓN III)
<p>Capítulo 9. - Motor y Transmisión</p>

NORMALIZACIÓN DE LA ANOTACIÓN DE LA REFORMA EN LA TARJETA ITV
<p>___/___/___ Modificación configuración depósitos combustible 1 x ___ litros en ___ + 1 x ___ litros en ___ + ___ ...</p> <p align="right">(Firma y sello)</p> <p align="right">ITV N° NNNN</p>

Table 36 Inspections. Manual of vehicles reforms

6. Risk Assessment





RISK DESCRIPTION	RISK EVALUATION	ACTION PLAN (INCLUDING COUNTERMEASURES)	RESPONSIBLE	DUE DATE	STATUS
No refilling LNG station		To confirm with GNF the real chances of implementing a LNG station	GNF	As soon as possible	Pending
No agreement with APMT and BEST for LNG purchase because of NG vs Diesel price		To confirm real prices of LNG that can be expected during the pilot	APB, GNF, APMT, BEST	As soon as possible	Pending
Permits for LNG station inside the Port terminal		APB to confirm terminals will have the rights to install LNG station	APB	As soon as possible	Pending
BEST straddle carrier conversion		BEST cannot provide an engine for baseline testing in test bench	IDIADA	To be cancelled	Only “on-board” measurements possible

Table 37: Risk assessment in this project

7. Conclusions

Finally, a lot of tests were performed on both APMT engines and BEST engines at Barcelona Seaport. These tests consisted of different steps and each one was a test in which vehicle speed and pollutant emissions were measured.

Currently, IDIADA has a VALMET 612 engine (APMT) in its facilities where research about the engine conversion from Diesel running engine to NG running engine is being carried out. However, BEST engines are used daily so the feasibility study that IDIADA should perform is more difficult despite a first design of the engine is developed.

Taking into account the LNG features, the autonomy of the engines and an estimation of the capacity of LNG tanks have been calculated as well. A first study of its location has been carried out.

In conclusion, after considering the operation of the machine, the original design of the engine and the location of the natural gas fuel tank, it can be considered that the transformation of the APMT Straddle Carrier is feasible. Although a more exhaustive transformation design is needed, it will be developed in the coming months and will be presented in the following deliverables.

With regard to the BEST machine, it is complicated to define its technical feasibility due to its engine could not be tested at IDIADA test benches.

8. List of Acronyms and Abbreviations

APB	Autoridad Portuaria de Barcelona – Port de Barcelona
APMT	APM Terminals
BEST	Barcelona Europe South Terminal
BMEP	Brake Mean Effective Pressure
CFD	Computational Fluid Dynamics
CO	Carbon monoxide
CO ₂	Carbon dioxide
ECU	Electronic Control Unit
GNF	Gas Natural Fenosa
HAM	HAM Criogénica
LNG	Liquefied Natural Gas
NG	Natural Gas
NO _x	Nitrogen oxides
PEMS	Portable Emissions Measurement Systems
THC	Total Hydrocarbon

Annex 3

Deliverable 3.1: LNG supply logistics

LNG supply logistics study

Deliverable 3.1

Naturgy



CORE LNGas
hive



Core Network Corridors and Liquefied Natural Gas

2014-EU-TM-0732-S

EPM3-LNG STRADDLE CARRIERS

D3.1– LNG supply logistics study


Actual submission date: 28/12/2021

Start of project: 01 January 2014

Duration: 60 Months

Lead Contractor for this deliverable: Naturgy

Revision:2

 Co-financed by the European Union Connecting Europe Facility		
Dissemination level		
PU	Public	X
CO	Confidential, only for members of the consortium (including the Commission Services)	

Revision History

Deliverable Administration and summary		
Project Acronym: CORE LNGas Hive		INEA/CEF/TRAN/M2014/1026196
Document Identifier: D. 3.1 LNG supply logistics study		
Leading partner: Naturgy		
Report version: 2		
Report preparation date: 28/12/21		
Classification: Technical report		
Nature: Public		
Author(s) and contributors: Naturgy		
Status		Plan
		Draft
		Working
	x	Final
		Submitted
		Approved

The Core LNGas Hive consortium has addressed all comments received, making changes as necessary. Changes to the document are detailed in the change log table below.

Date	Edited by	Status	Changes made

Copyright

This report is © CORE LNGas Hive Consortium 2015. Its duplication is allowed only in the integral form for personal use or for the purposes of research and education.

Citation

Naturgy (2016). Deliverable D 3.1 – LNG supply logistics study. CORE LNGas Hive consortium, www.corelngashive.eu

Acknowledgements

The work presented in this document has been conducted in the context of the action INEA/CEF/TRAN/M2014/1026196 CORE LNGas Hive. CORE LNGas HIVE is a 60 months project started on January 1st, 2014.

The project consortium is composed by: Enagás Transporte, S.A.U. (Enagás), Sociedad de Salvamento y Seguridad Marítima (SASEMAR), Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Universidad de Santiago de Compostela (USC), ENTE VASCO DE LA ENERGÍA (EVE), Autoridad Portuaria de Barcelona - Port de Barcelona (APB), Port Authority of Cartagena (PAC), AUTORIDAD PORTUARIA DE FERROL-SAN CIBRAO (APF), Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras (APBA), Port Authority of Huelva (PAH), COMPAÑÍA ESPAÑOLA DE PETRÓLEOS S.A.U. (CEPSA), Regasificadora del Noroeste, S.A. (RdN), HAM CRIOGENICA, S.L. (HAM), BUREAU VERITAS IBERIA SLU (BVI), GUASCOR POWER SA (GP), IDIADA AUTOMOTIVE TECHNOLOGY S.A (IAT), FLOTA SUARDIAZ, S.L. (Suardiaz), ITSAS GAS BUNKER SUPPLY SL (ITSAS), COMPAÑÍA DE REMOLCADORES IBAIZABAL, S.A. (IBAI), TERMINAL DE CONTENIDORS DE BARCELONA, S.L. (TCB), Terminal Catalunya, S.A. (TC), UTE REMOLCADORES DE BARCELONA-SAR, UNION TEMPORAL DE EMPRESAS, LEY 18/1982 (URB), ASTILLEROS ARMON, S.A. (AA), NATURGY ENERGY GROUP, S.A ((NATURGY), before GAS NATURAL SDG, S.A.(GN)), INSTITUTO ENERXÉTICO DE GALICIA (IEG), Fundación de la Comunidad Valenciana para la Investigación, Promoción y Estudios Comerciales de Valenciaport (Fundación Valenciaport) (FV), Planta de Regasificación de Sagunto, S.A. (PRS), MOLGAS ENERGÍA, SAU (ME), Autoridad Portuaria de Valencia (APV), SEAPLACE SL (Seaplace), BOLUDA CORPORACION MARITIMA S.L. (BCM), Autoridad Portuaria de Bilbao (APBi), RENFE MERANCÍAS S.A. (Renfe), Puertos del Estado (PdE), Dirección General de la Marina Mercante (DGMM), PORT AUTHORITY OF GIJON (PAG), Port Authority of Melilla (PAM), Santander Port Authority (SPA), Port Authority of Tarragona (PAT), Port Authority of Vigo (PAV), Port Authority of Santa Cruz de Tenerife (PASCT) and REN Gasoductos, S.A. (RENG).

More Information

Public CORE LNGas HIVE reports and additional information related with the project execution and results are available through CORE LNGas Hive public website at www.corelngashive.eu

Table of contents

List of figures	6
List of tables	6
1. Background.....	9
2. Object	10
3. LNG logistics in the pilot phase and results of LNG and diesel consumption	10
4. Data considered for the study of the LNG logistics solution and study of the profitability of the SC transformation	16
4.1 Data of BEST terminal.....	16
4.1.1 LNG consumption of Best machine.....	16
4.1.2 Machine Operating times	16
4.1.3 Mode and time of refueling of current machines	16
4.1.4 Technical information of the LNG tanks of the transformed Best machines	16
4.1.5 Scenarios analyzed, LNG consumption of the converted machines and LNG cost	17
4.1.6 Current consumption of diesel B of the non-converted machines and cost of diesel B for the scenarios analyzed	18
4.1.7 Cost of conversion of BEST machines.....	19
4.2 Data of APMT terminal	20
4.2.1 LNG consumption of APMT machine	20
4.2.2 Machines operating times	21
4.2.3 Mode and time of refueling of current machines	21
4.2.4 Technical information of the LNG tanks of the transformed APMT machines	21
4.2.5 Scenarios analyzed, LNG consumption of the converted machines and LNG cost	22
4.2.6 Current consumption of diesel B of the non-converted machines and cost of diesel B for the scenarios analyzed	24
4.2.7 Cost of conversion of APMT machines	24
5. LNG supply solution	26
5.1 Supply solution for BEST terminal	26
5.1.1 Cost analysis of the solution with mobile supply station	26
5.1.2 Cost analysis of the fixed LNG station solution	28

5.1.2.1 Description of the main equipment of the fixed LNG supply station	28
5.1.2.2 Cost of the fixed station for each scenario	36
5.1.3 Conclusions and definition of the LNG supply solution	39
5.2 Supply solution for APMT terminal	41
5.2.1 Cost analysis of the solution with mobile supply station	41
5.2.2 Cost analysis of the fixed LNG station solution	42
5.2.2.1 Description of the main equipment of the fixed LNG supply station	42
5.2.2.2 Cost of the fixed station for each scenario	50
5.2.3 Conclusions and definition of the LNG supply solution	54
6. Evaluation of the profitability of machines transformation	55
6.1 Evaluation of the profitability of the transformation of the machines of the BEST terminal	55
6.2 Evaluation of the profitability of the transformation of the machines of the APMT terminal	57
7. Conclusions.....	59

List of figures

Figure 1: Mobile supply station dimensional and safety drawings	11
Figure 2: Mobile supply station photographs. Trailer (above). Detail of LNG filling connections in the trailer (below)	13
Figure 3: Mobile supply station photographs. Trailer (above). Detail of LNG dispenser in the trailer (below).....	14
Figure 4: Mobile supply station photographs. Detail of electrical connections.....	15
Figure 5: Best LNG tank of the fixed LNG supply station	30
Figure 6: Best LNG pump of the fixed LNG supply station	31
Figure 7: Pre-selected point for the supply installation at the Best terminal	40
Figure 8: APMT LNG tank of the fixed supply station	44
Figure 9: APMT LNG pump of the fixed supply station	45
Figure 10: Pre-selected point for the supply installation at the APMT terminal ...	55

List of tables

Table 1: Mobile supply station technical characteristics	12
Table 2: APMT Straddle Carrier fuel consumption	15

Table 3: Best converted SCs LNG consumptions for the scenarios analyzed	18
Table 4: Best LNG costs excluding logistics of the converted SCs in 10 years for the scenarios analyzed	18
Table 5: Best diesel costs of the SCs in 10 years for the scenarios analyzed	19
Table 6: Costs of conversion of first Best straddle carrier.....	19
Table 7: Costs of conversion for second and following Best straddle carriers	20
Table 8: APMT converted straddle carrier LNG consumption	21
Table 9: APMT converted SCs LNG consumptions for the scenarios analysed	23
Table 10: APMT LNG costs excluding logistics of the converted SCs in 10 years for the scenarios analyzed	23
Table 11: APMT diesel costs of the SCs in 10 years for the scenarios analyzed ..	24
Table 12: Costs of conversion of first APMT straddle carrier	25
Table 13: Costs of conversion for second and following APMT straddle carriers ..	25
Table 14: Costs per refuelling operation of the mobile supply station	27
Table 15: Best costs of the mobile supply station solutions in 10 years for the scenarios analyzed	28
Table 16: Best LNG tanks sizes of the fixed LNG supply station for the scenarios analyzed	29
Table 17: Best LNG tanks containment basin sizes of the fixed LNG supply station for the scenarios analyzed	33
Table 18: Best number of fire extinguishers and capacity for the fixed LNG supply station considering the scenarios analyzed.....	36
Table 19: Best cost of the fixed supply station for each of the scenarios	36
Table 20: Best filling time of the fixed supply station LNG tank for the scenarios analyzed	37
Table 21: Best costs per refilling operation of the LNG tank of the fixed supply station for the scenarios analyzed.....	38
Table 22: Best total costs in 10 years for the refilling operations of the LNG tank of the fixed supply station for the scenarios analyzed	38
Table 23: Best total cost of the logistics solution with the fixed station for the scenarios analyzed	39
Table 24: Best costs of the logistics solution with mobile supply station and the costs with a fixed supply station considering a supply period of 10 years for the scenarios analyzed	39
Table 25: APMT costs of the mobile supply station solutions in 10 years for the scenarios analyzed	42
Table 26: APMT capacity and dimensions of the LNG tank of the fixed supply station for the scenarios analyzed	43

Table 27: APMT LNG tanks containment basin sizes of the fixed LNG supply station for the scenarios analyzed	48
Table 28: APMT number of fire extinguishers and capacity for the fixed LNG supply station considering the scenarios analyzed.....	50
Table 29: APMT cost of the fixed supply station for each of the scenarios	51
Table 30: APMT filling time of the fixed supply station LNG tank for the scenarios analyzed	52
Table 31: APMT costs per refilling operation of the LNG tank of the fixed supply station for the scenarios analyzed.....	52
Table 32: APMT total costs in 10 years for the refilling operations of the LNG tank of the fixed supply station for the scenarios analyzed.....	53
Table 33: APMT total cost of the logistics solution with the fixed station for the scenarios analyzed	53
Table 34: APMT costs of the logistics solution with mobile supply station and the costs with a fixed supply station considering a supply period of 10 years for the scenarios analyzed	54
Table 35: Best costs of the machines' transformation for the scenarios analyzed	56
Table 36: Best LNG costs including logistics of the SCs in 10 years for the scenarios analyzed	56
Table 37: Best fuel savings for the converted SCs in 10 years for the scenarios analyzed	57
Table 38: APMT costs of the machines' transformation for the scenarios analyzed	57
Table 39: APMT LNG costs including logistics of the SCs in 10 years for the scenarios analyzed	58
Table 40: APMT fuel savings for the converted SCs in 10 years for the scenarios analyzed	58

1. Background

As part of the CORE LNGas Hive project, the EPM-3 sub pilot activity which consisted of a pilot activity to demonstrate the use of LNG as fuel for straddle carriers in two container terminals of the Port of Barcelona was scheduled.

Initially it was foreseen that BEST and APMT, the two container terminals of the Port of Barcelona, participating in the project would each provide one of their straddle carriers for the conversion from diesel to natural gas. The fuel used by the original machines is diesel B.

The straddle carrier at the BEST terminal to be converted was a 273 kW 8.4 SISU diesel engine that was about 3-4 years old. The BEST terminal machines worked 14 hours a day, 365 days a year.

The idea was to transform the original diesel engine to a dual-fuel engine and also to install a new 446-liter LNG tank on the machine and the gas conditioning and supply system to the engine. However, this conversion of its straddle carrier did not take place due to the fact that the machine was still under warranty and Kalmar, the machine manufacturer, indicated that due to this substantial change, the machine would require a new CE marking. The approval of the new CE marking would require the machine to comply with the current Tier IV emissions regulations among other requirements and this requirement could not be guaranteed in this pilot and potentially involve solutions not included in the scope of the project. Thus, this transformation and pilot did not take place.

The straddle carrier at the APMT terminal was originally equipped with two VALMET 612 diesel engines, each of 134 kW each with an age of between 15 and 20 years. The APMT terminal machines work 8 hours a day, 365 days a year. The initial idea was to transform both diesel engines to operate on 100% gas and also to install two new LNG tanks each with a net volume of 446l and the gas conditioning and supply system for the engines.

Finally, due to the fact that the second engine seized when it was running on the test after being converted to gas, it was decided not to install this motor on the machine. Therefore, only one gas engine was installed on the APMT straddle carrier and one LNG tank with a net volume of 446 l with the corresponding gas conditioning and feeding system to the engine. One of its original diesel engines has been kept on the machine. Therefore, the transformed straddle carrier had a gas engine and a diesel engine.

Thus, pilot tests have only been carried out for the APMT transformed machine, in which the real consumptions of the gas engine and the diesel engine have been obtained and evaluated.

Once the pilot has been completed and the LNG and diesel consumption data been analyzed, three scenarios were studied for each of the terminals, assuming that 5, 10 and 20 machines per terminal would be transformed in the future and also to provide an LNG logistics solution to supply these straddle carriers. A 10-year profitability analysis for each of the scenarios for the two terminals has also been

carried out, considering the fuel savings achieved with the transformed machines due to the price advantage of natural gas and the cost of the machine's transformation.

For the BEST terminal, as the pilot test with the transformed machine was not carried out, for the LNG logistics study of the three scenarios, the estimated LNG consumption for the transformed machine indicated in the final version of Deliverable D.1.1 "The two machines needs study in both terminals", edition 2, dated 09/17/2018, developed by Idiada was used.

For the study of the profitability of the transformation of the machines in the BEST terminal, an approximate cost of the transformation of the machines was also considered.

The current diesel consumption of the non-transformed machines of the BEST terminal will also be taken from the aforementioned document D.1.1.

For each terminal it was considered that an independent LNG supply point and the LNG logistics solution adapted to the operation of each terminal.

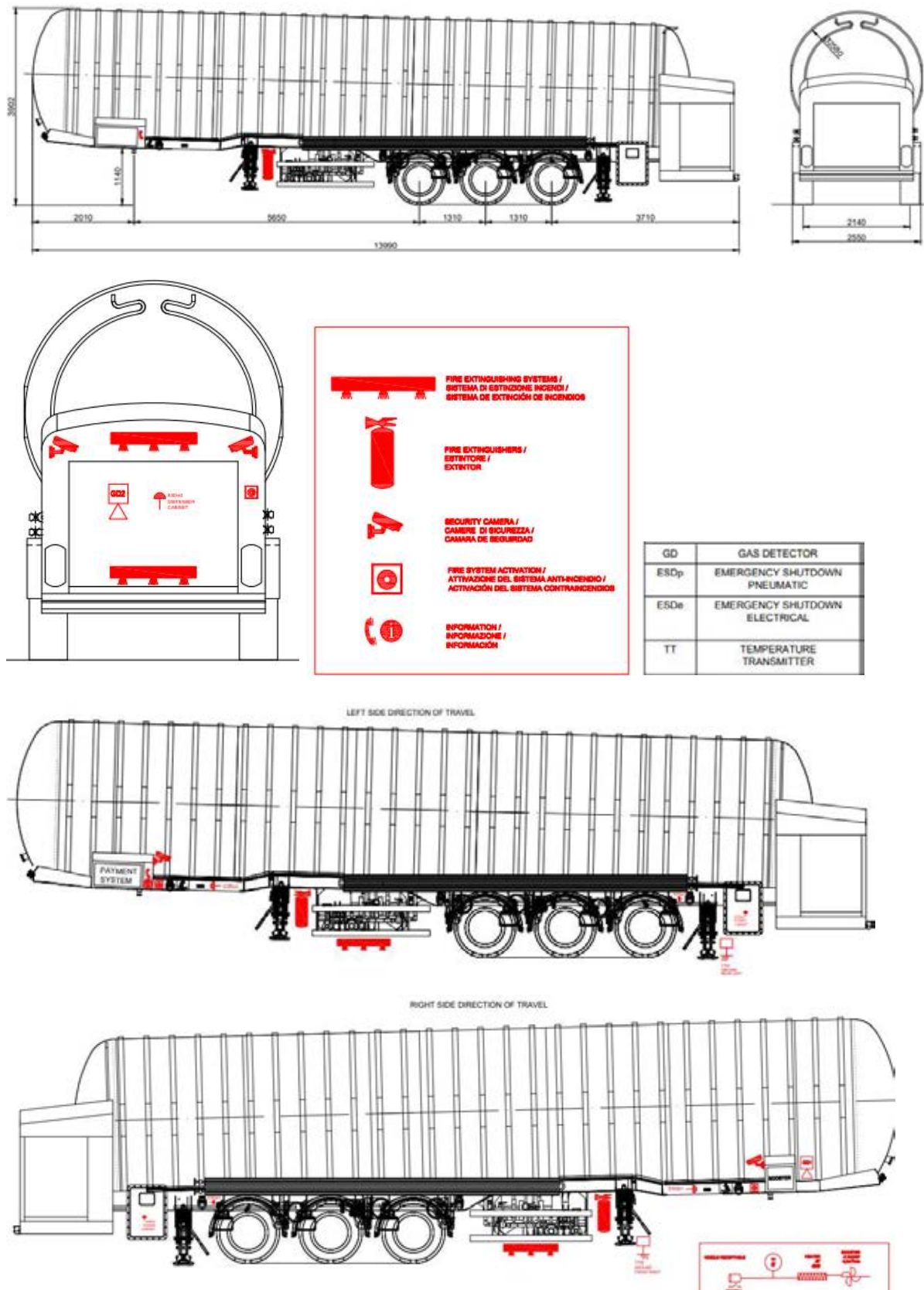
2. Object

The purpose of this report is to evaluate within the available technology the most appropriate LNG supply and logistics solution for the APMT and BEST terminals, for the cases that 5, 10 and 20 machines will be transformed to natural gas. Considering a 10-year business model and the costs of the transformation of the machines, the profitability of the transformation is also evaluated.

3. LNG logistics in the pilot phase and results of LNG and diesel consumption

Due to the sporadic supply of the LNG to carry out the tests of the converted straddle carrier, the solution considered is a mobile supply station with an integrated LNG dispenser and payment system. The LNG storage capacity considered is 57.5m³, a quantity easily transportable by a standard tractor unit supplied and operated by HAM.

Below dimensional and safety drawings of the mobile supply station, technical characteristics and photographs are shown.



General Data			
Regulations		TPED/ADR/EN 13530	
Installation type		Macrofueler LNG	
Design Pressure		12.9 bar	
Test Pressure		18.1 bar	
Temperature range		Inner: -196 to +20 °C, Outer: -20 to +50 °C	
Geometric Capacity		57,500 liters	
Materials		Inner: Stainless Steel, Outer: Stainless Steel	
Non-Destructive Tests		Pressure Vessel. 100 % X-ray	
Product to be transported		Liquid Natural Gas (1972)	
Degree of filling / load		80 % at 0.5 bar /20,088 kg	
LNG dispenser flow		3.000 / 4.000 kg/h	
Type of LNG flow meter		Coriolis	
Control		Payment system with remote control	
Assistance		Remote control via Scada	
Safety		Gas detection, temperature, CCTV circuit, emergency shut downs, automatic fire extinguishing systems, fire extinguishers	
DISTRIBUTION OF LOADS AND WEIGHTS			
	KING PIN	TRIDEM	TOTAL
EMPTY	3,922 kg	11,923 kg	15,845 kg
FULL (LNG)	11,450 kg	22,550 kg	34,000 kg

Table 1: Mobile supply station technical characteristics

The king pin is the trailer hitch to the truck and the tridem is the set of three trailer axles.



Figure 2: Mobile supply station photographs. Trailer (above). Detail of LNG filling connections in the trailer (below)



Figure 3: Mobile supply station photographs. Trailer (above). Detail of LNG dispenser in the trailer (below)



Figure 4: Mobile supply station photographs. Detail of electrical connections.

The APMT transformed straddle carrier has one LNG tank with a net volume of 446l installed.

The LNG consumption recorded during the pilot of the gas engine of the APMT machine was 20.96kg/h, equivalent to 46.58l/h with an LNG density of 450 kg/m³.

The diesel B fuel consumption recorded during the pilot of the diesel engine of the APMT machine was 24.05 kg/h, equivalent to 28.46 l/h assuming a density of diesel B of 845 kg/m³.

The following table indicates the LNG and diesel B consumption for a machine transformed with two 100% gas engines and for the non-converted machine considering the operation of the two diesel engines:

APMT STRADDLE CARRIER FUEL CONSUMPTION		
	Fuel Consumption (kg/h)	Fuel Consumption (l/h)
SC with 2 gas engines	41.92 kg LNG/h	93.16 l LNG/h
SC with 2 diesel engines	48.1 kg diesel B/h	56.92 l diesel B/h

Table 2: APMT Straddle Carrier fuel consumption

4. Data considered for the study of the LNG logistics solution and study of the profitability of the SC transformation

The data considered for each terminal are indicated below:

4.1 Data of BEST terminal

4.1.1 LNG consumption of Best machine

As the conversion of the straddle carrier has not been carried out for this terminal, the study considers the estimated consumption of the machine transformed to gas indicated in the final version of Deliverable D.1.1 "The two machines needs study in both terminals", edition 2, dated 09/17/2018, developed by Idiada.

$C_{BEST} = 14.9 \text{ kg LNG/h}$

Considering an LNG density of 0.450 kg/l, the LNG consumption in l/h would be:

$C_{BEST} = 33.11 \text{ l LNG/h}$

4.1.2 Machine Operating times

According to the information indicated in Deliverable D.1.1, the machines would work 14 hours a day, 365 days a year.

4.1.3 Mode and time of refueling of current machines

Current machines refuel once a day. In the terminal there is an area for refueling to which each of the machines goes.

The diesel B refueling time of the machines is about 15/20 min, a time that should not be exceeded for the refueling with LNG of the converted machines.

The transformed machines must also move to the refueling area to load LNG.

4.1.4 Technical information of the LNG tanks of the transformed Best machines

It is presumed that Best's converted machine would have a dual-fuel engine, an LNG tank, and a diesel tank.

The technical characteristics of the LNG tank are indicated below:

- Tank net capacity 446 liters, maximum fill level 410 l.
- Tank located 0.5 m above the ground.
- Filling connection location: 0.5 m above ground level.
- Type of filling connection: Standard receptacle for LNG. ECE R110 according to ISO 12617.
- No boil off return line is required during tank filling.
- The maximum pressure of the tank is 16 bar.

- Tank autonomy: the estimated LNG consumption of the machine is 33.11 l LNG / h, so the autonomy would be $410 \text{ l} / 33.11 \text{ (l/h)} = 12.38 \text{ h}$. As the machines work 14 h/day, it would therefore require a refilling of the LNG tank per day. Once the LNG tank is empty, the machine will run the remaining time on diesel.

4.1.5 Scenarios analyzed, LNG consumption of the converted machines and LNG cost

Scenario 1: 5 machines of the BEST terminal are converted. The business model is calculated considering a time period of 10 years.

One LNG refueling of each machine per day is required. The daily quantity of LNG to be unloaded per machine would be 410 l. For the 5 machines it would be $410 \text{ l} \times 5 = 2,050 \text{ l}$ of LNG / day = $2.05 \text{ m}^3/\text{day}$

The total amount of LNG to discharge per week would be $2.05 \text{ m}^3/\text{day} \times 7 \text{ days} = 14.35 \text{ m}^3/\text{week}$.

The total amount of LNG to be discharged per year would be $2.05 \text{ m}^3 / \text{day} \times 365 \text{ days} = 748.25 \text{ m}^3/\text{year}$.

The total amount of LNG to discharge in 10 years would be $748.25 \text{ m}^3/\text{year} \times 10 \text{ years} = 7,482.5 \text{ m}^3$

Scenario 2: 10 machines of the BEST terminal are transformed. The business model is calculated considering in this case a period of 10 years.

One LNG refueling of each machine per day is required. The daily quantity of LNG to be unloaded per machine would be 410 l. For the 10 machines it would be $410 \text{ l} \times 10 = 4,100 \text{ l}$ of LNG / day = $4.1 \text{ m}^3/\text{day}$.

The total amount of LNG to discharge per week would be $4.1 \text{ m}^3/\text{day} \times 7 \text{ days} = 28.7 \text{ m}^3/\text{week}$.

The total amount of LNG to discharge per year would be $4.1 \text{ m}^3 \text{ of LNG/day} \times 365 \text{ days} = 1,496.5 \text{ m}^3/\text{year}$.

The total quantity of LNG to be discharged in 10 years would be $1,496.5 \text{ m}^3/\text{year} \times 10 \text{ years} = 14,965 \text{ m}^3$

Scenario 3: 20 machines of the BEST terminal are converted. The business model is calculated considering a period of 10 years.

One LNG refueling of each machine per day is required. The daily quantity of LNG to be unloaded per machine would be 410 l. For the 20 machines it would be $410 \text{ l} \times 20 = 8,200 \text{ l}$ of LNG/day = $8.2 \text{ m}^3/\text{day}$.

The total amount of LNG to discharge per week would be $8.2 \text{ m}^3/\text{day} \times 7 \text{ days} = 57.4 \text{ m}^3/\text{week}$.

The total amount of LNG to be discharged per year would be $8.2 \text{ m}^3 \text{ of LNG} / \text{day} \times 365 \text{ days} = 2,993 \text{ m}^3/\text{year}$.

The total amount of LNG to be discharged in 10 years would be $2,993 \text{ m}^3/\text{year} \times 10 \text{ years} = 29,930 \text{ m}^3$

The following is a summary table:

Scenario N°	LNG supply m³/day	LNG supply m³/week	LNG supply m³/year	LNG supply m³/10 years
1. 5 SC transformed	2.05	14.35	748.25	7,482.5
2. 10 SC transformed	4.1	28.7	1,496.50	14,965
3. 20 SC transformed	8.2	57.4	2,993	29,930

Table 3: Best converted SCs LNG consumptions for the scenarios analyzed

An average fuel cost of LNG of 0.57 € / kg has been considered, a cost that excludes the costs associated with logistics. In the following table the LNG costs for the full 10-year period is for each of the scenarios analyzed, excluding logistics costs are shown:

Scenario N°	LNG supply m³/10 years	LNG supply kg/10 years	Cost of LNG consumed in 10 years excluding logistics costs (€)
1. 5 SC transformed	7,482.5	3,367,125	1,919,261.25
2. 10 SC transformed	14,965	6,734,250	3,838,522.5
3. 20 SC transformed	29,930	13,468,500	7,677,045

Table 4: Best LNG costs excluding logistics of the converted SCs in 10 years for the scenarios analyzed

4.1.6 Current consumption of diesel B of the non-converted machines and cost of diesel B for the scenarios analyzed

The current machines consume 19 l/h of diesel B. An average cost of diesel B is 0.90 euros/liter, including logistics costs. To this cost 7,400 €/year must be added for the terminal's diesel supply infrastructure costs.

The consumption of diesel B of the non-converted machines for the scenarios of 5 machines, 10 machines and 20 machines operating for 10 years, 365 days, 14 hours a day are indicated in the following table:

Scenario N°	Diesel B supply l/day	Diesel B supply l/year	Diesel B supply l/10 years	Cost of diesel B consumed in 10 years (€)	Infrastructure cost of diesel supply in 10 years (€)	Total cost of diesel B in 10 years (€)
1. 5 SC with diesel B	19 x 14 x 5= 1,330	1,330 x 365= 485,450	4,854,500	4,854,500 x 0.90= 4,369,050	7,400 x 10 =74,000	4,443,050
2. 10 SC with diesel B	2,660	970,900	9,709,000	8,738,100	74,000	8,812,100
3. 20 SC with diesel B	5,320	1,941,800	19,418,000	17,476,200	74,000	17,550,200

Table 5: Best diesel costs of the SCs in 10 years for the scenarios analyzed

4.1.7 Cost of conversion of BEST machines

As the conversion of the BEST straddle carrier has not been carried out, the cost of the transformation has been estimated. The table below shows the estimated costs:

Concept		Cost (€)	Observations
Motor conversion		296,000	Initial budget of Idiada contemplated for the conversion of the engine.
Natural gas system	Engineering	6,000	Includes LNG tank, natural gas conditioning and feed up system to the engine estimated by HAM.
	Materials	23,000	
	Assembly	2,500	
	Homologation	6,400	
Engine and machine homologation		14,750	A cost of 8,750 for homologation of the engine and a cost of 6,000 for homologation of the machine has been considered.
Conversion total cost		348,650	
Industrial benefit		69,730	An industrial benefit of 20% on the total cost of the conversion has been considered, as the costs quoted are real costs.
CONVERSION TOTAL COST FOR 1ªSC TRANSFORMATION		418,380	

Table 6: Costs of conversion of first Best straddle carrier

For the transformation of the following BEST machines, the conversion costs are the following:

Concept		Cost (€)	Observations
Motor conversion		296,000	Initial budget of Idiada contemplated for the conversion of the engine.
Natural gas system	Engineering	6,000	Includes LNG tank, natural gas conditioning and feed up system to the engine estimated by HAM.
	Materials	23,000	
	Assembly	2,500	
	Homologation	6,400	
Engine and machine homologation		0	It is considered that all the engines of the machines of the terminal are the same, as well as the machines, so only the first engine and the first machine must be homologated.
Conversion total cost		333,900	
Industrial benefit		66,780	An industrial benefit of 20% on the total cost of the conversion has been considered, as the costs quoted are real costs.
CONVERSION TOTAL COST FOR FOLLOWING MACHINES TRANSFORMATION		400,680	

Table 7: Costs of conversion for second and following Best straddle carriers

4.2 Data of APMT terminal

4.2.1 LNG consumption of APMT machine

The LNG consumption of the straddle carrier with the conversion to gas of one of the two engines was 20.96 kg/h equivalent to 46.58 l/h assuming an LNG density of 450 kg/m³.

If the two engines of the machine were to have been converted to gas, the indicated consumption would have been multiplied by two. Therefore, the consumption for two

converted engines would be 41.92 kg/h equivalent to 93.16 l/h at an LNG density of 450 kg/m³.

The logistics and profitability study of the transformed machines will be carried out considering that both engines of the straddle carrier are converted to gas.

The following is a summary table of LNG consumption considered in this study:

APMT STRADDLE CARRIER LNG CONSUMPTION		
	Consumption (kg/h)	Consumption (l/h)
SC with 2 gas engines	41.92 kg LNG/h	93.16 l LNG/h

Table 8: APMT converted straddle carrier LNG consumption

4.2.2 Machines operating times

APMT's transformed machines would work 8 h/day. The machines work 365 days a year.

4.2.3 Mode and time of refueling of current machines

Current machines refuel once a day. In the terminal there is a specific area for refueling to which each of the machines goes to.

The diesel B refueling time of the machines is about 15/20 min, a time that should not be exceeded when refueling with LNG in the converted machines.

The transformed machines must also move to the refueling area to load LNG.

4.2.4 Technical information of the LNG tanks of the transformed APMT machines

APMT's converted machine would have two engines and two LNG tanks.

The technical characteristics of the LNG tanks are indicated below:

- Tanks capacity: 2 tanks of 446 liters each. The maximum fill level of each tank is 410 l, so the maximum amount of LNG stored in the two tanks is 820 liters.
- Tanks located 0.5 m above the ground.
- Filling connection location: 0.5 m above ground level.
- Type of filling connection: Standard receptacle for LNG. ECE R110 according to ISO 12617.
- No boil off return line is required during tanks filling.
- The maximum pressure of the tanks is 16 bar.
- Tanks autonomy: the LNG consumption of the machine is 93.16 l/h, according to the tests carried out, so the autonomy would be 820 l / 93.16 (l/h) = 8.80 h. It would therefore require one refilling of the LNG tanks per day.

4.2.5 Scenarios analyzed, LNG consumption of the converted machines and LNG cost

Scenario 1: 5 machines of the APMT terminal are converted. The business model is calculated considering a period of 10 years.

For the calculation we consider that the machine works 8 h/day and 365 days per year.

One LNG refueling of each machine per day is required.

The logistics costs will be calculated considering that one refueling is carried out per day.

The daily quantity of LNG to be delivered per machine would be $8 \text{ h} \times 93.16 \text{ l of LNG / h} = 745.28 \text{ l of LNG / day}$. For the 5 machines this equates to $745.28 \text{ l} \times 5 = 3,726.4 \text{ l of LNG/day} = 3.73 \text{ m}^3/\text{day}$.

The total amount of LNG to be delivered per week would be $3.73 \text{ m}^3/\text{day} \times 7 \text{ days} = 26.11 \text{ m}^3/\text{week}$.

The total amount of LNG to be discharged per year would be $3.73 \text{ m}^3/\text{day} \times 365 = 1,361.45 \text{ m}^3/\text{year}$.

The total amount of LNG to discharge in 10 years would be $1,361.45 \text{ m}^3/\text{year} \times 10 \text{ years} = 13,614.5 \text{ m}^3$.

Scenario 2: 10 machines of the APMT terminal are converted. The business model is calculated considering a period of 10 years.

For the calculation we consider that the machine works 8 h/day and 365 days per year.

One LNG refueling of each machine per day is required.

The logistics costs will be calculated considering that one load is carried out per day.

The daily quantity of LNG to be delivered per machine would be $8 \text{ h} \times 93.16 \text{ l of LNG/h} = 745.28 \text{ l of LNG/day}$. For the 10 machines this would mean $745.28 \text{ l} \times 10 = 7,452.8 \text{ l of LNG / day} = 7.45 \text{ m}^3/\text{day}$.

The total amount of LNG to discharge per week would be $7.45 \text{ m}^3/\text{day} \times 7 \text{ days} = 52.15 \text{ m}^3/\text{week}$.

The total amount of LNG to discharge per year would be $7.45 \text{ m}^3/\text{day} \times 365 = 2,719.25 \text{ m}^3/\text{year}$.

The total amount of LNG to discharge in 10 years would be $2,719.25 \text{ m}^3/\text{year} \times 10 \text{ years} = 27,192.5 \text{ m}^3$.

Scenario 3: 20 machines of the APMT terminal are converted. The business model is calculated considering a period of 10 years.

For the calculation we consider that the machine works 8 h/day and 365 days per year.

One LNG refueling of each machine per day is required.

The logistics costs will be calculated considering that one load is carried out per day.

The daily quantity of LNG to be unloaded per machine would be $8 \text{ h} \times 93.16 \text{ l of LNG / h} = 745.28 \text{ l of LNG / day}$. For the 20 machines it would be $745.28 \text{ l} \times 20 = 14,905.6 \text{ l of LNG/day} = 14.91 \text{ m}^3/\text{day}$.

The total amount of LNG to be unloaded per week would be $14.91 \text{ m}^3/\text{day} \times 7 \text{ days} = 104.37 \text{ m}^3/\text{week}$.

The total amount of LNG to discharge per year would be $14.91 \text{ m}^3/\text{day} \times 365 = 5,442.15 \text{ m}^3/\text{year}$.

The total amount of LNG to be discharged in 10 years would be $5,442.15 \text{ m}^3/\text{year} \times 10 \text{ years} = 54,421.5 \text{ m}^3$.

The following is a summary table:

Scenario N°	LNG supply m³/day	LNG supply m³/week	LNG supply m³/year	LNG supply m³/10 years
1. 5 SC transformed	3.73	26.11	1,361.45	13,614.5
2. 10 SC transformed	7.45	52.15	2,719.25	27,192.5
3. 20 SC transformed	14.91	104.37	5,442.15	54,421.5

Table 9: APMT converted SCs LNG consumptions for the scenarios analysed

An average cost of LNG of 0.57 € / kg is considered, excluding costs associated with logistics. In the table below the LNG costs over 10 years for each of the scenarios analyzed, excluding logistics costs, is shown:

Scenario N°	LNG supply m³/10 years	LNG supply kg/10 years	Cost of LNG consumed in 10 years excluding logistics costs (€)
1. 5 SC transformed	13,614.5	6,126,525	3,492,119.25
2. 10 SC transformed	27,192.5	12,236,625	6,974,876.25
3. 20 SC transformed	54,421.5	24,489,675	13,959,114.75

Table 10: APMT LNG costs excluding logistics of the converted SCs in 10 years for the scenarios analyzed

4.2.6 Current consumption of diesel B of the non-converted machines and cost of diesel B for the scenarios analyzed

The current machines consume 56.92 l/h of diesel B. An average cost of diesel B is 0.90 euros/liter, including logistics costs. To this cost, it must be added 7,400 € / year corresponding to the terminal's diesel supply infrastructure costs.

The consumption of diesel B of the non-converted machines for the scenarios of 5 machines, 10 machines and 20 machines operating for 10 years, 365 days, 14 hours a day are those indicated in the following table:

Scenario N°	Diesel B supply l/day	Diesel B supply l/year	Diesel B supply l/10 years	Cost of diesel B consumed in 10 years (€)	Infrastructure cost of diesel supply in 10 years (€)	Total cost of diesel B in 10 years (€)
1. 5 SC with diesel B	56.92 x 8 x 5 = 2,276.8	2,276.8 x 365 = 831,032	8,310,320	8,310,320 x 0.90 = 7,479,288	7,400 x 10 = 74,000	7,553,288
2. 10 SC with diesel B	4,553.6	1,662,064	16,620,640	14,958,576	74,000	15,032,576
3. 20 SC with diesel B	9,107.2	3,324,128	33,241,280	29,917,152	74,000	29,991,152

Table 11: APMT diesel costs of the SCs in 10 years for the scenarios analyzed

4.2.7 Cost of conversion of APMT machines

The table below shows the transformation costs of the first APMT straddle carrier:

Concept		Cost (€)	Observations
First motor conversion		608,680.05	
Second motor conversion		202,355.05	
Natural gas system	Engineering	6,000	Includes two LNG tanks, natural gas conditioning and feed up system to the engines.
	Materials	46,000	
	Assembly	5,000	
	Homologation	6,400	
Engines and machine homologation		14,750	A cost of 8,750€ for the homologation of the engines and a cost of 6,000€ for the homologation of the machine has been considered. It is considered that the two

Concept	Cost (€)	Observations
		engines are the same, so it is only necessary to homologate one.
Conversion total cost	889,185.1	
Industrial benefit	177,837.02	An industrial benefit of 20% on the total cost of the conversion has been considered.
TOTAL COST FOR 1st SC TRANSFORMATION	1,067,022.12	

Table 12: Costs of conversion of first APMT straddle carrier

For the transformation of the following APMT machines, the conversion costs are the following:

Concept		Cost (€)	Observations
Engines conversion		404.710,1	The cost of each engine is 202,355.05 euros.
Natural gas system	Engineering	6,000	Includes two LNG tanks, natural gas conditioning and feed up system to the engines.
	Materials	46,000	
	Assembly	5,000	
	Homologation	6,400	
Engines and machine homologation		0	It is considered that all the engines of the machines are the same, as well as the machines, so only the first engine and the first machine have to be homologated.
Conversion total cost		468,110.1	
Industrial benefit		93,622.02	An industrial benefit of 20% on the total cost of the conversion has been considered.
CONVERSION TOTAL COST FOR FOLLOWING MACHINES TRANSFORMATION		561,732.12	

Table 13: Costs of conversion for second and following APMT straddle carriers

5. LNG supply solution

The following supply solutions are analyzed for each of the two BEST and APMT terminals to determine the most suitable solution for each scenario:

- A) Mobile supply station with LNG dispenser and payment system.
- B) Fixed LNG storage station with two LNG dispensers with payment system and one LNG tank.

The conventional tanker truck supply solution is not considered because it does not have an integrated payment system.

5.1 Supply solution for BEST terminal

For the analysis of the supply solution, the logistics costs of LNG with a mobile supply station for 10 years will be analyzed, compared to the cost of the fixed LNG storage station.

5.1.1 Cost analysis of the solution with mobile supply station

The mobile service station that would be used to supply LNG to the gas-converted machines would have the same technical characteristics as the one used to supply LNG to the APMT converted machine in the pilot tests, whose main technical characteristics have been indicated in section 3 above.

The mobile supply station will be left fixed in the terminal and the only movements will be the displacements to the regasification plant for the refilling with LNG. The mobile supply station has a maximum filling volume of 46 m³.

Two options are analyzed for this case supply station rent and supply station purchase.

The LNG logistics costs are calculated to refill the LNG tank of the mobile supply station for each scenario over 10 years and will be added to the cost of the mobile supply station rent or purchase. In the supply station purchase option maintenance cost of the supply station shall be added.

The table below shows the breakdown of unit costs for each refueling operation of the mobile supply station.

We consider 1.5 hours of the technical assistant to consider the time for the displacement of the mobile supply station to the regasification plant for filling LNG and the loading time at the regasification plant.

COSTS PER REFUELING OPERATION OF THE MOBILE SUPPLY STATION		
Type of cost	Unit costs	Costs per refilling operation
Technical assistant	165 €/h (3,960 €/day 24h)	$1.5 \times 165 \text{ €/h} = 247.5 \text{ €}$
Logistics	1.95 €/ km of displacement (round trip). Minimum 300 €.	$106 \text{ km} \times 1.95 \text{ €/km} = 206.7 \text{ €}$. The minimum of 300€ is considered.
TOTAL COST		547.5 €

Table 14: Costs per refuelling operation of the mobile supply station

With Best converted straddle carriers LNG consumptions indicated in table 3 and the maximum volume of 46 m³ of the LNG tank of the mobile supply station the number of refilling operations of the mobile supply station in 10 years for each scenario are calculated.

To the logistic cost of the refilling operations for the option of supply station rent the cost of the mobile supply station rent will be added. The mobile supply station rent is 15,000 €/ month. For 10 years the mobile station rent cost is 1,800,000 €.

In the supply station purchase option to the logistic cost of the supply station refilling operations will be added the cost of purchase of the supply station which is 535,000 € and the cost of maintenance which is 10,500 €/ year. The maintenance cost includes three maintenance visits per year to the terminal (1,100 €/visit) and a monthly cost of 600 € to consider 24 hours attention for incidences. The cost of all wear parts required is included. For 10 years the costs of supply station purchase option are 640,000 € including the maintenance.

The table below shows the total costs of the mobile supply station solutions in 10 years for the scenarios analyzed:

Scenario N°	N° of refilling operations per month	N° of refilling operations in 10 years	Cost of refilling operations in 10 years (€)	Total costs of mobile supply station for rent option in 10 years (€)	Total costs for mobile supply station for purchase option in 10 years (€)
1. 5 SC transformed	2	240	131,400	1,931,400	771,400
2. 10 SC transformed	3	360	197,100	1,997,100	837,100
3. 20 SC transformed	6	720	394,200	2,194,200	1,034,200.

Table 15: Best costs of the mobile supply station solutions in 10 years for the scenarios analyzed

Due to the high cost of the mobile supply station rent in 10 years (1,800,000 €) the alternative option of purchase it is selected between the two options which has a much lower cost in 10 years (640,000 €).

5.1.2 Cost analysis of the fixed LNG station solution

5.1.2.1 Description of the main equipment of the fixed LNG supply station

Below are described the main equipment of the fixed LNG supply station.

1. LNG storage tank

The supply station would have an LNG storage tank. The fixed station LNG tank is sized so that the tank only needs to be refilled once a week. Each machine consumes 33.11 l of LNG/h and works 14 hours a day, so each machine consumes $33.11 \times 14 = 463.54$ l per day.

In the table below, the amount of LNG required daily and weekly for all the transformed machines of the terminal, the required capacity of the tank and the estimation of its dimensions are calculated for each of the analyzed scenarios.

Scenario N°	LNG supply m³/day	LNG supply m³/week	Proposed nominal capacity of the LNG tank (m³)	Estimated dimensions D x H (m)
1. 5 SC transformed	2.32	16.22	20	3 x 2.8
2. 10 SC transformed	4.64	32.48	40	3 x 5.7
3. 20 SC transformed	9.28	64.96	70	3.5 x 7.3

Table 16: Best LNG tanks sizes of the fixed LNG supply station for the scenarios analyzed

The LNG tank would be a vertical cryogenic double walled tank with vacuum perlite insulation, the inner tank made of austenitic stainless steel and the outer one of carbon steel, protected with a special anti-corrosion surface finish for weathering. The chamber between the two concentric tanks is filled with perlite and a vacuum is created in the chamber ($<5 \times 10^{-2}$ mbar), constituting the thermal insulation of the tank.

The maximum working pressure is 9 bar and the design temperature range is -196 °C / + 50 °C.

The tank would have CE marking and would be designed and manufactured in accordance with the European Directive 2014/68 / EU, UNE-EN 13458 "Cryogenic vessels, design, manufacture, inspection and testing", PED (97 / 23EC) (Pressure Vessels Directive).

The tank is equipped with the following monitoring instrumentation:

- Level indicator and level transmitter.
- Pressure gauge and pressure transmitter.

The inner tank is equipped with the following connections with their corresponding isolation valves:

- Filling connection.
- Outlet connection to consumption.
- Connection for safety valves, three-way valve and redundant safety valves.
- Connection for overflow.
- Connections for instrumentation.

The external tank is equipped with the following connections:

- Connection for vacuum measuring device.

- Vacuum intake.
- Safety device.

The tank incorporates the following equipment:

- Venting with flame arresters.
- Sensor for vacuum measurement.
- Pressure regulating valves.
- Atmospheric pressure elevator (PPR). It is an atmospheric exchanger installed to increase the tank pressure if necessary. This serves to improve the NPSH of the pump and facilitate the discharge of the tank.



Figure 5: Best LNG tank of the fixed LNG supply station

2. LNG transfer pumps

For the transfer of LNG, two horizontal centrifugal cryogenic pumps are considered, driven by an electric motor, each with 100% capacity, which operate alternately, one will be in operation during LNG loading and the other on stand-by. These pumps are connected in parallel, located outside the LNG tank and will be connected by pipe to the tank to allow discharge at a maximum pressure of 16 bar, which is the maximum working pressure of the LNG tank of the straddle carriers. The pumps will be supported on the ground by a bench.

For the calculation of the pump flow we considered the scenario of higher flow demand, simultaneous refueling of two straddle carriers with the machines' LNG tank empty and a recharge time of 5 min.

Considering that the LNG tank of the straddle carriers has a maximum volume to fill of 410 l, the required flow would be $Q = 410 \text{ l} \times 2/5 \text{ min} = 164 \text{ l/min}$.

For the calculation of the pump head, the following data was considered:

- The tank of the straddle Carrier is located 0.5 m above the ground.
- The maximum pressure of the LNG tank of the straddle Carrier is 16 bar.
- The minimum pressure in the suction of LNG pumps is around 0.2 bar.

With this data the approximate maximum differential pressure required of the pumps would be $\Delta P = 16 - 0.2 = 15.8 \text{ bar}$. If we estimate the pressure drop of 10%, $\Delta P = 17.38 \text{ bar}$, equivalent to $\Delta H = 393.7 \text{ m}$ considering an LNG density of 450 kg/m^3

The preliminary technical characteristics of the pumps are listed below:

- $Q = 164 \text{ l / min}$.
- $\Delta P = 17.38 \text{ bar}$.
- $\Delta H = 393.7 \text{ m}$

The pumps will comply with the regulations indicated below:

- UNE-EN ISO 24490 Cryogenic vessels. Pumps for cryogenic use.
- Machinery Directive 2006/42/CE: Essential Health and Safety Requirements related to the Design and construction of machines.
- ATEX Directive 2014/34/UE: Equipment and protection systems intended for use in potentially explosive atmospheres.

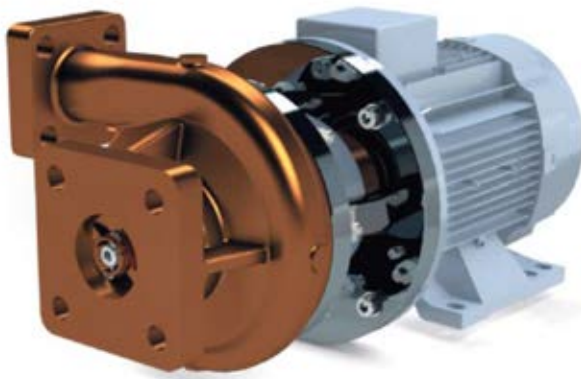


Figure 6: Best LNG pump of the fixed LNG supply station

3. LNG pipes

To conduct the LNG, simple 316L stainless steel pipe of the diameter and thickness required to fulfill the plant's mission will be installed. The vent pipes will also be made of this material. If necessary, in some sections it will be thermally insulated by means of a polyurethane shell for cryogenic applications and exterior aluminum.

The pipes will be duly protected against the corrosion of the marine environment when necessary, either by means of surface protection systems, insulation or similar.

The pipes will comply with the following regulations:

- UNE-EN 13645 Installations and equipment for liquefied natural gas. Design of land facilities with storage capacity ranging from 5 t to 200 t
- UNE-EN13480 Industrial metal pipes. Parts 1,2,3,4 and 5 (Generalities, materials, design and calculation, manufacture and installation, inspection and tests.

4. Electrical panel, control system and instrumentation

The fixed LNG supply station will have the necessary means for a correct automatically operation. The system will consist of a main panel and different boxes, according to the needs of the project. The main panel will be arranged in a control room in a protected area.

The system will be based on a PLC or similar with a touch screen and control interface. All the cards and electrical elements necessary to be able to control and monitor the processes in a totally autonomous way will be installed inside the panel.

Emergency push buttons for the station shutdown will be placed next to the pumps and in the LNG dispenser.

The system will comply with the following regulations:

- UNE-EN 13645 Installations and equipment for liquefied natural gas. Design of land facilities with storage capacity ranging from 5 t to 200 t
- UNE-60210 Satellite liquefied natural gas plants.
- RD482/2002 Low voltage electrotechnical regulation.
- IEC 60079 Explosive atmospheres.
- IEC 60204-1
- The electrical panel will comply with RD482/2002 Low Voltage Electrotechnical Regulations.

For the balance of electric potentials, all metallic structures will be electrically connected to a common ground in accordance with the IEC 60204-1 Standard.

All power and control cables shall comply with IEC 60079.

Methane detectors will be installed above the sites where gas leaks are most likely to occur. At least one methane detector will be installed in the LNG refueling area, under the roof that covers the LNG dispenser. An adequate number of detectors will be installed in the interior area of the retention container where the LNG supply station equipment is located to cover all possible sources of gas leaks.

Properly located flame detectors will be installed to cover in the LNG supply station all places where there may be a risk of ignition.

Low temperature detectors will be installed at the base of the LNG storage tank.

Properly located manual ESD devices will be installed throughout the LNG filling station in locations where the operator can safely access it. A manual ESD device will be located near each LNG supply point and adjacent to all exit points from the LNG filling station.

The locations of manual ESD devices will be clearly marked.

An emergency power supply will be installed to power the flame and methane detection systems without interruption.

The service station will have an automatic ESD emergency stop system that can be part of the installation's control system.

The ESD system shall be designed in accordance with IEC 61508 and IEC 61511 standards. All system components shall be designed with a failsafe safety mode in the event of power failure or equipment failure.

The ESD system will be activated by:

- Gas detectors; the standard value of the set point for a high methane concentration is detected at 40% of the LEL; an alarm will be activated at 20% of the LEL.
- Flame detectors.
- Low temperature detectors; the standard value of the set point is -75 °C.
- Failure of the main power supply, the instrument power supply or the air / nitrogen supply.
- Manual activation of any ESD push button.

5. Containment basin and civil works

The LNG tank, the LNG pumps and pipes will be located inside a concrete containment basin with a minimum net volume of the geometric capacity of the tank.

The containment basin walls must be at least 1.5 m from any side or front surface of the tank. The containment basin will be in accordance with the LNG plant regulation UNE 60.210 2018.

The table below indicates the dimensions of the containment basin for each of the scenarios analyzed based on the capacity of the LNG storage tank:

Scenario Nº	Proposed nominal capacity of the LNG tank (m³)	Estimated LNG tank dimensions D x H (m)	Proposed containment basin capacity (m3)	Estimated dimensions of the containment basin L x W x H (m)
1. 5 SC transformed	20	3 x 2.8	21.60	6 x 6 x 0.6
2. 10 SC transformed	40	3 x 5.7	41.40	6 x 6 x 1.15
3. 20 SC transformed	70	3.5 x 7.3	71.83	6.5 x 6.5 x 1.70

Table 17: Best LNG tanks containment basin sizes of the fixed LNG supply station for the scenarios analyzed

The civil work includes the preparation of the area for the placement of the equipment and the construction of the containment basin and the control room to place the electrical panel and the control system from which the installation will be powered. The control room will be located at least 6 m from the outer shell of the tank and its dimensions will be adequate to locate inside the power and control panel and the auxiliary panels of the plant.

The dispenser will be located outside the tank at least 4 m from the outer shell of the tank and will have a protection roof.

As it is an area close to the sea, the cements and other materials will have special characteristics.

A grounding net will be installed in the station to which all the equipment will be connected, those located inside the containment basin and the rest of the equipment located outside, the electrical and control equipment located in the control room.

Slabs will be made for the positioning of the pumps located inside the containment basin and the foundation for the LNG storage tank.

The containment basin will be fenced with a minimum height of 2 m and 2 entrances to the interior of the basin with stairs and doors will be installed.

6. LNG dispenser and payment system

The LNG dispenser will have 2 LNG refueling lines so that two straddle carriers can be supplied simultaneously. The maximum pressure in each supply nozzle will be 16 bar and the nominal flow rate in each refueling line 82 l / min, then the dispenser will be able to deliver a total flow of 164 l / min. The dispenser will have a roof that will cover the dispenser and will be located outside the containment basin at a minimum distance of 4 m from the outer shell of the LNG tank.

Each refueling line will have the following equipment:

- Nozzle for LNG refueling with vapor return / recovery.
- Flexible cryogenic hose with 316 stainless steel corrugated and 304L stainless steel outer mesh, 3.5 m in length, DN25 nominal diameter, 25 bar operating pressure and swivel female unions, for the refueling of LNG with return / recovery steam.
- Housing or attachment device for the nozzle when the refueling hose is not in use.
- Uncoupling device, break away.
- Manual shut-off valves.
- Excess flow valve.
- Automatic shut-off valve.
- Non-return valve.
- Coriolis mass flow meter.
- Temperature and pressure probes and transmitters.
- Electronic calculator that can communicate with the payment terminal.
- Display with indication of quantity, price, etc.

- Start / stop switch.
- Emergency push button.
- Payment system.
- Pipes and control valves including thermal and overpressure safety valves.
- Electrical and pneumatic power supply.
- Envelope.
- Deadman button or handle (or similar manually operated element) so that refueling begins and continues only when this button or handle is manually operated continuously or intermittently with short intervals of maximum 60 seconds.

The type of nozzle to connect to the LNG tank of the straddle Carrier will be LNG RC ECE R110 coupling according to ISO 12617.

The refueling hose shall comply with ISO 21012, must be suitable for LNG and service pressure, be resistant to corrosion and mechanical deterioration, protected by a braided stainless-steel wire or an equivalent design.

The design and installation of the hose must include provisions to allow the liquid accumulated in the refueling hose after refueling and the corresponding vapor to return to the LNG storage tank. It will also allow the recovery of the overpressure gas in the tank of the straddle carrier.

7. Firefighting installation

Suitable sized dry powder extinguishers shall be available at the facility.

There should be at least one dry powder extinguisher near the dispenser. A 12 kg portable dry powder extinguisher will be installed in this area.

Dry powder wheeled extinguishers shall be installed in the LNG tank area in proportion to 10 kg of dry powder per 1000 kg of LNG to be placed and distributed in easily accessible places.

The following table indicates the extinguishers to be installed in the LNG tank area for each of the scenarios depending on the capacity of the LNG tank:

Scenario No.	Proposed nominal capacity of the LNG tank (m³)	Kg of LNG	Minimum kg of dry powder required	Number of fire extinguishers and capacity
1. 5 SC transformed	20	9,000	90	2 extinguishers of 50 kg
2. 10 SC transformed	40	18,000	180	4 extinguishers of 50 kg
3. 20 SCs transformed	70	31,500	315	6 extinguishers of 50 kg and 1 of 25 kg.

Table 18: Best number of fire extinguishers and capacity for the fixed LNG supply station considering the scenarios analyzed

A portable CO₂ extinguisher will be installed in the control room where the electrical panel and control system are located.

8. Other

The station will have a water supply point equipped with a hose with a reel.

For the illumination of the entire enclosure of the installation, explosion-proof luminaires will be used.

A line is installed that starts from each equipment that leads all the vents that may occur in the different elements that form the installation to a common collector, so that possible gas leaks in each equipment are avoided, leading to the highest point of the installation.

The end of the vent collector is arranged in such a way that no water can be introduced into it.

5.1.2.2 Cost of the fixed station for each scenario

The following table indicates the cost of each supply station for each of the scenarios based on the capacity of the LNG tank. To this cost the maintenance cost of the fixed station for 10 years shall be added. The cost of maintenance is 10,500 €/ year. The maintenance cost includes three maintenance visits per year to the terminal (1,100 €/visit) and a monthly cost of 600 € to consider 24 hours attention for incidences. The cost of all wear parts required is included.

Scenario No.	LNG tank capacity (m³)	Fixed Station Cost (€)	Fixed station maintenance cost for 10 years (€)	Fixed Station Cost including maintenance for 10 years (€)
1. 5 SC transformed	20	465,000	105,000	570,000
2. 10 SC transformed	40	490,000	105,000	595,000
3. 20 SC transformed	70	550,000	105,000	655,000

Table 19: Best cost of the fixed supply station for each of the scenarios

The LNG logistics costs are then calculated to refill the LNG tanks of the fixed station for each scenario over 10 years that would have to be added to the cost of the fixed LNG station. It is considered that one tank refilling operation is performed a week. Then 52 operations would be carried out per year and for 10 years, 520 operations would be carried out.

In the table below it is indicated the amount of LNG to be delivered each week. As the tanker truck with which the LNG supply would be made would have a maximum filling volume of 45 m³, for the LNG tank of 70 m³ it would be required to unload two LNG tanker trucks so the tanker truck once unloaded would have to return to the regasification plant to refill LNG to perform a second discharge into the LNG tank to complete the 64.96 m³. Therefore, for this case it would be necessary to consider twice the kilometers of displacement and an additional 1.5 h to consider the travel time of the round trip of the tanker truck to the place of supply and the time of loading at the regasification plant.

For the calculation of the time required of the unloading assistance technician for each of the analyzed scenarios, it has been considered that the pump of the tanker truck with which the discharge is carried out has a nominal flow of 36 m³/h. The filling time for each scenario is indicated in the following table:

Scenario No.	LNG tank capacity (m³)	LNG supply m³/week	LNG supply time (h)
1. 5 SC transformed	20	16.22	16.22/36=0.45
2. 10 SC transformed	40	32.48	32.48/36 =0.9
3. 20 SC transformed	70	64.96	64.96 /36= 1.8

Table 20: Best filling time of the fixed supply station LNG tank for the scenarios analyzed

The following table shows the breakdown of unit costs for each refilling operation with the tanker truck, as well as the cost of each operation for the three LNG storage tanks of the fixed stations of 20 m³, 40 m³ and 70 m³.

COSTS PER REFILLING OPERATION WITH A TANKER TRUCK				
Type of cost	Unit costs	Costs per operation 20 m³ LNG tank	Costs per operation 40 m³ LNG tank	Costs per operation 70 m³ LNG tank
Tanker truck rent	500 €/day (15,000 €/month)	1 day x 500 €/day = 500 €	1 day x 500 €/day = 500 €	1 day x 500 €/day = 500 €
Technical assistant	165 €/h (3,960 €/day 24h)	(0.45 + 1.5) x 165 €/h = 321.75 €	(0.9+1.5) x 165 €/h = 396 €	(1.8+3) x 165 €/h = 792 €
Logistics	1.95 €/ km of displacement (round trip). Minimum 300 €.	106 km x 1.95 €/km = 206.7 €. The minimum of 300€ is considered.	106 km x 1.95 €/km = 206.7 €. The minimum of 300€ is considered.	212 km x 1.95 €/m = 413.4 €
TOTAL COST		1,121.75 €	1,196 €	1,705.4 €

Table 21: Best costs per refilling operation of the LNG tank of the fixed supply station for the scenarios analyzed

The table below shows the operating costs for each of the three scenarios analyzed, as well as the total cost of the operations in 10 years.

Scenario No.	Cost per operation (€)	Nº operations in 10 years	Total costs of operations in 10 years (€)
1.Supply to 5 SC	1,121.75	520	583,310
2.Supply to 10 SC	1,196	520	621,920
3.Supply to 20 SC	1,705.4	520	886,808

Table 22: Best total costs in 10 years for the refilling operations of the LNG tank of the fixed supply station for the scenarios analyzed

The table below indicates the total cost of the logistics solution with the fixed station:

Scenario N°	GNL tank capacity (m³)	Fixed station cost including maintenance for 10 years (€)	Total costs of refilling operations of the LNG tank in 10 years (€)	Total cost of fixed station solution (€)
1. 5 SC transformed	20	570,000	583,310	1,153,310
2. 10 SC transformed	40	595,000	621,920	1,216,920
3. 20 SC transformed	70	655,000	886,808	1,541,808

Table 23: Best total cost of the logistics solution with the fixed station for the scenarios analyzed

5.1.3 Conclusions and definition of the LNG supply solution

The table below shows the costs of the logistics solution with mobile supply station and the costs with a fixed supply station considering a supply period of 10 years.

Scenario No	Total costs of mobile supply station for rent option in 10 years (€)	Total costs for mobile supply station for purchase option in 10 years (€)	Total cost with fixed supply station for the operations in 10 years (€)
1. Supply to 5 SC	1,931,400	771,400	1,153,310
2. Supply to 10 SC	1,997,100	837,100	1,216,920
3. Supply to 20 SC	2,194,200	1,034,200	1,541,808

Table 24: Best costs of the logistics solution with mobile supply station and the costs with a fixed supply station considering a supply period of 10 years for the scenarios analyzed

From the above it is concluded that the total cost of operations with a mobile supply station with the purchase option in 10 years is lower than the cost of logistics of the rent option of a mobile supply station and the cost of a fixed supply station, so between these three solutions the optimal supply solution would be the purchase of a mobile supply station to be installed in the terminal.

The supply station shall be located in an area that does not interfere with the normal operation of the terminal.

The pre-selected point for the supply installation at the Best terminal is as follows:

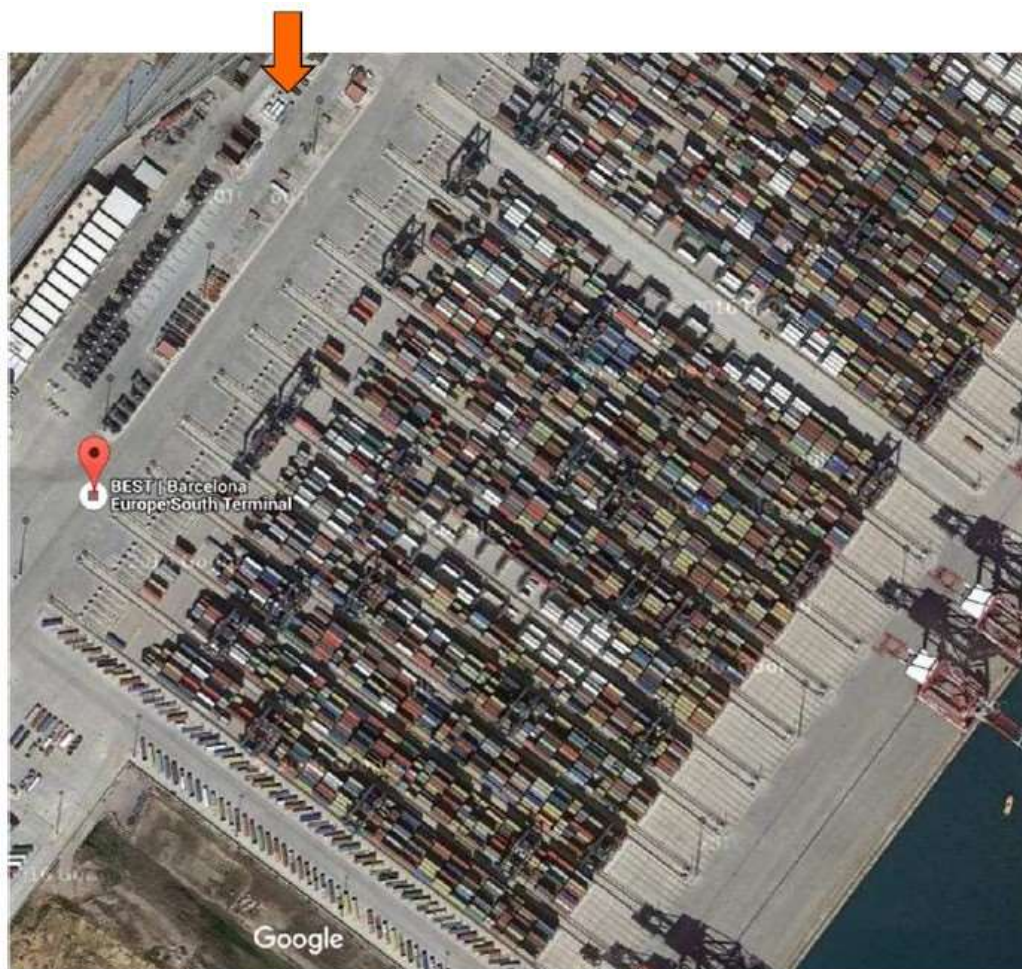


Figure 7: Pre-selected point for the supply installation at the Best terminal

5.2 Supply solution for APMT terminal

For the analysis of the supply solution, the logistics costs of LNG with a mobile supply station for 10 years will be again analyzed, compared to the cost of the fixed LNG storage station.

5.2.1 Cost analysis of the solution with mobile supply station

The mobile service station that would be used to supply LNG to the gas-converted machines would have the same technical characteristics as the one used to supply LNG to the APMT converted machine in the pilot tests, whose main technical characteristics have been indicated in section 3 above.

The mobile supply station will be left fixed in the terminal and the only movements will be the displacements to the regasification plant for the refilling with LNG. The mobile supply station has a maximum filling volume of 46 m³.

Two options are analyzed for this case supply station rent and supply station purchase.

The LNG logistics costs are calculated to refill the LNG tank of the mobile supply station for each scenario over 10 years and will be added to the cost of the mobile supply station rent or purchase. In the supply station purchase option maintenance cost of the supply station shall be added.

The costs per refilling operation of the mobile supply station are the costs indicated in table 13.

With APMT converted straddle carriers LNG consumptions indicated in table 8 and the maximum volume of 46 m³ of the LNG tank of the mobile supply station the number of refilling operations of the mobile supply station in 10 years for each scenario are calculated.

To the logistic cost of the refilling operations for the option of supply station rent the cost of the mobile supply station rent will be added. The mobile supply station rent is 15,000 €/ month. For 10 years the mobile station rent cost is 1,800,000 €.

In the supply station purchase option to the logistic cost of the supply station refilling operations will be added the cost of purchase of the supply station which is 535,000 € and the cost of maintenance which is 10,500 €/ year. The maintenance cost includes three maintenance visits per year to the terminal (1,100 €/visit) and a monthly cost of 600 € to consider 24 hours attention for incidences. The cost of all wear parts required is included. For 10 years the costs of supply station purchase option are 640,000 € including the maintenance.

The table below shows the total costs of the mobile supply station solutions in 10 years for the scenarios analyzed:

Scenario N°	N° of refilling operations per month	N° of refilling operations in 10 years	Cost of refilling operations in 10 years (€)	Total costs of mobile supply station for rent option in 10 years (€)	Total costs for mobile supply station for purchase option in 10 years (€)
1. 5 SC transformed	3	360	197,100	1,997,100	837,100
2. 10 SC transformed	5	600	328,500	2,128,500	928,500
3. 20 SC transformed	10	1,200	657,000	2,457,000	1,297,000

Table 25: APMT costs of the mobile supply station solutions in 10 years for the scenarios analyzed

Due to the high cost of the mobile supply station rent in 10 years (1,800,000 €) the alternative option of purchase it is selected between the two options which has a much lower cost in 10 years (640,000 €).

5.2.2 Cost analysis of the fixed LNG station solution

5.2.2.1 Description of the main equipment of the fixed LNG supply station

Below are described the main equipment of the fixed LNG supply station.

1. LNG storage tank

The supply station would have an LNG storage tank. The fixed station LNG tank is sized so that the tank only needs to be refilled once a week. Each machine consumes 93.16 l of LNG / h and works 8 hours a day, so each machine consumes $93.16 \times 8 = 745.28$ l per day.

In the below table, the amount of LNG required daily and weekly for all the transformed machines of the terminal, the required capacity of the tank and the estimation of its dimensions are calculated for each of the analyzed scenarios.

Scenario Nº	LNG supply m³/day	LNG supply m³/week	Proposed nominal capacity of the LNG tank (m³)	Estimated dimensions D x H (m)
1. 5 SC transformed	3.73	26.11	30	3 x 4.24
2. 10 SC transformed	7.45	52.15	60	3 x 8.49
3. 20 SC transformed	14.91	104.37	115	3.80 x 10.14

Table 26: APMT capacity and dimensions of the LNG tank of the fixed supply station for the scenarios analyzed

The LNG tank would be a vertical cryogenic double walled tank with vacuum perlite insulation, the inner tank made of austenitic stainless steel and the outer one of carbon steel, protected with a special anti-corrosion surface finish for weathering. The chamber between the two concentric tanks is filled with perlite and a vacuum is created in the chamber ($<5 \times 10^{-2}$ mbar), constituting the thermal insulation of the tank.

The maximum working pressure is 9 bar and the design temperature range is -196 °C / + 50 °C.

The tank would have CE marking and would be designed and manufactured in accordance with the European Directive 2014/68 / EU, UNE-EN 13458 "Cryogenic vessels, design, manufacture, inspection and testing", PED (97 / 23EC) (Pressure Vessels Directive).

The tank is equipped with the following monitoring instrumentation:

- Level indicator and level transmitter.
- Pressure gauge and pressure transmitter.

The inner tank is equipped with the following connections with their corresponding isolation valves:

- Filling connection.
- Outlet connection to consumption.
- Connection for safety valves, three-way valve and redundant safety valves.
- Connection for overflow.
- Connections for instrumentation.

The external tank is equipped with the following connections:

- Connection for vacuum measuring device.
- Vacuum intake.

- Safety device.

The tank incorporates the following equipment:

- Venting with flame arresters.
- Sensor for vacuum measurement.
- Pressure regulating valves.
- Atmospheric pressure elevator (PPR). It is an atmospheric exchanger installed to increase the tank pressure if necessary. This serves to improve the NPSH of the pump and facilitate the discharge of the tank.



Figure 8: APMT LNG tank of the fixed supply station

2. LNG transfer pumps

For the transfer of LNG, two horizontal centrifugal cryogenic pumps are considered, each driven by an electric motor, both having 100% capacity, which will operate alternately, one in operation during LNG loading and the other on stand-by. These pumps will be connected in parallel, located outside the LNG tank and will be connected by pipe to the tank to allow discharge at a maximum pressure of 16 bar, which is the maximum working pressure of the LNG tank of the straddle carriers. The pumps will be supported on the ground by a bench.

For the calculation of the pump flow we considered the scenario of higher flow demand, simultaneous refueling of two straddle carriers with the machines' LNG tanks empty and with a recharge time of 5 min.

Considering that the two LNG tanks of the straddle carriers have a maximum volume to fill of 820 l considering the two tanks, the required flow would be $Q = 820 \text{ l} \times 2/5 \text{ min} = 328 \text{ l/min}$.

For the calculation of the pump head, the following data was considered:

- The tanks of the straddle Carrier are located 0.5 m above the ground.
- The maximum pressure of the LNG tanks of the straddle Carrier is 16 bar.
- The minimum pressure in the suction of LNG pumps is around 0.2 bar.

With this data the approximate maximum differential pressure required of the pumps would be $\Delta P = 16 - 0.2 = 15.8 \text{ bar}$. If we consider an estimated pressure drop of 10%, $\Delta P = 17.38 \text{ bar}$, equivalent to $\Delta H = 393.7 \text{ m}$ considering an LNG density of 450 kg/m^3)

The preliminary technical characteristics of the pumps are listed below:

- $Q = 328 \text{ l/min}$.
- $\Delta P = 17.38 \text{ bar}$.
- $\Delta H = 393.7 \text{ m}$

The pumps will comply with the regulations indicated below:

- UNE-EN ISO 24490 Cryogenic vessels. Pumps for cryogenic use.
- Machinery Directive 2006/42/CE: Essential Health and Safety Requirements related to the Design and construction of machines.
- ATEX Directive 2014/34/UE: Equipment and protection systems intended for use in potentially explosive atmospheres.

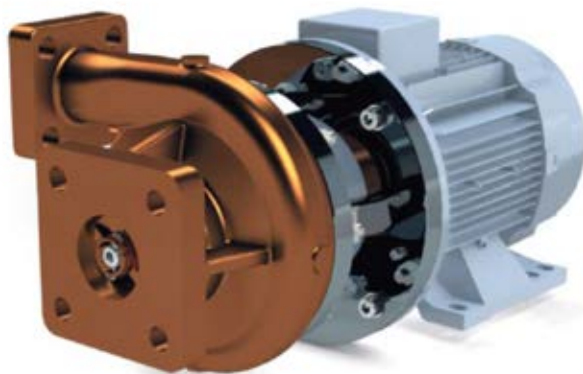


Figure 9: APMT LNG pump of the fixed supply station

3. LNG pipes

To conduct the LNG, simple 316L stainless steel pipe of the diameter and thickness required to fulfill the plant's mission will be installed. The vent pipes will also be made of this material. If necessary, in some sections it will be thermally insulated by means of a polyurethane shell for cryogenic applications and exterior aluminum.

The pipes will be duly protected against the corrosion of the marine environment when necessary, either by means of surface protection systems, insulation or similar.

The pipes will comply with the following regulations:

- UNE-EN 13645 Installations and equipment for liquefied natural gas. Design of land facilities with storage capacity ranging from 5 t to 200 t
- UNE-EN13480 Industrial metal pipes. Parts 1,2,3,4 and 5 (Generalities, materials, design and calculation, manufacture and installation, inspection and tests.

4. Electrical panel, control system and instrumentation

The fixed LNG supply station will have the necessary means for a correct automatic operation. The system will consist of a main panel and different boxes, according to the needs of the project. The main panel will be arranged in a control room in a protected area.

The system will be based on a PLC or similar with a touch screen and control interface. All the cards and electrical elements necessary to be able to control and monitor the processes in a totally autonomous way will be installed inside the panel.

Emergency push buttons for the station shutdown will be placed next to the pumps and in the LNG dispenser.

The system will comply with the following regulations:

- UNE-EN 13645 Installations and equipment for liquefied natural gas. Design of land facilities with storage capacity ranging from 5 t to 200 t
- UNE-60210 Satellite liquefied natural gas plants.
- RD482/2002 Low voltage electrotechnical regulation.
- IEC 60079 Explosive atmospheres.
- IEC 60204-1
- The electrical panel will comply with RD482/2002 Low Voltage Electrotechnical Regulations.

For the balance of electric potential, all metallic structures will be electrically connected to a common ground in accordance with the IEC 60204-1 Standard.

All power and control cables shall comply with IEC 60079.

Methane detectors will be installed above the sites where gas leaks are most likely to occur. At least one methane detector will be installed in the LNG refueling area, under the roof that covers the LNG dispenser. An adequate number of detectors will

be installed in the interior area of the retention container where the LNG supply station equipment is located to cover all possible sources of gas leaks.

Properly located flame detectors will be installed to cover in the LNG supply station all places where there may be a risk of ignition.

Low temperature detectors will be installed at the base of the LNG storage tank.

Properly located manual ESD devices will be installed throughout the LNG filling station in locations where the operator can safely access it. A manual ESD device will be located near each LNG supply point and adjacent to all exit points from the LNG filling station.

The locations of manual ESD devices will be clearly marked.

An emergency power supply will be installed to power the flame and methane detection systems without interruption.

The service station will have an automatic ESD emergency stop system that can be part of the installation's control system.

The ESD system shall be designed in accordance with IEC 61508 and IEC 61511 standards. All system components shall be designed with a failsafe safety mode in the event of power failure or equipment failure.

The ESD system will be activated by:

- Gas detectors; the standard value of the set point for a high methane concentration is detected at 40% of the LEL; an alarm will be activated at 20% of the LEL.
- Flame detectors.
- Low temperature detectors; the standard value of the set point is -75 °C.
- Failure of the main power supply, the instrument power supply or the air / nitrogen supply.
- Manual activation of any ESD push button.

5. Containment basin and civil works

The LNG tank, the LNG pumps and pipes will be located inside a concrete containment basin with a minimum net volume of the geometric capacity of the tank.

The containment basin walls must be at least 1.5 m from any side or front surface of the tank. The containment basin will be in accordance with the LNG plant regulation UNE 60.210 2018.

The table below indicates the dimensions of the containment basin for each of the scenarios analyzed based on the capacity of the LNG storage tank:

Scenario Nº	Proposed nominal capacity of the LNG tank (m³)	Estimated LNG tank dimensions D x H (m)	Proposed containment basin capacity (m³)	Estimated dimensions of the containment basin L x W x H (m)
1. 5 SC transformed	30	3 x 4.24	30.6	6 x 6 x 0.85
2. 10 SC transformed	60	3 x 8.49	61.2	6 x 6 x 1.7
3. 20 SC transformed	115	3.80 x 10.14	11.6	6.8 x 6.8 x 2.5

Table 27: APMT LNG tanks containment basin sizes of the fixed LNG supply station for the scenarios analyzed

The civil work includes the preparation of the area for the placement of the equipment and the construction of the containment basin and the control room to place the electrical panel and the control system from which the installation will be powered. The control room will be located at least 6 m from the outer shell of the tank and its dimensions will be adequate to locate inside the power and control panel and the auxiliary panels of the plant.

The dispenser will be located outside the tank at least 4 m from the outer shell of the tank and will have a protection roof.

As it is an area close to the sea, the cements and other materials will have special characteristics.

A grounding net will be installed in the station to which all the equipment will be connected, those located inside the containment basin and the rest of the equipment located outside, the electrical and control equipment located in the control room.

Slabs will be made for the positioning of the pumps located inside the containment basin and the foundation for the LNG storage tank.

The containment basin will be fenced with a minimum height of 2 m and 2 entrances to the interior of the basin with stairs and doors will be installed.

6. LNG dispenser and payment system

The LNG dispenser will have 2 LNG refueling lines so that two straddle carriers can be supplied simultaneously. The maximum pressure in each supply nozzle will be 16 bar and the nominal flow rate in each refueling line 164 l/min, then the dispenser will be able to deliver a total flow of 328 l/min. The dispenser will have a roof that will cover the dispenser and will be located outside the containment basin at a minimum distance of 4 m from the outer shell of the LNG tank.

Each refueling line will have the following equipment:

- Nozzle for LNG refueling with vapor return / recovery.
- Flexible cryogenic hose with 316 stainless steel corrugated and 304L stainless steel outer mesh, 3.5 m in length, DN25 nominal diameter, 25 bar operating pressure and swivel female unions, for the refueling of LNG with return / recovery steam.
- Housing or attachment device for the nozzle when the refueling hose is not in use.
- Uncoupling device, break away.
- Manual shut-off valves.
- Excess flow valve.
- Automatic shut-off valve.
- Non-return valve.
- Coriolis mass flow meter.
- Temperature and pressure probes and transmitters.
- Electronic calculator that can communicate with the payment terminal.
- Display with indication of quantity, price, etc.
- Start / stop switch.
- Emergency push button.
- Payment system.
- Pipes and control valves including thermal and overpressure safety valves.
- Electrical and pneumatic power supply.
- Envelope.
- Deadman button or handle (or similar manually operated element) so that refueling begins and continues only when this button or handle is manually operated continuously or intermittently with short intervals of maximum 60 seconds.

The type of nozzle to connect to the LNG tank of the straddle Carrier will be LNG RC ECE R110 coupling according to ISO 12617.

The refueling hose shall comply with ISO 21012, must be suitable for LNG and service pressure, be resistant to corrosion and mechanical deterioration, protected by a braided stainless-steel wire or an equivalent design.

The design and installation of the hose must include provisions to allow the liquid accumulated in the refueling hose after refueling and the corresponding vapor to return to the LNG storage tank. It will also allow the recovery of the overpressure gas in the tank of the straddle carrier.

7. Firefighting installation

Suitable sized dry powder extinguishers shall be available at the facility.

There should be at least one dry powder extinguisher near the dispenser. A 12 kg portable dry powder extinguisher will be installed in this area.

Dry powder wheeled extinguishers shall be installed in the LNG tank area in proportion to 10 kg of dry powder per 1000 kg of LNG to be placed and distributed in easily accessible places.

The following table indicates the extinguishers to be installed in the LNG tank area for each of the scenarios depending on the capacity of the LNG tank:

Scenario No.	Proposed nominal capacity of the LNG tank (m³)	Kg of LNG	Minimum kg of dry powder required	Number of fire extinguishers and capacity
1. 5 SC transformed	30	13,500	135	3 extinguishers of 50 kg
2. 10 SC transformed	60	27,000	270	5 extinguishers of 50 kg and 1 of 25 kg
3. 20 SC transformed	115	51,750	517,5	10 extinguishers of 50 kg and 1 of 25 kg.

Table 28: APMT number of fire extinguishers and capacity for the fixed LNG supply station considering the scenarios analyzed

A portable CO₂ extinguisher will be installed in the control room where the electrical panel and control system are located.

8. Other

The station will have a water supply point equipped with a hose with a reel.

For the illumination of the entire enclosure of the installation, explosion-proof luminaires will be used.

A line is installed that starts from each equipment that leads all the vents that may occur in the different elements that form the installation to a common collector, so that possible gas leaks in each equipment are avoided, leading to the highest point of the installation.

The end of the vent collector is arranged in such a way that no water can be introduced into it.

5.2.2.2 Cost of the fixed station for each scenario

The following table indicates the cost of each supply station for each of the scenarios based on the capacity of the LNG tank. To this cost the maintenance cost of the fixed station for 10 years shall be added. The cost of maintenance is 10,500 €/ year. The maintenance cost includes three maintenance visits per year to the terminal (1,100 €/visit) and a monthly cost of 600 € to consider 24 hours attention for incidences. The cost of all wear parts required is included.

Scenario No.	LNG tank capacity (m³)	Fixed Station Cost (€)	Fixed station maintenance cost for 10 years (€)	Fixed Station Cost including maintenance for 10 years (€)
1. 5 SC transformed	30	475,000	105,000	580,000
2. 10 SC transformed	60	535,000	105,000	640,000
3. 20 SC transformed	115	630,000	105,000	735,000

Table 29: APMT cost of the fixed supply station for each of the scenarios

The LNG logistics costs are then calculated to refill the LNG tanks of the fixed station of each scenario for 10 years that would have to be added to the cost of the fixed LNG station. It is considered that one tank refilling operation is performed a week. Then 52 operations would be carried out per year and in 10 years 520 operations would thus be carried out.

In the table below it is indicated the amount of LNG to be supplied weekly. As the tanker truck with which the supply would be made have a maximum filling volume of 45 m³, for the LNG tank of 60 m³, it would be required to unload two LNG tanker trucks so the tanker truck once unloaded would have to return to the regasification plant and refill with LNG to perform a second discharge into the LNG tank to complete the required volume. Therefore, for this case it would be necessary to consider double the kilometers of displacement and an additional 1.5 h for the travel time of the extra round trip of the tanker truck to the place of supply and the time of loading at the regasification plant.

For the 115 m³ tank it would be required to unload three LNG tanker trucks so for this case it would be necessary to consider three times the kilometers of displacement and an additional 3 h to consider the time of the round trips of the tanker truck to the place of supply and the loading times at the regasification plant.

For the calculation of the time required of the unloading assistance technician for each of the analyzed scenarios, it has been considered that the pump of the tanker truck with which the discharge is carried out has a nominal flow of 36 m³/h. The filling time for each scenario is indicated in the following table:

Scenario No.	LNG tank capacity (m ³)	LNG supply m ³ /week	LNG supply time (h)
1. 5 SC transformed	30	26.11	26.11/36=0.73
2. 10 SC transformed	60	52.15	52.15/36 =1.45
3. 20 SC transformed	115	104.37	104.37 /36= 2.9

Table 30: APMT filling time of the fixed supply station LNG tank for the scenarios analyzed

The following table shows the breakdown of unit costs for each refilling operation with the tanker truck, as well as the cost of each operation for the three LNG storage tanks of the fixed stations of 30 m³, 60 m³ and 115 m³.

COSTS PER REFILLING OPERATION WITH A TANKER TRUCK				
Type of cost	Unit costs	Costs per operation 30 m ³ LNG tank	Costs per operation 60 m ³ LNG tank	Costs per operation 115 m ³ LNG tank
Tanker truck rent	500 €/day (15,000 €/month)	1 day x 500 €/day = 500 €	1 day x 500 €/day = 500 €	1 day x 500 €/day = 500 €
Technical assistant	165 €/h (3,960 €/day 24h)	(0.73 +1.5) x 165 €/h = 367.95 €	(1.45+3) x 165 €/h = 734.25 €	(2.9+4.5) x 165 €/h = 1,221 €
Logistics	1.95 €/ km of displacement (round trip). Minimum 300 €.	106 km x 1.95 €/ km = 206.7 €. The minimum of 300€ is considered.	212 km x 1.95 €/ km =413.4 €. The minimum of 300€ is considered.	318 km x 1.95 €/ km = 620.1 €
TOTAL COST		1,167.95 €	1,647.65 €	2,930.2 €

Table 31: APMT costs per refilling operation of the LNG tank of the fixed supply station for the scenarios analyzed

The table below shows the operating costs for each of the three scenarios analyzed, as well as the total cost of the operations in 10 years.

Scenario No.	Cost per operation (€)	Nº operations in 10 years	Total costs of operations in 10 years (€)
1. Supply to 5 SC	1,167.95	520	607,334
2. Supply to 10 SC	1,647.65	520	856,778
3. Supply to 20 SC	2,930.2	520	1,523,704

Table 32: APMT total costs in 10 years for the refilling operations of the LNG tank of the fixed supply station for the scenarios analyzed

The following table shows the total cost of the logistics solution with the fixed station:

Scenario Nº	GNL tank capacity (m³)	Fixed station cost including maintenance for 10 years (€)	Total costs of refilling operations of the LNG tank in 10 years (€)	Total cost of fixed station solution (€)
1. 5 SC transformed	30	580,000	607,334	1,187,334
2. 10 SC transformed	60	640,000	856,778	1,496,778
3. 20 SC transformed	115	735,000	1,523,704	2,258,704

Table 33: APMT total cost of the logistics solution with the fixed station for the scenarios analyzed

5.2.3 Conclusions and definition of the LNG supply solution

The table below shows the costs of the logistics solution with mobile supply station and the costs with a fixed supply station considering a supply period of 10 years.

Scenario No	Total costs of mobile supply station for rent option in 10 years (€)	Total costs for mobile supply station for purchase option in 10 years (€)	Total cost with fixed supply station for the operations in 10 years (€)
1.Supply to 5 SC	1,997,100	837,100	1,187,334
2.Supply to 10 SC	2,128,500	928,500	1,496,778
3.Supply to 20 SC	2,457,000	1,297,000	2,258,704

Table 34: APMT costs of the logistics solution with mobile supply station and the costs with a fixed supply station considering a supply period of 10 years for the scenarios analyzed

From the above it is concluded that the total cost of operations with a mobile supply station with the purchase option in 10 years is lower than the cost of logistics of the rent option of a mobile supply station and the cost of a fixed supply station, so between these three solutions the optimal supply solution would be the purchase of a mobile supply station to be installed in the terminal.

The supply station shall be located in an area that does not interfere with the normal operation of the terminal.

The pre-selected point for the supply installation at the APMT terminal is as follows:



Figure 10: Pre-selected point for the supply installation at the APMT terminal

6. Evaluation of the profitability of machines transformation

Considering a 10-year business model and the costs of transforming BEST and APMT's straddle carriers, the profitability of the machine transformation is then evaluated for both of the terminals.

6.1 Evaluation of the profitability of the transformation of the machines of the BEST terminal

In the following table the costs of the transformation of the machines for the Best terminal is indicated for each of the three scenarios studied 5SC, 10SC and 20SC transformed. It is considered that the cost of the transformation of the first machine

is 418,380 euros and the cost of the following machines transformations will be 400,680 euros.

Scenario N°	Cost of machines transformation (€)
1. 5 SC transformed	2,021,100
2. 10 SC transformed	4,024,500
3. 20 SC transformed	8,031,300

Table 35: Best costs of the machines' transformation for the scenarios analyzed

In the following table, the LNG total costs including logistics over 10 years for each of the scenarios analyzed are shown. The LNG logistics costs considered are the costs of the option of purchase a mobile supply station, which is the more economic logistics solution.

Scenario N°	Cost of LNG consumed in 10 years excluding logistics costs (€)	Total costs for mobile supply station for purchase option in 10 years (€)	Total cost of LNG in 10 years including logistics (€)
1. 5 SC transformed	1,919,261.25	771,400	2,690,661.25
2. 10 SC transformed	3,838,522.5	837,100	4,675,622.5
3. 20 SC transformed	7,677,045	1,034,200	8,711,245

Table 36: Best LNG costs including logistics of the SCs in 10 years for the scenarios analyzed

The following table shows the cost of transforming the machines, the total cost of supplying diesel B, total cost of LNG supply including logistics costs with the option of purchase a mobile supply station and the difference between the total diesel B costs and total LNG costs in 10 years:

Scenario N°	Cost of machines transformation (€)	Total cost of diesel B in 10 years (€)	Total cost of LNG in 10 years (€)	Diesel B cost – LNG cost (€)
1. 5 SC transformed	2,021,100	4,443,050	2,690,661.25	1,752,388.75
2. 10 SC transformed	4,024,500	8,812,100	4,675,622.5	4,136,477.5
3. 20 SC transformed	8,031,300	17,550,200	8,711,245	8,838,955

Table 37: Best fuel savings for the converted SCs in 10 years for the scenarios analyzed

The total costs of diesel B in 10 years are for all scenarios higher than those of LNG. In the scenario number 1 of 5 straddle carriers transformed in the terminal the fuel savings using LNG do not cover the total costs of transforming the machines to gas but the 86,7 % of the costs of the conversion are covered. In the other two scenarios 2 and 3 where 10 and 20 straddle carriers are converted to gas all the cost of the machines' conversion is covered and there are even savings.

6.2 Evaluation of the profitability of the transformation of the machines of the APMT terminal

In the following table, the costs of the transformation of the machines of the APMT terminal is indicated for each of the three scenarios studied 5SC, 10SC and 20SC transformed, considering that the cost of the transformation of the first machine is 1,067,022.12 euros and the cost of the following machines transformations will be 561,732.12 euros.

Scenario N°	Cost of machines transformation (€)
1. 5 SC transformed	3,313,950.6
2. 10 SC transformed	6,122,611.2
3. 20 SC transformed	11,739,932.4

Table 38: APMT costs of the machines' transformation for the scenarios analyzed

In the following table, the LNG total costs including logistics over 10 years for each of the scenarios analyzed are shown. The LNG logistics costs considered are the costs of the option of purchase a mobile supply station, which is the more economic logistics solution.

Scenario Nº	Cost of LNG consumed in 10 years excluding logistics costs (€)	Total costs for mobile supply station for purchase option in 10 years (€)	Total cost of LNG in 10 years including logistics (€)
1. 5 SC transformed	3,492,119.25	837,100	4,329,219.25
2. 10 SC transformed	6,974,876.25	928,500	7,903,376.25
3. 20 SC transformed	13,959,114.75	1,297,000	15,256,114.75

Table 39: APMT LNG costs including logistics of the SCs in 10 years for the scenarios analyzed

The following table shows the cost of transforming the machines, the total cost of supplying diesel B, total cost of LNG supply including logistics costs with the option of purchase a mobile supply station and the difference between the total diesel B costs and total LNG costs in 10 years:

Scenario Nº	Cost of machines transformation (€)	Total cost of diesel B in 10 years (€)	Total cost of LNG in 10 years (€)	Diesel B cost – LNG cost (€)
1. 5 SC transformed	3,313,950.6	7,553,288	4,329,219.25	3,224,068.75
2. 10 SC transformed	6,122,611.2	15,032,576	7,903,376.25	7,129,199.75
3. 20 SC transformed	11,739,932.4	29,991,152	15,256,114.75	14,735,037.25

Table 40: APMT fuel savings for the converted SCs in 10 years for the scenarios analyzed

The total costs of diesel B in 10 years are for all scenarios higher than those of LNG. In the scenario number 1 of 5 straddle carriers transformed in the terminal the fuel savings using LNG do not cover the total costs of transforming the machines to gas but the 97,29 % of the costs of the conversion are covered. In the other two scenarios 2 and 3 where 10 and 20 straddle carriers are converted to gas all the cost of the machines' conversion is covered and there are even savings.

7. Conclusions

In both terminals, Best and APMT, the total logistics costs over a 10-year operating period for the refilling operations of the straddle carriers with a mobile supply station with the purchase option is lower than the cost of logistics of the rent option of a mobile supply station and the cost of a fixed supply station, so between these three options the optimal supply solution is the purchase of a mobile supply station to be installed in the terminal.

The mobile supply station will be left fixed in the terminal and the only movements will be the displacements to the regasification plant for the refilling with LNG. The supply station shall be located in an area that does not interfere with the normal operation of the terminal.

The total costs of diesel B in 10 years are for both terminals and all scenarios considered higher than those of LNG. In the scenario number 1 of 5 straddle carriers transformed for both terminals the fuel savings using LNG do not cover the total costs of transforming the machines to gas but the 86,7 % of the costs of the conversion are covered for Best terminal and the 97,29 % for APMT terminal. In the other two scenarios 2 and 3 where 10 and 20 straddle carriers are converted to gas for both terminals all the cost of the machines' conversion is covered and there are even savings.

Given the fluctuations that both fuels costs LNG and Diesel B are suffering, these fuel savings could be reduced or increased in the 10-year period considered.

To encourage the transformation of the straddle carriers to gas, one measure would be to subsidize the cost of the transformation due to the environmental benefits of LNG with respect to Diesel B.

Annex 4

Deliverable 3.2: Risk Analysis



**CORE LNGas
hive**

EPM3: BARCELONA: STRADDLE CARRIER PROPULSADA POR MOTOR DE GAS ANÁLISIS DE RIESGOS

Preparado por:

TEMA

Febrero 2017 (Rev. 1)

Refª.: 1231/13694

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	4
ALCANCE.....	5
OBJETIVO	5
1 Descripción del proyecto	6
2 Identificación y análisis del lugar de implantación	7
2.1 Entorno	7
2.2 Personal expuesto	9
2.3 Condiciones meteorológicas	9
3 Identificación de peligros.....	10
3.1 Peligrosidad intrínseca de la sustancia considerada.....	11
3.2 Peligrosidad derivada de las condiciones de operación.....	14
4 Selección de escenarios para análisis de riesgo	15
4.1 Condiciones de fuga y modelos empleados.....	16
4.2 Modelos de cálculo	16
4.3 Condiciones de fuga	16
4.4 Charcos	17
4.5 Evaporación de charco	17
4.6 Dispersión de vapores	17
4.7 Criterios de letalidad adoptados.....	18
4.7.1 Umbrales para la definición de las zonas de planificación y efecto dómينو	18
5 Determinación del alcance de las consecuencias de accidentes para los escenarios seleccionados.....	20
6 Representación gráfica de las consecuencias sobre planos del muelle e instalaciones portuarias.	22
7 Análisis de efecto dominó con instalaciones vecinas	29
8 Estimación de las frecuencias de los escenarios de accidente seleccionados.....	30
9 Tipificación de peligros mediante el uso de una matriz cualitativa de riesgo.....	31

10	Análisis de salvaguardas existentes y propuesta de medidas de prevención para aquellos riesgos con riesgo inaceptable.....	34
11	Conclusiones y recomendaciones	35
12	Anexos	37
	ANEXO I. SALIDAS DE CÁLCULO EFFECTS.....	38
	ANEXO II. ESTUDIO <i>WHAT IF</i>...?	111

INTRODUCCIÓN

El presente documento constituye el **Análisis de Riesgo** (en adelante AR) del proyecto de pruebas piloto a realizar con dos Straddle Carrier (en adelante SC) propulsadas con Gas Natural (en adelante GN) en las terminales de contenedores APM TERMINALS (TCB) y BEST, en el Puerto de Barcelona. En cada terminal operará una SC propulsada por GN. Para estas pruebas piloto se transformará una SC, de cada una de las terminales, para que pueda funcionar con GN, básicamente instalando en la SC un depósito de Gas Natural Licuado (en adelante GNL) y sustituyendo sus motores, o si fuese posible modificándolos, para que puedan funcionar con GN.

ALCANCE

- a) Circulación de una Estación Móvil de carga de GNL (cisterna de GNL; en adelante EM) por el interior de la Terminal de Contenedores hasta la ubicación del punto de carga, conexión, descarga y desconexión.
- b) Operación de repostaje de GNL a las SC.
- c) Circulación y Operaciones de las SC con depósito de GNL por el interior de las terminales.

OBJETIVO

El objetivo del presente análisis es la identificación de los peligros potenciales y problemas de operatividad que puedan afectar a la seguridad, el medio ambiente y a la propiedad y a las operaciones, derivados de las actividades realizadas con las SC durante la pruebas piloto del proyecto; en concreto: la circulación de una EM hasta el punto de carga, conexión, descarga y desconexión, el repostaje de combustible (GNL) a las SC desde esa EM y la circulación/operaciones de las SC propulsadas con GN (una por terminal) en las terminales APM TERMINALS (TCB) y BEST. Entre otros se consideran los siguientes aspectos:

- a) Análisis del emplazamiento seleccionado para el estacionamiento de la cisterna de GNL y de las SC.
- b) Identificación de riesgos asociados al proceso de carga de GNL en la SC y a la operativa de la SC con GN.
- c) Análisis de salvaguardas y medidas correctoras.
- d) Propuesta de medidas adicionales para reducir el riesgo.
- e) Planteamiento de hipótesis de accidente.
- f) Cálculo de los efectos que se derivan de los accidentes planteados.
- g) Priorización de las medidas adicionales propuestas.
- h) Resumen y conclusiones.

Los cuatro primeros aspectos fueron objeto del estudio What if?, el cual constituye el Anexo II de este AR.

1 Descripción del proyecto

El estudio se enmarca en el proyecto Core LNGas hive, dentro del programa de reducción de combustibles contaminantes y su sustitución por combustibles más limpios, como el GN, de esta forma se reduce la dependencia del petróleo y de emisiones al medio ambiente.

El interés mundial por el GNL se ha incrementado significativamente tanto del lado de abastecimiento como del lado de su demanda. La limitada experiencia asociada a esta fuente de energía ha creado muchas dudas y preocupaciones, particularmente sobre el potencial impacto a la salud, seguridad y el medio ambiente, a pesar de que el historial de seguridad de la industria de GNL, es excepcional y uno de los mejores, sino el mejor de todas las industrias energéticas.

Los inversionistas, autoridades y el público en general se enfrentan a un crecimiento mundial de la industria del GNL que, aunque no es una industria nueva, es prácticamente desconocida. El desconocimiento de esta industria y regulaciones especiales que le aplican, crea temores y percepciones erróneas de los peligros reales que presenta.

El proyecto consiste en el estudio del motor diésel de dos máquinas existentes fuera de carretera, cada una operando en una de las dos terminales de contenedores del puerto (APM TERMINALS (TCB) y terminal BEST), para ver la viabilidad de su sustitución por un motor de GNL, y la factibilidad de su homologación.

El GNL se trasegará mediante un equipo dotado de todos los elementos necesarios para el suministro del GNL en las condiciones requeridas por el sistema de combustible de la SC o bien por diferencia de presión entre el tanque de suministro y los depósitos de las SC.

Las condiciones de suministro del GNL cumplirán con las condiciones de trabajo especificadas por el fabricante del motor y el de los depósitos instalados en los SC:

- Índice de metano igual o superior a: 75 (a confirmar según especificaciones motor)
- Presión: 8 barg
- Temperatura: - 130°C

El volumen neto de los depósitos de GNL será de 0,5 m³ (Escenario 1) o 1 m³ (Escenario 2)

2 Identificación y análisis del lugar de implantación

2.1 Entorno

Los terminales de BEST y APM TERMINALS (TCB) a donde se transportarán las cisternas de GNL, se presenta la ubicación propuesta de la zona de suministro en cada terminal en el Puerto de Barcelona. En las siguientes figuras se presenta la ubicación de cada terminal.



Figura 1. Punto de repostaje en APM TERMINALS (TCB).

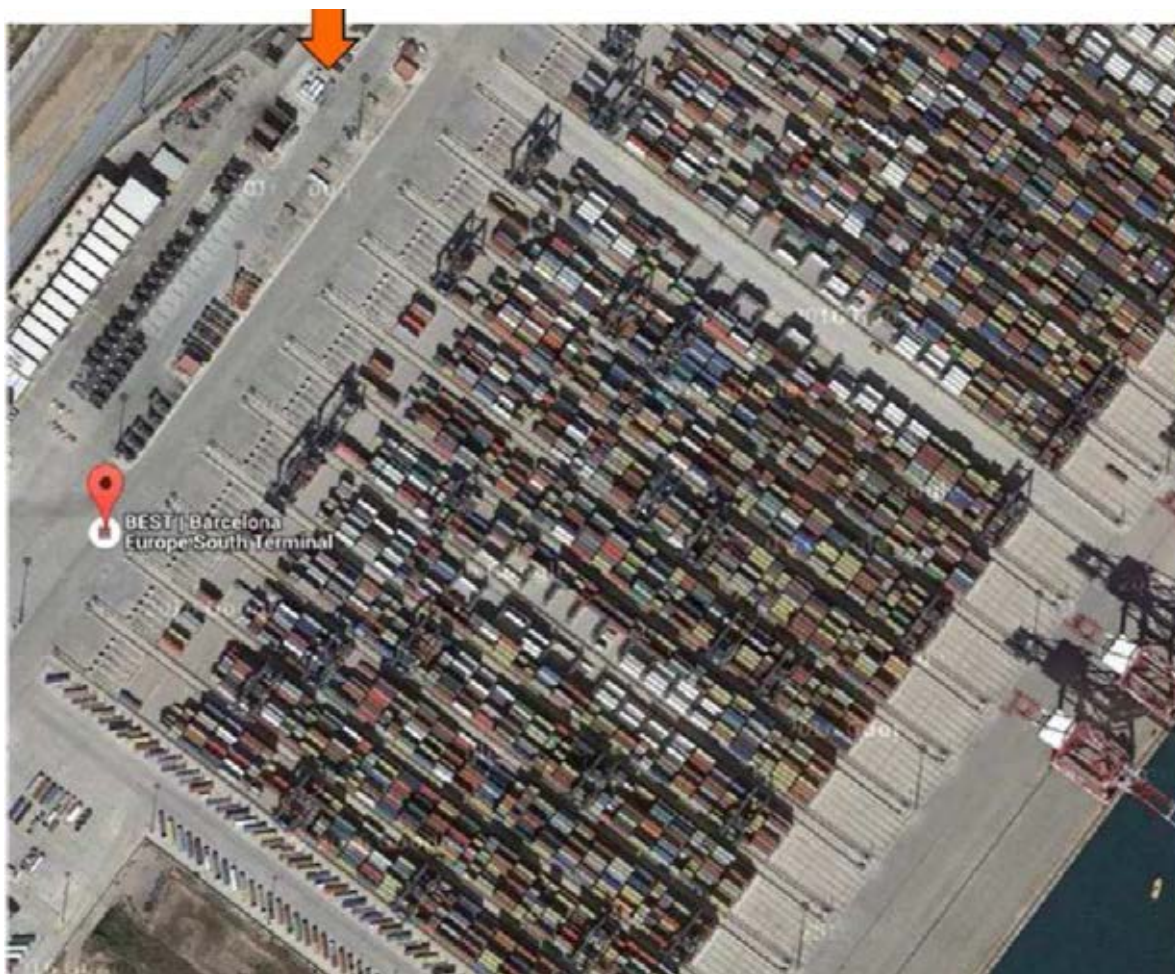


Figura 2. Punto de repostaje en Terminal BEST.

Las coordenadas geográficas y UTM correspondientes a los puntos de repostaje de GNL, son las siguientes:

Tabla 1, Coordenadas UTM de las terminales.

	PROYECCIÓN UTM (ETRS89 31N)	
APM TERMINALS (TCB)	X	429.741 E m
	Y	4.578.444 N m
BEST	X	428.538 E m
	Y	4.573.450 N m

2.2 Personal expuesto

De acuerdo con la ubicación de los puntos de repostaje de GNL a las SC tanto en la terminal de BEST como en APM TERMINALS (TCB), y debido al tipo de operación que representa la SC, tanto el operario encargado del repostaje de las SC con GNL, los operadores de la SC con depósito de GNL, como los demás operadores y personal de mantenimiento, podrían estar expuestos a los efectos de radiación contemplados en este estudio.

2.3 Condiciones meteorológicas

Para el cálculo del alcance de las consecuencias de las hipótesis planteadas, es necesario disponer de datos relativos a las variables meteorológicas más representativas de la zona de estudio. Los datos meteorológicos utilizados en el presente AR han sido registrados por la estación meteorológica existente en la *Fitxa Meteorològica de l'Aeroport de Barcelona*.

Los valores meteorológicos considerados son los siguientes:

Tabla 1. Valores meteorológicos considerados

TEMPERATURA (°C)	16,2
HUMEDAD RELATIVA (%)	70
VELOCIDAD MEDIA (m/s)	3,5
ESTABILIDAD / VELOCIDAD VIENTO (m/s)	Estabilidad D/5,1
	Estabilidad F/1,7

La estabilidad de clima D se presenta aproximadamente el 66% del tiempo, y la estabilidad F el restante 33%, tomando como base un año.

3 Identificación de peligros

La identificación de peligros se realizó mediante un estudio *What if...?*. Esta técnica es un método inductivo que utiliza información específica de un proceso para generar una serie de preguntas pertinentes durante el tiempo de vida de una instalación. Consiste en definir tendencias, formular preguntas, desarrollar respuestas y evaluarlas, incluyendo la más amplia gama de consecuencias posibles. No requiere métodos cuantitativos especiales o una planeación extensiva.

El método utiliza información específica de un proceso como los diagramas de proceso y diagramas de tuberías e instrumentación para generar una especie de preguntas de lista de verificación. Un equipo especial realiza una lista de planteamientos empleando preguntas ¿Qué pasa si?, las cuales son contestadas colectivamente por el grupo de trabajo resumidas en forma tabular.

Esta técnica es ampliamente utilizada durante las etapas de diseño del proceso, así como durante el tiempo de vida o de operación de una instalación, así como cuando se introducen cambios al proceso o a los procedimientos de operación.

El propósito del método *What If?* tiene tres aspectos:

- Identificar las condiciones y situaciones peligrosas posibles que pueden resultar de barreras y controles inadecuados.
- Identificar eventos que pudieran provocar accidentes mayores
- Recomendar las situaciones requeridas para iniciar el proceso de reducir el riesgo de una instalación así como para mejorar la operabilidad de la misma.

Mediante la realización de un estudio *What if...?* Para el proyecto de abastecimiento de GNL a los Straddle Carrier se contempla:

- Análisis de la ruta seguida por la cisterna hasta el punto de abastecimiento del Straddle Carrier.
- Abastecimiento del Straddle Carrier con GNL.
- Operativa del Straddle Carrier en la campa.

El estudio *What if...?*, (Revisión 0) se realizó el 12 de Enero 2017, y se presenta en el Anexo II.

3.1 Peligrosidad intrínseca de la sustancia considerada.

De acuerdo con las tablas incluidas en el anexo I del RD 948/2005^I, la sustancia peligrosa manejada en las terminales es GNL/ GN:

- El Gas Natural Licuado (GNL) y el gas natural (GN), se trata de una sustancia específicamente nombrada en la Parte I del citado anexo I como “Gases licuados extremadamente inflamables (incluidos GLP) y gas natural”.


El Gas Natural Licuado (GNL) está compuesto fundamentalmente por metano, en una proporción usualmente superior al 90%. El resto es fundamentalmente etano, con proporciones menores de propano, butano y nitrógeno. A efectos prácticos, las propiedades y características de inflamabilidad del metano son aplicables.

A continuación se resumen las características de peligrosidad que la normativa vigente (R.D. 255/2003^{II}) establece para el GNL.


^I Real Decreto 948/2005, de 29 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas

^{II} REAL DECRETO 255/2003, de 28 de febrero de 2003, por el que se aprueba el Reglamento sobre clasificación, envasado y etiquetado de preparados peligrosos. BOE nº 54 04/03/2003

Gas Natural Licuado / Gas Natural.

R.D. 255/2003				
Sustancia	Indicaciones de peligro	Frases R	Frase S	Características del peligro
Gas Natural Licuado (GNL) / Gas Natural (GN)	 F+	R12	S2 S9 S16 S33	CARACTERÍSTICAS <ul style="list-style-type: none"> • Gas incoloro e inodoro. • Extremadamente Inflamable. • Gas más ligero que el aire a temperatura ambiente. Se comporta como gas pesado a las bajas temperaturas de almacenamiento criogénico. El fuego puede iniciarse a cierta distancia de la fuga. • Insoluble en agua. Flota, generando violentas explosiones físicas derivadas de la vaporización violenta del producto sobre el medio acuoso. • Evitar cargas electrostáticas, calor, fuego, chispas y cualquier fuente de ignición. En escapes puede acumular carga electrostática. • Dañino por inhalación y contacto. En caso de inhalación se comporta como un gas asfixiante, pudiendo desplazar al oxígeno. En caso de contacto en condiciones criogénicas puede generar "quemaduras frías" por congelación de la piel. • Incompatible con agentes oxidantes y halógenos. • Se utiliza como combustible, en síntesis química, etc. • Transporta por carretera como gas licuado a baja temperatura. Se transporta por tubería (gasoducto) como gas comprimido a alta presión. PROPIEDADES <ul style="list-style-type: none"> • Límite inferior de inflamabilidad (LII) = 5% vol. • Límite superior de inflamabilidad (LSI) = 15,4% vol. • Calor de combustión = 11.954 kcal/kg • Temperatura de auto ignición = 537°C • Punto de ebullición = -162°C • IPVS = 21.000 ppm (por proximidad al LII) • Densidad relativa del líquido (agua=1) = 0,46 • Densidad relativa del gas a Tª ambiente (aire=1) = 0,55. En condiciones criogénicas se comporta como gas pesado. • Soluble en etanol, acetona, benceno, tolueno. ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE <ul style="list-style-type: none"> • Almacenar en áreas frías, secas, bien ventiladas, alejadas de la radiación solar y de fuentes de calor e ignición. • Almacenar alejado de agentes oxidantes, halógenos. • Almacenar en contenedores con válvula de seguridad. TRASVASE <ul style="list-style-type: none"> • Para evitar descargas eléctricas, contenedores y conducciones se conectarán entre sí y a tierra. • No utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular el compuesto. • No utilizar herramientas que puedan producir chispas.

Gas Natural Licuado / Gas Natural.

R.D. 255/2003				
Sustancia	Indicaciones de peligro	Frases R	Frase S	Características del peligro
Gas Natural Licuado (GNL) / Gas Natural (GN)		R12	S2 S9 S16 S33	<ul style="list-style-type: none"> No llenar completamente los contenedores. CONTENEDORES: acero, acero inoxidable, aluminio, hierro, cobre, bronce.
	F+			<p>COMPORTAMIENTO EN CASO DE FUGA/INCENDIO</p> <p><u>Incendio/ explosión</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Gas inflamable. Gas más ligero que el aire a temperatura ambiente. <p>SE COMPORTA COMO GAS PESADO A LAS BAJAS TEMPERATURAS DE ALMACENAMIENTO CRIOGÉNICO. EL FUEGO PUEDE INICIARSE A CIERTA DISTANCIA DE LA FUGA.</p> <p>FORMA MEZCLAS INFLAMABLES AL AIRE LIBRE. EL RIESGO DE EXPLOSIÓN EN ESTAS CONDICIONES ES MUY BAJO. EN TODOS LOS ENSAYOS EXPERIMENTALES DE ESCAPES MASIVOS DE VAPORES CRIOGÉNICOS EN CAMPO ABIERTO, LOS ENSAYOS DE IGNICIÓN NUNCA HAN GENERADO EFECTOS DE SOBREPRESIÓN APRECIABLES.</p> <ul style="list-style-type: none"> Las acumulaciones de vapor en espacios cerrados pueden explotar si se inflaman. Puede acumular carga electrostática. Se puede inflamar por descarga eléctrica. Productos de combustión: H₂O, CO₂ y CO en caso de combustión incompleta. Los contenedores pueden explotar si se exponen al fuego. <p><u>Fuga / derrame</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Gas inflamable. Gas asfixiante. Puede desplazar al oxígeno. Gas más ligero que el aire. Se acumula en zonas altas creando una atmósfera inflamable y asfixiante. Forma mezclas explosivas con el aire. Las acumulaciones de vapor en espacios cerrados pueden explotar si se inflaman. Insoluble en agua. Flota. La fuga masiva de GNL originaría un derrame de producto con una importante emisión de vapores debida a la ebullición del mismo, formando una nube inflamable que, por encontrarse frío el GNL, se desplazaría a ras del suelo. <p>En caso de encontrar un punto de ignición, la nube puede desarrollar una llamarada (flash-fire) que combustionaría rápidamente hasta llegar al punto de fuga, donde se originaría un incendio (pool fire, en caso de escape líquido, jet fire en caso de escape gaseoso).</p> <p>INTERVENCIÓN. AGENTES DE EXTINCIÓN DE INCENDIOS</p> <ul style="list-style-type: none"> CO₂, polvo BC, agua nebulizada o pulverizada.

Gas Natural Licuado / Gas Natural.

R.D. 255/2003

Sustancia	Indicaciones de peligro	Frases R	Frase S	Características del peligro
				<ul style="list-style-type: none"> • La aplicación de agua a dardos es inefectiva porque no enfría el producto por debajo del punto de inflamación y además contribuye a esparcir el material y vaporizarlo intensamente.

Por tanto, el GNL, presenta características intrínsecas de peligro y riesgo que hay que considerar:

- Por sus propiedades de inflamabilidad. Se trata de un producto extremadamente inflamable.
- Por tratarse de un gas a baja temperatura capaz de generar importantes cantidades de vapor inflamable en caso de escape accidental (evaporación masiva).

3.2 Peligrosidad derivada de las condiciones de operación.

Las condiciones operativas pueden introducir circunstancias de peligro adicionales a las comentadas anteriormente. Son variables de riesgo las condiciones de presión y temperatura del GNL y del GN.

Las operaciones principales que se llevan a cabo en las instalaciones son las debidas al repostaje de GNL en las SC.

La baja temperatura del GNL en fase líquida añade los siguientes riesgos:

- Comportamiento como gas pesado de los vapores que se producen al ser derramado sobre superficies a temperatura ambiente. Estos vapores son visibles fácilmente (tienen aspecto blanquecino) por la condensación de la humedad ambiente, y se desplazan a ras de tierra siguiendo la dirección del viento o buscando las depresiones de las superficies sobre las que se dispersa (pendientes, vaguadas, oquedades, redes de drenaje, etc.). Una vez gana temperatura, la nube pierde visibilidad (siendo aún inflamable) y se dispersa como gas más ligero que el aire (dispersión neutra) por tener un peso molecular inferior a este último.
- Posibilidad de producir grandes nubes inflamables (por sus dimensiones y por cantidad de producto en condiciones de inflamabilidad) debido al fuerte intercambio térmico con el terreno en caso de derrame (de hecho el producto hierve sobre el suelo). Los vapores

pueden expandirse a lo largo del suelo, extenderse sobre grandes distancias y en contacto con una fuente de ignición inflamarse, con retroceso de llama y explotar.

- Quemaduras frías por contacto directo con la piel. Se ha de manipular con Equipo de Protección Individual (EPI) adecuado.

Las condiciones de presión del GN en fase gas añaden los siguientes riesgos:

- El escape a través de un orificio de un gas a alta presión determinará la formación de un dardo turbulento que diluye rápidamente el producto en el ambiente. Si el gas es inflamable y encuentra un punto de ignición (por chispa, electricidad estática o energía cinética) se desarrollará un dardo de fuego.

4 Selección de escenarios para análisis de riesgo

De acuerdo con los criterios anteriormente expuestos, las hipótesis accidentales evaluadas en el presente Análisis de Riesgos de la operación de la Straddle Carrier abastecida con GNL, se presentan en esta sección.

Se consideran dos escenarios en función del volumen final de los depósitos instalados en los SC:

Escenario 1 (en lo sucesivo E1): 500 l/día (~ 225 kg/día)

Escenario 2 (en lo sucesivo E2): 1000 l/día (~ 450 kg/día)

Las hipótesis accidentales para los escenarios citados son las siguientes:

- 1) H.1.a. Fuga de GNL por orificio de 2,5 mm en la manguera de entrada al depósito de 225 kg de GNL de la SC.
- 2) H.1.b. Fuga de GNL por orificio de 5 mm en la manguera de entrada al depósito de 225 kg de GNL de la SC.
- 3) H.1.c. Fuga de GNL por orificio de 10 mm en la manguera de entrada al depósito de 225 kg de GNL de la SC.
- 4) H.1.d. Rotura catastrófica de la manguera de GNL (orificio de 25 mm) de entrada al depósito de 225 kg de GNL de la SC.
- 5) H.2.a. Fuga de GNL por orificio de 2,5 mm en la manguera de entrada al depósito de 450 kg de GNL de la SC.

- 6) H.2.b. Fuga de GNL por orificio de 5 mm en la manguera de entrada al depósito de 450 kg de GNL de la SC.
- 7) H.2.c. Fuga de GNL por orificio de 10 mm en la manguera de entrada al depósito de 450 kg de GNL de la SC.
- 8) H.2.d. Rotura catastrófica de la manguera de GNL (orificio de 25 mm) de entrada al depósito de 450 kg de GNL de la SC.
- 9) H.3. Rotura catastrófica de la manguera de GN (orificio de 12,5 mm) del depósito de GNL de 255 kg de la SC.
- 10) H.4. Rotura catastrófica de la manguera de GN (orificio de 12,5 mm) del depósito de GNL de 450 kg de la SC.
- 11) H.5. Rotura catastrófica del depósito de GNL de 255 kg de la SC.
- 12) H.6. Rotura catastrófica del depósito de GNL de 450 kg de la SC.

4.1 Condiciones de fuga y modelos empleados

Los riesgos del GNL dependen fundamentalmente de su estado físico (riesgos inherentes al producto) y de las condiciones de manejo u operación (riesgo en el ciclo de vida del producto). El GNL es un líquido incoloro, inodoro, no tóxico que sin embargo, la exposición al GNL en estado gaseoso puede desplazar el oxígeno y causar asfixia y en su estado líquido puede causar quemaduras de tercer grado. Se trata de un producto extremadamente inflamable, con un rango de inflamabilidad entre el 5% y el 15% de su estado gaseoso en el aire, pudiendo formar una atmósfera explosiva. En función de las condiciones de operación del GNL, la secuencia de posibles sucesos accidentales generados por una fuga de GNL líquido, fuga bifásica o fuga gaseosa se concreta en los siguientes accidentes: incendio de charco, dardo de fuego o llamarada (accidentes de tipo térmico con efectos de radiación térmica) y/o explosión (accidente de tipo mecánico con efectos de sobrepresión).

4.2 Modelos de cálculo

Para la realización de los cálculos de consecuencias se han utilizado los modelos de cálculo implementados en el software EFFECTS 10.0.6. de TNO.

4.3 Condiciones de fuga

Los tamaños de fuga seleccionados y la duración de las mismas son presentados en la siguiente tabla.

Tabla 2. Condiciones de fuga.

Tipo de fuga	Diámetro de orificio (mm)	Duración de fuga (s)
Fuga pequeña (a)	2,5	3.600
Fuga mediana (b)	5	1.800
Fuga grande (c)	10	600
Rotura catastrófica	Diámetro total de la tubería	120

Tal y como ha quedado reseñado en el *What If?* (ver Anexo II) tanto la manguera de GNL como la de GN disponen de dispositivos, “*break away*” y “*dry coupling*” respectivamente, que en caso de rotura de manguera impiden la fuga a la atmósfera. Estos dispositivos no se consideran para el cálculo de consecuencias, **ya que de hacerlo no habría fuga**, por lo tanto los resultados obtenidos pueden entenderse conservadores.

4.4 Charcos

Para el cálculo de la superficie se siguen los siguientes criterios: en las áreas de estudio, se considera un área máxima de charco de 1.500 m²^{III} (superficie terrestre). En la realización de las simulaciones se considera suelo de hormigón pesado.

4.5 Evaporación de charco

Dadas las características de las instalaciones de los terminales BEST y APM TERMINALS (TCB), se ha determinado de forma general como sustrato, el cemento, el cual presenta un valor de rugosidad de 0,005 m.

Se ha considerado una duración de evaporación de charco de 1.800 s (30 minutos).

4.6 Dispersión de vapores

Para la dispersión del GNL se ha considerado un comportamiento de gas neutro tras su liberación a la atmósfera.

Como factor de rugosidad del terreno se ha tomado el valor de 0,1 m (Low crops; occasional large obstacles, $x/h > 20$).

^{III} Reference Manual Bevi Risk Assessments version 3.2

4.7 Criterios de letalidad adoptados

La evolución de los sucesos iniciadores puede dar lugar a los siguientes sucesos accidentales finales:

Tabla 3. Efectos de los sucesos finales correspondientes a cada escenario accidental.

EVENTO	EFEECTO FÍSICO
Incendio	Radiación térmica
Llamarada	Radiación térmica

Para los efectos que generan daño sobre las personas (radiación térmica) y para los diferentes escenarios accidentales, es necesario plantear los criterios de vulnerabilidad que permiten determinar el alcance de las áreas letales.

Para la definición de las áreas letales se han tenido en cuenta los criterios indicados en el apartado 3.4.9 del Manual Bevi^{IV}, los cuales se exponen en los siguientes apartados.

4.7.1 *Umbral para la definición de las zonas de planificación y efecto dómimo*

Una Zona de Riesgo se define como aquella zona situada alrededor del foco de un accidente donde las magnitudes físicas representativas del fenómeno peligroso asociado al accidente adquieren valores superiores a los denominados valores umbral.

La *Directriz Básica de Protección Civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas* (apartado 2.3.3. del artículo 2) establece que se deben evaluar los alcances de tres niveles de daños, que son:

- **Zona de Intervención** definida como aquella en la que las consecuencias de los accidentes producen un nivel de daños que justifica la aplicación inmediata de medidas de protección.
- **Zona de Alerta** como aquella en la que las consecuencias de los accidentes provocan efectos que, aunque perceptibles por la población, no justifican la intervención, excepto para los grupos críticos de población.
- **Zona de efecto dominó:** Por otro lado, y tras la publicación del RD 840/2015^V y el RD 1196/2003^{VI}, se deben evaluar el daño material y consecuente Efecto Dominó entre las

^{IV} Reference Manual Bevi Risk Assessments version 3.2

instalaciones de un mismo establecimiento y entre los vecinos. En el presente AR se definirán las zonas de daños materiales Z.D. (Zonas de Efecto Dominó) para los escenarios accidentales derivados de las hipótesis de accidentes postuladas, y se analizarán en detalle el alcance y riesgo de concatenación de accidentes por afectación de un primero sobre otras instalaciones, dentro del establecimiento de las terminales BEST y APM TERMINALS (TCB) objeto del presente estudio.

Los accidentes que pueden tener lugar en las instalaciones objeto de este estudio, son incendios y dispersiones inflamables, que generan fenómenos de radiación térmica.

La variable representativa para estos fenómenos es la **Dosis de Radiación, D**, definida como la dosis recibida por los seres humanos procedentes de las llamas o cuerpos incandescentes en incendios y explosiones.

Para definir la zona de intervención (ZI), zona de alerta (ZA) y el efecto dominó (ZD) se tomarán en cuenta los siguientes valores de radiación:

Efecto Físico	Evento	Zona Intervención	Zona Alerta	Efecto Dominó
Radiación Térmica	Incendio	6,64 kW/m ²	3,71 (kW/m ²	8 kW/m ²
	Llamarada	LEL (*)	-	-

(*) LEL: Lower Explosive Limit

V Real Decreto 840/2015, de 21 de septiembre, por la que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

^{VI} Real Decreto 1196/2003, de 19 de septiembre, por el que se aprueba la Directriz básica de protección civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas.

5 Determinación del alcance de las consecuencias de accidentes para los escenarios seleccionados.

El objetivo de esta fase es la determinación de las áreas de planificación de emergencia y efecto dómينو asociadas a accidentes finales que se deriven de los iniciadores de accidentes seleccionados en el apartado 4 del presente documento, así como los alcances obtenidos de llamarada.

En el Anexo I, se presentan las salidas de cálculo de cada hipótesis planteada en el apartado 4, y en las siguientes tablas se presenta un resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 2. Áreas de planificación de emergencia y letalidad. Fugas desde depósito de GNL de la SC de 225 kg.

Iniciador de accidente	Sustancia	Estabilidad	Áreas de planificación de emergencias y letalidad			
			Dardo de fuego (H.1.a., H.1.b., H.1.c., H.1.d. y H.3.) / Incendio de charco (H.5.)			Llamarada
			ZI (m)	ZA (m)	ZD (m)	LC100 (*) (LEL) (m)
H.1.a. Fuga de GNL por orificio de 2,5 mm en la manguera de entrada al depósito de 225 kg de GNL de la SC.	GNL	5,1D / 1,7F	4,5 / 5,4	4,9 / 5,9	4,4 / 5,3	1,1 / 5
H.1.b. Fuga de GNL por orificio de 5 mm en la manguera de entrada al depósito de 225 kg de GNL de la SC.	GNL	5,1D / 1,7F	8,5 / 10,4	9,5 / 11,3	8,3 / 10,2	2,7 / 12,7
H.1.c. Fuga de GNL por orificio de 10 mm en la manguera de entrada al depósito de 225 kg de GNL de la SC.	GNL	5,1D / 1,7F	16,1 / 19,5	17,9 / 21,2	15,6 / 19,1	6,8 / 42,4
H.1.d. Rotura catastrófica de la manguera de GNL (orificio de 25 mm) de entrada al depósito de 225 kg de GNL de la SC.	GNL	5,1D / 1,7F	35,8 / 42,6	40,1 / 46,6	34,7 / 41,6	29,1 / 155,8
H.3. Rotura catastrófica de la manguera de GN (orificio de 12,5 mm) de salida del depósito de GNL de 225 kg de la SC.	GN	5,1D / 1,7F	8,1 / 9,8	9 / 10,6	7,9 / 9,5	3,2 / 15,3
H.5. Rotura catastrófica del depósito de GNL de 225 kg de la SC	GNL	5,1D / 1,7F	117,9 / 110,5	143,3 / 141,2	110,7 / 101,7	96,1 / 171,6

(*) LC100: 100% Lethal Concentración

Tabla 3. Áreas de planificación de emergencia y letalidad. Fugas desde depósito de GNL de la SC de 450 kg.

Iniciador de accidente	Sustancia	Estabilidad	Áreas de planificación de emergencias y letalidad			
			Dardo de fuego (H.2.a., H.2.b., H.2.c., H.2.d. y H.4.) / Incendio de charco (H.6.)			Llamarada
			ZI (m)	ZA (m)	ZD (m)	LC100 (LEL) (m)
H.2.a. Fuga de GNL por orificio de 2,5 mm en la manguera de entrada al depósito de 450 kg de GNL de la SC.	GNL	5,1D / 1,7F	4,5 / 5,5	5 / 5,9	4,4 / 5,4	1,2 / 5,1
H.2.b. Fuga de GNL por orificio de 5 mm en la manguera de entrada al depósito de 450 kg de GNL de la SC.	GNL	5,1D / 1,7F	8,6 / 10,4	9,5 / 11,3	8,3 / 10,2	2,7 / 12,8
H.2.c. Fuga de GNL por orificio de 10 mm en la manguera de entrada al depósito de 450 kg de GNL de la SC.	GNL	5,1D / 1,7F	16,1 / 19,6	17,9 / 21,3	15,6 / 19,1	6,8 / 42,7
H.2.d. Rotura catastrófica de la manguera de GNL (orificio de 25 mm) de entrada al depósito de 450 kg de GNL de la SC.	GNL	5,1D / 1,7F	36 / 42,8	40,2 / 46,8	34,8 / 41,7	29,3 / 156,9
H.4. Rotura catastrófica de la manguera de GN (orificio de 12,5 mm) de salida del depósito de GNL de 450 kg de la SC.	GN	5,1D / 1,7F	16 / 19,2	17,8 / 20,9	15,5 / 18,7	7,7 / 47,2
H.6. Rotura catastrófica del depósito de GNL de 450 kg de la SC	GNL	5,1D / 1,7F	117,9 / 110,5	143,3 / 141,2	110,7 / 101,7	124,6 / 224,3

6 Representación gráfica de las consecuencias sobre planos del muelle e instalaciones portuarias.

En este apartado se presentan las ZI, ZA y ZD correspondientes a los accidentes finales: llamarada, dardo de fuego e incendio de charco, de las hipótesis accidentales de rotura catastrófica de la manguera de GNL y rotura catastrófica del depósito de GNL de la SC, ya que son estos los accidentes para los que se ha obtenido los mayores alcances.

En los siguientes planos, son presentados los resultados sobre las ubicaciones tanto de la terminal BEST como para la APM TERMINALS (TCB):

- H2d-NI^{VII}: Llamarada. Rotura catastrófica de manguera de GNL (orificio de 25 mm) de entrada al depósito de 450 kg de GNL de la SC.
- H5-NI: Llamarada. Rotura catastrófica de depósito de GNL de 225 kg de la SC.
- H6-NI: Llamarada. Rotura catastrófica de depósito de GNL de 450 kg de la SC.
- H2d-RT^{VIII}: Dardo de fuego. Rotura catastrófica de manguera de GNL (orificio de 25 mm) de entrada al depósito de 450 kg de GNL de la SC
- H.5-RT: Incendio de charco. Rotura catastrófica de depósito de GNL de 225 kg de la SC.

En el plano H2d-NI, se presenta la llamarada para la rotura catastrófica de manguera de GNL de entrada al depósito de 450 kg de GNL de la SC. Estos alcances son los mismos tanto para la hipótesis H.1.d. como para la H.2.d., de acuerdo con los resultados indicados en la Tabla 2 y Tabla 3.

El plano H2d-RT se presenta los alcances de ZI, ZA y ZD por eventos de dardo de fuego para la estabilidad de clima F, que es en la que se obtienen los alcances mayores. Esta representación se aplica igualmente a la hipótesis H.1.d., de acuerdo con los resultados indicados en la Tabla 2 y Tabla 3.

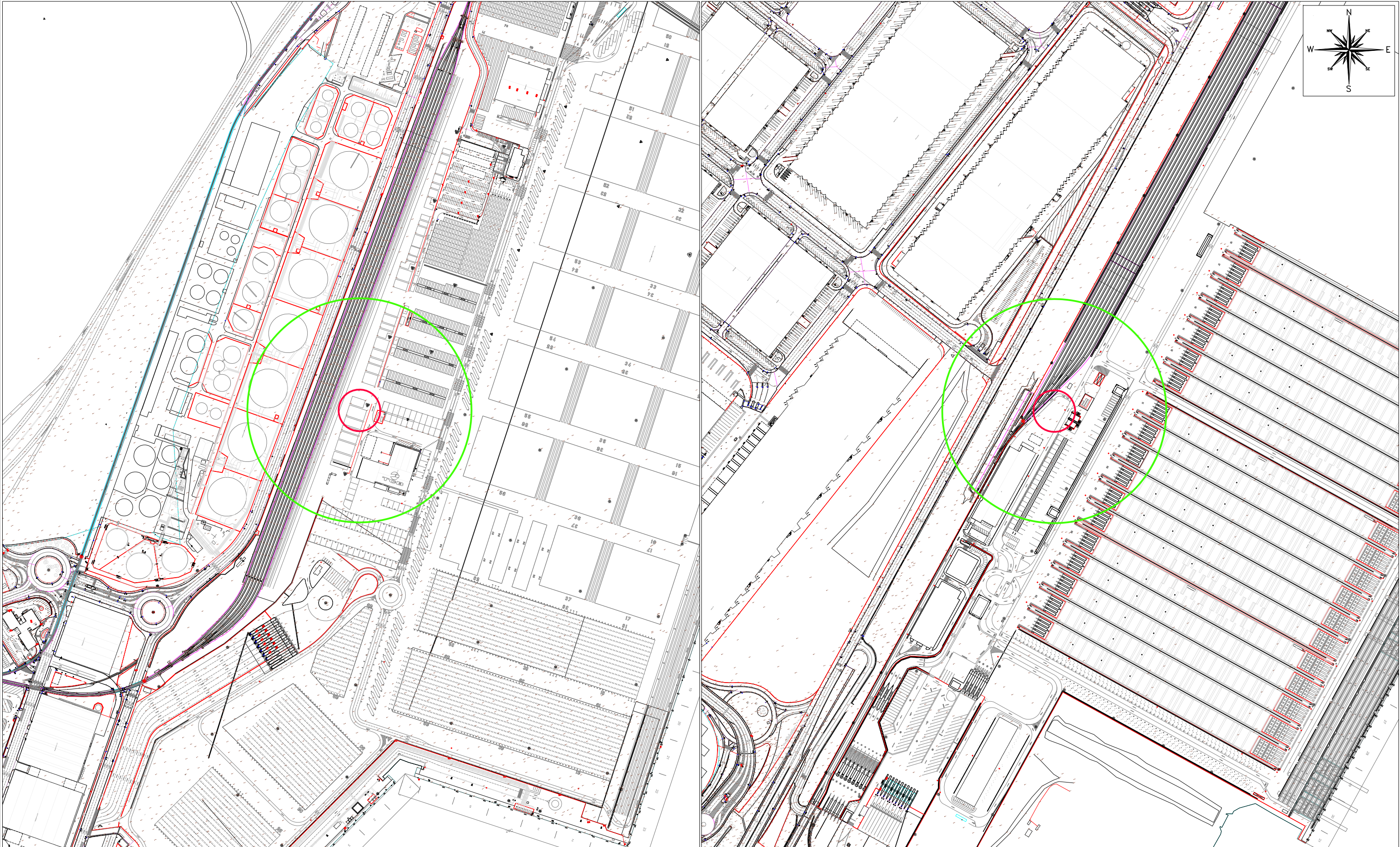
El plano H5-RT se presenta los alcances de ZI, ZA y ZD por eventos de incendio de charco para la estabilidad de clima D, que es en la que se obtienen los alcances mayores. Esta

^{VII} NI: Nube Inflamable

^{VIII} RT: Radiación Térmica

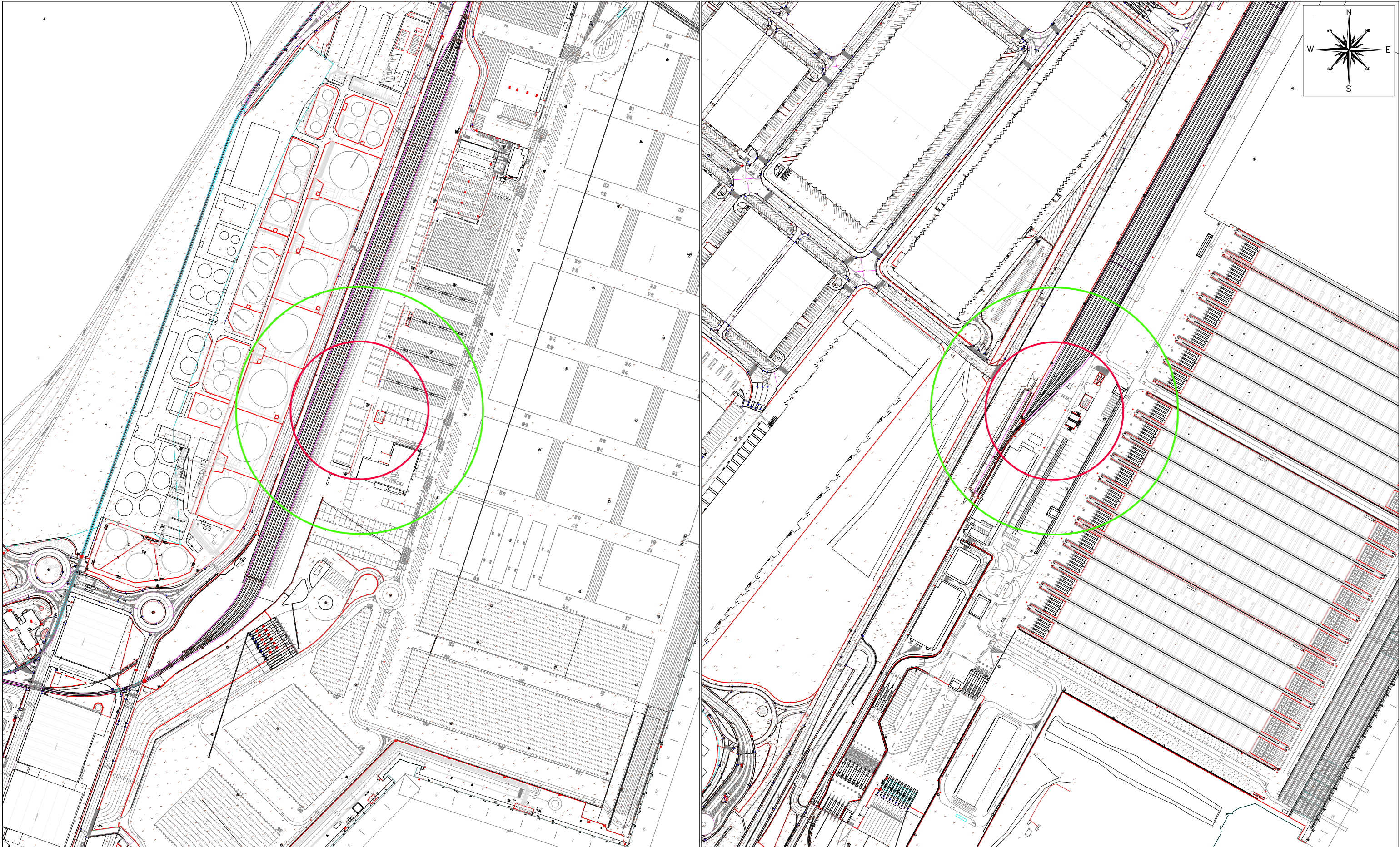
representación se aplica igualmente a la hipótesis H.6., de acuerdo con los resultados indicados en la Tabla 2 y Tabla 3.





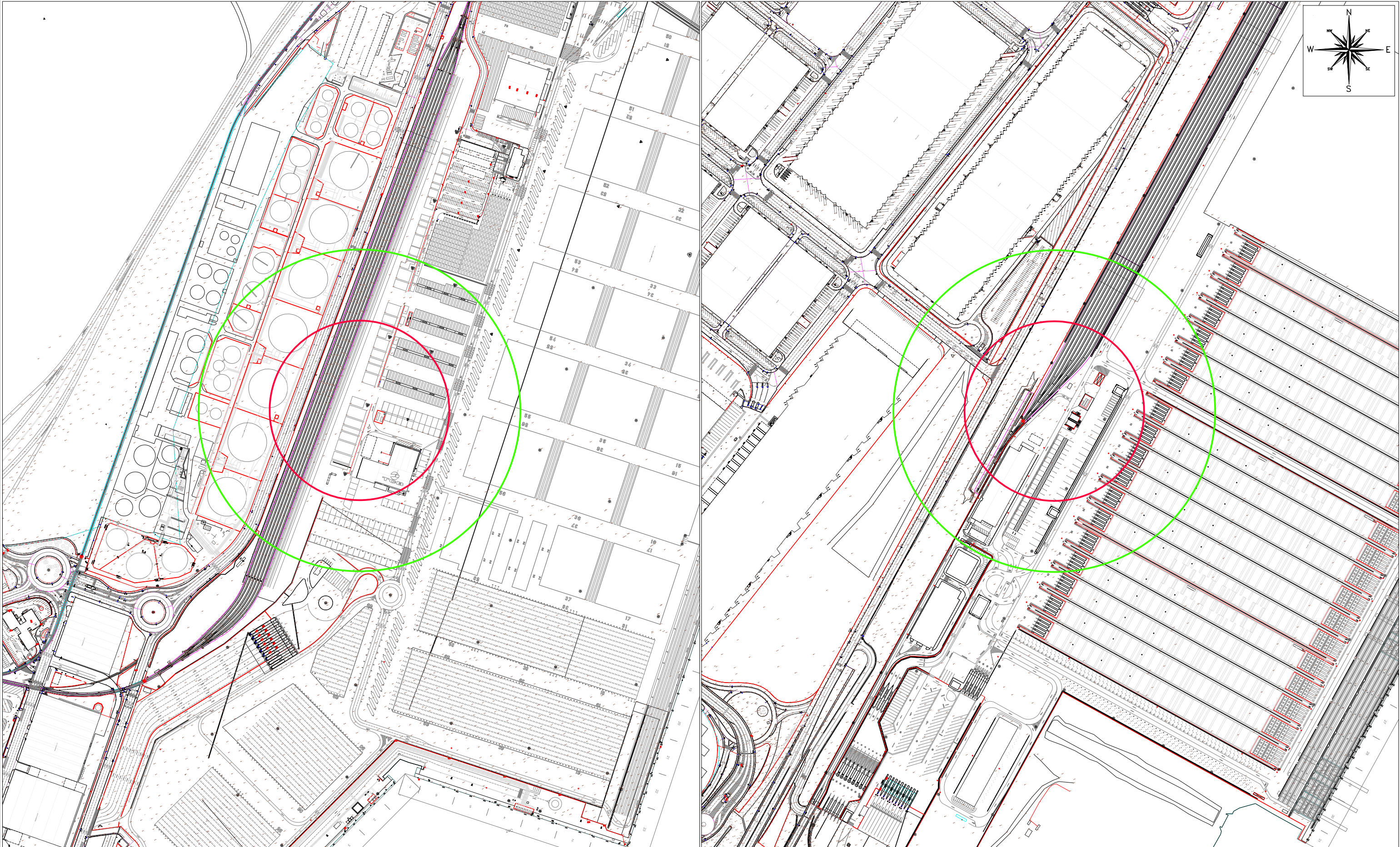
APM TERMINALES (TCB) BEST

LEYENDA Estabilidad: D / F LEL: 29 m 157 m	 	ANÁLISIS DEL RIESGO (AR) EPM3: BARCELONA: STRADDLE CARRIER PROPULSADA POR MOTOR DE GAS	
	REF.: 1231/13694	LLAMARADA	
	PLANO Nº: H2d-NI	H.2.d: Rotura catastrófica de la manguera de GNL (orificio de 25mm) de entrada al depósito de 450 Kg. de GNL de la SC.	
	FECHA: Enero 2017	REALIZADO: D. Matas	
ESCALA: 1/5.000 en A3	 SEGURIDAD & MEDIO AMBIENTE	REVISIÓN: 0	



APM TERMINALES (TCB) BEST

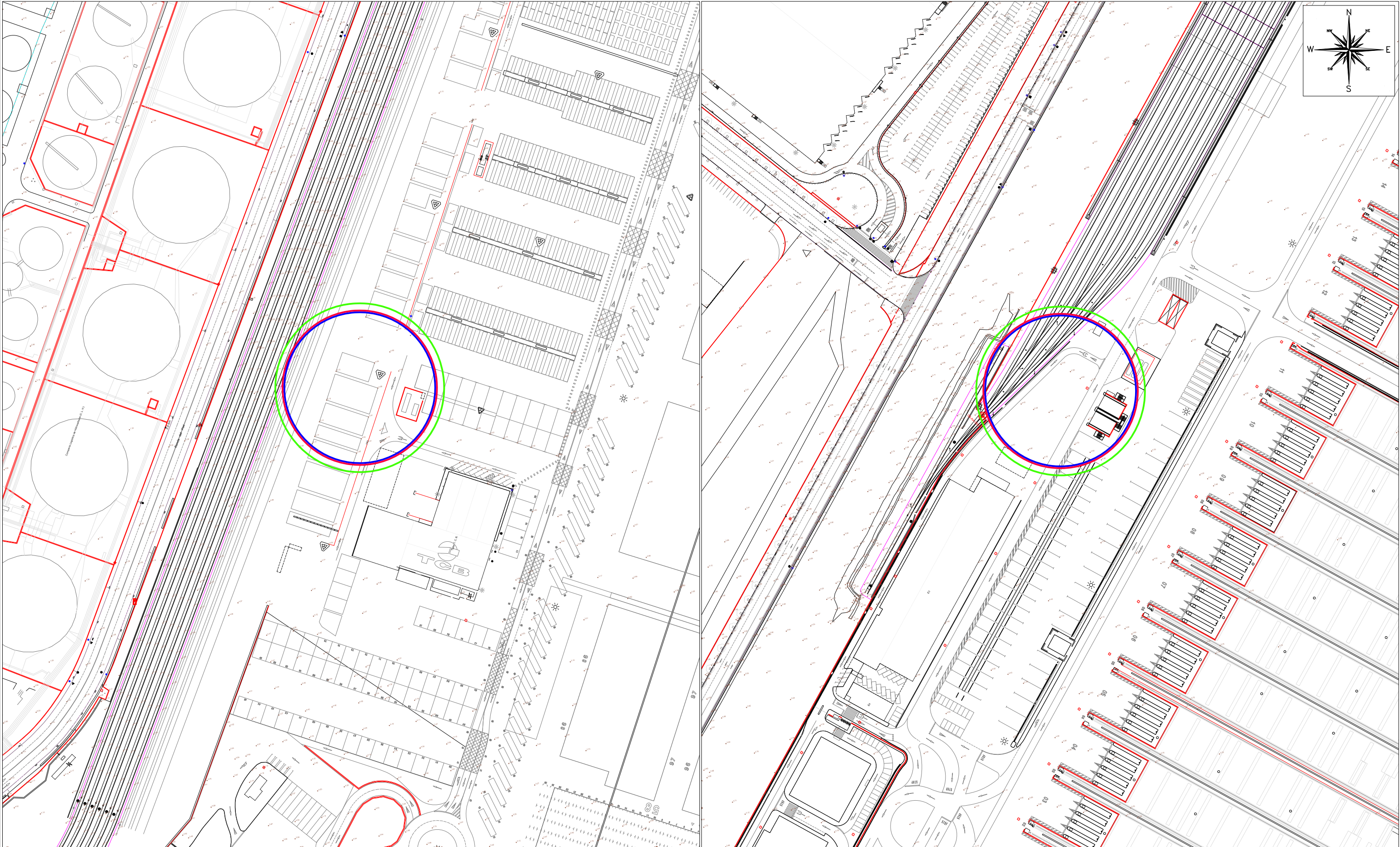
LEYENDA Estabilidad: D / F LEL: 96 m 172 m	 	ANÁLISIS DEL RIESGO (AR) EPM3: BARCELONA: STRADDLE CARRIER PROPULSADA POR MOTOR DE GAS	
	REF.: 1231/13694	LLAMARADA	
	PLANO N°: H5-NI	H.5: Rotura catastrófica del depósito de GNL de 225Kg. de la SC.	
	FECHA: Enero 2017	REALIZADO: D. Matas	
ESCALA: 1/5.000 en A3	 SEGURIDAD & MEDIO AMBIENTE	REVISIÓN: 0	



APM TERMINALES (TCB) BEST

LEYENDA	
Estabilidad:	D / F
LEL:	125 m 224 m

<div>CORE LNGas hive</div> <div>einesa</div> <div>REF.: 1231/13694</div> <div>PLANO Nº: H6-NI</div> <div>FECHA: Enero 2017</div> <div>ESCALA: 1/5.000 en A3</div>	<div>ANÁLISIS DEL RIESGO (AR)</div> <div>EPM3: BARCELONA: STRADDLE CARRIER</div> <div>PROPULSADA POR MOTOR DE GAS</div> <div>LLAMARADA</div> <div>H.6: Rotura catastrófica del depósito de GNL de 450Kg. de la SC.</div>
	<div>REALIZADO:</div> <div>D. Matas</div>
	<div>REVISIÓN:</div> <div>0</div>
	<div>tema</div> <div>SEGURIDAD & MEDIO AMBIENTE</div>



APM TERMINALES (TCB) BEST

LEYENDA

Estabilidad: F

ZI (6,64 kW/m²): 43 m

ZA (3,71 kW/m²): 47 m

ZD (8 kW/m²): 42 m

(*)Distancias desde el origen del dardo.

CORE LNGas
hive
einesa

REF.: 1231/13694

PLANO Nº: H2d-RT

FECHA: Enero 2017

ESCALA: 1/2.000 en A3

ANÁLISIS DEL RIESGO (AR)
EPM3: BARCELONA: STRADDLE CARRIER
PROPULSADA POR MOTOR DE GAS

DARDO DE FUEGO

H.2.d: Rotura catastrófica de la manguera de GNL (orificio de 25mm) de entrada al depósito de 450 Kg. de GNL de la SC.

REALIZADO: D. Matas

REVISIÓN: 0

tema
SEGURIDAD & MEDIO AMBIENTE



APM TERMINALES (TCB)

BEST

LEYENDA

Estabilidad: D

ZI (6,64 kW/m²): 118 m

ZA (3,71 kW/m²): 143 m

ZD (8 kW/m²): 111 m

(*)Distancias desde el centro del charco.



REF.: 1231/13694
PLANO N°: H5-RT
FECHA: Enero 2017
ESCALA: 1/2.000 en A3

ANÁLISIS DEL RIESGO (AR)
EPM3: BARCELONA: STRADDLE CARRIER
PROPULSADA POR MOTOR DE GAS

INCENDIO DE CHARCO

H.5: Rotura catastrófica del depósito de GNL de 225Kg. de la SC.

 **tema**
SEGURIDAD & MEDIO AMBIENTE

REALIZADO: D. Matas
REVISIÓN: 0

7 Análisis de efecto dominó con instalaciones vecinas

En este apartado se realiza una evaluación del efecto dómíno que puede originar las hipótesis estudiadas tanto en las propias terminales de APM TERMINALS (TCB) y BEST como a los establecimientos de alrededor.

De acuerdo al plano H2d-RT presentado en el apartado 6, la rotura catastrófica de la manguera de GNL puede generar una radiación de 8 kW/m^2 (por dardo de fuego) de 41,6 m, lo que indica que la zona de efecto dominó debido a la hipótesis H.2.d. o H.1.d. está alrededor de los 42 metros, lo cual afectaría a las vías del tren que se encuentran adyacentes a la zona de repostaje de la terminal BEST. En APM TERMINALS (TCB) el efecto dominó cubre completamente los depósitos de diésel que se encuentran adyacentes a la zona en estudio y una pequeña parte de las vías de tren.

En el plano H.5-RT, la rotura catastrófica del depósito de GNL de la SC tanto de 225 kg como de 450 kg puede generar una radiación de 8 kW/m^2 (por incendio de charco) de 110,7 m, lo que indica que la zona de efecto dominó debido a cualquiera de dichas hipótesis está alrededor de los 111 metros, lo cual afectaría a las zonas de operación delimitadas en el plano, además de alcanzar las vías del tren y los viales internos de las terminales.

8 Estimación de las frecuencias de los escenarios de accidente seleccionados.

Para determinar las frecuencias de ocurrencia de los eventos estudiados, se parte de la siguiente información:

- En la terminal de APM TERMINALS (TCB), el horario de trabajo de la SC durante la prueba piloto es de 8 horas/ día.
- En la terminal de BEST, el horario de trabajo de la SC durante la prueba piloto es de 23,5 horas /día
- El periodo de prueba (operación) para ambas terminales es de 3 meses (90 días)
- Se realizará un repostaje diario, a una tasa de 20 min/repostaje, por lo que se tendrá un total de **30 horas de operación** anual.
- Probabilidad de presencia de personas en el área (tanto para APM TERMINALS (TCB) como BEST)= 1
- Probabilidad de ignición de una nube inflamable por vehículos= $0,5^{\text{IX}}$

Tabla 4. Frecuencias de ocurrencia de hipótesis estudiadas.

Escenarios	Frecuencia (horas ⁻¹)	Frecuencia (año ⁻¹)	Frecuencia final (año ⁻¹)
Rotura catastrófica de manguera de GNL/ GN[1]	4,00E-06	1,20E-04	6,00E-05 [4]
Rotura parcial de manguera de GNL[2]	4,00E-05	1,20E-03	6,00E-04 [4]
Rotura catastrófica del depósito de GNL (APM TERMINALS (TCB))	-	5,70E-07 [3]	7,50E-06 [5]
Rotura catastrófica del depósito de GNL (BEST)	-	5,70E-07 [3]	2,20E-05 [6]

[1] Tabla 50 BEVI: *Rupture of loading/unloading hose per hour*

[2] Tabla 50 BEVI: *Leak on loading/unloading hose with an effective diameter of 10% of the nominal diameter, up to the maximum of 50 mm per hour*

[3] Tabla 13 BEVI: *Scenarios for a pressurized storage tank aboveground*

[4] Frecuencia final= Frecuencia (año⁻¹)*Probabilidad de ignición de una nube inflamable por vehículos*Probabilidad de presencia de personas en el área

[5] Frecuencia final= Frecuencia (año⁻¹)* 8h/24h(horario trabajo APM TERMINALS (TCB))*90 días (período de prueba)*Probabilidad de ignición de una nube inflamable por vehículos*Probabilidad de presencia de personas en el área

[6] Frecuencia final= Frecuencia (año⁻¹)* 23,5h/24h(horario trabajo BEST)*90 días (período de prueba)*Probabilidad de ignición de una nube inflamable por vehículos*Probabilidad de presencia de personas en el área

- La frecuencia final obtenida para la rotura catastrófica de manguera aplica para las hipótesis H.1.d, H.2.d, H.3., y H.4.
- La frecuencia final obtenida para la rotura parcial de manguera aplica para las hipótesis H.1.a. y H.2.a.
- Para el resto de roturas parciales de la manguera de líquido, la frecuencia de ocurrencia sería un valor entre la frecuencia correspondiente a la rotura del 10% del diámetro nominal

^{IX} Tabla 1 del Manual BEVI: Adjacent process installation

y la de la rotura total. Estas roturas parciales se ha considerado no necesarias valorar su riesgo.

- La frecuencia final obtenida para la rotura catastrófica de depósito aplica para las hipótesis H.5. y H.6. Cabe destacar que la frecuencia utilizada es la que aplica para un depósito fijo^X.

9 Tipificación de peligros mediante el uso de una matriz cualitativa de riesgo.

En base a las normas UNE-EN 61511-3 y UNE-EN 1473-2008, se elaboró la matriz de riesgo que se presenta a continuación:

^X Tratándose de una prueba piloto, y bajo el supuesto de que se adoptaran todas las medidas necesarias para garantizar una conducción responsable y segura de la SC, y dado que no se conoce una frecuencia para la rotura total de un depósito instalado sobre una máquina (SC) que en operación estará moviéndose, se ha utilizado la frecuencia correspondiente al depósito fijo.

MATRIZ DE RIESGO

Incremento de probabilidad

Probabilidad de ocurrencia

Probabilidad		Probable (I)	Puede ocurrir (II)	Poco probable (III)	Muy improbable (IV)	No creíble (V)
Severidad		Ocorre por lo menos una vez en un año operativo.	Ocorre una vez o más en 10 años operativos.	Ocorre por lo menos una vez durante la vida útil de las instalaciones.	Ocorre menos de una vez durante la vida útil de las instalaciones. No se espera que suceda.	Nunca ha sucedido hasta ahora. No hay constancia que ocurra.
Incremento de severidad ↑	A Catastrófico Personal -Varias muertes Imagen pública - Vidas expuestas a accidentes peligrosos Medio ambiente -Gran fuga incontrolada Pérdida económica muy importante.	1	1	2	2	4
	B Crítico Personal – Lesiones graves, conllevando discapacidad hasta una sola muerte. Imagen pública – Expuesto a un accidente que puede causar daños. Medio ambiente – Gran fuga no confinada. Pérdida económica importante.	1	2	2	3	4
	C Marginal Personal – Lesiones, no implicando discapacidad ni muerte. Imagen pública – Ningún impacto Medio ambiente – fuga que se mantiene confinada. Pérdida económica moderada.	2	2	3	3	4
	D Despreciable Personal – lesiones que implican sólo primeros auxilios. Medio ambiente – pequeña fuga que se mantiene confinada. Pequeña pérdida económica.	3	3	3	3	4
	E Ningún impacto (Nada sucede).	4	4	4	4	4

1 – Intolerable: Necesario un cambio de diseño o añadir un SIS

3 – Gestión de mejora continua

2 –Incorporar medidas de reducción de riesgo o protecciones

4 –NC: No creíble. NI: Ningún impacto

De acuerdo con los cálculos de frecuencias realizados, se asume que la probabilidad de ocurrencia de las hipótesis planteadas son las indicadas en la matriz como “Muy improbable (IV)” (no se espera que suceda durante la prueba piloto).

Por lo que respecta a la severidad, se asume que las llamaradas de la rotura catastrófica de la manguera de GNL y del depósito de GNL de la SC, potencialmente pueden provocar más de un muerto tanto en el interior de las terminales como en el exterior, dado que dentro del alcance de las llamaradas se encuentran viales interiores del puerto con alta densidad de tráfico, por lo que de acuerdo con la matriz el nivel de severidad que les corresponde es el “Catastrófico” (A)

En base a todo ello, el nivel de riesgo en el interior y en el exterior de las terminales, tanto en lo que respecta a la rotura total de la manguera de GNL como a la rotura catastrófica del depósito de GNL en la SC, sería 2.

De acuerdo a lo indicado en la matriz de riesgo, para el nivel 2 se deben incorporar medidas de reducción de riesgo o protecciones. Estas medidas son las medidas adicionales propuestas en el estudio *What if...?* (Anexo II).

El nivel de riesgo correspondiente la rotura total de la manguera de GN es 3. Para este caso y de acuerdo con la matriz de riesgo deberían implementarse medidas dentro de los programas de gestión de mejora continua del riesgo.

10 Análisis de salvaguardas existentes y propuesta de medidas de prevención para aquellos riesgos con riesgo inaceptable

Se ha de recomendar la inclusión de salvaguardas tecnológicas adicionales para reducir las consecuencias de aquellos accidentes cuyos alcances sean superiores a 1.500 m para la ZI o a 300 m para la LC100.

De acuerdo a los alcances obtenidos para las hipótesis planteadas, ningún escenario tiene un alcance para la zona de intervención superior a 1.500 m y las llamaradas obtenidas son menores a 300 m, por lo que no se recomienda la inclusión de salvaguardas tecnológicas adicionales.

11 Conclusiones y recomendaciones

La ocurrencia de las hipótesis planteadas es muy improbable, por lo que no se espera que suceda durante la prueba piloto.

Por lo que respecta a la severidad, se asume que las llamaradas de la rotura catastrófica de la manguera de GNL y del depósito de GNL de la SC se ha tipificado la severidad como catastrófica.

El nivel de riesgo en el interior y en el exterior de las terminales, tanto en lo que respecta a la rotura total de la manguera de GNL como a la rotura catastrófica del depósito de GNL en la SC, sería 2, por lo que se deben incorporar medidas de reducción de riesgo o protecciones. Estas medidas son las medidas adicionales propuestas en el estudio *What if...?* (Anexo II).

A tener en cuenta que entre las salvaguardas existentes una es el “*break away*” de la manguera de líquido de GNL y otra es el “*dry coupling*” de la manguera de GN. Tal y como se indicó en el estudio *What if...?*, estos dispositivos impiden la fuga de GNL a la atmósfera y no se han tenido en cuenta en el cálculo del riesgo, por lo que los resultados obtenidos en este AR son conservadores.

El nivel de riesgo correspondiente la rotura total de la manguera de GN es 3, por lo que se deben implementar medidas dentro de los programas de gestión de mejora continua del riesgo.

Ningún escenario tiene un alcance para la zona de intervención superior a 1.500 m y las llamaradas obtenidas son menores a 300 m, por lo que no se recomienda la inclusión de salvaguardas tecnológicas adicionales.

La zona de efecto dominó debido a la rotura catastrófica de la manguera de GNL está alrededor de los 42 metros, por lo que afectaría las vías del tren que se encuentran adyacentes a la zona de repostaje de la terminal BEST, en APM TERMINALS (TCB) cubre completamente los depósitos de diésel adyacentes a la zona en estudio y una pequeña parte de las vías de tren.

La rotura catastrófica del depósito de GNL de la SC, tanto de 225 kg como de 450 kg, puede generar una zona de efecto dominó alrededor de los 102 metros, lo cual afectaría a las zonas

de operación delimitadas en el plano, además de alcanzar las vías del tren y los viales internos de las terminales.

La zona de intervención de mayor alcance se encuentra alrededor de los 43 m, para las roturas catastróficas de la manguera de GNL, y alrededor de 118 m para la rotura catastrófica de un depósito de GNL de la SC.

La zona de alerta para las roturas catastrófica de la manguera de GNL es de 47 m, y de 143 m para la rotura catastrófica de un depósito de GNL de la SC.

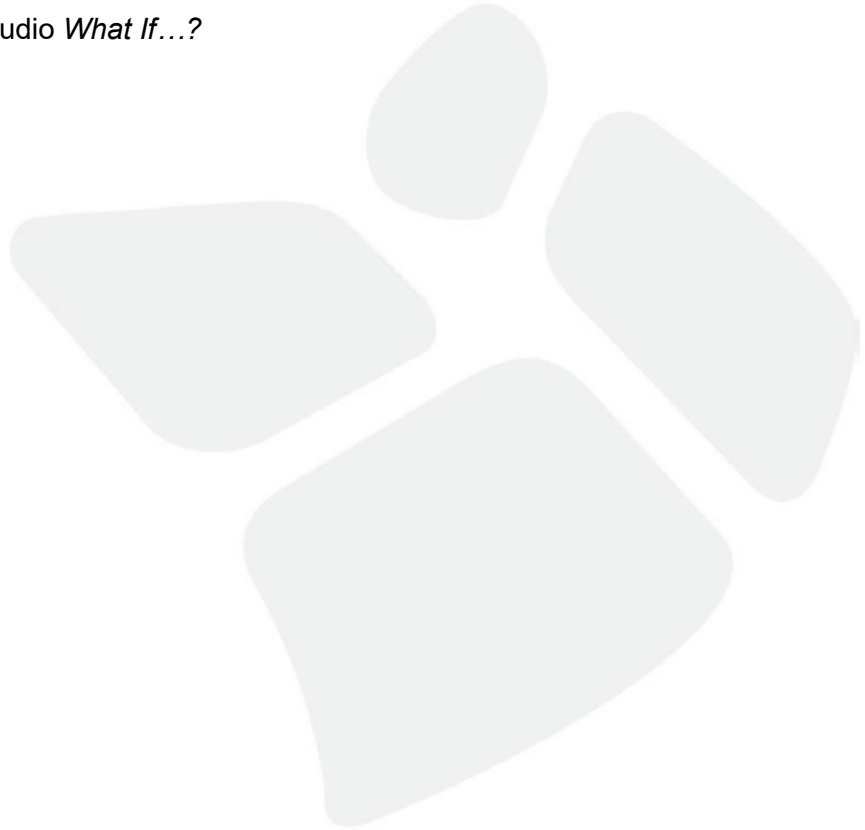
Además de las medidas propuestas en el *What if...?* se recomienda:

- Estudiar la posibilidad de reubicar las zonas de repostaje de GNL a las SC, de manera que la zona de ZD debido a la rotura catastrófica de la manguera de GNL no alcance las vías de tren adyacentes, ni los depósitos de diésel en APM TERMINALS (TCB).
- Durante las pruebas piloto, las SC con depósito de GNL no transporten contenedores de mercancías peligrosas (IMO).

12 Anexos

En el **Anexo I** de este informe se se presentan las salidas de cálculo para cada hipótesis estudiada.

En el **Anexo II**, se incluye Estudio *What If...*?





ANEXO I. SALIDAS DE CÁLCULO EFFECTS

H.1.a. Fuga de GNL por orificio de 2,5 mm en la manguera de entrada al depósito de 225 kg de GNL de la SC

Fuga de gas licuado

- ✓ Grado de llenado del depósito: 80%
- ✓ Volumen del depósito: 0,76 m³
- ✓ Longitud del depósito (cilindro horizontal): 1,51 m
- ✓ Longitud de la manguera: 5 m
- ✓ Duración de fuga: 3.600 s
- ✓ Temperatura del depósito: -130°C
- ✓ Presión del depósito: 8 bar

Model: Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model)

version: v2017.01.10003 (16/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 2 and Modelling source terms for the atmospheric dispersion of hazardous substances, Jaakko Kukkonen

Parameters

Inputs

Chemical name	METHANE (DIPPR)
Use which representative step	First 20% average (flammable)
Type of vessel outflow	Release from vessel through (a hole in) pipe
<i>Fixed Mass flow rate of the source (kg/s)</i>	
Pipeline length (m)	5
Pipeline diameter (mm)	25
Pipeline roughness (mm)	0,045
Hole diameter (mm)	2,5
Hole rounding	Sharp edges
<i>Discharge coefficient (-)</i>	0,62
Height difference between pipe entrance and exit (m)	0
Height leak above tank bottom (m)	0
Initial temperature in vessel (°C)	-130
Vessel volume (m3)	0,76
Vessel type	Horizontal cylinder
Length cylinder (m)	1,51
Filling degree (%)	80
Expansion type	Adiabatic
<i>n value</i>	
Pressure inside vessel determination	Use actual pressure
Initial (absolute) pressure in vessel (bar)	8
Type of calculation	Calculate until specified time
Maximum release duration (s)	3600
Ambient pressure (bar)	1,0151

Results

Initial mass in vessel (kg)	227,16
Initial (vapour) pressure in vessel (bar)	8
<i>Time needed to empty vessel (s)</i>	15625
Massflowrate at time t (kg/s)	0,017337
Total mass released at time t (kg)	63,043
Pressure in vessel at time t (bar)	7,105
Temperature in vessel at time t (°C)	-131,13
VapourMass fraction at time t (-)	0,027187
Liquid mass in vessel at time t (kg)	162,38

Vapour mass in vessel at time t (kg)	3,5671
Height of liquid at time t (m)	0,44654
Fillingdegree at time t (%)	57,344
Exit pressure at time t (bar)	4,6915
Exit temperature at time t (°C)	-138,93
Maximum mass flow rate (kg/s)	0,020025
Representative release rate (kg/s)	0,018421
Representative outflow duration (s)	1800
Representative temperature (°C)	-137,75
Corresponding pressure (bar)	5,0114
Representative vapour mass fraction (-)	0,027316

Model: Liquefied Gas Spray Release

version: v2017.01.10783 (16/01/2017)

Reference: Yellow Book CPR14E, Page: 2.105 / 2.112, Section: 2.5.3.7 [Finite duration spray releases] AMINAL - Richtlijn voor het berekenen van Flash en Spray, 1997 C. Hulsbosh-Dam, An Approach to Carbon Dioxide Particle Distribution in Accidental Releases, Chemical Engineering Transactions Vol.26, 2012, ISBN 978-88-95608-17-4; ISSN 1974-9791

Parameters

Inputs

Chemical name	METHANE (DIPPR)
Type of Spray calculation	Spray release model (Yellow Book)
Mass flow rate of the source (kg/s)	0,018421
Exit temperature (°C)	-137,75
Exit pressure (bar)	5,0114
Exit vapour mass fraction (-)	0,027316
Hole diameter (mm)	2,5
Height leak above ground level (m)	1
Ambient temperature (°C)	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151
Ambient relative humidity (%)	70
No of samples (accuracy)	

Results

Adiabatic vapour flash fraction (-)	0,16903
AFTER FLASHING AND RAINOUT: liquid mass fraction (-)	0,78654
Nett mass flow to air (jet) (kg/s)	0,018421
Temperature jet/cloud (°C)	-161,49
Diameter jet/cloud (m)	0,0032763
Nett mass flow rained out (kg/s)	0
Temperature of the pool (°C)	-161,49
Density of the airborne mass (kg/m3)	8,0935
Used Sauter Mean Diameter (micron)	

LEL

Model: Neutral Gas Dispersion: Concentration

version: v2017.01.10898 (17/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 4

Parameters

Inputs

	LEL (1.7/F)	LEL (5.1/D)
Chemical name	METHANE (DIPPR)	METHANE (DIPPR)
Type of neutral gas release	Continuous	Continuous
Total mass released (kg)	63,043	63,043
Mass flow rate of the source (kg/s)	0,018421	0,018421
Duration of the release (s)	1800	1800
Height of release (Z-coordinate) (m)	1	1
Offset X direction (distance) start dispersion (m)	0	0
Offset Z direction (height) start dispersion (m)	0	0

Length source in wind (x) direction (m)	0,1	0,1
Length source in crosswind (y) direction (m)	0,1	0,1
Length source in vertical (z) direction (m)	0,1	0,1
Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Meteorological data	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	F (Very Stable)	D (Neutral)
Wind speed at 10 m height (m/s)	1,7	5,1
North/South latitude of the location (deg)	41	41
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)		
Mixing height (m)		
Stand. dev. of turbulent velocity in vertical direction (m/s)		
Stand. dev. of turbulent velocity in horizontal direction (m/s)		
Roughness length description	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.
Time t after start release (s)	120	120
Concentration averaging time (s)	20	20
Reporting distance (Xd) (m)	1000	1000
Distance perpendicular to wind direction (Yd) (m)	0	0
Height (Zd) (m)	1	1
Predefined concentration	Lower Flammability Limit	Lower Flammability Limit
Threshold concentration (mg/m3)	33352	33352
Contour plot accuracy (%)	1	1
Integration tolerance (%)	0,1	0,1
Predefined wind direction	W	W
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270	270
Use dynamic concentration presentation	No	No
Results	LEL (1.7/F)	LEL (5.1/D)
Concentration at (Xd, Yd, Zd, t) (mg/m3)	16,679	0,89636
Maximum concentration at (Yd, Zd) (mg/m3)	6,7823E05	3,6083E05
...at distance (m)	0	0
Mixing height used (m)	50	500
Stand. dev. of turbulent velocity in vert. direction used (m/s)	0,10914	0,59167
Stand. dev. of turbulent velocity in horiz. direction used (m/s)	0,15951	0,86127
Maximum distance to Lower Flammability Limit concentration (m)	5,0287	1,1386
Width of Lower Flammability Limit outer contour (m)	0	0
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) used (1/m)	0,073006	0

Masa explosiva

Model: Neutral Gas Dispersion: Flammable Cloud

version: v2017.01.10898 (16/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 4

Parameters

Inputs	Masa explosiva (1.7/F)	Masa explosiva (5.1/D)
Chemical name	METHANE (DIPPR)	METHANE (DIPPR)
Type of neutral gas release	Continuous	Continuous
Total mass released (kg)	63,043	63,043
Mass flow rate of the source (kg/s)	0,018421	0,018421
Duration of the release (s)	1800	1800
Height of release (Z-coordinate) (m)	1	1
Offset X direction (distance) start dispersion (m)	0	0

Offset Z direction (height) start dispersion (m)	0	0
Length source in wind (x) direction (m)	0,1	0,1
Length source in crosswind (y) direction (m)	0,1	0,1
Length source in vertical (z) direction (m)	0,1	0,1
Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Meteorological data	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	F (Very Stable)	D (Neutral)
Wind speed at 10 m height (m/s)	1,7	5,1
North/South latitude of the location (deg)	41	41
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)		
Mixing height (m)		
Stand. dev. of turbulent velocity in vertical direction (m/s)		
Stand. dev. of turbulent velocity in horizontal direction (m/s)		
	Low crops; occasional	Low crops; occasional
	large	large
	obstacles, x/h > 20.	obstacles, x/h > 20.
Roughness length description		
Predefined wind direction	W	W
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270	270
	Time maximum	Time maximum
Reporting time flammable cloud	explosive mass	explosive mass
Time t after start release (s)		
Concentration averaging time (s)	20	20
Integration tolerance (%)	0,1	0,1
Use 50% LFL for cloud contour	No	No
Use mass between LFL and UFL	No	No
Use dynamic concentration presentation	No	No
Resolution of the time consuming graphs		

Results	Masa explosiva (1.7/F)	Masa explosiva (5.1/D)
Flammability threshold concentration (mg/m3)	33352	33352
Maximum distance to flammable concentration (m)	5,0287	1,1378
Width of flammable cloud outer contour (m)	0	0
Maximum flammable mass (kg)	0	0
Area of explosive cloud (m2)	0	0
Time T reported (s)	0	0
Flammable mass at time t (kg)	0	0
Area flammable cloud at time t (m2)	-1E300	-1E300
Height to LEL (m)	0	0
Length of cloud (between LEL) (m)	0	0
Width of cloud (between LEL) (m)	0	0
Offset between release location and LEL (m)	0	0
Offset between release and cloud centre at time t (m)	0	0

Dardo de Fuego

Model: Jet Fire (Chamberlain model)

version: v2017.01.10780 (16/01/2017)

Reference: Chamberlain, G.A., Development in design methods for predicting thermal radiation from flares~Chem. Eng. Res. Des. Vol.65 July 1987 pagina 299 - 309~Cook, J. et al, A comprehensive program for the calculation of flame radiation levels~Loss Prev. in Process Ind. January 1990, vol.3 ~Damage: Green Book 1st edition 1992, chapter 1 (Heat radiation); pages 11-36

Parameters		
Inputs		
Chemical name	JF (5.1/D) METHANE (DIPPR)	JF (1.7/F) METHANE (DIPPR)
(Calculated) Mass flow rate (kg/s)	0,018421	0,018421
Exit temperature (°C)	-137,75	-137,75
Exit pressure (bar)	5,0114	5,0114
Hole diameter (mm)	2,5	2,5
Hole rounding	Sharp edges	Sharp edges
<i>Discharge coefficient (-)</i>	0,62	0,62
Outflow angle in XZ plane (0°=horizontal; 90°=vertical) (deg)	0	0
Release height (Stack height) (m)	1	1
Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Ambient relative humidity (%)	70	70
Meteorological data	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)	F (Very Stable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
<i>Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)</i>		
	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.
Roughness length description		
Flame temperature (°C)	926,85	926,85
Amount of CO2 in atmosphere (-)	0,0003	0,0003
Fraction of the flame covered by soot (-)	0	0
Maximum heat exposure duration (s)	20	20
Reporting distance (Xd) (m)	100	100
Height of the receiver (m)	1	1
Predefined wind direction	W	W
<i>Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)</i>	270	270
Heat radiation level (lowest) for first contour plot (kW/m2)	3,71	3,71
Heat radiation level for second contour plot (kW/m2)	6,64	6,64
Heat radiation level (highest) for third contour plot (kW/m2)	8	8
Report heat radiation grid	Yes	Yes
Resolution for surface discretization	Medium	Medium
Take protective effects of clothing into account	No	No
<i>Correction lethality protection clothing (-)</i>		
Percentage of mortality for contour calculations (%)	1	1
Heat radiation lethal damage Probit A ((sec*(W/m2)^n))	-36,38	-36,38
Heat radiation lethal damage Probit B	2,56	2,56
Heat radiation damage Probit N	1,3333	1,3333
Results		
Type of flow of the jet	JF (5.1/D) Two Phase flow	JF (1.7/F) Two Phase flow
Wind speed at avg height of jet (m/s)	2,55	0,54422
Exit velocity of expanding jet (m/s)	81,848	81,848
Angle between hole and flame axis (alpha) (deg)	0	0
Frustum lift off height (b) (m)	0,048216	0,064409
Width of frustum base (W1) (m)	0,057396	0,0045621
Width of frustum tip (W2) (m)	1,2146	1,262
Length of frustum (flame) (Rl) (m)	3,1662	4,2295

Surface area of frustum (m2)	7,5922	9,7577
Surface emissive power (max) (kW/m2)	32,924	25,617
Surface emissive power (actual) (kW/m2)	32,924	25,617
Heat radiation at Xd (kW/m2)	0,00090059	0,00077555
Atmospheric transmissivity at Xd (%)	69,496	69,574
View factor at Xd (-)	3,936E-05	4,3515E-05
Heat radiation dose at Xd (s*(kW/m2)^4/3)	0,0017394	0,0014251
3,71 kW/m2 Heat radiation distance (m)	4,914	5,85
6,64 kW/m2 Heat radiation distance (m)	4,4471	5,4124
8 kW/m2 Heat radiation distance (m)	4,3494	5,3109
Percentage first degree burns at Xd (%)	0	0
Percentage second degree burns at Xd (%)	0	0
Percentage third degree burns at Xd (%)	0	0
1% First degree burns distance (m)	4,9765	5,9602
1% Second degree burns distance (m)	4,4678	5,4536
1% Third degree (Lethal) burns distance (m)	4,4365	5,408

H.1.b. Fuga de GNL por orificio de 5 mm en la manguera de entrada al depósito de 225 kg de GNL de la SC

Fuga de gas licuado

- ✓ Grado de llenado del depósito: 80%
- ✓ Volumen del depósito: 0,76 m³
- ✓ Longitud del depósito (cilindro horizontal): 1,51 m
- ✓ Longitud de la manguera: 5 m
- ✓ Duración de fuga: 1.800 s
- ✓ Temperatura del depósito: -130°C
- ✓ Presión del depósito: 8 bar

Model: Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model)

version: v2017.01.10003 (16/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 2 and Modelling source terms for the atmospheric dispersion of hazardous substances, Jaakko Kukkonen

Parameters

Inputs

Chemical name	METHANE (DIPPR)
Use which representative step	First 20% average (flammable)
Type of vessel outflow	Release from vessel through (a hole in) pipe
<i>Fixed Mass flow rate of the source (kg/s)</i>	
Pipeline length (m)	5
Pipeline diameter (mm)	25
Pipeline roughness (mm)	0,045
Hole diameter (mm)	5
Hole rounding	Sharp edges
<i>Discharge coefficient (-)</i>	0,62
Height difference between pipe entrance and exit (m)	0
Height leak above tank bottom (m)	0
Initial temperature in vessel (°C)	-130
Vessel volume (m3)	0,76
Vessel type	Horizontal cylinder
Length cylinder (m)	1,51
Filling degree (%)	80
Expansion type	Adiabatic
<i>n value</i>	
Pressure inside vessel determination	Use actual pressure
Initial (absolute) pressure in vessel (bar)	8
Type of calculation	Calculate until specified time
Maximum release duration (s)	1800
Ambient pressure (bar)	1,0151

Results

Initial mass in vessel (kg)	227,16
Initial (vapour) pressure in vessel (bar)	8
<i>Time needed to empty vessel (s)</i>	3598,7
Massflowrate at time t (kg/s)	0,070841
Total mass released at time t (kg)	132,66
Pressure in vessel at time t (bar)	6,4527
Temperature in vessel at time t (°C)	-133,02
VapourMass fraction at time t (-)	0,026212
Liquid mass in vessel at time t (kg)	91,925
Vapour mass in vessel at time t (kg)	5,1806
Height of liquid at time t (m)	0,28657

Fillingdegree at time t (%)	32,163
Exit pressure at time t (bar)	4,2494
Exit temperature at time t (°C)	-140,67
Maximum mass flow rate (kg/s)	0,086442
Representative release rate (kg/s)	0,078617
Representative outflow duration (s)	1800
Representative temperature (°C)	-138,33
Corresponding pressure (bar)	4,8521
Representative vapour mass fraction (-)	0,029167

Model: Liquefied Gas Spray Release

version: v2017.01.10783 (16/01/2017)

Reference: Yellow Book CPR14E, Page: 2.105 / 2.112, Section: 2.5.3.7 [Finite duration spray releases] AMINAL - Richtlijn voor het berekenen van Flash en Spray, 1997 C. Hulsbosh-Dam, An Approach to Carbon Dioxide Particle Distribution in Accidental Releases, Chemical Engineering Transactions Vol.26, 2012, ISBN 978-88-95608-17-4; ISSN 1974-9791

Parameters

Inputs

Chemical name	METHANE (DIPPR)
Type of Spray calculation	Spray release model (Yellow Book)
Mass flow rate of the source (kg/s)	0,078617
Exit temperature (°C)	-138,33
Exit pressure (bar)	4,8521
Exit vapour mass fraction (-)	0,029167
Hole diameter (mm)	5
Height leak above ground level (m)	1
Ambient temperature (°C)	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151
Ambient relative humidity (%)	70
<i>No of samples (accuracy)</i>	

Results

Adiabatic vapour flash fraction (-)	0,1647
AFTER FLASHING AND RAINOUT: liquid mass fraction (-)	0,78805
Nett mass flow to air (jet) (kg/s)	0,078617
Temperature jet/cloud (°C)	-161,49
Diameter jet/cloud (m)	0,0068618
Nett mass flow rained out (kg/s)	0
Temperature of the pool (°C)	-161,49
Density of the airborne mass (kg/m3)	8,1502
<i>Used Sauter Mean Diameter (micron)</i>	

LEL

Model: Neutral Gas Dispersion: Concentration

version: v2017.01.10898 (17/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 4

Parameters

Inputs

	LEL (5.1/D)	LEL (1.7/F)
Chemical name	METHANE (DIPPR)	METHANE (DIPPR)
Type of neutral gas release	Continuous	Continuous
Total mass released (kg)	132,66	132,66
Mass flow rate of the source (kg/s)	0,078617	0,078617
Duration of the release (s)	1800	1800
Height of release (Z-coordinate) (m)	1	1
Offset X direction (distance) start dispersion (m)	0	0
Offset Z direction (height) start dispersion (m)	0	0
Length source in wind (x) direction (m)	0,2	0,3

Length source in crosswind (y) direction (m)	0,2	0,3
Length source in vertical (z) direction (m)	0,2	0,3
Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Meteorological data	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)	F (Very Stable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
North/South latitude of the location (deg)	41	41
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)		
Mixing height (m)		
Stand. dev. of turbulent velocity in vertical direction (m/s)		
Stand. dev. of turbulent velocity in horizontal direction (m/s)		
	Low crops; occasional	Low crops; occasional
Roughness length description	large obstacles, x/h > 20.	large obstacles, x/h > 20.
Time t after start release (s)	120	120
Concentration averaging time (s)	20	20
Reporting distance (Xd) (m)	1000	1000
Distance perpendicular to wind direction (Yd) (m)	0	0
Height (Zd) (m)	1	1
Predefined concentration	Lower Flammability Limit	Lower Flammability Limit
Threshold concentration (mg/m3)	33352	33352
Contour plot accuracy (%)	1	1
Integration tolerance (%)	0,1	0,1
Predefined wind direction	W	W
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270	270
Use dynamic concentration presentation	No	No
Results	LEL (5.1/D)	LEL (1.7/F)
Concentration at (Xd, Yd, Zd, t) (mg/m3)	3,8254	71,18
Maximum concentration at (Yd, Zd) (mg/m3)	3,8529E05	5,1384E05
...at distance (m)	0	0
Mixing height used (m)	500	50
Stand. dev. of turbulent velocity in vert. direction used (m/s)	0,59167	0,10914
Stand. dev. of turbulent velocity in horiz. direction used (m/s)	0,86127	0,15951
Maximum distance to Lower Flammability Limit concentration (m)	2,7228	12,685
Width of Lower Flammability Limit outer contour (m)	0,25	0,52778
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) used (1/m)	0	0,073006

Masa explosiva

Model: Neutral Gas Dispersion: Flammable Cloud

version: v2017.01.10898 (17/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 4

Parameters

Inputs	Masa explosiva (1.7/F)	Masa explosiva (5.1/D)
Chemical name	METHANE (DIPPR)	METHANE (DIPPR)
Type of neutral gas release	Continuous	Continuous
Total mass released (kg)	132,66	132,66
Mass flow rate of the source (kg/s)	0,078617	0,078617
Duration of the release (s)	1800	1800
Height of release (Z-coordinate) (m)	1	1
Offset X direction (distance) start dispersion (m)	0	0

Offset Z direction (height) start dispersion (m)	0	0
Length source in wind (x) direction (m)	0,3	0,2
Length source in crosswind (y) direction (m)	0,3	0,2
Length source in vertical (z) direction (m)	0,3	0,2
Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Meteorological data	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	F (Very Stable)	D (Neutral)
Wind speed at 10 m height (m/s)	1,7	5,1
North/South latitude of the location (deg)	41	41
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)		
Mixing height (m)		
Stand. dev. of turbulent velocity in vertical direction (m/s)		
Stand. dev. of turbulent velocity in horizontal direction (m/s)		
	Low crops; occasional	Low crops; occasional
Roughness length description	large obstacles, x/h > 20.	large obstacles, x/h > 20.
Predefined wind direction	W	W
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270	270
	Time maximum	Time maximum
Reporting time flammable cloud	explosive mass	explosive mass
Time t after start release (s)		
Concentration averaging time (s)	20	20
Integration tolerance (%)	0,1	0,1
Use 50% LFL for cloud contour	No	No
Use mass between LFL and UFL	No	No
Use dynamic concentration presentation	No	No
Resolution of the time consuming graphs		

Results	Masa explosiva (1.7/F)	Masa explosiva (5.1/D)
Flammability threshold concentration (mg/m3)	33352	33352
Maximum distance to flammable concentration (m)	12,685	2,7215
Width of flammable cloud outer contour (m)	0,52778	0,25
Maximum flammable mass (kg)	0,35213	0,025949
Area of explosive cloud (m2)	4,5056	0,44858
Time T reported (s)	0	0
Flammable mass at time t (kg)	0,35213	0,025949
Area flammable cloud at time t (m2)	-1E300	-1E300
Height to LEL (m)	1,2	0,8
Length of cloud (between LEL) (m)	13,119	3,0108
Width of cloud (between LEL) (m)	0,5	0,25
Offset between release location and LEL (m)	-0,3125	-0,1875
Offset between release and cloud centre at time t (m)	6,2471	1,3179

Dardo de Fuego

Model: Jet Fire (Chamberlain model)

version: v2017.01.10780 (16/01/2017)

Reference: Chamberlain, G.A., Development in design methods for predicting thermal radiation from flares~Chem. Eng. Res. Des. Vol.65 July 1987 pagina 299 - 309~Cook, J. et al, A comprehensive program for the calculation of flame radiation levels~Loss Prev. in Process Ind. January 1990, vol.3 ~Damage: Green Book 1st edition 1992, chapter 1 (Heat radiation); pages 11-36

Parameters		
Inputs		
	JF (5.1/D)	JF (1.7/F)
Chemical name	METHANE	METHANE
	(DIPPR)	(DIPPR)
(Calculated) Mass flow rate (kg/s)	0,078617	0,078617
Exit temperature (°C)	-138,33	-138,33
Exit pressure (bar)	4,8521	4,8521
Hole diameter (mm)	5	5
Hole rounding	Sharp edges	Sharp edges
<i>Discharge coefficient (-)</i>	0,62	0,62
Outflow angle in XZ plane (0°=horizontal; 90°=vertical) (deg)	0	0
Release height (Stack height) (m)	1	1
Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Ambient relative humidity (%)	70	70
Meteorological data		
	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)	F (Very Stable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
<i>Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)</i>		
	Low crops; occasional	Low crops; occasional
	large	large
Roughness length description	obstacles, x/h	obstacles, x/h
	> 20.	> 20.
Flame temperature (°C)	926,85	926,85
Amount of CO2 in atmosphere (-)	0,0003	0,0003
Fraction of the flame covered by soot (-)	0	0
Maximum heat exposure duration (s)	20	20
Reporting distance (Xd) (m)	100	100
Height of the receiver (m)	1	1
Predefined wind direction	W	W
<i>Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)</i>	270	270
Heat radiation level (lowest) for first contour plot (kW/m2)	3,71	3,71
Heat radiation level for second contour plot (kW/m2)	6,64	6,64
Heat radiation level (highest) for third contour plot (kW/m2)	8	8
Report heat radiation grid	Yes	Yes
Resolution for surface discretization	Medium	Medium
Take protective effects of clothing into account	No	No
<i>Correction lethality protection clothing (-)</i>		
Percentage of mortality for contour calculations (%)	1	1
Heat radiation lethal damage Probit A ((sec*(W/m2)^n))	-36,38	-36,38
Heat radiation lethal damage Probit B	2,56	2,56
Heat radiation damage Probit N	1,3333	1,3333
Results		
	JF (5.1/D)	JF (1.7/F)
Type of flow of the jet	Two Phase flow	Two Phase flow
Wind speed at avg. jet height (m/s)	2,55	0,54422
Exit velocity of expanding jet (m/s)	76,243	76,243
Angle between hole and flame axis (alpha) (deg)	0	0
Frustum lift off height (b) (m)	0,091275	0,12193
Width of frustum base (W1) (m)	0,2433	0,0097506
Width of frustum tip (W2) (m)	2,3317	2,4075
Length of frustum (flame) (Rl) (m)	5,9938	8,0067

Surface area of frustum (m2)	28,925	35,293
Surface emissive power (max) (kW/m2)	37,281	30,554
Surface emissive power (actual) (kW/m2)	37,281	30,554
Heat radiation at Xd (kW/m2)	0,0040015	0,0036658
Atmospheric transmissivity at Xd (%)	69,702	69,849
View factor at Xd (-)	0,00015399	0,00017177
Heat radiation dose at Xd ($s \cdot (kW/m^2)^{4/3}$)	0,012705	0,011305
3,71 kW/m2 Heat radiation distance (m)	9,4518	11,268
6,64 kW/m2 Heat radiation distance (m)	8,5259	10,391
8 kW/m2 Heat radiation distance (m)	8,3022	10,152
Percentage first degree burns at Xd (%)	0	0
Percentage second degree burns at Xd (%)	0	0
Percentage third degree burns at Xd (%)	0	0
1% First degree burns distance (m)	9,4174	11,216
1% Second degree burns distance (m)	8,2478	9,9914
1% Third degree (Lethal) burns distance (m)	8,0357	9,9735

H.1.c. Fuga de GNL por orificio de 10 mm en la manguera de entrada al depósito de 225 kg de GNL de la SC

Fuga de gas licuado

- ✓ Grado de llenado del depósito: 80%
- ✓ Volumen del depósito: 0,76 m³
- ✓ Longitud del depósito (cilindro horizontal): 1,51 m
- ✓ Longitud de la manguera: 5 m
- ✓ Duración de fuga: 600 s
- ✓ Temperatura del depósito: -130°C
- ✓ Presión del depósito: 8 bar

Model: Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model)

version: v2017.01.10003 (16/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 2 and Modelling source terms for the atmospheric dispersion of hazardous substances, Jaakko Kukkonen

Parameters	
Inputs	
Chemical name	METHANE (DIPPR)
Use which representative step	First 20% average (flammable)
Type of vessel outflow	Release from vessel through (a hole in) pipe
<i>Fixed Mass flow rate of the source (kg/s)</i>	
Pipeline length (m)	5
Pipeline diameter (mm)	25
Pipeline roughness (mm)	0,045
Hole diameter (mm)	10
Hole rounding	Sharp edges
<i>Discharge coefficient (-)</i>	0,62
Height difference between pipe entrance and exit (m)	0
Height leak above tank bottom (m)	0
Initial temperature in vessel (°C)	-130
Vessel volume (m3)	0,76
Vessel type	Horizontal cylinder
Length cylinder (m)	1,51
Filling degree (%)	80
Expansion type	Adiabatic
<i>n value</i>	
Pressure inside vessel determination	Use actual pressure
Initial (absolute) pressure in vessel (bar)	8
Type of calculation	Calculate until specified time
Maximum release duration (s)	600
Ambient pressure (bar)	1,0151

Results	
Initial mass in vessel (kg)	227,16
Initial (vapour) pressure in vessel (bar)	8
<i>Time needed to empty vessel (s)</i>	873,69
Massflowrate at time t (kg/s)	0,273
Total mass released at time t (kg)	178,1
Pressure in vessel at time t (bar)	5,7865
Temperature in vessel at time t (°C)	-135,1
VapourMass fraction at time t (-)	0,024872
Liquid mass in vessel at time t (kg)	45,663
Vapour mass in vessel at time t (kg)	5,803
Height of liquid at time t (m)	0,17236

Fillingdegree at time t (%)	15,819
Exit pressure at time t (bar)	3,8224
Exit temperature at time t (°C)	-142,48
Maximum mass flow rate (kg/s)	0,35575
Representative release rate (kg/s)	0,32363
Representative outflow duration (s)	600
Representative temperature (°C)	-138,59
Corresponding pressure (bar)	4,7817
Representative vapour mass fraction (-)	0,029404

Model: Liquefied Gas Spray Release

version: v2017.01.10783 (16/01/2017)

Reference: Yellow Book CPR14E, Page: 2.105 / 2.112, Section: 2.5.3.7 [Finite duration spray releases] AMINAL - Richtlijn voor het berekenen van Flash en Spray, 1997 C. Hulsbosh-Dam, An Approach to Carbon Dioxide Particle Distribution in Accidental Releases, Chemical Engineering Transactions Vol.26, 2012, ISBN 978-88-95608-17-4; ISSN 1974-9791

Parameters

Inputs

Chemical name	METHANE (DIPPR)
Type of Spray calculation	Spray release model (Yellow Book)
Mass flow rate of the source (kg/s)	0,32363
Exit temperature (°C)	-138,59
Exit pressure (bar)	4,7817
Exit vapour mass fraction (-)	0,029404
Hole diameter (mm)	10
Height leak above ground level (m)	1
Ambient temperature (°C)	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151
Ambient relative humidity (%)	70
<i>No of samples (accuracy)</i>	

Results

Adiabatic vapour flash fraction (-)	0,16277
AFTER FLASHING AND RAINOUT: liquid mass fraction (-)	0,78939
Nett mass flow to air (jet) (kg/s)	0,32363
Temperature jet/cloud (°C)	-161,49
Diameter jet/cloud (m)	0,014061
Nett mass flow rained out (kg/s)	0
Temperature of the pool (°C)	-161,49
Density of the airborne mass (kg/m3)	8,201
<i>Used Sauter Mean Diameter (micron)</i>	

LEL

Model: Neutral Gas Dispersion: Concentration

version: v2017.01.10898 (17/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 4

Parameters

Inputs

	LEL (5.1/D)	LEL (1.7/F)
Chemical name	METHANE (DIPPR)	METHANE (DIPPR)
Type of neutral gas release	Continuous	Continuous
Total mass released (kg)	178,1	178,1
Mass flow rate of the source (kg/s)	0,32363	0,32363
Duration of the release (s)	600	600
Height of release (Z-coordinate) (m)	1	1
Offset X direction (distance) start dispersion (m)	0	0
Offset Z direction (height) start dispersion (m)	0	0
Length source in wind (x) direction (m)	0,3	0,5

Length source in crosswind (y) direction (m)	0,3	0,5
Length source in vertical (z) direction (m)	0,3	0,5
Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Meteorological data	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)	F (Very Stable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
North/South latitude of the location (deg)	41	41
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)		
Mixing height (m)		
Stand. dev. of turbulent velocity in vertical direction (m/s)		
Stand. dev. of turbulent velocity in horizontal direction (m/s)		
	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.
Roughness length description		
Time t after start release (s)	120	120
Concentration averaging time (s)	20	20
Reporting distance (Xd) (m)	1000	1000
Distance perpendicular to wind direction (Yd) (m)	0	0
Height (Zd) (m)	1	1
Predefined concentration	Lower Flammability Limit	Lower Flammability Limit
Threshold concentration (mg/m3)	33352	33352
Contour plot accuracy (%)	1	1
Integration tolerance (%)	0,1	0,1
Predefined wind direction	W	W
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270	270
Use dynamic concentration presentation	No	No
Results	LEL (5.1/D)	LEL (1.7/F)
Concentration at (Xd, Yd, Zd, t) (mg/m3)	15,748	292,99
Maximum concentration at (Yd, Zd) (mg/m3)	6,7819E05	6,7823E05
...at distance (m)	0	0
Mixing height used (m)	500	50
Stand. dev. of turbulent velocity in vert. direction used (m/s)	0,59167	0,10914
Stand. dev. of turbulent velocity in horiz. direction used (m/s)	0,86127	0,15951
Maximum distance to Lower Flammability Limit concentration (m)	6,7768	42,377
Width of Lower Flammability Limit outer contour (m)	0,5	1,1667
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) used (1/m)	0	0,073006

Masa explosiva

Model: Neutral Gas Dispersion: Flammable Cloud

version: v2017.01.10898 (17/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 4

Parameters

Inputs	Masa explosiva (5.1/D)	Masa explosiva (1.7/F)
Chemical name	METHANE (DIPPR)	METHANE (DIPPR)
Type of neutral gas release	Continuous	Continuous
Total mass released (kg)	178,1	178,1
Mass flow rate of the source (kg/s)	0,32363	0,32363
Duration of the release (s)	600	600
Height of release (Z-coordinate) (m)	1	1
Offset X direction (distance) start dispersion (m)	0	0

Offset Z direction (height) start dispersion (m)	0	0
Length source in wind (x) direction (m)	0,3	0,5
Length source in crosswind (y) direction (m)	0,3	0,5
Length source in vertical (z) direction (m)	0,3	0,5
Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Meteorological data	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)	F (Very Stable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
North/South latitude of the location (deg)	41	41
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)		
Mixing height (m)		
Stand. dev. of turbulent velocity in vertical direction (m/s)		
Stand. dev. of turbulent velocity in horizontal direction (m/s)		
	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.
Roughness length description		
Predefined wind direction	W	W
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270	270
	Time maximum explosive mass	Time maximum explosive mass
Reporting time flammable cloud		
Time t after start release (s)		
Concentration averaging time (s)	20	20
Integration tolerance (%)	0,1	0,1
Use 50% LFL for cloud contour	No	No
Use mass between LFL and UFL	No	No
Use dynamic concentration presentation	No	No
Resolution of the time consuming graphs		

Results	Masa explosiva (5.1/D)	Masa explosiva (1.7/F)
Flammability threshold concentration (mg/m ³)	33352	33352
Maximum distance to flammable concentration (m)	6,7768	38,096
Width of flammable cloud outer contour (m)	0,5	1,1667
Maximum flammable mass (kg)	0,26813	4,5149
Area of explosive cloud (m ²)	2,7379	33,456
Time T reported (s)	0	0
Flammable mass at time t (kg)	0,26813	4,5149
Area flammable cloud at time t (m ²)	-1E300	-1E300
Height to LEL (m)	1,6	2,2
Length of cloud (between LEL) (m)	7,133	38,556
Width of cloud (between LEL) (m)	0,5	1,0298
Offset between release location and LEL (m)	-0,3125	-0,5
Offset between release and cloud centre at time t (m)	3,254	18,778

Dardo de Fuego

Model: Jet Fire (Chamberlain model)

version: v2017.01.10780 (16/01/2017)

Reference: Chamberlain, G.A., Development in design methods for predicting thermal radiation from flares~Chem. Eng. Res. Des. Vol.65 July 1987 pagina 299 - 309~Cook, J. et al, A comprehensive program for the calculation of flame radiation levels~Loss Prev. in Process Ind. January 1990, vol.3 ~Damage: Green Book 1st edition 1992, chapter 1 (Heat radiation); pages 11-36

Parameters		
Inputs		
	JF (5.1/D)	JF (1.7/F)
Chemical name	METHANE (DIPPR)	METHANE (DIPPR)
(Calculated) Mass flow rate (kg/s)	0,32363	0,32363
Exit temperature (°C)	-138,59	-138,59
Exit pressure (bar)	4,7817	4,7817
Hole diameter (mm)	10	10
Hole rounding	Sharp edges	Sharp edges
<i>Discharge coefficient (-)</i>	0,62	0,62
Outflow angle in XZ plane (0°=horizontal; 90°=vertical) (deg)	0	0
Release height (Stack height) (m)	1	1
Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Ambient relative humidity (%)	70	70
Meteorological data	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)	F (Very Stable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
<i>Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)</i>		
	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.
Roughness length description		
Flame temperature (°C)	926,85	926,85
Amount of CO2 in atmosphere (-)	0,0003	0,0003
Fraction of the flame covered by soot (-)	0	0
Maximum heat exposure duration (s)	20	20
Reporting distance (Xd) (m)	100	100
Height of the receiver (m)	1	1
Predefined wind direction	W	W
<i>Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)</i>	270	270
Heat radiation level (lowest) for first contour plot (kW/m2)	3,71	3,71
Heat radiation level for second contour plot (kW/m2)	6,64	6,64
Heat radiation level (highest) for third contour plot (kW/m2)	8	8
Report heat radiation grid	Yes	Yes
Resolution for surface discretization	Medium	Medium
Take protective effects of clothing into account	No	No
<i>Correction lethality protection clothing (-)</i>		
Percentage of mortality for contour calculations (%)	1	1
Heat radiation lethal damage Probit A ((sec*(W/m2)^n))	-36,38	-36,38
Heat radiation lethal damage Probit B	2,56	2,56
Heat radiation damage Probit N	1,3333	1,3333
Results		
	JF (5.1/D)	JF (1.7/F)
Type of flow of the jet	Two Phase flow	Two Phase flow
Wind speed at avg. jet height (m/s)	2,55	0,54422
Exit velocity of expanding jet (m/s)	73,966	73,966
Angle between hole and flame axis (alpha) (deg)	0	0
Frustum lift off height (b) (m)	0,16811	0,22457
Width of frustum base (W1) (m)	0,61682	0,02055
Width of frustum tip (W2) (m)	4,3199	4,4493
Length of frustum (flame) (Rl) (m)	11,039	14,746

Surface area of frustum (m2)	101,75	120,25
Surface emissive power (max) (kW/m2)	43,819	37,08
Surface emissive power (actual) (kW/m2)	43,819	37,08
Heat radiation at Xd (kW/m2)	0,018174	0,01784
Atmospheric transmissivity at Xd (%)	70,071	70,35
View factor at Xd (-)	0,00059191	0,00068389
Heat radiation dose at Xd ($s \cdot (kW/m^2)^{4/3}$)	0,095565	0,093229
3,71 kW/m2 Heat radiation distance (m)	17,861	21,24
6,64 kW/m2 Heat radiation distance (m)	16,066	19,513
8 kW/m2 Heat radiation distance (m)	15,583	19,049
Percentage first degree burns at Xd (%)	0	0
Percentage second degree burns at Xd (%)	0	0
Percentage third degree burns at Xd (%)	0	0
1% First degree burns distance (m)	17,554	20,959
1% Second degree burns distance (m)	15,331	18,815
1% Third degree (Lethal) burns distance (m)	15,139	18,614

H.1.d. Rotura catastrófica de la manguera de GNL (orificio de 25 mm) de entrada al depósito de 225 kg de GNL de la SC

Fuga de gas licuado

- ✓ Grado de llenado del depósito: 80%
- ✓ Volumen del depósito: 0,76 m³
- ✓ Longitud del depósito (cilindro horizontal): 1,51 m
- ✓ Duración de fuga: 120 s
- ✓ Temperatura del depósito: -130°C
- ✓ Presión del depósito: 8 bar

Model: Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model)

version: v2017.01.10003 (16/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 2 and Modelling source terms for the atmospheric dispersion of hazardous substances, Jaakko Kukkonen

Parameters	
Inputs	
Chemical name	METHANE (DIPPR)
Use which representative step	First 20% average (flammable)
Type of vessel outflow	Release from vessel through (a hole in) pipe
<i>Fixed Mass flow rate of the source (kg/s)</i>	
Pipeline length (m)	5
Pipeline diameter (mm)	25
Pipeline roughness (mm)	0,045
Hole diameter (mm)	25
Hole rounding	Rounded edges
<i>Discharge coefficient (-)</i>	1
Height difference between pipe entrance and exit (m)	0
Height leak above tank bottom (m)	0
Initial temperature in vessel (°C)	-130
Vessel volume (m3)	0,76
Vessel type	Horizontal cylinder
Length cylinder (m)	1,51
Filling degree (%)	80
Expansion type	Adiabatic
<i>n value</i>	
Pressure inside vessel determination	Use actual pressure
Initial (absolute) pressure in vessel (bar)	8
Type of calculation	Calculate until specified time
Maximum release duration (s)	120
Ambient pressure (bar)	1,0151

Results	
Initial mass in vessel (kg)	227,16
Initial (vapour) pressure in vessel (bar)	8
<i>Time needed to empty vessel (s)</i>	142,71
Massflowrate at time t (kg/s)	1,4191
Total mass released at time t (kg)	220,85
Pressure in vessel at time t (bar)	4,2196
Temperature in vessel at time t (°C)	-140,79
VapourMass fraction at time t (-)	0,019809
Liquid mass in vessel at time t (kg)	2,6238
Vapour mass in vessel at time t (kg)	5,0868
Height of liquid at time t (m)	0,024231
Fillingdegree at time t (%)	0,88586
Exit pressure at time t (bar)	2,9159

Exit temperature at time t (°C)	-146,88
Maximum mass flow rate (kg/s)	2,2871
Representative release rate (kg/s)	2,0707
Representative outflow duration (s)	110
Representative temperature (°C)	-138,36
Corresponding pressure (bar)	4,8463
Representative vapour mass fraction (-)	0,029238

Model: Liquefied Gas Spray Release

version: v2017.01.10783 (16/01/2017)

Reference: Yellow Book CPR14E, Page: 2.105 / 2.112, Section: 2.5.3.7 [Finite duration spray releases] AMINAL - Richtlijn voor het berekenen van Flash en Spray, 1997 C. Hulsbosh-Dam, An Approach to Carbon Dioxide Particle Distribution in Accidental Releases, Chemical Engineering Transactions Vol.26, 2012, ISBN 978-88-95608-17-4; ISSN 1974-9791

Parameters

Inputs

Chemical name	METHANE (DIPPR)
Type of Spray calculation	Spray release model (Yellow Book)
Mass flow rate of the source (kg/s)	2,0707
Exit temperature (°C)	-138,36
Exit pressure (bar)	4,8463
Exit vapour mass fraction (-)	0,029238
Hole diameter (mm)	25
Height leak above ground level (m)	1
Ambient temperature (°C)	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151
Ambient relative humidity (%)	70
No of samples (accuracy)	

Results

Adiabatic vapour flash fraction (-)	0,16453
AFTER FLASHING AND RAINOUT: liquid mass fraction (-)	0,78728
Nett mass flow to air (jet) (kg/s)	2,0707
Temperature jet/cloud (°C)	-161,49
Diameter jet/cloud (m)	0,036
Nett mass flow rained out (kg/s)	0
Temperature of the pool (°C)	-161,49
Density of the airborne mass (kg/m3)	8,1213
Used Sauter Mean Diameter (micron)	

LEL

Model: Neutral Gas Dispersion: Concentration

version: v2017.01.10898 (17/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 4

Parameters

Inputs

	LEL (5.1/D)	LEL (1.7/F)
Chemical name	METHANE (DIPPR)	METHANE (DIPPR)
Type of neutral gas release	Continuous	Continuous
Total mass released (kg)	220,85	220,85
Mass flow rate of the source (kg/s)	2,0707	2,0707
Duration of the release (s)	110	110
Height of release (Z-coordinate) (m)	1	1
Offset X direction (distance) start dispersion (m)	0	0
Offset Z direction (height) start dispersion (m)	0	0
Length source in wind (x) direction (m)	0,8	1,3
Length source in crosswind (y) direction (m)	0,8	1,3
Length source in vertical (z) direction (m)	0,8	1,3

Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Meteorological data	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)	F (Very Stable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
North/South latitude of the location (deg)	41	41
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)		
Mixing height (m)		
Stand. dev. of turbulent velocity in vertical direction (m/s)		
Stand. dev. of turbulent velocity in horizontal direction (m/s)		
	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.
Roughness length description		
Time t after start release (s)	120	120
Concentration averaging time (s)	20	20
Reporting distance (Xd) (m)	1000	1000
Distance perpendicular to wind direction (Yd) (m)	0	0
Height (Zd) (m)	1	1
Predefined concentration	Lower Flammability Limit	Lower Flammability Limit
Threshold concentration (mg/m3)	33352	33352
Contour plot accuracy (%)	1	1
Integration tolerance (%)	0,1	0,1
Predefined wind direction	W	W
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270	270
Use dynamic concentration presentation	No	No
Results	LEL (5.1/D)	LEL (1.7/F)
Concentration at (Xd, Yd, Zd, t) (mg/m3)	100,75	1873,5
Maximum concentration at (Yd, Zd) (mg/m3)	6,3441E05	6,7823E05
...at distance (m)	0	0
Mixing height used (m)	500	50
Stand. dev. of turbulent velocity in vert. direction used (m/s)	0,59167	0,10914
Stand. dev. of turbulent velocity in horiz. direction used (m/s)	0,86127	0,15951
Maximum distance to Lower Flammability Limit concentration (m)	29,116	155,83
Width of Lower Flammability Limit outer contour (m)	2	4,5783
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) used (1/m)	0	0,073006

Masa explosiva

Model: Neutral Gas Dispersion: Flammable Cloud

version: v2017.01.10898 (17/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 4

Parameters

Inputs	Masa explosiva (5.1/D)	Masa explosiva (1.7/F)
Chemical name	METHANE (DIPPR)	METHANE (DIPPR)
Type of neutral gas release	Continuous	Continuous
Total mass released (kg)	220,85	220,85
Mass flow rate of the source (kg/s)	2,0707	2,0707
Duration of the release (s)	110	110
Height of release (Z-coordinate) (m)	1	1
Offset X direction (distance) start dispersion (m)	0	0
Offset Z direction (height) start dispersion (m)	0	0
Length source in wind (x) direction (m)	0,8	1,3

Length source in crosswind (y) direction (m)	0,8	1,3
Length source in vertical (z) direction (m)	0,8	1,3
Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Meteorological data	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)	F (Very Stable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
North/South latitude of the location (deg)	41	41
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)		
Mixing height (m)		
Stand. dev. of turbulent velocity in vertical direction (m/s)		
Stand. dev. of turbulent velocity in horizontal direction (m/s)		
	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.
Roughness length description		
Predefined wind direction	W	W
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270	270
	Time maximum explosive mass	Time maximum explosive mass
Reporting time flammable cloud		
Time t after start release (s)		
Concentration averaging time (s)	20	20
Integration tolerance (%)	0,1	0,1
Use 50% LFL for cloud contour	No	No
Use mass between LFL and UFL	No	No
Use dynamic concentration presentation	No	No
Resolution of the time consuming graphs		

Results	Masa explosiva (5.1/D)	Masa explosiva (1.7/F)
Flammability threshold concentration (mg/m3)	33352	33352
Maximum distance to flammable concentration (m)	27,8	151,84
Width of flammable cloud outer contour (m)	2	4,5783
Maximum flammable mass (kg)	7,1121	113,57
Area of explosive cloud (m2)	42,081	535,55
Time T reported (s)	0	0
Flammable mass at time t (kg)	7,1121	113,57
Area flammable cloud at time t (m2)	-1E300	-1E300
Height to LEL (m)	2,8	3,6
Length of cloud (between LEL) (m)	28,546	152,94
Width of cloud (between LEL) (m)	1,8967	4,5783
Offset between release location and LEL (m)	-0,83333	-1,25
Offset between release and cloud centre at time t (m)	13,44	75,22

Dardo de Fuego

Model: Jet Fire (Chamberlain model)

version: v2017.01.10780 (16/01/2017)

Reference: Chamberlain, G.A., Development in design methods for predicting thermal radiation from flares~Chem. Eng. Res. Des. Vol.65 July 1987 pagina 299 - 309~Cook, J. et al, A comprehensive program for the calculation of flame radiation levels~Loss Prev. in Process Ind. January 1990, vol.3 ~Damage: Green Book 1st edition 1992, chapter 1 (Heat radiation); pages 11-36

Parameters		
Inputs	JF (5.1/D)	JF (1.7/F)
Chemical name	METHANE (DIPPR)	METHANE (DIPPR)
(Calculated) Mass flow rate (kg/s)	2,0707	2,0707
Exit temperature (°C)	-138,36	-138,36
Exit pressure (bar)	4,8463	4,8463
Hole diameter (mm)	25	25
Hole rounding	Rounded edges	Rounded edges
<i>Discharge coefficient (-)</i>	1	1
Outflow angle in XZ plane (0°=horizontal; 90°=vertical) (deg)	0	0
Release height (Stack height) (m)	1	1
Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Ambient relative humidity (%)	70	70
Meteorological data	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)	F (Very Stable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
<i>Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)</i>		
	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.
Roughness length description		
Flame temperature (°C)	926,85	926,85
Amount of CO2 in atmosphere (-)	0,0003	0,0003
Fraction of the flame covered by soot (-)	0	0
Maximum heat exposure duration (s)	20	20
Reporting distance (Xd) (m)	100	100
Height of the receiver (m)	1	1
Predefined wind direction	W	W
<i>Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)</i>	270	270
Heat radiation level (lowest) for first contour plot (kW/m2)	3,71	3,71
Heat radiation level for second contour plot (kW/m2)	6,64	6,64
Heat radiation level (highest) for third contour plot (kW/m2)	8	8
Report heat radiation grid	Yes	Yes
Resolution for surface discretization	Medium	Medium
Take protective effects of clothing into account	No	No
<i>Correction lethality protection clothing (-)</i>		
Percentage of mortality for contour calculations (%)	1	1
Heat radiation lethal damage Probit A ((sec*(W/m2)^n))	-36,38	-36,38
Heat radiation lethal damage Probit B	2,56	2,56
Heat radiation damage Probit N	1,3333	1,3333
Results	JF (5.1/D)	JF (1.7/F)
Type of flow of the jet	Two Phase flow	Two Phase flow
Wind speed at avg. jet height (m/s)	2,55	0,54423
Exit velocity of expanding jet (m/s)	101,88	101,88
Angle between hole and flame axis (alpha) (deg)	0	0
Frustum lift off height (b) (m)	0,35562	0,47505
Width of frustum base (W1) (m)	0,22787	0,051029
Width of frustum tip (W2) (m)	8,5789	9,1098

Length of frustum (flame) (Rl) (m)	23,352	31,195
Surface area of frustum (m2)	386,02	518,78
Surface emissive power (max) (kW/m2)	70,079	52,144
Surface emissive power (actual) (kW/m2)	70,079	52,144
Heat radiation at Xd (kW/m2)	0,15715	0,16586
Atmospheric transmissivity at Xd (%)	71,097	71,811
View factor at Xd (-)	0,003154	0,0044294
Heat radiation dose at Xd (s*(kW/m2)^4/3)	1,696	1,8226
3,71 kW/m2 Heat radiation distance (m)	40,071	46,574
6,64 kW/m2 Heat radiation distance (m)	35,831	42,633
8 kW/m2 Heat radiation distance (m)	34,687	41,57
Percentage first degree burns at Xd (%)	0	0
Percentage second degree burns at Xd (%)	0	0
Percentage third degree burns at Xd (%)	0	0
1% First degree burns distance (m)	39,335	45,905
1% Second degree burns distance (m)	33,875	40,874
1% Third degree (Lethal) burns distance (m)	33,511	40,471

H.2.a. Fuga de GNL por orificio de 2,5 mm en la manguera de entrada al depósito de 450 kg de GNL de la SC

Fuga de gas licuado

- ✓ Grado de llenado del depósito: 80%
- ✓ Volumen del depósito: 1,94 m³
- ✓ Longitud del depósito (cilindro horizontal): 1,94 m
- ✓ Duración de fuga: 3600 s
- ✓ Temperatura del depósito: -130°C
- ✓ Presión del depósito: 8 bar

Model: Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model)

version: v2017.01.10003 (16/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 2 and Modelling source terms for the atmospheric dispersion of hazardous substances, Jaakko Kukkonen

Parameters

Inputs

Chemical name	METHANE (DIPPR)
Use which representative step	First 20% average (flammable)
Type of vessel outflow	Release from vessel through (a hole in) pipe
<i>Fixed Mass flow rate of the source (kg/s)</i>	
Pipeline length (m)	5
Pipeline diameter (mm)	25
Pipeline roughness (mm)	0,045
Hole diameter (mm)	2,5
Hole rounding	Sharp edges
<i>Discharge coefficient (-)</i>	0,62
Height difference between pipe entrance and exit (m)	0
Height leak above tank bottom (m)	0
Initial temperature in vessel (°C)	-130
Vessel volume (m3)	1,52
Vessel type	Horizontal cylinder
Length cylinder (m)	1,94
Filling degree (%)	80
Expansion type	Adiabatic
<i>n value</i>	
Pressure inside vessel determination	Use actual pressure
Initial (absolute) pressure in vessel (bar)	8
Type of calculation	Calculate until specified time
Maximum release duration (s)	3600
Ambient pressure (bar)	1,0151

Results

Initial mass in vessel (kg)	454,32
Initial (vapour) pressure in vessel (bar)	8
<i>Time needed to empty vessel (s)</i>	31324
Massflowrate at time t (kg/s)	0,017755
Total mass released at time t (kg)	63,568
Pressure in vessel at time t (bar)	7,3275
Temperature in vessel at time t (°C)	-130,51
VapourMass fraction at time t (-)	0,027724
Liquid mass in vessel at time t (kg)	386,76
Vapour mass in vessel at time t (kg)	5,424
Height of liquid at time t (m)	0,64669
Fillingdegree at time t (%)	68,501
Exit pressure at time t (bar)	4,8249

Exit temperature at time t (°C)	-138,43
Maximum mass flow rate (kg/s)	0,020046
Representative release rate (kg/s)	0,018823
Representative outflow duration (s)	1800
Representative temperature (°C)	-137,59
Corresponding pressure (bar)	5,0547
Representative vapour mass fraction (-)	0,026815

Model: Liquefied Gas Spray Release

version: v2017.01.10783 (16/01/2017)

Reference: Yellow Book CPR14E, Page: 2.105 / 2.112, Section: 2.5.3.7 [Finite duration spray releases] AMINAL - Richtlijn voor het berekenen van Flash en Spray, 1997 C. Hulsbosh-Dam, An Approach to Carbon Dioxide Particle Distribution in Accidental Releases, Chemical Engineering Transactions Vol.26, 2012, ISBN 978-88-95608-17-4; ISSN 1974-9791

Parameters

Inputs

Chemical name	METHANE (DIPPR)
Type of Spray calculation	Spray release model (Yellow Book)
Mass flow rate of the source (kg/s)	0,018823
Exit temperature (°C)	-137,59
Exit pressure (bar)	5,0547
Exit vapour mass fraction (-)	0,026815
Hole diameter (mm)	2,5
Height leak above ground level (m)	1
Ambient temperature (°C)	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151
Ambient relative humidity (%)	70
<i>No of samples (accuracy)</i>	

Results

Adiabatic vapour flash fraction (-)	0,17019
AFTER FLASHING AND RAINOUT: liquid mass fraction (-)	0,78532
Nett mass flow to air (jet) (kg/s)	0,018823
Temperature jet/cloud (°C)	-161,49
Diameter jet/cloud (m)	0,0033592
Nett mass flow rained out (kg/s)	0
Temperature of the pool (°C)	-161,49
Density of the airborne mass (kg/m3)	8,0486
<i>Used Sauter Mean Diameter (micron)</i>	

LEL

Model: Neutral Gas Dispersion: Concentration

version: v2017.01.10898 (16/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 4

Parameters

Inputs

	LEL (5.1/D)	LEL (1.7/F)
Chemical name	METHANE (DIPPR)	METHANE (DIPPR)
Type of neutral gas release	Continuous	Continuous
Total mass released (kg)	63,568	63,568
Mass flow rate of the source (kg/s)	0,018823	0,018823
Duration of the release (s)	1800	1800
Height of release (Z-coordinate) (m)	1	1
Offset X direction (distance) start dispersion (m)	0	0
Offset Z direction (height) start dispersion (m)	0	0
Length source in wind (x) direction (m)	0,1	0,1
Length source in crosswind (y) direction (m)	0,1	0,1
Length source in vertical (z) direction (m)	0,1	0,1

Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Meteorological data	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)	F (Very Stable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
North/South latitude of the location (deg)	41	41
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)		
Mixing height (m)		
Stand. dev. of turbulent velocity in vertical direction (m/s)		
Stand. dev. of turbulent velocity in horizontal direction (m/s)		
	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.
Roughness length description		
Time t after start release (s)	120	120
Concentration averaging time (s)	20	20
Reporting distance (Xd) (m)	1000	1000
Distance perpendicular to wind direction (Yd) (m)	0	0
Height (Zd) (m)	1,5	1
Predefined concentration	Lower Flammability Limit	Lower Flammability Limit
Threshold concentration (mg/m3)	33352	33352
Contour plot accuracy (%)	1	1
Integration tolerance (%)	0,1	0,1
Predefined wind direction	W	W
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270	270
Use dynamic concentration presentation	No	No
Results	LEL (5.1/D)	LEL (1.7/F)
Concentration at (Xd, Yd, Zd, t) (mg/m3)	0,91552	17,043
Maximum concentration at (Yd, Zd) (mg/m3)	4686	6,7823E05
...at distance (m)	2,0833	0
Mixing height used (m)	500	50
Stand. dev. of turbulent velocity in vert. direction used (m/s)	0,59167	0,10914
Stand. dev. of turbulent velocity in horiz. direction used (m/s)	0,86127	0,15951
Maximum distance to Lower Flammability Limit concentration (m)	1,1529	5,1012
Width of Lower Flammability Limit outer contour (m)		0
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) used (1/m)	0	0,073006

Masa explosiva

Model: Neutral Gas Dispersion: Flammable Cloud

version: v2017.01.10898 (16/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 4

Parameters

Inputs	Masa explosiva (5.1/D)	Masa explosiva (1.7/F)
Chemical name	METHANE (DIPPR)	METHANE (DIPPR)
Type of neutral gas release	Continuous	Continuous
Total mass released (kg)	63,568	63,568
Mass flow rate of the source (kg/s)	0,018823	0,018823
Duration of the release (s)	1800	1800
Height of release (Z-coordinate) (m)	1	1
Offset X direction (distance) start dispersion (m)	0	0
Offset Z direction (height) start dispersion (m)	0	0
Length source in wind (x) direction (m)	0,1	0,1

Length source in crosswind (y) direction (m)	0,1	0,1
Length source in vertical (z) direction (m)	0,1	0,1
Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Meteorological data	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)	F (Very Stable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
North/South latitude of the location (deg)	41	41
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)		
Mixing height (m)		
Stand. dev. of turbulent velocity in vertical direction (m/s)		
Stand. dev. of turbulent velocity in horizontal direction (m/s)		
	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.
Roughness length description		
Predefined wind direction	W	W
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270	270
	Time maximum explosive mass	Time maximum explosive mass
Reporting time flammable cloud		
Time t after start release (s)		
Concentration averaging time (s)	20	20
Integration tolerance (%)	0,1	0,1
Use 50% LFL for cloud contour	No	No
Use mass between LFL and UFL	No	No
Use dynamic concentration presentation	No	No
Resolution of the time consuming graphs		

Results	Masa explosiva (5.1/D)	Masa explosiva (1.7/F)
Flammability threshold concentration (mg/m3)	33352	33352
Maximum distance to flammable concentration (m)	1,1529	5,1012
Width of flammable cloud outer contour (m)	0	0
Maximum flammable mass (kg)	0	0
Maximum area of flammable cloud (m2)	0	0
Time T reported (s)	0	0
Flammable mass at time t (kg)	0	0
Area flammable cloud at time t (m2)	-1E300	-1E300
Height to LFL a time T (m)	0	0
Length of flammable cloud at time t (m)	0	0
Width of flammable cloud at time t (m)	0	0
Offset between release and flammable cloud at time t (m)	0	0
Offset between release and cloud centre at time t (m)	0	0

Dardo de Fuego

Model: Jet Fire (Chamberlain model)

version: v2017.01.10780 (16/01/2017)

Reference: Chamberlain, G.A., Development in design methods for predicting thermal radiation from flares~Chem. Eng. Res. Des. Vol.65 July 1987 pagina 299 - 309~Cook, J. et al, A comprehensive program for the calculation of flame radiation levels~Loss Prev. in Process Ind. January 1990, vol.3 ~Damage: Green Book 1st edition 1992, chapter 1 (Heat radiation); pages 11-36

Parameters		
Inputs		
	JF (5.1/D)	JF (1.7/F)
Chemical name	METHANE (DIPPR)	METHANE (DIPPR)
(Calculated) Mass flow rate (kg/s)	0,018823	0,018823
Exit temperature (°C)	-137,59	-137,59
Exit pressure (bar)	5,0547	5,0547
Hole diameter (mm)	2,5	2,5
Hole rounding	Sharp edges	Sharp edges
<i>Discharge coefficient (-)</i>	0,62	0,62
Outflow angle in XZ plane (0°=horizontal; 90°=vertical) (deg)	0	0
Release height (Stack height) (m)	1	1
Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Ambient relative humidity (%)	70	70
Meteorological data	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)	F (Very Stable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
<i>Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)</i>		
	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.
Roughness length description		
Flame temperature (°C)	926,85	926,85
Amount of CO2 in atmosphere (-)	0,0003	0,0003
Fraction of the flame covered by soot (-)	0	0
Maximum heat exposure duration (s)	20	20
Reporting distance (Xd) (m)	100	100
Height of the receiver (m)	1	1
Predefined wind direction	W	W
<i>Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)</i>	270	270
Heat radiation level (lowest) for first contour plot (kW/m2)	3,71	3,71
Heat radiation level for second contour plot (kW/m2)	6,64	6,64
Heat radiation level (highest) for third contour plot (kW/m2)	8	8
Report heat radiation grid	Yes	Yes
Resolution for surface discretization	Medium	Medium
Take protective effects of clothing into account	No	No
<i>Correction lethality protection clothing (-)</i>		
Percentage of mortality for contour calculations (%)	1	1
Heat radiation lethal damage Probit A ((sec*(W/m2)^n))	-36,38	-36,38
Heat radiation lethal damage Probit B	2,56	2,56
Heat radiation damage Probit N	1,3333	1,3333

Results		
	JF (5.1/D)	JF (1.7/F)
Type of flow of the jet	Two Phase flow	Two Phase flow
Wind speed at avg. jet height (m/s)	2,55	0,54422
Exit velocity of expanding jet (m/s)	81,494	81,494
Angle between hole and flame axis (alpha) (deg)	0	0
Frustum lift off height (b) (m)	0,048705	0,065062
Width of frustum base (W1) (m)	0,060574	0,0046388
Width of frustum tip (W2) (m)	1,228	1,2754
Length of frustum (flame) (Rl) (m)	3,1983	4,2724

Surface area of frustum (m2)	7,7677	9,9622
Surface emissive power (max) (kW/m2)	32,904	25,656
Surface emissive power (actual) (kW/m2)	32,904	25,656
Heat radiation at Xd (kW/m2)	0,00092161	0,00079369
Atmospheric transmissivity at Xd (%)	69,498	69,577
View factor at Xd (-)	4,0302E-05	4,4463E-05
Heat radiation dose at Xd (s*(kW/m2)^4/3)	0,0017937	0,0014697
3,71 kW/m2 Heat radiation distance (m)	4,9522	5,9009
6,64 kW/m2 Heat radiation distance (m)	4,4768	5,4517
8 kW/m2 Heat radiation distance (m)	4,3868	5,3603
Percentage first degree burns at Xd (%)	0	0
Percentage second degree burns at Xd (%)	0	0
Percentage third degree burns at Xd (%)	0	0
1% First degree burns distance (m)	4,9843	5,9764
1% Second degree burns distance (m)	4,4789	5,4743
1% Third degree (Lethal) burns distance (m)	4,4592	5,4499

H.2.b. Fuga de GNL por orificio de 5 mm en la manguera de entrada al depósito de 450 kg de GNL de la SC

Fuga de gas licuado

- ✓ Grado de llenado del depósito: 80%
- ✓ Volumen del depósito: 1,94 m³
- ✓ Longitud del depósito (cilindro horizontal): 1,94 m
- ✓ Duración de fuga: 1.800 s
- ✓ Temperatura del depósito: -130°C
- ✓ Presión del depósito: 8 bar

Model: Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model)

version: v2017.01.10003 (16/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 2 and Modelling source terms for the atmospheric dispersion of hazardous substances, Jaakko Kukkonen

Parameters	
Inputs	
Chemical name	METHANE (DIPPR)
Use which representative step	First 20% average (flammable)
Type of vessel outflow	Release from vessel through (a hole in) pipe
<i>Fixed Mass flow rate of the source (kg/s)</i>	
Pipeline length (m)	5
Pipeline diameter (mm)	25
Pipeline roughness (mm)	0,045
Hole diameter (mm)	5
Hole rounding	Sharp edges
<i>Discharge coefficient (-)</i>	0,62
Height difference between pipe entrance and exit (m)	0
Height leak above tank bottom (m)	0
Initial temperature in vessel (°C)	-130
Vessel volume (m3)	1,52
Vessel type	Horizontal cylinder
Length cylinder (m)	1,94
Filling degree (%)	80
Expansion type	Adiabatic
<i>n value</i>	
Pressure inside vessel determination	Use actual pressure
Initial (absolute) pressure in vessel (bar)	8
Type of calculation	Calculate until specified time
Maximum release duration (s)	1800
Ambient pressure (bar)	1,0151

Results	
Initial mass in vessel (kg)	454,32
Initial (vapour) pressure in vessel (bar)	8
<i>Time needed to empty vessel (s)</i>	7220
Massflowrate at time t (kg/s)	0,075489
Total mass released at time t (kg)	136,16
Pressure in vessel at time t (bar)	7,061
Temperature in vessel at time t (°C)	-131,25
VapourMass fraction at time t (-)	0,02782
Liquid mass in vessel at time t (kg)	313,52
Vapour mass in vessel at time t (kg)	7,4283
Height of liquid at time t (m)	0,54121
Fillingdegree at time t (%)	55,325
Exit pressure at time t (bar)	4,6039

Exit temperature at time t (°C)	-139,27
Maximum mass flow rate (kg/s)	0,086529
Representative release rate (kg/s)	0,079323
Representative outflow duration (s)	1800
Representative temperature (°C)	-138,19
Corresponding pressure (bar)	4,8919
Representative vapour mass fraction (-)	0,028703

Model: Liquefied Gas Spray Release

version: v2017.01.10783 (16/01/2017)

Reference: Yellow Book CPR14E, Page: 2.105 / 2.112, Section: 2.5.3.7 [Finite duration spray releases] AMINAL - Richtlijn voor het berekenen van Flash en Spray, 1997 C. Hulsbosh-Dam, An Approach to Carbon Dioxide Particle Distribution in Accidental Releases, Chemical Engineering Transactions Vol.26, 2012, ISBN 978-88-95608-17-4; ISSN 1974-9791

Parameters

Inputs

Chemical name	METHANE (DIPPR)
Type of Spray calculation	Spray release model (Yellow Book)
Mass flow rate of the source (kg/s)	0,079323
Exit temperature (°C)	-138,19
Exit pressure (bar)	4,8919
Exit vapour mass fraction (-)	0,028703
Hole diameter (mm)	5
Height leak above ground level (m)	1
Ambient temperature (°C)	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151
Ambient relative humidity (%)	70
<i>No of samples (accuracy)</i>	

Results

Adiabatic vapour flash fraction (-)	0,16579
AFTER FLASHING AND RAINOUT: liquid mass fraction (-)	0,78716
Nett mass flow to air (jet) (kg/s)	0,079323
Temperature jet/cloud (°C)	-161,49
Diameter jet/cloud (m)	0,0069474
Nett mass flow rained out (kg/s)	0
Temperature of the pool (°C)	-161,49
Density of the airborne mass (kg/m3)	8,1168
<i>Used Sauter Mean Diameter (micron)</i>	

LEL

Model: Neutral Gas Dispersion: Concentration

version: v2017.01.10898 (17/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 4

Parameters

Inputs

	LEL (5.1/D)	LEL (1.7/F)
Chemical name	METHANE (DIPPR)	METHANE (DIPPR)
Type of neutral gas release	Continuous	Continuous
Total mass released (kg)	136,16	136,16
Mass flow rate of the source (kg/s)	0,079323	0,079323
Duration of the release (s)	1800	1800
Height of release (Z-coordinate) (m)	1	1
Offset X direction (distance) start dispersion (m)	0	0
Offset Z direction (height) start dispersion (m)	0	0
Length source in wind (x) direction (m)	0,2	0,3
Length source in crosswind (y) direction (m)	0,2	0,3
Length source in vertical (z) direction (m)	0,2	0,3

Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Meteorological data	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)	F (Very Stable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
North/South latitude of the location (deg)	41	41
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)		
Mixing height (m)		
Stand. dev. of turbulent velocity in vertical direction (m/s)		
Stand. dev. of turbulent velocity in horizontal direction (m/s)		
Roughness length description	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.
Time t after start release (s)	120	120
Concentration averaging time (s)	20	20
Reporting distance (Xd) (m)	1000	1000
Distance perpendicular to wind direction (Yd) (m)	0	0
Height (Zd) (m)	1	1
Predefined concentration	Lower Flammability Limit	Lower Flammability Limit
Threshold concentration (mg/m3)	33352	33352
Contour plot accuracy (%)	1	1
Integration tolerance (%)	0,1	0,1
Predefined wind direction	W	W
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270	270
Use dynamic concentration presentation	No	No
Results	LEL (5.1/D)	LEL (1.7/F)
Concentration at (Xd, Yd, Zd, t) (mg/m3)	3,8598	71,819
Maximum concentration at (Yd, Zd) (mg/m3)	3,8875E05	5,1845E05
...at distance (m)	0	0
Mixing height used (m)	500	50
Stand. dev. of turbulent velocity in vert. direction used (m/s)	0,59167	0,10914
Stand. dev. of turbulent velocity in horiz. direction used (m/s)	0,86127	0,15951
Maximum distance to Lower Flammability Limit concentration (m)	2,7374	12,764
Width of Lower Flammability Limit outer contour (m)	0,25	0,52778
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) used (1/m)	0	0,073006

Masa explosiva

Model: Neutral Gas Dispersion: Flammable Cloud

version: v2017.01.10898 (17/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 4

Parameters

Inputs	Masa explosiva (5.1/D)	Masa explosiva (1.7/F)
Chemical name	METHANE (DIPPR)	METHANE (DIPPR)
Type of neutral gas release	Continuous	Continuous
Total mass released (kg)	136,16	136,16
Mass flow rate of the source (kg/s)	0,079323	0,079323
Duration of the release (s)	1800	1800
Height of release (Z-coordinate) (m)	1	1
Offset X direction (distance) start dispersion (m)	0	0
Offset Z direction (height) start dispersion (m)	0	0
Length source in wind (x) direction (m)	0,2	0,3

Length source in crosswind (y) direction (m)	0,2	0,3
Length source in vertical (z) direction (m)	0,2	0,3
Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Meteorological data	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)	F (Very Stable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
North/South latitude of the location (deg)	41	41
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)		
Mixing height (m)		
Stand. dev. of turbulent velocity in vertical direction (m/s)		
Stand. dev. of turbulent velocity in horizontal direction (m/s)		
	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.
Roughness length description		
Predefined wind direction	W	W
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270	270
	Time maximum explosive mass	Time maximum explosive mass
Reporting time flammable cloud		
Time t after start release (s)		
Concentration averaging time (s)	20	20
Integration tolerance (%)	0,1	0,1
Use 50% LFL for cloud contour	No	No
Use mass between LFL and UFL	No	No
Use dynamic concentration presentation	No	No
Resolution of the time consuming graphs		

Results	Masa explosiva (5.1/D)	Masa explosiva (1.7/F)
Flammability threshold concentration (mg/m3)	33352	33352
Maximum distance to flammable concentration (m)	2,7373	12,758
Width of flammable cloud outer contour (m)	0,25	0,52778
Maximum flammable mass (kg)	0,026315	0,35723
Area of explosive cloud (m2)	0,45619	4,5387
Time T reported (s)	0	0
Flammable mass at time t (kg)	0,026315	0,35723
Area flammable cloud at time t (m2)	-1E300	-1E300
Height to LEL (m)	0,8	1,2
Length of cloud (between LEL) (m)	3,0108	13,119
Width of cloud (between LEL) (m)	0,25	0,5
Offset between release location and LEL (m)	-0,1875	-0,3125
Offset between release and cloud centre at time t (m)	1,3179	6,2471

Dardo de Fuego

Model: Jet Fire (Chamberlain model)

version: v2017.01.10780 (16/01/2017)

Reference: Chamberlain, G.A., Development in design methods for predicting thermal radiation from flares~Chem. Eng. Res. Des. Vol.65 July 1987 pagina 299 - 309~Cook, J. et al, A comprehensive program for the calculation of flame radiation levels~Loss Prev. in Process Ind. January 1990, vol.3 ~Damage: Green Book 1st edition 1992, chapter 1 (Heat radiation); pages 11-36

Parameters		
Inputs		
	JF (5.1/D)	JF (1.7/F)
Chemical name	METHANE (DIPPR)	METHANE (DIPPR)
(Calculated) Mass flow rate (kg/s)	0,079323	0,079323
Exit temperature (°C)	-138,19	-138,19
Exit pressure (bar)	4,8919	4,8919
Hole diameter (mm)	5	5
Hole rounding	Sharp edges	Sharp edges
<i>Discharge coefficient (-)</i>	0,62	0,62
Outflow angle in XZ plane (0°=horizontal; 90°=vertical) (deg)	0	0
Release height (Stack height) (m)	1	1
Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Ambient relative humidity (%)	70	70
Meteorological data	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)	F (Very Stable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
<i>Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)</i>		
	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.
Roughness length description		
Flame temperature (°C)	926,85	926,85
Amount of CO2 in atmosphere (-)	0,0003	0,0003
Fraction of the flame covered by soot (-)	0	0
Maximum heat exposure duration (s)	20	20
Reporting distance (Xd) (m)	100	100
Height of the receiver (m)	1	1
Predefined wind direction	W	W
<i>Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)</i>	270	270
Heat radiation level (lowest) for first contour plot (kW/m2)	3,71	3,71
Heat radiation level for second contour plot (kW/m2)	6,64	6,64
Heat radiation level (highest) for third contour plot (kW/m2)	8	8
Report heat radiation grid	Yes	Yes
Resolution for surface discretization	Medium	Medium
Take protective effects of clothing into account	No	No
<i>Correction lethality protection clothing (-)</i>		
Percentage of mortality for contour calculations (%)	1	1
Heat radiation lethal damage Probit A ((sec*(W/m2)^n))	-36,38	-36,38
Heat radiation lethal damage Probit B	2,56	2,56
Heat radiation damage Probit N	1,3333	1,3333
Results		
	JF (5.1/D)	JF (1.7/F)
Type of flow of the jet	Two Phase flow	Two Phase flow
Wind speed at avg. jet height (m/s)	2,55	0,54422
Exit velocity of expanding jet (m/s)	76,486	76,486
Angle between hole and flame axis (alpha) (deg)	0	0
Frustum lift off height (b) (m)	0,091583	0,12234
Width of frustum base (W1) (m)	0,24053	0,0098142
Width of frustum tip (W2) (m)	2,3381	2,4148
Length of frustum (flame) (Rl) (m)	6,014	8,0337

Surface area of frustum (m2)	29,066	35,518
Surface emissive power (max) (kW/m2)	37,416	30,619
Surface emissive power (actual) (kW/m2)	37,416	30,619
Heat radiation at Xd (kW/m2)	0,0040416	0,0037008
Atmospheric transmissivity at Xd (%)	69,704	69,851
View factor at Xd (-)	0,00015497	0,00017303
Heat radiation dose at Xd ($s \cdot (kW/m2)^{4/3}$)	0,012876	0,011449
3,71 kW/m2 Heat radiation distance (m)	9,4822	11,308
6,64 kW/m2 Heat radiation distance (m)	8,5657	10,423
8 kW/m2 Heat radiation distance (m)	8,3322	10,193
Percentage first degree burns at Xd (%)	0	0
Percentage second degree burns at Xd (%)	0	0
Percentage third degree burns at Xd (%)	0	0
1% First degree burns distance (m)	9,4364	11,282
1% Second degree burns distance (m)	8,3022	9,9971
1% Third degree (Lethal) burns distance (m)	8,1293	9,9822

H.2.c. Fuga de GNL por orificio de 10 mm en la manguera de entrada al depósito de 450 kg de GNL de la SC

Fuga de gas licuado

- ✓ Grado de llenado del depósito: 80%
- ✓ Volumen del depósito: 1,94 m³
- ✓ Longitud del depósito (cilindro horizontal): 1,94 m
- ✓ Duración de fuga: 600 s
- ✓ Temperatura del depósito: -130°C
- ✓ Presión del depósito: 8 bar

Model: Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model)

version: v2017.01.10003 (16/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 2 and Modelling source terms for the atmospheric dispersion of hazardous substances, Jaakko Kukkonen

Parameters	
Inputs	
Chemical name	METHANE (DIPPR)
Use which representative step	First 20% average (flammable)
Type of vessel outflow	Release from vessel through (a hole in) pipe
<i>Fixed Mass flow rate of the source (kg/s)</i>	
Pipeline length (m)	5
Pipeline diameter (mm)	25
Pipeline roughness (mm)	0,045
Hole diameter (mm)	10
Hole rounding	Sharp edges
<i>Discharge coefficient (-)</i>	0,62
Height difference between pipe entrance and exit (m)	0
Height leak above tank bottom (m)	0
Initial temperature in vessel (°C)	-130
Vessel volume (m3)	1,52
Vessel type	Horizontal cylinder
Length cylinder (m)	1,94
Filling degree (%)	80
Expansion type	Adiabatic
<i>n value</i>	
Pressure inside vessel determination	Use actual pressure
Initial (absolute) pressure in vessel (bar)	8
Type of calculation	Calculate until specified time
Maximum release duration (s)	600
Ambient pressure (bar)	1,0151

Results	
Initial mass in vessel (kg)	454,32
Initial (vapour) pressure in vessel (bar)	8
<i>Time needed to empty vessel (s)</i>	1742,6
Massflowrate at time t (kg/s)	0,30617
Total mass released at time t (kg)	186,32
Pressure in vessel at time t (bar)	6,8529
Temperature in vessel at time t (°C)	-131,84
VapourMass fraction at time t (-)	0,027767
Liquid mass in vessel at time t (kg)	263,42
Vapour mass in vessel at time t (kg)	8,6727
Height of liquid at time t (m)	0,47073
Fillingdegree at time t (%)	46,348
Exit pressure at time t (bar)	4,4431

Exit temperature at time t (°C)	-139,89
Maximum mass flow rate (kg/s)	0,35609
Representative release rate (kg/s)	0,32652
Representative outflow duration (s)	600
Representative temperature (°C)	-138,41
Corresponding pressure (bar)	4,8323
Representative vapour mass fraction (-)	0,029399

Model: Liquefied Gas Spray Release

version: v2017.01.10783 (16/01/2017)

Reference: Yellow Book CPR14E, Page: 2.105 / 2.112, Section: 2.5.3.7 [Finite duration spray releases] AMINAL - Richtlijn voor het berekenen van Flash en Spray, 1997 C. Hulsbosh-Dam, An Approach to Carbon Dioxide Particle Distribution in Accidental Releases, Chemical Engineering Transactions Vol.26, 2012, ISBN 978-88-95608-17-4; ISSN 1974-9791

Parameters

Inputs

Chemical name	METHANE (DIPPR)
Type of Spray calculation	Spray release model (Yellow Book)
Mass flow rate of the source (kg/s)	0,32652
Exit temperature (°C)	-138,41
Exit pressure (bar)	4,8323
Exit vapour mass fraction (-)	0,029399
Hole diameter (mm)	10
Height leak above ground level (m)	1
Ambient temperature (°C)	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151
Ambient relative humidity (%)	70
No of samples (accuracy)	

Results

Adiabatic vapour flash fraction (-)	0,16416
AFTER FLASHING AND RAINOUT: liquid mass fraction (-)	0,78777
Nett mass flow to air (jet) (kg/s)	0,32652
Temperature jet/cloud (°C)	-161,49
Diameter jet/cloud (m)	0,014187
Nett mass flow rained out (kg/s)	0
Temperature of the pool (°C)	-161,49
Density of the airborne mass (kg/m3)	8,1395
Used Sauter Mean Diameter (micron)	

LEL

Model: Neutral Gas Dispersion: Concentration

version: v2017.01.10898 (17/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 4

Parameters

Inputs

	LEL (5.1/D)	LEL (1.7/F)
Chemical name	METHANE (DIPPR)	METHANE (DIPPR)
Type of neutral gas release	Continuous	Continuous
Total mass released (kg)	186,32	186,32
Mass flow rate of the source (kg/s)	0,32652	0,32652
Duration of the release (s)	600	600
Height of release (Z-coordinate) (m)	1	1
Offset X direction (distance) start dispersion (m)	0	0
Offset Z direction (height) start dispersion (m)	0	0
Length source in wind (x) direction (m)	0,3	0,5
Length source in crosswind (y) direction (m)	0,3	0,5
Length source in vertical (z) direction (m)	0,3	0,5

Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Meteorological data	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)	F (Very Stable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
North/South latitude of the location (deg)	41	41
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)		
Mixing height (m)		
Stand. dev. of turbulent velocity in vertical direction (m/s)		
Stand. dev. of turbulent velocity in horizontal direction (m/s)		
Roughness length description	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.
Time t after start release (s)	120	120
Concentration averaging time (s)	20	20
Reporting distance (Xd) (m)	1000	1000
Distance perpendicular to wind direction (Yd) (m)	0	0
Height (Zd) (m)	1	1
Predefined concentration	Lower Flammability Limit	Lower Flammability Limit
Threshold concentration (mg/m3)	33352	33352
Contour plot accuracy (%)	1	1
Integration tolerance (%)	0,1	0,1
Predefined wind direction	W	W
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270	270
Use dynamic concentration presentation	No	No
Results	LEL (5.1/D)	LEL (1.7/F)
Concentration at (Xd, Yd, Zd, t) (mg/m3)	15,888	295,6
Maximum concentration at (Yd, Zd) (mg/m3)	6,7819E05	6,7823E05
...at distance (m)	0	0
Mixing height used (m)	500	50
Stand. dev. of turbulent velocity in vert. direction used (m/s)	0,59167	0,10914
Stand. dev. of turbulent velocity in horiz. direction used (m/s)	0,86127	0,15951
Maximum distance to Lower Flammability Limit concentration (m)	6,8227	42,676
Width of Lower Flammability Limit outer contour (m)	0,5	1,1667
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) used (1/m)	0	0,073006

Masa explosiva

Model: Neutral Gas Dispersion: Flammable Cloud

version: v2017.01.10898
 Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 4

(17/01/2017)

Parameters

Inputs	Masa explosiva (5.1/D)	Masa explosiva (1.7/F)
Chemical name	METHANE (DIPPR)	METHANE (DIPPR)
Type of neutral gas release	Continuous	Continuous
Total mass released (kg)	186,32	186,32
Mass flow rate of the source (kg/s)	0,32652	0,32652
Duration of the release (s)	600	600
Height of release (Z-coordinate) (m)	1	1
Offset X direction (distance) start dispersion (m)	0	0
Offset Z direction (height) start dispersion (m)	0	0
Length source in wind (x) direction (m)	0,3	0,5

Length source in crosswind (y) direction (m)	0,3	0,5
Length source in vertical (z) direction (m)	0,3	0,5
Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Meteorological data	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)	F (Very Stable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
North/South latitude of the location (deg)	41	41
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)		
Mixing height (m)		
Stand. dev. of turbulent velocity in vertical direction (m/s)		
Stand. dev. of turbulent velocity in horizontal direction (m/s)		
	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.
Roughness length description		
Predefined wind direction	W	W
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270	270
	Time maximum explosive mass	Time maximum explosive mass
Reporting time flammable cloud		
Time t after start release (s)		
Concentration averaging time (s)	20	20
Integration tolerance (%)	0,1	0,1
Use 50% LFL for cloud contour	No	No
Use mass between LFL and UFL	No	No
Use dynamic concentration presentation	No	No
Resolution of the time consuming graphs		

Results	Masa explosiva (5.1/D)	Masa explosiva (1.7/F)
Flammability threshold concentration (mg/m3)	33352	33352
Maximum distance to flammable concentration (m)	6,8227	38,376
Width of flammable cloud outer contour (m)	0,5	1,1667
Maximum flammable mass (kg)	0,27187	4,577
Area of explosive cloud (m2)	2,7559	33,895
Time T reported (s)	0	0
Flammable mass at time t (kg)	0,27187	4,577
Area flammable cloud at time t (m2)	-1E300	-1E300
Height to LEL (m)	1,6	2,2
Length of cloud (between LEL) (m)	7,133	38,836
Width of cloud (between LEL) (m)	0,5	1,0298
Offset between release location and LEL (m)	-0,3125	-0,5
Offset between release and cloud centre at time t (m)	3,254	18,918

Dardo de Fuego

Model: Jet Fire (Chamberlain model)

version: v2017.01.10780 (16/01/2017)

Reference: Chamberlain, G.A., Development in design methods for predicting thermal radiation from flares~Chem. Eng. Res. Des. Vol.65 July 1987 pagina 299 - 309~Cook, J. et al, A comprehensive program for the calculation of flame radiation levels~Loss Prev. in Process Ind. January 1990, vol.3 ~Damage: Green Book 1st edition 1992, chapter 1 (Heat radiation); pages 11-36

Parameters		
Inputs		
Chemical name	JF (5.1/D) METHANE (DIPPR)	JF (1.7/F) METHANE (DIPPR)
(Calculated) Mass flow rate (kg/s)	0,32652	0,32652
Exit temperature (°C)	-138,41	-138,41
Exit pressure (bar)	4,8323	4,8323
Hole diameter (mm)	10	10
Hole rounding	Sharp edges	Sharp edges
<i>Discharge coefficient (-)</i>	0,62	0,62
Outflow angle in XZ plane (0°=horizontal; 90°=vertical) (deg)	0	0
Release height (Stack height) (m)	1	1
Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Ambient relative humidity (%)	70	70
Meteorological data	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)	F (Very Stable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
<i>Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)</i>		
	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.
Roughness length description		
Flame temperature (°C)	926,85	926,85
Amount of CO2 in atmosphere (-)	0,0003	0,0003
Fraction of the flame covered by soot (-)	0	0
Maximum heat exposure duration (s)	20	20
Reporting distance (Xd) (m)	100	100
Height of the receiver (m)	1	1
Predefined wind direction	W	W
<i>Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)</i>	270	270
Heat radiation level (lowest) for first contour plot (kW/m2)	3,71	3,71
Heat radiation level for second contour plot (kW/m2)	6,64	6,64
Heat radiation level (highest) for third contour plot (kW/m2)	8	8
Report heat radiation grid	Yes	Yes
Resolution for surface discretization	Medium	Medium
Take protective effects of clothing into account	No	No
<i>Correction lethality protection clothing (-)</i>		
Percentage of mortality for contour calculations (%)	1	1
Heat radiation lethal damage Probit A ((sec*(W/m2)^n))	-36,38	-36,38
Heat radiation lethal damage Probit B	2,56	2,56
Heat radiation damage Probit N	1,3333	1,3333
Results		
Type of flow of the jet	JF (5.1/D) Two Phase flow	JF (1.7/F) Two Phase flow
Wind speed at avg. jet height (m/s)	2,55	0,54422
Exit velocity of expanding jet (m/s)	74,389	74,389
Angle between hole and flame axis (alpha) (deg)	0	0
Frustum lift off height (b) (m)	0,16861	0,22524
Width of frustum base (W1) (m)	0,60993	0,020678
Width of frustum tip (W2) (m)	4,3281	4,4598
Length of frustum (flame) (Rl) (m)	11,072	14,791

Surface area of frustum (m2)	102,09	120,88
Surface emissive power (max) (kW/m2)	44,027	37,182
Surface emissive power (actual) (kW/m2)	44,027	37,182
Heat radiation at Xd (kW/m2)	0,018329	0,017993
Atmospheric transmissivity at Xd (%)	70,073	70,354
View factor at Xd (-)	0,00059412	0,00068782
Heat radiation dose at Xd ($s \cdot (kW/m^2)^{4/3}$)	0,096653	0,094296
3,71 kW/m2 Heat radiation distance (m)	17,917	21,308
6,64 kW/m2 Heat radiation distance (m)	16,125	19,582
8 kW/m2 Heat radiation distance (m)	15,639	19,116
Percentage first degree burns at Xd (%)	0	0
Percentage second degree burns at Xd (%)	0	0
Percentage third degree burns at Xd (%)	0	0
1% First degree burns distance (m)	17,648	20,993
1% Second degree burns distance (m)	15,375	18,869
1% Third degree (Lethal) burns distance (m)	15,215	18,709

H.2.d. Rotura catastrófica de la manguera de GNL (orificio de 25 mm) de entrada al depósito de 450 kg de GNL de la SC

Fuga de gas licuado

- ✓ Grado de llenado del depósito: 80%
- ✓ Volumen del depósito: 1,94 m³
- ✓ Longitud del depósito (cilindro horizontal): 1,94 m
- ✓ Duración de fuga: 120 s
- ✓ Temperatura del depósito: -130°C
- ✓ Presión del depósito: 8 bar

Model: Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model)

version: v2017.01.10003 (16/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 2 and Modelling source terms for the atmospheric dispersion of hazardous substances, Jaakko Kukkonen

Parameters	
Inputs	
Chemical name	METHANE (DIPPR)
Use which representative step	First 20% average (flammable)
Type of vessel outflow	Release from vessel through (a hole in) pipe
<i>Fixed Mass flow rate of the source (kg/s)</i>	
Pipeline length (m)	5
Pipeline diameter (mm)	25
Pipeline roughness (mm)	0,045
Hole diameter (mm)	25
Hole rounding	Rounded edges
<i>Discharge coefficient (-)</i>	1
Height difference between pipe entrance and exit (m)	0
Height leak above tank bottom (m)	0
Initial temperature in vessel (°C)	-130
Vessel volume (m3)	1,52
Vessel type	Horizontal cylinder
Length cylinder (m)	1,94
Filling degree (%)	80
Expansion type	Adiabatic
<i>n value</i>	
Pressure inside vessel determination	Use actual pressure
Initial (absolute) pressure in vessel (bar)	8
Type of calculation	Calculate until specified time
Maximum release duration (s)	120
Ambient pressure (bar)	1,0151

Results	
Initial mass in vessel (kg)	454,32
Initial (vapour) pressure in vessel (bar)	8
<i>Time needed to empty vessel (s)</i>	284,63
Massflowrate at time t (kg/s)	1,9206
Total mass released at time t (kg)	235,99
Pressure in vessel at time t (bar)	6,6125
Temperature in vessel at time t (°C)	-132,54
VapourMass fraction at time t (-)	0,026337
Liquid mass in vessel at time t (kg)	212,53
Vapour mass in vessel at time t (kg)	9,805
Height of liquid at time t (m)	0,39883
Fillingdegree at time t (%)	37,267
Exit pressure at time t (bar)	4,3668

Exit temperature at time t (°C)	-140,2
Maximum mass flow rate (kg/s)	2,2894
Representative release rate (kg/s)	2,0905
Representative outflow duration (s)	120
Representative temperature (°C)	-138,19
Corresponding pressure (bar)	4,8918
Representative vapour mass fraction (-)	0,028704

Model: Liquefied Gas Spray Release

version: v2017.01.10783 (17/01/2017)

Reference: Yellow Book CPR14E, Page: 2.105 / 2.112, Section: 2.5.3.7 [Finite duration spray releases] AMINAL - Richtlijn voor het berekenen van Flash en Spray, 1997 C. Hulsbosh-Dam, An Approach to Carbon Dioxide Particle Distribution in Accidental Releases, Chemical Engineering Transactions Vol.26, 2012, ISBN 978-88-95608-17-4; ISSN 1974-9791

Parameters

Inputs

Chemical name	METHANE (DIPPR)
Type of Spray calculation	Spray release model (Yellow Book)
Mass flow rate of the source (kg/s)	2,0905
Exit temperature (°C)	-138,19
Exit pressure (bar)	4,8918
Exit vapour mass fraction (-)	0,028704
Hole diameter (mm)	25
Height leak above ground level (m)	0
Ambient temperature (°C)	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151
Ambient relative humidity (%)	70
No of samples (accuracy)	

Results

Adiabatic vapour flash fraction (-)	0,16579
AFTER FLASHING AND RAINOUT: liquid mass fraction (-)	0,78626
Nett mass flow to air (jet) (kg/s)	2,0905
Temperature jet/cloud (°C)	-161,49
Diameter jet/cloud (m)	0,036489
Nett mass flow rained out (kg/s)	0
Temperature of the pool (°C)	-161,49
Density of the airborne mass (kg/m3)	8,0832
Used Sauter Mean Diameter (micron)	

LEL

Model: Neutral Gas Dispersion: Concentration

version: v2017.01.10898 (17/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 4

Parameters

Inputs

	LEL (5.1/D)	LEL (1.7/F)
Chemical name	METHANE (DIPPR)	METHANE (DIPPR)
Type of neutral gas release	Continuous	Continuous
Total mass released (kg)	38,856	38,856
Mass flow rate of the source (kg/s)	2,0905	2,0905
Duration of the release (s)	120	120
Height of release (Z-coordinate) (m)	1	1
Offset X direction (distance) start dispersion (m)	0	0
Offset Z direction (height) start dispersion (m)	0	0
Length source in wind (x) direction (m)	0,8	1,3
Length source in crosswind (y) direction (m)	0,8	1,3
Length source in vertical (z) direction (m)	0,8	1,3

Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Meteorological data	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)	F (Very Stable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
North/South latitude of the location (deg)	41	41
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)		
Mixing height (m)		
Stand. dev. of turbulent velocity in vertical direction (m/s)		
Stand. dev. of turbulent velocity in horizontal direction (m/s)		
Roughness length description	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.
Time t after start release (s)	120	120
Concentration averaging time (s)	20	20
Reporting distance (Xd) (m)	1000	1000
Distance perpendicular to wind direction (Yd) (m)	0	0
Height (Zd) (m)	1	1
Predefined concentration	Lower Flammability Limit	Lower Flammability Limit
Threshold concentration (mg/m3)	33352	33352
Contour plot accuracy (%)	1	1
Integration tolerance (%)	0,1	0,1
Predefined wind direction	W	W
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270	270
Use dynamic concentration presentation	No	No
Results	LEL (5.1/D)	LEL (1.7/F)
Concentration at (Xd, Yd, Zd, t) (mg/m3)	101,71	1891,3
Maximum concentration at (Yd, Zd) (mg/m3)	6,4046E05	6,7823E05
...at distance (m)	0	0
Mixing height used (m)	500	50
Stand. dev. of turbulent velocity in vert. direction used (m/s)	0,59167	0,10914
Stand. dev. of turbulent velocity in horiz. direction used (m/s)	0,86127	0,15951
Maximum distance to Lower Flammability Limit concentration (m)	29,296	156,89
Width of Lower Flammability Limit outer contour (m)	2	4,5783
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) used (1/m)	0	0,073006

Masa explosiva

Model: Neutral Gas Dispersion: Flammable Cloud

version: v2017.01.10898 (17/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 4

Parameters

Inputs	Masa explosiva (5.1/D)	Masa explosiva (1.7/F)
Chemical name	METHANE (DIPPR)	METHANE (DIPPR)
Type of neutral gas release	Continuous	Continuous
Total mass released (kg)	38,856	38,856
Mass flow rate of the source (kg/s)	2,0905	2,0905
Duration of the release (s)	120	120
Height of release (Z-coordinate) (m)	1	1
Offset X direction (distance) start dispersion (m)	0	0
Offset Z direction (height) start dispersion (m)	0	0
Length source in wind (x) direction (m)	0,8	1,3

Length source in crosswind (y) direction (m)	0,8	1,3
Length source in vertical (z) direction (m)	0,8	1,3
Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Meteorological data	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)	F (Very Stable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
North/South latitude of the location (deg)	41	41
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)		
Mixing height (m)		
Stand. dev. of turbulent velocity in vertical direction (m/s)		
Stand. dev. of turbulent velocity in horizontal direction (m/s)		
	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.
Roughness length description		
Predefined wind direction	W	W
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270	270
	Time maximum explosive mass	Time maximum explosive mass
Reporting time flammable cloud		
Time t after start release (s)		
Concentration averaging time (s)	20	20
Integration tolerance (%)	0,1	0,1
Use 50% LFL for cloud contour	No	No
Use mass between LFL and UFL	No	No
Use dynamic concentration presentation	No	No
Resolution of the time consuming graphs		

Results	Masa explosiva (5.1/D)	Masa explosiva (1.7/F)
Flammability threshold concentration (mg/m3)	33352	33352
Maximum distance to flammable concentration (m)	28,002	152,71
Width of flammable cloud outer contour (m)	2	4,5783
Maximum flammable mass (kg)	7,2296	115,25
Area of explosive cloud (m2)	42,58	541,61
Time T reported (s)	0	0
Flammable mass at time t (kg)	7,2296	115,25
Area flammable cloud at time t (m2)	-1E300	-1E300
Height to LEL (m)	2,8	3,7
Length of cloud (between LEL) (m)	28,737	154
Width of cloud (between LEL) (m)	1,8967	4,5783
Offset between release location and LEL (m)	-0,83333	-1,25
Offset between release and cloud centre at time t (m)	13,535	75,751

Dardo de Fuego

Model: Jet Fire (Chamberlain model)

version: v2017.01.10780 (17/01/2017)

Reference: Chamberlain, G.A., Development in design methods for predicting thermal radiation from flares~Chem. Eng. Res. Des. Vol.65 July 1987 pagina 299 - 309~Cook, J. et al, A comprehensive program for the calculation of flame radiation levels~Loss Prev. in Process Ind. January 1990, vol.3 ~Damage: Green Book 1st edition 1992, chapter 1 (Heat radiation); pages 11-36

Parameters		
Inputs		
	JF (5.1/D)	JF (1.7/F)
Chemical name	METHANE	METHANE
	(DIPPR)	(DIPPR)
(Calculated) Mass flow rate (kg/s)	2,0905	2,0905
Exit temperature (°C)	-138,19	-138,19
Exit pressure (bar)	4,8918	4,8918
Hole diameter (mm)	25	25
Hole rounding	Rounded edges	Rounded edges
Discharge coefficient (-)	1	1
Outflow angle in XZ plane (0°=horizontal; 90°=vertical) (deg)	0	0
Release height (Stack height) (m)	1	1
Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Ambient relative humidity (%)	70	70
Meteorological data	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)	F (Very Stable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)		
	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.
Roughness length description		
Flame temperature (°C)	926,85	926,85
Amount of CO2 in atmosphere (-)	0,0003	0,0003
Fraction of the flame covered by soot (-)	0	0
Maximum heat exposure duration (s)	20	20
Reporting distance (Xd) (m)	100	100
Height of the receiver (m)	1	1
Predefined wind direction	W	W
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270	270
Heat radiation level (lowest) for first contour plot (kW/m2)	3,71	3,71
Heat radiation level for second contour plot (kW/m2)	6,64	6,64
Heat radiation level (highest) for third contour plot (kW/m2)	8	8
Report heat radiation grid	Yes	Yes
Resolution for surface discretization	Medium	Medium
Take protective effects of clothing into account	No	No
Correction lethality protection clothing (-)		
Percentage of mortality for contour calculations (%)	1	1
Heat radiation lethal damage Probit A ((sec*(W/m2)^n))	-36,38	-36,38
Heat radiation lethal damage Probit B	2,56	2,56
Heat radiation damage Probit N	1,3333	1,3333
Results		
	JF (5.1/D)	JF (1.7/F)
Type of flow of the jet	Two Phase flow	Two Phase flow
Wind speed at avg height of jet (m/s)	2,55	0,54423
Exit velocity of expanding jet (m/s)	102,2	102,2
Angle between hole and flame axis (alpha) (deg)	0	0
Frustum lift off height (b) (m)	0,35691	0,47678
Width of frustum base (W1) (m)	0,22326	0,051459
Width of frustum tip (W2) (m)	8,6047	9,1403

Length of frustum (flame) (Rl) (m)	23,437	31,308
Surface area of frustum (m2)	388,34	522,4
Surface emissive power (max) (kW/m2)	70,28	52,246
Surface emissive power (actual) (kW/m2)	70,28	52,246
Heat radiation at Xd (kW/m2)	0,15888	0,16789
Atmospheric transmissivity at Xd (%)	71,105	71,821
View factor at Xd (-)	0,0031793	0,0044744
Heat radiation dose at Xd (s*(kW/m2)^4/3)	1,721	1,8525
3,71 kW/m2 Heat radiation distance (m)	40,229	46,76
6,64 kW/m2 Heat radiation distance (m)	35,964	42,789
8 kW/m2 Heat radiation distance (m)	34,821	41,727
Percentage first degree burns at Xd (%)	0	0
Percentage second degree burns at Xd (%)	0	0
Percentage third degree burns at Xd (%)	0	0
1% First degree burns distance (m)	39,463	46,119
1% Second degree burns distance (m)	33,973	41,027
1% Third degree (Lethal) burns distance (m)	33,676	40,663

H.3. Rotura catastrófica de la manguera de GN (orificio de 12,5 mm) del depósito de GNL de 255 kg de la SC.

Fuga de gas licuado

- ✓ Grado de llenado del depósito: 80%
- ✓ Volumen del depósito: 0,76 m³
- ✓ Longitud del depósito (cilindro horizontal): 1,51 m
- ✓ Duración de fuga: 120 s
- ✓ Temperatura del depósito: -130°C
- ✓ Presión del depósito: 8 bar

Model: Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model)

version: v2017.01.10003 (16/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 2 and Modelling source terms for the atmospheric dispersion of hazardous substances, Jaakko Kukkonen

Parameters	
Inputs	
Chemical name	METHANE (DIPPR)
Use which representative step	First 20% average (flammable)
Type of vessel outflow	Release from vessel through (a hole in) pipe
<i>Fixed Mass flow rate of the source (kg/s)</i>	
Pipeline length (m)	5
Pipeline diameter (mm)	12,5
Pipeline roughness (mm)	0,045
Hole diameter (mm)	12,5
Hole rounding	Rounded edges
<i>Discharge coefficient (-)</i>	1
Height difference between pipe entrance and exit (m)	0
Height leak above tank bottom (m)	0,8
Initial temperature in vessel (°C)	-130
Vessel volume (m3)	0,76
Vessel type	Horizontal cylinder
Length cylinder (m)	1,51
Filling degree (%)	100
Expansion type	Adiabatic
<i>n value</i>	
Pressure inside vessel determination	Use actual pressure
Initial (absolute) pressure in vessel (bar)	8
Type of calculation	Calculate until specified time
Maximum release duration (s)	120
Ambient pressure (bar)	1,0151
Results	
Initial mass in vessel (kg)	281,31
Initial (vapour) pressure in vessel (bar)	8
<i>Time needed to empty vessel (s)</i>	2418,8
Massflowrate at time t (kg/s)	0,083374
Total mass released at time t (kg)	5,0667
Pressure in vessel at time t (bar)	5,941
Temperature in vessel at time t (°C)	-134,6
VapourMass fraction at time t (-)	0
Liquid mass in vessel at time t (kg)	276,34
Vapour mass in vessel at time t (kg)	0,28549
Height of liquid at time t (m)	0,73313
Fillingdegree at time t (%)	95,96
Exit pressure at time t (bar)	2,3015

Exit temperature at time t (°C)	-150,49
Maximum mass flow rate (kg/s)	0,11202
Representative release rate (kg/s)	0,10226
Representative outflow duration (s)	120
Representative temperature (°C)	-147,33
Corresponding pressure (bar)	2,8467
Representative vapour mass fraction (-)	0

Model: Liquefied Gas Spray Release

version: v2017.01.10783 (16/01/2017)

Reference: Yellow Book CPR14E, Page: 2.105 / 2.112, Section: 2.5.3.7 [Finite duration spray releases] AMINAL - Richtlijn voor het berekenen van Flash en Spray, 1997 C. Hulsbosh-Dam, An Approach to Carbon Dioxide Particle Distribution in Accidental Releases, Chemical Engineering Transactions Vol.26, 2012, ISBN 978-88-95608-17-4; ISSN 1974-9791

Parameters

Inputs

Chemical name	METHANE (DIPPR)
Type of Spray calculation	Spray release model (Yellow Book)
Mass flow rate of the source (kg/s)	0,10226
Exit temperature (°C)	-147,33
Exit pressure (bar)	2,8467
Exit vapour mass fraction (-)	0
Hole diameter (mm)	12,5
Height leak above ground level (m)	1
Ambient temperature (°C)	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151
Ambient relative humidity (%)	70
No of samples (accuracy)	

Results

Adiabatic vapour flash fraction (-)	0,099227
AFTER FLASHING AND RAINOUT: liquid mass fraction (-)	0,93243
Nett mass flow to air (jet) (kg/s)	0,10226
Temperature jet/cloud (°C)	-161,49
Diameter jet/cloud (m)	0,0048059
Nett mass flow rained out (kg/s)	0
Temperature of the pool (°C)	-161,49
Density of the airborne mass (kg/m3)	24,553
Used Sauter Mean Diameter (micron)	

LEL

Model: Neutral Gas Dispersion: Concentration

version: v2017.01.10898 (17/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 4

Parameters

Inputs

	LEL (1.7/F)	LEL (5.1/D)
Chemical name	METHANE (DIPPR)	METHANE (DIPPR)
Type of neutral gas release	Continuous	Continuous
Total mass released (kg)	5,0667	5,0667
Mass flow rate of the source (kg/s)	0,10226	0,10226
Duration of the release (s)	120	120
Height of release (Z-coordinate) (m)	1	1
Offset X direction (distance) start dispersion (m)	0	0
Offset Z direction (height) start dispersion (m)	0	0
Length source in wind (x) direction (m)	0,3	0,2
Length source in crosswind (y) direction (m)	0,3	0,2
Length source in vertical (z) direction (m)	0,3	0,2

Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Meteorological data	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	F (Very Stable)	D (Neutral)
Wind speed at 10 m height (m/s)	1,7	5,1
North/South latitude of the location (deg)	41	41
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)		
Mixing height (m)		
Stand. dev. of turbulent velocity in vertical direction (m/s)		
Stand. dev. of turbulent velocity in horizontal direction (m/s)		
	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.
Roughness length description		
Time t after start release (s)	120	120
Concentration averaging time (s)	20	20
Reporting distance (Xd) (m)	1000	1000
Distance perpendicular to wind direction (Yd) (m)	0	0
Height (Zd) (m)	1	1
Predefined concentration	Lower Flammability Limit	Lower Flammability Limit
Threshold concentration (mg/m3)	33352	33352
Contour plot accuracy (%)	1	1
Integration tolerance (%)	0,1	0,1
Predefined wind direction	W	W
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270	270
Use dynamic concentration presentation	No	No
Results	LEL (1.7/F)	LEL (5.1/D)
Concentration at (Xd, Yd, Zd, t) (mg/m3)	92,586	4,9758
Maximum concentration at (Yd, Zd) (mg/m3)	6,6837E05	5,0117E05
...at distance (m)	0	0
Mixing height used (m)	50	500
Stand. dev. of turbulent velocity in vert. direction used (m/s)	0,10914	0,59167
Stand. dev. of turbulent velocity in horiz. direction used (m/s)	0,15951	0,86127
Maximum distance to Lower Flammability Limit concentration (m)	15,282	3,2245
Width of Lower Flammability Limit outer contour (m)	0,52778	0,25
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) used (1/m)	0,073006	0

Masa explosiva

Model: Neutral Gas Dispersion: Flammable Cloud

version: v2017.01.10898 (17/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 4

Parameters

Inputs	Masa explosiva (1.7/F)	Masa explosiva (5.1/D)
Chemical name	METHANE (DIPPR)	METHANE (DIPPR)
Type of neutral gas release	Continuous	Continuous
Total mass released (kg)	5,0667	5,0667
Mass flow rate of the source (kg/s)	0,10226	0,10226
Duration of the release (s)	120	120
Height of release (Z-coordinate) (m)	1	1
Offset X direction (distance) start dispersion (m)	0	0
Offset Z direction (height) start dispersion (m)	0	0
Length source in wind (x) direction (m)	0,3	0,2

Length source in crosswind (y) direction (m)	0,3	0,2
Length source in vertical (z) direction (m)	0,3	0,2
Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Meteorological data	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	F (Very Stable)	D (Neutral)
Wind speed at 10 m height (m/s)	1,7	5,1
North/South latitude of the location (deg)	41	41
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)		
Mixing height (m)		
Stand. dev. of turbulent velocity in vertical direction (m/s)		
Stand. dev. of turbulent velocity in horizontal direction (m/s)		
	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.
Roughness length description		
Predefined wind direction	W	W
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270	270
	Time maximum explosive mass	Time maximum explosive mass
Reporting time flammable cloud		
Time t after start release (s)		
Concentration averaging time (s)	20	20
Integration tolerance (%)	0,1	0,1
Use 50% LFL for cloud contour	No	No
Use mass between LFL and UFL	No	No
Use dynamic concentration presentation	No	No
Resolution of the time consuming graphs		

Results	Masa explosiva (1.7/F)	Masa explosiva (5.1/D)
Flammability threshold concentration (mg/m3)	33352	33352
Maximum distance to flammable concentration (m)	15,282	3,2179
Width of flammable cloud outer contour (m)	0,52778	0,25
Maximum flammable mass (kg)	0,54536	0,038918
Area of explosive cloud (m2)	6,1897	0,61214
Time T reported (s)	0	0
Flammable mass at time t (kg)	0,54536	0,038918
Area flammable cloud at time t (m2)	-1E300	-1E300
Height to LEL (m)	1,4	1
Length of cloud (between LEL) (m)	15,612	3,4142
Width of cloud (between LEL) (m)	0,5	0,25
Offset between release location and LEL (m)	-0,3125	-0,1875
Offset between release and cloud centre at time t (m)	7,4937	1,5196

Dardo de Fuego

Model: Jet Fire (Chamberlain model)

version: v2017.01.10780 (16/01/2017)

Reference: Chamberlain, G.A., Development in design methods for predicting thermal radiation from flares~Chem. Eng. Res. Des. Vol.65 July 1987 pagina 299 - 309~Cook, J. et al, A comprehensive program for the calculation of flame radiation levels~Loss Prev. in Process Ind. January 1990, vol.3 ~Damage: Green Book 1st edition 1992, chapter 1 (Heat radiation); pages 11-36

Parameters		
Inputs		
	JF (5.1/D)	JF (1.7/F)
Chemical name	METHANE (DIPPR)	METHANE (DIPPR)
(Calculated) Mass flow rate (kg/s)	0,10226	0,10226
Exit temperature (°C)	-147,33	-147,33
Exit pressure (bar)	2,8467	2,8467
Hole diameter (mm)	12,5	12,5
Hole rounding	Rounded edges	Rounded edges
<i>Discharge coefficient (-)</i>	1	1
Outflow angle in XZ plane (0°=horizontal; 90°=vertical) (deg)	0	0
Release height (Stack height) (m)	1	1
Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Ambient relative humidity (%)	70	70
Meteorological data		
	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)	F (Very Stable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
<i>Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)</i>		
	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.
Roughness length description		
Flame temperature (°C)	926,85	926,85
Amount of CO2 in atmosphere (-)	0,0003	0,0003
Fraction of the flame covered by soot (-)	0	0
Maximum heat exposure duration (s)	20	20
Reporting distance (Xd) (m)	100	100
Height of the receiver (m)	1	1
Predefined wind direction	W	W
<i>Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)</i>	270	270
Heat radiation level (lowest) for first contour plot (kW/m2)	3,71	3,71
Heat radiation level for second contour plot (kW/m2)	6,64	6,64
Heat radiation level (highest) for third contour plot (kW/m2)	8	8
Report heat radiation grid	Yes	Yes
Resolution for surface discretization	Medium	Medium
Take protective effects of clothing into account	No	No
<i>Correction lethality protection clothing (-)</i>		
Percentage of mortality for contour calculations (%)	1	1
Heat radiation lethal damage Probit A ((sec*(W/m2)^n))	-36,38	-36,38
Heat radiation lethal damage Probit B	2,56	2,56
Heat radiation damage Probit N	1,3333	1,3333
Results		
	JF (5.1/D)	JF (1.7/F)
Type of flow of the jet	Two Phase flow	Two Phase flow
Wind speed at avg. jet height (m/s)	2,55	0,54422
Exit velocity of expanding jet (m/s)	222,22	222,22
Angle between hole and flame axis (alpha) (deg)	0	0
Frustum lift off height (b) (m)	0,084577	0,11298
Width of frustum base (W1) (m)	0,0037683	0,009892
Width of frustum tip (W2) (m)	1,777	2,0563

Length of frustum (flame) (Rl) (m)	5,5539	7,4192
Surface area of frustum (m2)	18,212	27,629
Surface emissive power (max) (kW/m2)	59,682	39,339
Surface emissive power (actual) (kW/m2)	59,682	39,339
Heat radiation at Xd (kW/m2)	0,0036876	0,0033905
Atmospheric transmissivity at Xd (%)	69,67	69,806
View factor at Xd (-)	8,8686E-05	0,00012346
Heat radiation dose at Xd (s*(kW/m2)^4/3)	0,011394	0,010187
3,71 kW/m2 Heat radiation distance (m)	8,9488	10,606
6,64 kW/m2 Heat radiation distance (m)	8,0848	9,7885
8 kW/m2 Heat radiation distance (m)	7,8656	9,5346
Percentage first degree burns at Xd (%)	0	0
Percentage second degree burns at Xd (%)	0	0
Percentage third degree burns at Xd (%)	0	0
1% First degree burns distance (m)	8,925	10,486
1% Second degree burns distance (m)	7,8787	9,4772
1% Third degree (Lethal) burns distance (m)	7,7643	9,4507

H.4. Rotura catastrófica de la manguera de GN (orificio de 12,5 mm) del depósito de GNL de 450 kg de la SC.

Fuga de gas licuado

- ✓ Grado de llenado del depósito: 80%
- ✓ Volumen del depósito: 1,94 m³
- ✓ Longitud del depósito (cilindro horizontal): 1,94 m
- ✓ Duración de fuga: 120 s
- ✓ Temperatura del depósito: -130°C
- ✓ Presión del depósito: 8 bar

Model: Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model)

version: v2017.01.10003 (16/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 2 and Modelling source terms for the atmospheric dispersion of hazardous substances, Jaakko Kukkonen

Parameters	
Inputs	
Chemical name	METHANE (DIPPR)
Use which representative step	First 20% average (flammable)
Type of vessel outflow	Release from vessel through (a hole in) pipe
<i>Fixed Mass flow rate of the source (kg/s)</i>	
Pipeline length (m)	5
Pipeline diameter (mm)	12,5
Pipeline roughness (mm)	0,045
Hole diameter (mm)	12,5
Hole rounding	Rounded edges
<i>Discharge coefficient (-)</i>	1
Height difference between pipe entrance and exit (m)	0
Height leak above tank bottom (m)	0,9
Initial temperature in vessel (°C)	-130
Vessel volume (m3)	1,52
Vessel type	Horizontal cylinder
Length cylinder (m)	1,94
Filling degree (%)	100
Expansion type	Adiabatic
<i>n value</i>	
Pressure inside vessel determination	Use actual pressure
Initial (absolute) pressure in vessel (bar)	8
Type of calculation	Calculate until specified time
Maximum release duration (s)	120
Ambient pressure (bar)	1,0151

Results	
Initial mass in vessel (kg)	562,62
Initial (vapour) pressure in vessel (bar)	8
<i>Time needed to empty vessel (s)</i>	4679
Massflowrate at time t (kg/s)	0,09923
Total mass released at time t (kg)	17,747
Pressure in vessel at time t (bar)	7,1074
Temperature in vessel at time t (°C)	-131,12
VapourMass fraction at time t (-)	0,029994
Liquid mass in vessel at time t (kg)	532,86
Vapour mass in vessel at time t (kg)	0,98885
Height of liquid at time t (m)	0,88986
Fillingdegree at time t (%)	94,089
Exit pressure at time t (bar)	2,7544

Exit temperature at time t (°C)	-147,77
Maximum mass flow rate (kg/s)	0,40754
Representative release rate (kg/s)	0,37264
Representative outflow duration (s)	120
Representative temperature (°C)	-138,84
Corresponding pressure (bar)	4,7695
Representative vapour mass fraction (-)	0,030406

Model: Liquefied Gas Spray Release

version: v2017.01.10783 (16/01/2017)

Reference: Yellow Book CPR14E, Page: 2.105 / 2.112, Section: 2.5.3.7 [Finite duration spray releases] AMINAL - Richtlijn voor het berekenen van Flash en Spray, 1997 C. Hulsbosh-Dam, An Approach to Carbon Dioxide Particle Distribution in Accidental Releases, Chemical Engineering Transactions Vol.26, 2012, ISBN 978-88-95608-17-4; ISSN 1974-9791

Parameters

Inputs

Chemical name	METHANE (DIPPR)
Type of Spray calculation	Spray release model (Yellow Book)
Mass flow rate of the source (kg/s)	0,37264
Exit temperature (°C)	-138,84
Exit pressure (bar)	4,7695
Exit vapour mass fraction (-)	0,030406
Hole diameter (mm)	12,5
Height leak above ground level (m)	1
Ambient temperature (°C)	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151
Ambient relative humidity (%)	70
No of samples (accuracy)	

Results

Adiabatic vapour flash fraction (-)	0,16097
AFTER FLASHING AND RAINOUT: liquid mass fraction (-)	0,79751
Nett mass flow to air (jet) (kg/s)	0,37264
Temperature jet/cloud (°C)	-161,49
Diameter jet/cloud (m)	0,012918
Nett mass flow rained out (kg/s)	0
Temperature of the pool (°C)	-161,49
Density of the airborne mass (kg/m ³)	8,5231
Used Sauter Mean Diameter (micron)	

LEL

Model: Neutral Gas Dispersion: Concentration

version: v2017.01.10898 (17/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 4

Parameters

Inputs

	LEL (1.7/F)	LEL (5.1/D)
Chemical name	METHANE (DIPPR)	METHANE (DIPPR)
Type of neutral gas release	Continuous	Continuous
Total mass released (kg)		
Mass flow rate of the source (kg/s)	0,37264	0,37264
Duration of the release (s)		
Height of release (Z-coordinate) (m)	1	1
Offset X direction (distance) start dispersion (m)	0	0
Offset Z direction (height) start dispersion (m)	0	0
Length source in wind (x) direction (m)	0,6	0,3
Length source in crosswind (y) direction (m)	0,6	0,3
Length source in vertical (z) direction (m)	0,6	0,3

Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Meteorological data	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	F (Very Stable)	D (Neutral)
Wind speed at 10 m height (m/s)	1,7	5,1
North/South latitude of the location (deg)	41	41
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)		
Mixing height (m)		
Stand. dev. of turbulent velocity in vertical direction (m/s)		
Stand. dev. of turbulent velocity in horizontal direction (m/s)		
	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.
Roughness length description		
Time t after start release (s)	120	120
Concentration averaging time (s)	20	20
Reporting distance (Xd) (m)	1000	1000
Distance perpendicular to wind direction (Yd) (m)	0	0
Height (Zd) (m)	1	1
Predefined concentration	Lower Flammability Limit	Lower Flammability Limit
Threshold concentration (mg/m3)	33352	33352
Contour plot accuracy (%)	1	1
Integration tolerance (%)	0,1	0,1
Predefined wind direction	W	W
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270	270
Use dynamic concentration presentation	No	No
Results	LEL (1.7/F)	LEL (5.1/D)
Concentration at (Xd, Yd, Zd, t) (mg/m3)	337,35	18,132
Maximum concentration at (Yd, Zd) (mg/m3)	6,0889E05	6,7822E05
...at distance (m)	0	0
Mixing height used (m)	50	500
Stand. dev. of turbulent velocity in vert. direction used (m/s)	0,10914	0,59167
Stand. dev. of turbulent velocity in horiz. direction used (m/s)	0,15951	0,86127
Maximum distance to Lower Flammability Limit concentration (m)	47,242	7,69
Width of Lower Flammability Limit outer contour (m)	1,1667	0,5
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) used (1/m)	0,073006	0

Masa explosiva

Model: Neutral Gas Dispersion: Flammable Cloud

version: v2017.01.10898 (17/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 4

Parameters

Inputs	Masa explosiva (5.1/D)	Masa explosiva (1.7/F)
Chemical name	METHANE (DIPPR)	METHANE (DIPPR)
Type of neutral gas release	Continuous	Continuous
Total mass released (kg)		
Mass flow rate of the source (kg/s)	0,37264	0,37264
Duration of the release (s)		
Height of release (Z-coordinate) (m)	1	1
Offset X direction (distance) start dispersion (m)	0	0
Offset Z direction (height) start dispersion (m)	0	0
Length source in wind (x) direction (m)	0,3	0,6

Length source in crosswind (y) direction (m)	0,3	0,6
Length source in vertical (z) direction (m)	0,3	0,6
Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Meteorological data	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)	F (Very Stable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
North/South latitude of the location (deg)	41	41
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)		
Mixing height (m)		
Stand. dev. of turbulent velocity in vertical direction (m/s)		
Stand. dev. of turbulent velocity in horizontal direction (m/s)		
	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.
Roughness length description		
Predefined wind direction	W	W
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270	270
	Time maximum explosive mass	Time maximum explosive mass
Reporting time flammable cloud		
Time t after start release (s)		
Concentration averaging time (s)	20	20
Integration tolerance (%)	0,1	0,1
Use 50% LFL for cloud contour	No	No
Use mass between LFL and UFL	No	No
Use dynamic concentration presentation	No	No
Resolution of the time consuming graphs		

Results	Masa explosiva (5.1/D)	Masa explosiva (1.7/F)
Flammability threshold concentration (mg/m3)	33352	33352
Maximum distance to flammable concentration (m)	7,5165	42,731
Width of flammable cloud outer contour (m)	0,5	1,1667
Maximum flammable mass (kg)	0,3358	5,954
Area of explosive cloud (m2)	3,1977	44,025
Time T reported (s)	0	0
Flammable mass at time t (kg)	0,3358	5,954
Area flammable cloud at time t (m2)	-1E300	-1E300
Height to LEL (m)	1,6	2,2
Length of cloud (between LEL) (m)	7,8651	43,256
Width of cloud (between LEL) (m)	0,5	1,3078
Offset between release location and LEL (m)	-0,3125	-0,625
Offset between release and cloud centre at time t (m)	3,62	21,003

Dardo de Fuego

Model: Jet Fire (Chamberlain model)

version: v2017.01.10780 (17/01/2017)

Reference: Chamberlain, G.A., Development in design methods for predicting thermal radiation from flares~Chem. Eng. Res. Des. Vol.65 July 1987 pagina 299 - 309~Cook, J. et al, A comprehensive program for the calculation of flame radiation levels~Loss Prev. in Process Ind. January 1990, vol.3 ~Damage: Green Book 1st edition 1992, chapter 1 (Heat radiation); pages 11-36

Parameters		
Inputs		
	JF (5.1/D)	JF (1.7/F)
Chemical name	METHANE	METHANE
	(DIPPR)	(DIPPR)
(Calculated) Mass flow rate (kg/s)	0,37264	0,37264
Exit temperature (°C)	-138,84	-138,84
Exit pressure (bar)	4,7695	4,7695
Hole diameter (mm)	12,5	12,5
Hole rounding	Rounded edges	Rounded edges
<i>Discharge coefficient (-)</i>	1	1
Outflow angle in XZ plane (0°=horizontal; 90°=vertical) (deg)	0	0
Release height (Stack height) (m)	1	1
Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Ambient relative humidity (%)	70	70
Meteorological data		
	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)	F (Very Stable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
<i>Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)</i>		
	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.
Roughness length description		
Flame temperature (°C)	926,85	926,85
Amount of CO2 in atmosphere (-)	0,0003	0,0003
Fraction of the flame covered by soot (-)	0	0
Maximum heat exposure duration (s)	20	20
Reporting distance (Xd) (m)	100	100
Height of the receiver (m)	1	1
Predefined wind direction	W	W
<i>Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)</i>	270	270
Heat radiation level (lowest) for first contour plot (kW/m2)	3,71	3,71
Heat radiation level for second contour plot (kW/m2)	6,64	6,64
Heat radiation level (highest) for third contour plot (kW/m2)	8	8
Report heat radiation grid	Yes	Yes
Resolution for surface discretization	Medium	Medium
Take protective effects of clothing into account	No	No
<i>Correction lethality protection clothing (-)</i>		
Percentage of mortality for contour calculations (%)	1	1
Heat radiation lethal damage Probit A ((sec*(W/m2)^n))	-36,38	-36,38
Heat radiation lethal damage Probit B	2,56	2,56
Heat radiation damage Probit N	1,3333	1,3333
Results		
	JF (5.1/D)	JF (1.7/F)
Type of flow of the jet	Two Phase flow	Two Phase flow
Wind speed at avg height of jet (m/s)	2,55	0,54422
Exit velocity of expanding jet (m/s)	131,66	131,66
Angle between hole and flame axis (alpha) (deg)	0	0
Frustum lift off height (b) (m)	0,16394	0,219
Width of frustum base (W1) (m)	0,016196	0,018195
Width of frustum tip (W2) (m)	3,7645	4,1125

Length of frustum (flame) (Rl) (m)	10,766	14,381
Surface area of frustum (m2)	76,026	107,54
Surface emissive power (max) (kW/m2)	60,633	42,867
Surface emissive power (actual) (kW/m2)	60,633	42,867
Heat radiation at Xd (kW/m2)	0,018941	0,017454
Atmospheric transmissivity at Xd (%)	70,051	70,319
View factor at Xd (-)	0,00044595	0,00057903
Heat radiation dose at Xd (s*(kW/m2)^4/3)	0,10098	0,090551
3,71 kW/m2 Heat radiation distance (m)	17,817	20,87
6,64 kW/m2 Heat radiation distance (m)	16	19,184
8 kW/m2 Heat radiation distance (m)	15,516	18,727
Percentage first degree burns at Xd (%)	0	0
Percentage second degree burns at Xd (%)	0	0
Percentage third degree burns at Xd (%)	0	0
1% First degree burns distance (m)	17,49	20,6
1% Second degree burns distance (m)	15,269	18,445
1% Third degree (Lethal) burns distance (m)	15,031	18,345

H.5. Rotura catastrófica del depósito de GNL de 255 kg de la SC.

Fuga instantánea de gas licuado

- ✓ Grado de llenado del depósito: 80%
- ✓ Volumen del depósito: 0,76 m³
- ✓ Longitud del depósito (cilindro horizontal): 1,51 m
- ✓ Temperatura del depósito: -130°C
- ✓ Presión del depósito: 8 bar

Model: Liquefied Gas Instantaneous Release (AMINAL model)

version: v2017.01.10706 (16/01/2017)

Reference: AMINAL- Belgium, "Nieuwe richtlijn voor het berekenen van flash en spray" doc.97/001 which is original source of CPR 18E, table 4.8, pg. 4.14

Parameters

Inputs

Chemical name	METHANE (DIPPR)
Vessel volume (m3)	0,76
Filling degree (%)	80
Initial temperature in vessel (°C)	-130
Pressure inside vessel determination	Use actual pressure
Initial (absolute) pressure in vessel (bar)	8
Ambient pressure (bar)	1,0151

Results

Initial mass in vessel (kg)	227,16
Adiabatic vapour flash fraction (-)	0,228
Liquid mass fraction in cloud (-)	0,60746
Total mass in cloud (kg)	135,67
Rainout mass (as liquid) (kg)	91,492
Temperature jet/cloud (°C)	-161,49
Temperature of the pool (°C)	-161,49
Radius of the flammable cloud (m)	8,6508
Representative density (kg/m3)	4,6331

Incendio de charco

Model: Pool fire

version: v2017.01.10780 (16/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Paragraph 6.5.4~Rew, P.J. & Hulbert, W.G. (1997) Modelling of Thermal radiation from external hydrocarbon poolfires, in Trans IChemE, Vol.75 part B, ~Rew, P.J. & Hulbert, W.G. (1996), Development of a pool fire thermal radiation model, HSE Contract research report no. 96, ~ Damage: Green Book 1st edition 1992, chapter 1 (Heat radiation); pages 11-36~

Parameters

Inputs

	PF (5.1/D)	PF (1.7/F)
Chemical name	METHANE (DIPPR)	METHANE (DIPPR)
Type of pool fire calculation	Pool fire model Yellow Book	Pool fire model Yellow Book
Pool size determination	Confined	Confined
Total mass released (kg)	91,492	91,492
<i>Mass flow rate of the source (kg/s)</i>		
<i>Duration of the release (s)</i>		
Type of pool (poolfire)	Circular	Circular
Max. pool surface poolfire (m2)	1500	1500
<i>Diameter of the rim (m)</i>		
<i>Width of rim (m)</i>		
<i>Width of rectangle (m)</i>		
<i>Length of rectangle (m)</i>		

Rotation rectangle (North = 0 degrees) (deg)		
Height of the receiver (m)	1	1
Height of the confined pool above ground level (mm)	10	10
Temperature of the pool (°C)	-161,49	-161,49
Fraction combustion heat radiated (-)	0,35	0,35
Soot Fraction	Calculate/Default	Calculate/Default
Fraction of the flame covered by soot (-)	0,8	0,8
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Ambient relative humidity (%)	70	70
Amount of CO2 in atmosphere (-)	0,0003	0,0003
Reporting distance (Xd) (m)	200	200
Maximum heat exposure duration (s)	20	20
Predefined wind direction	W	W
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270	270
Heat radiation level (lowest) for first contour plot (kW/m2)	3,71	3,71
Heat radiation level for second contour plot (kW/m2)	6,64	6,64
Heat radiation level (highest) for third contour plot (kW/m2)	8	8
Report heat radiation grid	Yes	Yes
Resolution for surface discretization	Medium	Medium
Take protective effects of clothing into account	No	No
Correction lethality protection clothing (-)		
Percentage of mortality for contour calculations (%)	1	1
Heat radiation lethal damage Probit A ((sec*(W/m2)^n))	-36,38	-36,38
Heat radiation lethal damage Probit B	2,56	2,56
Heat radiation damage Probit N	1,3333	1,3333

Results	PF (5.1/D)	PF (1.7/F)
Equivalent diameter poolfire (m)	43,702	43,702
Max Diameter top flame (length ellipse) (m)		
Calculated pool surface area (m2)	1500	1500
Combustion rate (kg/s)	211,5	211,5
Duration of the pool fire (s)	0,43259	0,43259
Surface emissive power flame (kW/m2)	83,28	79,362
Surface emissive power (clear flame) (kW/m2)		
Surface emissive power (sooted flame) (kW/m2)		
Flame tilt (deg)	49,595	32,802
Flame temperature (°C)	829,01	815,88
Length of the flame (m)	69,263	74,221
Height of clear fraction Flame (m)		
Weight ratio of HCL/chemical (%)	0	0
Weight ratio of NO2/chemical (%)	0	0
Weight ratio of SO2/chemical (%)	0	0
Weight ratio of CO2/chemical (%)	274,4	274,4
Weight ratio of H2O/chemical (%)	224,69	224,69
Heat radiation at Xd (kW/m2)	1,4284	1,5686
Atmospheric Transmissivity at Xd (%)	64,767	63,437
Viewfactor at Xd (-)	0,026482	0,031157
Heat radiation dose at Xd (s*(kW/m2)^4/3)	32,172	36,451
3,71 kW/m2 Heat radiation distance (m)	143,27	141,15
6,64 kW/m2 Heat radiation distance (m)	117,89	110,48
8 kW/m2 Heat radiation distance (m)	110,67	101,67
Percentage first degree burns at Xd (%)	0	0
Percentage second degree burns at Xd (%)	0	0
Percentage third degree burns at Xd (%)	0	0
1% First degree burns distance (m)	138,82	135,81
1% Second degree burns distance (m)	105,2	94,92
1% Third degree (Lethal) burns distance (m)	103,07	92,27

Evaporación desde charco

Model: Pool evaporation

version: v2017.01.10904 (16/01/2017)

Reference: Yellow Book CPR14E 2nd Edition - Chapter 5: Evaporation. Trijssenaar-Buhre, I.J.M, Sterkenburg, R.P., Wijnant-Timmerman, S.I.: An advanced model for spreading and evaporation of accidentally released hazardous liquids on land. Diffusion coefficient in Schmidt number based on Fuller, Schetter and Gitting correlation, see <http://www.thermopedia.com/content/696>

Parameters		
Inputs		
Chemical name	PE (5.1/D) METHANE (DIPPR)	PE (1.7/F) METHANE (DIPPR)
Use which representative step	First 20% average (flammable)	First 20% average (flammable)
Evaporation from land or water	Land	Land
Type of release in pool	Instantaneous	Instantaneous
Type of pool growth on Land	Spreading	Spreading
Type of pool growth on Water		
Maximum pool surface area (m2)		
Mass flow rate of the source (kg/s)		
Duration of the release (s)		
Total mass released (kg)	91,492	91,492
Temperature of the pool (°C)	-161,49	-161,49
Temperature of the subsoil (°C)	16,2	16,2
Temperature of the water (°C)		
Max temperature difference between pool and water (K)		
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Ambient relative humidity (%)	70	70
Solar radiation flux	User defined	User defined
Solar heat radiation flux (W/m2)	120	120
Cloud cover (%)		
Date: day number		
Date: month number		
Date: year number		
North/South latitude of the location (deg)		
Type of subsoil (evaporation)	Heavy concrete	Heavy concrete
Subsoil roughness description (pool)	flat sandy soil, concrete, tiles, plant-yard	flat sandy soil, concrete, tiles, plant-yard
Maximum evaluation time for evaporation (s)	1800	1800
Results		
Heat flux from solar radiation (kW/m2)	0,12	0,12
Time pool spreading ends (s)	4,5	4,5
Time until pool has totally evaporated (s)	703	954
Purple book representative evaporation rate (kg/s)	4,0738	3,9349
Purple book representative evaporation duration (s)	22,458	23,251
Representative temperature (°C)	-161,49	-161,49
Representative pool diameter (m)	6,2356	6,2343
Density after mixing with air (kg/m3)	1,3243	1,4468
Total evaporated mass (kg)	91,492	91,492
... duration evaporation time (s)	702,5	953,5
Corresponding representative pool surface area (m2)	30,539	30,526
Schmidt number used	0,71051	0,71051

LEL

Model: Neutral Gas Dispersion: Concentration

version: v2017.01.10898 (17/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 4

Parameters		
Inputs		
Chemical name	METHANE (DIPPR)	METHANE (DIPPR)
Type of neutral gas release	Instantaneous	Instantaneous
Total mass released (kg)	91,492	91,492
Mass flow rate of the source (kg/s)	4,0738	3,9349
Duration of the release (s)	22,458	23,251
Height of release (Z-coordinate) (m)	1	1
Offset X direction (distance) start dispersion (m)		
Offset Z direction (height) start dispersion (m)		
Length source in wind (x) direction (m)	5,9	5,9
Length source in crosswind (y) direction (m)	5,9	5,9
Length source in vertical (z) direction (m)	5,9	5,9
Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Meteorological data	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)	F (Very Stable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
North/South latitude of the location (deg)	41	41
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)		
Mixing height (m)		
Stand. dev. of turbulent velocity in vertical direction (m/s)		
Stand. dev. of turbulent velocity in horizontal direction (m/s)		
	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.
Roughness length description		
Time t after start release (s)	120	120
Concentration averaging time (s)		
Reporting distance (Xd) (m)	1000	1000
Distance perpendicular to wind direction (Yd) (m)	0	0
Height (Zd) (m)	1	1
Predefined concentration	Lower Flammability Limit	Lower Flammability Limit
Threshold concentration (mg/m3)	33352	33352
Contour plot accuracy (%)	1	1
Integration tolerance (%)	0,1	0,1
Predefined wind direction	W	W
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270	270
Use dynamic concentration presentation	No	No
Results		
Concentration at (Xd, Yd, Zd, t) (mg/m3)	0,0018253	0
Maximum concentration at (Yd, Zd) (mg/m3)	6,7823E05	6,7823E05
...at distance (m)	14,012	17,243
Mixing height used (m)	500	50
Stand. dev. of turbulent velocity in vert. direction used (m/s)	0,59167	0,10914
Stand. dev. of turbulent velocity in horiz. direction used (m/s)	0,86127	0,15951
Maximum distance to Lower Flammability Limit concentration (m)	96,116	171,64
Width of Lower Flammability Limit outer contour (m)	9,6875	8,4597
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) used (1/m)	0	0,073006

Masa explosiva

Model: Neutral Gas Dispersion: Flammable Cloud

version: v2017.01.10898 (17/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 4

Parameters

Inputs	Masa explosiva (5.1/D)	Masa explosiva (1.7/F)
Chemical name	METHANE (DIPPR)	METHANE (DIPPR)
Type of neutral gas release	Instantaneous	Instantaneous
Total mass released (kg)	91,492	91,492
Mass flow rate of the source (kg/s)	4,0738	3,9349
Duration of the release (s)	22,458	23,251
Height of release (Z-coordinate) (m)	1	1
Offset X direction (distance) start dispersion (m)		
Offset Z direction (height) start dispersion (m)		
Length source in wind (x) direction (m)	5,9	5,9
Length source in crosswind (y) direction (m)	5,9	5,9
Length source in vertical (z) direction (m)	5,9	5,9
Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Meteorological data	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)	F (Very Stable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
North/South latitude of the location (deg)	41	41
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)		
Mixing height (m)		
Stand. dev. of turbulent velocity in vertical direction (m/s)		
Stand. dev. of turbulent velocity in horizontal direction (m/s)		
Roughness length description	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.
Predefined wind direction	W	W
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270	270
Reporting time flammable cloud	Time maximum area cloud	Time maximum area cloud
Time t after start release (s)		
Concentration averaging time (s)		
Integration tolerance (%)	0,1	0,1
Use 50% LFL for cloud contour	No	No
Use mass between LFL and UFL	No	No
Use dynamic concentration presentation	No	No
Resolution of the time consuming graphs	Low	Low

Results	Masa explosiva (5.1/D)	Masa explosiva (1.7/F)
Flammability threshold concentration (mg/m3)	33352	33352
Maximum distance to flammable concentration (m)	95,658	169,13
Width of flammable cloud outer contour (m)	9,4375	8,4597
Maximum flammable mass (kg)	86,743	86,791
Maximum area of explosive cloud (m2)	166,61	235,64
Time T reported (s)	10	54
Total explosive mass at time t (kg)	52,942	48,616

Area flammable cloud at time t (m2)	166,61	235,64
Height to LEL at time t (m)	0	0
Length of cloud (between LEL) at time t (m)	22,66	36,755
Width of cloud (between LEL) at time t (m)	9,2773	8,0683
Offset between release location and LEL at time t (m)	39,722	73,38
Offset between release and cloud centre at time t (m)	51,052	91,758



H.6. Rotura catastrófica del depósito de GNL de 450 kg de la SC.

Fuga instantánea de gas licuado

- ✓ Grado de llenado del depósito: 80%
- ✓ Volumen del depósito: 1,94 m³
- ✓ Longitud del depósito (cilindro horizontal): 1,94 m
- ✓ Temperatura del depósito: -130°C
- ✓ Presión del depósito: 8 bar

Model: Liquefied Gas Instantaneous Release (AMINAL model)

version: v2017.01.10706 (16/01/2017)

Reference: AMINAL- Belgium, "Nieuwe richtlijn voor het berekenen van flash en spray" doc.97/001 which is original source of CPR 18E, table 4.8, pg. 4.14

Parameters

Inputs

Chemical name	METHANE (DIPPR)
Vessel volume (m3)	1,52
Filling degree (%)	80
Initial temperature in vessel (°C)	-130
Pressure inside vessel determination	Use actual pressure
Initial (absolute) pressure in vessel (bar)	8
Ambient pressure (bar)	1,0151

Results

Initial mass in vessel (kg)	454,32
Adiabatic vapour flash fraction (-)	0,228
Liquid mass fraction in cloud (-)	0,60746
Total mass in cloud (kg)	271,34
Rainout mass (as liquid) (kg)	182,98
Temperature jet/cloud (°C)	-161,49
Temperature of the pool (°C)	-161,49
Radius of the flammable cloud (m)	10,899
Representative density (kg/m3)	4,6331

Incendio de charco

Model: Pool fire

version: v2017.01.10780 (16/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Paragraph 6.5.4~Rew, P.J. & Hulbert, W.G. (1997) Modelling of Thermal radiation from external hydrocarbon poolfires, in Trans IChemE, Vol.75 part B, ~Rew, P.J. & Hulbert, W.G. (1996), Development of a pool fire thermal radiation model, HSE Contract research report no. 96, ~ Damage: Green Book 1st edition 1992, chapter 1 (Heat radiation); pages 11-36~

Parameters

Inputs

	PF (5.1/D)	PF (1.7/F)
Chemical name	METHANE (DIPPR)	METHANE (DIPPR)
Type of pool fire calculation	Pool fire model Yellow Book	Pool fire model Yellow Book
Pool size determination	Confined	Confined
Total mass released (kg)	182,98	182,98
<i>Mass flow rate of the source (kg/s)</i>		
<i>Duration of the release (s)</i>		
Type of pool (poolfire)	Circular	Circular
Max. pool surface poolfire (m2)	1500	1500
<i>Diameter of the rim (m)</i>		
<i>Width of rim (m)</i>		
<i>Width of rectangle (m)</i>		
<i>Length of rectangle (m)</i>		

Rotation rectangle (North = 0 degrees) (deg)		
Height of the receiver (m)	1	1
Height of the confined pool above ground level (mm)	10	10
Temperature of the pool (°C)	-161,49	-161,49
Fraction combustion heat radiated (-)	0,35	0,35
Soot Fraction	Calculate/Default	Calculate/Default
Fraction of the flame covered by soot (-)	0,8	0,8
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Ambient relative humidity (%)	70	70
Amount of CO2 in atmosphere (-)	0,0003	0,0003
Reporting distance (Xd) (m)	200	200
Maximum heat exposure duration (s)	20	20
Predefined wind direction	W	W
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270	270
Heat radiation level (lowest) for first contour plot (kW/m2)	3,71	3,71
Heat radiation level for second contour plot (kW/m2)	6,64	6,64
Heat radiation level (highest) for third contour plot (kW/m2)	8	8
Report heat radiation grid	Yes	Yes
Resolution for surface discretization	Medium	Medium
Take protective effects of clothing into account	No	No
Correction lethality protection clothing (-)		
Percentage of mortality for contour calculations (%)	1	1
Heat radiation lethal damage Probit A ((sec*(W/m2)^n))	-36,38	-36,38
Heat radiation lethal damage Probit B	2,56	2,56
Heat radiation damage Probit N	1,3333	1,3333

Results	PF (5.1/D)	PF (1.7/F)
Equivalent diameter poolfire (m)	43,702	43,702
Max Diameter top flame (length ellipse) (m)		
Calculated pool surface area (m2)	1500	1500
Combustion rate (kg/s)	211,5	211,5
Duration of the pool fire (s)	0,86518	0,86518
Surface emissive power flame (kW/m2)	83,28	79,362
Surface emissive power (clear flame) (kW/m2)		
Surface emissive power (sooted flame) (kW/m2)		
Flame tilt (deg)	49,595	32,802
Flame temperature (°C)	829,01	815,88
Length of the flame (m)	69,263	74,221
Height of clear fraction Flame (m)		
Weight ratio of HCL/chemical (%)	0	0
Weight ratio of NO2/chemical (%)	0	0
Weight ratio of SO2/chemical (%)	0	0
Weight ratio of CO2/chemical (%)	274,4	274,4
Weight ratio of H2O/chemical (%)	224,69	224,69
Heat radiation at Xd (kW/m2)	1,4284	1,5686
Atmospheric Transmissivity at Xd (%)	64,767	63,437
Viewfactor at Xd (-)	0,026482	0,031157
Heat radiation dose at Xd (s*(kW/m2)^4/3)	32,172	36,451
3,71 kW/m2 Heat radiation distance (m)	143,27	141,15
6,64 kW/m2 Heat radiation distance (m)	117,89	110,48
8 kW/m2 Heat radiation distance (m)	110,67	101,67
Percentage first degree burns at Xd (%)	0	0
Percentage second degree burns at Xd (%)	0	0
Percentage third degree burns at Xd (%)	0	0
1% First degree burns distance (m)	138,82	135,81
1% Second degree burns distance (m)	105,2	94,92
1% Third degree (Lethal) burns distance (m)	103,07	92,27

Evaporación desde charco

Model: Pool evaporation

version: v2017.01.10904 (16/01/2017)

Reference: Yellow Book CPR14E 2nd Edition - Chapter 5: Evaporation. Trijssenaar-Buhre, I.J.M, Sterkenburg, R.P., Wijnant-Timmerman, S.I.: An advanced model for spreading and evaporation of accidentally released hazardous liquids on land. Diffusion coefficient in Schmidt number based on Fuller, Schetter and Gitting correlation, see <http://www.thermopedia.com/content/696>

Parameters		
Inputs		
Chemical name	PE (5.1/D) METHANE (DIPPR)	PE (1.7/F) METHANE (DIPPR)
Use which representative step	First 20% average (flammable)	First 20% average (flammable)
Evaporation from land or water	Land	Land
Type of release in pool	Instantaneous	Instantaneous
Type of pool growth on Land	Spreading	Spreading
Type of pool growth on Water		
Maximum pool surface area (m2)		
Mass flow rate of the source (kg/s)		
Duration of the release (s)		
Total mass released (kg)	182,98	182,98
Temperature of the pool (°C)	-161,49	-161,49
Temperature of the subsoil (°C)	16,2	16,2
Temperature of the water (°C)		
Max temperature difference between pool and water (K)		
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Ambient relative humidity (%)	70	70
Solar radiation flux	User defined	User defined
Solar heat radiation flux (W/m2)	120	120
Cloud cover (%)		
Date: day number		
Date: month number		
Date: year number		
North/South latitude of the location (deg)		
Type of subsoil (evaporation)	Heavy concrete	Heavy concrete
Subsoil roughness description (pool)	flat sandy soil, concrete, tiles, plant-yard	flat sandy soil, concrete, tiles, plant-yard
Maximum evaluation time for evaporation (s)	1800	1800
Results		
Heat flux from solar radiation (kW/m2)	0,12	0,12
Time pool spreading ends (s)	5,5	5,5
Time until pool has totally evaporated (s)	731,5	982,5
Purple book representative evaporation rate (kg/s)	7,5692	7,3154
Purple book representative evaporation duration (s)	24,175	25,013
Representative temperature (°C)	-161,49	-161,49
Representative pool diameter (m)	8,8142	8,8122
Density after mixing with air (kg/m3)	1,3499	1,4864
Total evaporated mass (kg)	182,98	182,98
... duration evaporation time (s)	731	982
Corresponding representative pool surface area (m2)	61,018	60,99
Schmidt number used	0,71051	0,71051

LEL

Model: Neutral Gas Dispersion: Concentration

version: v2017.01.10898 (17/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 4

Parameters		
Inputs		
Chemical name	METHANE (DIPPR)	METHANE (DIPPR)
Type of neutral gas release	Instantaneous	Instantaneous
Total mass released (kg)	182,98	182,98
Mass flow rate of the source (kg/s)	7,5692	7,3154
Duration of the release (s)	24,175	25,013
Height of release (Z-coordinate) (m)	1	1
Offset X direction (distance) start dispersion (m)		
Offset Z direction (height) start dispersion (m)		
Length source in wind (x) direction (m)	7,5	7,5
Length source in crosswind (y) direction (m)	7,5	7,5
Length source in vertical (z) direction (m)	7,5	7,5
Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Meteorological data	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)	F (Very Stable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
North/South latitude of the location (deg)	41	41
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)		
Mixing height (m)		
Stand. dev. of turbulent velocity in vertical direction (m/s)		
Stand. dev. of turbulent velocity in horizontal direction (m/s)		
	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.
Roughness length description		
Time t after start release (s)	120	120
Concentration averaging time (s)		
Reporting distance (Xd) (m)	1000	1000
Distance perpendicular to wind direction (Yd) (m)	0	0
Height (Zd) (m)	1,5	1,5
Predefined concentration	Lower Flammability Limit	Lower Flammability Limit
Threshold concentration (mg/m3)	33352	33352
Contour plot accuracy (%)	1	1
Integration tolerance (%)	0,1	0,1
Predefined wind direction	W	W
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270	270
Use dynamic concentration presentation	No	No
Results		
Concentration at (Xd, Yd, Zd, t) (mg/m3)	0,003647	0
Maximum concentration at (Yd, Zd) (mg/m3)	6,7823E05	6,7823E05
...at distance (m)	17,268	21,305
Mixing height used (m)	500	50
Stand. dev. of turbulent velocity in vert. direction used (m/s)	0,59167	0,10914
Stand. dev. of turbulent velocity in horiz. direction used (m/s)	0,86127	0,15951
Maximum distance to Lower Flammability Limit concentration (m)	124,58	224,31
Width of Lower Flammability Limit outer contour (m)	12,097	10,675
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) used (1/m)	0	0,073006

Masa explosiva

Model: Neutral Gas Dispersion: Flammable Cloud

version: v2017.01.10898 (17/01/2017)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 4

Parameters

Inputs	Masa explosiva (5.1/D)	Masa explosiva (1.7/F)
Chemical name	METHANE (DIPPR)	METHANE (DIPPR)
Type of neutral gas release	Instantaneous	Instantaneous
Total mass released (kg)	182,98	182,98
Mass flow rate of the source (kg/s)	7,5692	7,3154
Duration of the release (s)	24,175	25,013
Height of release (Z-coordinate) (m)	1	1
Offset X direction (distance) start dispersion (m)		
Offset Z direction (height) start dispersion (m)		
Length source in wind (x) direction (m)	7,5	7,5
Length source in crosswind (y) direction (m)	7,5	7,5
Length source in vertical (z) direction (m)	7,5	7,5
Ambient temperature (°C)	16,2	16,2
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Meteorological data	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)	F (Very Stable)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5,1	1,7
North/South latitude of the location (deg)	41	41
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)		
Mixing height (m)		
Stand. dev. of turbulent velocity in vertical direction (m/s)		
Stand. dev. of turbulent velocity in horizontal direction (m/s)		
	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.	Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.
Roughness length description		
Predefined wind direction	W	W
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270	270
	Time	Time
Reporting time flammable cloud	maximum area cloud	maximum area cloud
Time t after start release (s)		
Concentration averaging time (s)		
Integration tolerance (%)	0,1	0,1
Use 50% LFL for cloud contour	No	No
Use mass between LFL and UFL	No	No
Use dynamic concentration presentation	No	No
Resolution of the time consuming graphs	Low	Low

Results	Masa explosiva (5.1/D)	Masa explosiva (1.7/F)
Flammability threshold concentration (mg/m3)	33352	33352
Maximum distance to flammable concentration (m)	124,2	222,51
Width of flammable cloud outer contour (m)	12,097	10,675
Maximum flammable mass (kg)	173,84	173,53
Maximum area of explosive cloud (m2)	275,35	395,7
Time T reported (s)	12	72
Total explosive mass at time t (kg)	115,54	94,798
Area flammable cloud at time t (m2)	275,35	395,7
Height to LEL at time t (m)	0	2,9

Length of cloud (between LEL) at time t (m)	28,741	48,494
Width of cloud (between LEL) at time t (m)	12,21	10,381
Offset between release location and LEL at time t (m)	46,837	98,18
Offset between release and cloud centre at time t (m)	61,208	122,43





ANEXO II. ESTUDIO *WHAT IF...*?



EPM3: BARCELONA: STRADDLE CARRIER PROPULSADA POR MOTOR DE GAS ESTUDIO WHAT IF...?

Preparado por:

TEMA

Enero 2017 (Rev. 0)

Refª.: 1231/13694

ÍNDICE

1	Introducción.....	3
2	Alcance.....	4
3	Objetivo	4
4	Descripción del proyecto	5
5	Descripción del método	6
6	Anexos	7
	ANEXO I. TABLAS <i>WHAT IF</i>...?.....	8
	ANEXO II. LISTADO DE RECOMENDACIONES	18
	ANEXO III. LISTADO DE ASISTENCIA.....	20

1 Introducción

Este estudio What if se enmarca dentro del proyecto de pruebas piloto a realizar con dos Straddle Carrier (en adelante SC) propulsadas con Gas Natural (en adelante GN) en las terminales de contenedores APM TERMINALS (TCB) y BEST, en el Puerto de Barcelona. En cada terminal operará una SC propulsada por GN. Para estas pruebas piloto se transformará una SC, de cada una de las terminales, para que pueda funcionar con GN, básicamente instalando en la SC un depósito de Gas Natural Licuado (en adelante GNL) y sustituyendo sus motores, o si fuese posible modificándolos, para que puedan funcionar con GN.

El estudio se realizó en una única sesión el 12 de enero de 2017. Las personas que participaron y validaron el What If, son las siguientes:

NOMBRE	CARGO	EMPRESA
Jaime Traver	Líder What if	TEMA S.A.
María Cristina Monedero	Escriba What if	TEMA S.A.
Daniel Ruiz	Técnico Medioambiente	APB
Jordi Vila	Jefe departamento de Medioambiente	APB
Anna Perera	Seguridad Industrial	APB
Alex Peralta	Operaciones Portuarias	APB
Judith Gómez	Técnico Comercial	HAM
Alfred Guitard	Ingeniero	EINESA
Miquel Gasulla	Ingeniero	EINESA
Vicens Roig	Director de Ingeniería y Tecnología	BEST

2 Alcance

- a) Circulación de una Estación Móvil de carga de GNL (cisterna de GNL; en adelante EM) por el interior de la Terminal de Contenedores hasta la ubicación del punto de carga, conexión, descarga y desconexión.
- b) Operación de repostaje de GNL a las SC.
- c) Circulación y Operaciones de las SC con depósito de GNL por el interior de las terminales.

3 Objetivo

El objetivo del presente análisis es la identificación de los peligros potenciales y problemas de operatividad que puedan afectar a la seguridad, el medio ambiente y a la propiedad y a las operaciones, derivados de las actividades realizadas con las SC durante la pruebas piloto del proyecto; en concreto: la circulación de una EM hasta el punto de carga, conexión, descarga y desconexión, el repostaje de combustible (GNL) a las SC desde esa EM y la circulación/operaciones de las SC propulsadas con GN (una por terminal) en las terminales APM TERMINALS (TCB) y BEST.

Entre otros se consideran los siguientes aspectos:

- a) Análisis del emplazamiento seleccionado para el estacionamiento de la cisterna de GNL y de las SC.
- b) Identificación de riesgos asociados al proceso de carga de GNL en la SC y a la operativa de la SC con GN.
- c) Análisis de salvaguardas y medidas correctoras.
- d) Propuesta de medidas adicionales para reducir el riesgo.

4 Descripción del proyecto

El estudio se enmarca en el proyecto Core LNGas hive, dentro del programa de reducción de combustibles contaminantes y su sustitución por combustibles más limpios, como el GN; de esta forma se reduce la dependencia del petróleo y de emisiones al medio ambiente.

El proyecto consiste en el estudio del motor diésel-eléctrico y diésel-hidráulico de dos máquinas existentes fuera de carretera, cada una operando en una de las dos terminales de contenedores del puerto (terminal APM TERMINALS (TCB) y terminal BEST), para ver la viabilidad de su sustitución por un motor de GNL, y la factibilidad de su homologación.

El GNL se trasegará mediante un equipo dotado de todos los elementos necesarios para el suministro del GNL en las condiciones requeridas por el sistema de combustible de la SC a través de una bomba entre el tanque de suministro y los depósitos de las SC. Se empleará uno u otro sentido de repostaje para carga o descarga de los depósitos de GNL de la SC.

Las condiciones de suministro del GNL cumplirán con las condiciones de trabajo especificadas por el fabricante del motor y el de los depósitos instalados en los SC:

- Índice de metano igual o superior a: 75 (a confirmar según especificaciones motor)
- Presión: 8 barg
- Temperatura: - 130°C

5 Descripción del método

La identificación de peligros se realizó mediante un estudio *What if...?*. Esta técnica es un método inductivo que utiliza información específica de un sistema para generar una serie de preguntas pertinentes durante el tiempo de vida del mismo. Consiste en definir tendencias, formular preguntas, desarrollar respuestas y evaluarlas, incluyendo la más amplia gama de consecuencias posibles. No requiere métodos cuantitativos especiales o una planeación extensiva.

El método utiliza información específica del sistema para generar preguntas o plantear desviaciones, relacionadas con el sistema. Un equipo especial realiza una lista de planteamientos empleando preguntas ¿Qué pasa si?, las cuales son contestadas colectivamente por el grupo de trabajo resumidas en forma tabular.

Esta técnica es ampliamente utilizada durante las etapas de diseño, así como durante el tiempo de vida o de operación del sistema, así como cuando se introducen cambios al sistema o a los procedimientos de operación.

El propósito del método What If? tiene tres aspectos:

- ✓ Identificar las condiciones y situaciones peligrosas posibles que pueden resultar de barreras y controles inadecuados.
- ✓ Identificar eventos que pudieran provocar incidentes/ accidentes.
- ✓ Recomendar acciones para reducir el riesgo del sistema objeto de estudio, así como para mejorar la operabilidad del mismo.

Mediante la realización de un estudio *What if...?* Para el proyecto de abastecimiento de GNL a la SC se contempla:

- Circulación de una Estación Móvil de carga de GNL (cisterna de GNL; en adelante EM) por el interior de la Terminal de Contenedores hasta la ubicación del punto de carga, conexión, descarga y desconexión.
- Operación de repostaje de GNL a las SC.
- Circulación y operaciones de las SC con depósito de GNL por el interior de las terminales.

6 Anexos

En el **Anexo I** de este informe se incluyen las hojas de trabajo del Estudio *What If...?* generadas a partir del desarrollo de la sesión realizada, en las cuales se detallan todas las desviaciones planteadas.

En el **Anexo II**, se presenta el listado de recomendaciones obtenidas del estudio *What if...?*

En el **Anexo III**, se presenta el listado de asistencia a la sesión *What if...?*



ANEXO I. TABLAS *WHAT IF...*?

What if...?

Company: CORE LNGas hive
Location: Barcelona
Facility: Straddle Carrier
PHA Method: What-If/Checklist
PHA Type: Initial

Process:

Abastecimiento de Straddle Carriers con GNL

File Description:

Date:

Enero 2017

Process Description:

Repostaje y operación de Straddle Carrier con GNL, circulación de las Estaciones Móviles de GNL en el recinto portuario de Barcelona,.

Chemicals:

GNL

Purpose:

Identificación de los peligros potenciales y problemas de operatividad que puedan afectar a la seguridad, el medio ambiente y a la propiedad y operaciones, derivados de las actividades de operación de las Straddle Carriers operando con GNL que se realizan en las terminales TCB y BEST, y del transporte de la cisterna de GNL desde las instalaciones del proveedor hasta la zona de carga de GNL para terminal de contenedores.

Scope:

- a. Análisis del emplazamiento seleccionado para el estacionamiento de la Estación Móvil de GNL.
- b. Análisis de la ruta seguida por la Estación Móvil de GNL e interacciones con instalaciones del entorno.
- c. Identificación de riesgos asociados a la propia cisterna de GNL, al proceso de carga de GNL y a la operativa de la Straddle Carrier con GN.

Objectives:

El objeto del presente estudio es la identificación de los peligros potenciales y problemas de operatividad que puedan afectar a la seguridad, el medio ambiente y a la propiedad y operaciones, derivados de la actividad.

Project Notes:

NOTAS GENERALES:

N.G. 1: Las consecuencias fueron identificadas en ausencia de capas de protección

N.G. 2: Se ha considerado la evaluación en los entornos Humano (EH), Natural (EN) y Socioeconómico (ES).

What if...?

Company: CORE LNGas hive
Facility: Straddle Carrier

Page: 1 of 8

Sesión: (1) 12/01/2017

Actividad: (1) Operaciones de carga de GNL a las Straddle Carrier (Conexión, descarga, desconexión)

¿Qué pasa si?	Consecuencia	Categoría	Medidas existentes	Medidas adicionales	Responsable
1.1. Colisión de la Estación Móvil (EM) con camiones, maquinaria industrial y/o elementos fijos en la terminal.	1.1.1.1. Daño en la EM con posibilidad de pérdida de contención. Fuga de Gas Natural Licuado (GNL). Riesgo de incendio o quemaduras por proyección de líquido.	EH/ES	Señalización viaria. Limitación de velocidad a 30 KPH.	R.1.1. Incluir en el procedimiento de admisión de la EM, el acompañamiento para entrada y salida a la zona de carga.	APM terminals (TCB)/BEST
1.2. Posibilidad de admisión de la EM con algún defecto que pueda dar lugar a una pérdida de contención.	1.2.1.1. Posibilidad de fuga de GNL. Riesgo de incendio o quemaduras por proyección de líquido.	EH	Comprobación visual del estado de la EM en acceso al terminal, por parte del responsable de mantenimiento de la terminal. Comprobación del estado de la EM por el operador de la EM antes de proceder a la carga de GNL a la Straddle Carrier (SC).		
1.3. Ubicación incorrecta de la Straddle Carrier (SC) y/o de la EM en la área de carga.	1.3.1.1. Posibilidad de tensión en la manguera de líquido con riesgo de desconexión/rotura de la manguera. Fuga de GNL. Riesgo de incendio o quemaduras por proyección de líquido.	EH	Dry coupling. Break away. Presencia permanente de personal durante la operación. Medios de extinción en el área.	R.1.2. Señalizar en el suelo la ubicación de la EM de GNL y de la SC. R.1.3. Elaborar procedimiento de operación y de repostaje en la terminal de la SC.	APM terminals (TCB)/BEST/HAM APM terminals (TCB)/BEST/HAM
	1.3.1.2. Posibilidad de tensión en la manguera de gas con riesgo de desconexión/rotura de la manguera. Fuga de GN. Riesgo de incendio.	EH	Seguridad en conector de gas (conexión media vuelta). Break away. Presencia permanente de personal durante la operación. Medios de extinción en el área.	: see R.1.2. : see R.1.3.	
1.4. Depósitos de suciedad, presencia de hielo y/o fallo mecánico del dispositivo de acoplamiento de la manguera de líquido (dry coupling).	1.4.1.1. Falta de estanqueidad en el acoplamiento de manguera de líquido con boca depósito de GNL a SC. Fuga de GNL. Riesgo de incendio o quemaduras por proyección de...	EH	Presencia permanente de personal durante la operación. Medios de extinción en el área.		

What if...?

Company: CORE LNGas hive
Facility: Straddle Carrier

Page: 2 of 8

Sesión: (1) 12/01/2017

Actividad: (1) Operaciones de carga de GNL a las Straddle Carrier (Conexión, descarga, desconexión)

[illegible]

What if...?

Company: CORE LNGas hive
Facility: Straddle Carrier

Page: 3 of 8

Sesión: (1) 12/01/2017

Actividad: (1) Operaciones de carga de GNL a las Straddle Carrier (Conexión, descarga, desconexión)

¿Qué pasa si?	Consecuencia	Categoría	Medidas existentes	Medidas adicionales	Responsable
...presión superior a 3 bar (T>-130°C).	...SC con posibilidad de mal funcionamiento del motor de la SC		...temperatura en la EM antes de iniciar la operación de carga de la SC.		
1.9. Presencia de aire en el depósito de GNL de la SC.	1.9.1.1. Posible formación de atmósfera explosiva. Riesgo de explosión.	EH/ES	Procedimiento de secado e inertización del depósito de GNL de la SC antes de su puesta en servicio.		
1.10. Posibilidad de GNL atrapado entre válvulas en línea vertical desde zona inferior de la SC hasta el depósito en la zona superior.	1.10.1.1. Posibilidad de sobrepresión con riesgo de fuga de GNL/GN. Riesgo de incendio o quemaduras por proyección de líquido.	EH	Válvula de seguridad en el tramo de tubería vertical desde zona inferior de la SC hasta el depósito en la zona superior, conducida a lugar seguro.	R.1.4. Verificar la existencia y su descarga a lugar seguro, de la válvula de seguridad en línea vertical de GNL, desde zona inferior de la SC hasta el depósito en la zona superior.	HAM
1.11. Suministro de una cantidad superior de GNL a la nominal (por introducción en el contador de una cantidad excesiva o por fallo del contador).	1.11.1.1. Sobrellenado del depósito de GNL de la SC. Sobrepresión. Posible pérdida de contención. Fuga de GNL. Riesgo de incendio o quemaduras por proyección de líquido.	EH	Sonda de temperatura en el retorno de fase gas del depósito de GNL de la SC a la EM. que para la carga.	R.1.5. Asegurar que la presión de shut off de la bomba de la EM no es superior a la presión de diseño del depósito de GNL de la SC.	HAM
1.12. Existencia de terminal ferroviario próxima al área de repostaje de SC con GNL (tanto BEST como APM terminals (TCB)).	1.12.1.1. Same As 1.7.1.1			R.1.6. Asegurar que la distancia mínima entre el límite exterior del área de carga y las terminales ferroviarias, vías de circulación y áreas de mantenimiento, sea como mínimo de 25 m, pudiéndose reducir esta distancia aplicando medidas preventivas y/o correctoras.	APB/APM terminals (TCB)/BEST
1.13. Existencia de vía de circulación interior del puerto próximo al área de repostaje de SC con GNL (tanto BEST como APM terminals (TCB)).	1.13.1.1. Same As 1.7.1.1			: See R.1.6	
1.14. Operaciones de mantenimiento cerca de la zona de repostaje de GNL (BEST).	1.14.1.1. Same As 1.7.1.1			: See R.1.6	

What if...?

Company: CORE LNGas hive
Facility: Straddle Carrier

Page: 4 of 8

Sesión: (1) 12/01/2017

Actividad: (1) Operaciones de carga de GNL a las Straddle Carrier (Conexión, descarga, desconexión)

¿Qué pasa si?	Consecuencia	Categoría	Medidas existentes	Medidas adicionales	Responsable
1.15. Fallo de dispositivo o equipo dentro del área de carga de GNL en la SC	1.15.1.1. Posible manifestación de fuente de ignición dentro de las zonas clasificadas de 5 y 10 m. Riesgo de incendio en caso de fuga de GNL.	EH/ES	Clasificación de áreas ATEX y equipos en el área de repostaje de GNL de acuerdo a esta clasificación.	R.1.7. Asegurar que se incluye indicación explícita en el protocolo de carga, o el check list, de prohibición de realizar el repostaje de la SC durante una tormenta eléctrica, baja visibilidad por niebla y/o falta de luz.	APM terminals (TCB)/BEST/HAM
1.16. Realización de la operación de repostaje de GNL a la SC durante una tormenta eléctrica o en condiciones de baja visibilidad por niebla y/o por falta de luz.	1.16.1.1. Posible caída de rayo en área de repostaje. Riesgo de daño en equipos y personal en el área.				
1.17. Presencia de GNL en el depósito de la SC durante las operaciones de mantenimiento.	1.17.1.1. Posible formación de atmósfera explosiva durante la operación de mantenimiento con riesgo de explosión.	EH		R.1.8. Asegurar que se dispondrá de procedimiento y de los equipos necesarios para el vaciado total del depósito, tanto de líquido como de gas.	HAM
1.18. Presencia de GNL en el depósito de la SC en períodos prolongados fuera de operación.	1.18.1.1. Calentamiento del GNL por radiación solar. Aumento de presión en el depósito y disparo de la válvula de seguridad a la atmósfera, conducida a lugar seguro. Afectación ambiental menor. Pérdida económica	EA/ES		R.1.9. Capacitar al personal de mantenimiento de APM terminals (APM terminals (TCB))/BEST para la correcta realización de vaciado del depósito de GNL de la SC para su mantenimiento.	APM terminals (TCB)/BEST
				R.1.10. Analizar la conveniencia de vaciar el depósito de GNL durante períodos prolongados de inactividad.	HAM/APM terminals (TCB)/BEST

What if...?

Company: CORE LNGas hive
Facility: Straddle Carrier

Page: 5 of 8

Sesión: (1) 12/01/2017

Actividad: (2) Operaciones de movimiento de las Straddle Carrier con depósito de GNL.

[illegible]

What if...?

Company: CORE LNGas hive
Facility: Straddle Carrier

Page: 6 of 8

Sesión: (1) 12/01/2017
Actividad: (2) Operaciones de movimiento de las Straddle Carrier con depósito de GNL.

¿Qué pasa si?	Consecuencia	Categoría	Medidas existentes	Medidas adicionales	Responsable
2.2. Vuelco de la SC (cont.)	2.2.1.1. Same As 2.1.1.1. (cont.) 2.2.1.2. Same As 2.1.1.2.		...personal de SCs. Control de estabilidad de la SC. Procedimientos de las terminales para las operaciones con las SCs . Limitación de velocidad a 30 KPH. Señalización viaria presente en las terminales. Capacitación y formación de personal de SCs.	: See R.2.2. (cont.)	
2.3. Colisión entre SCs	2.3.1.1. Same As 2.1.1.1. 2.3.1.2. Same As 2.1.1.2.		Procedimientos de las terminales para las operaciones con las SCs . Control de estabilidad de la SC. Señalización viaria presente en las terminales. Limitación de velocidad a 30 KPH. Capacitación y formación de personal de SCs. Procedimientos de las terminales para las operaciones con las SCs . Control de estabilidad de la SC. Señalización viaria presente en las terminales. Limitación de velocidad a 30 KPH. Capacitación y formación de personal de SCs.	: See R.2.1. : See R.2.2.	

What if...?

Company: CORE LNGas hive
Facility: Straddle Carrier

Page: 7 of 8

Sesión: (1) 12/01/2017
Actividad: (2) Operaciones de movimiento de las Straddle Carrier con depósito de GNL.

¿Qué pasa si?	Consecuencia	Categoría	Medidas existentes	Medidas adicionales	Responsable
2.4. Colisión entre grúa STS y la SC	2.4.1.1. Same As 2.1.1.1.		Procedimientos de las terminales para las operaciones con las SCs . Señalización viaria presente en las terminales. Limitación de velocidad a 30 KPH. Capacitación y formación de personal de SCs.	: See R.2.1. : See R.2.2.	
	2.4.1.2. Same As 2.1.1.2.		Procedimientos de las terminales para las operaciones con las SCs . Señalización viaria presente en las terminales. Limitación de velocidad a 30 KPH. Capacitación y formación de personal de SCs.		
2.5. Colisión entre SC y camión.	2.5.1.1. Same As 2.1.1.1.		Procedimientos de las terminales para las operaciones con las SCs . Señalización viaria presente en las terminales. Limitación de velocidad a 30 KPH. Capacitación y formación de personal de SCs.	: See R.2.1. : See R.2.2.	
	2.5.1.2. Same As 2.1.1.2.		Procedimientos de las terminales para las operaciones con las SCs . Señalización viaria presente en las terminales. Limitación de velocidad a 30 KPH.		

What if...?

Company: CORE LNGas hive
Facility: Straddle Carrier

Page: 8 of 8

Sesión: (1) 12/01/2017
Actividad: (2) Operaciones de movimiento de las Straddle Carrier con depósito de GNL.

¿Qué pasa si?	Consecuencia	Categoría	Medidas existentes	Medidas adicionales	Responsable
2.5. Colisión entre SC y camión. (cont.)	2.5.1.2. Same As 2.1.1.2. (cont.)	EH/ES	Capacitación y formación de personal de SCs.	R.2.3. Conducir la descarga de la válvula de seguridad del depósito de GNL al lado opuesto de la cabina del conductor de la SC, y de forma que la descarga no impacte con ningún elemento de la máquina.	HAM/IDIADA
2.6. SC involucrada o envuelta en un incendio en la terminal.	2.6.1.1. Riesgo de rotura de depósito de GNL de la SC, por debilitamiento de resistencia mecánica. Fuga de GNL. Agravamiento del siniestro.		Válvula de seguridad del depósito de GNL de la SC. Medios de extinción en la zona.		
2.7. Colisión de la SC con depósito de GNL durante operación de estacionamiento de otra SC.	2.7.1.1. Same As 2.1.1.1..	EH/ES		R.2.4. Estacionar la SC, con depósito de GNL, exclusivamente en la zona de operación/carga GNL.	APM terminals (TCB)/BEST



ANEXO II. LISTADO DE RECOMENDACIONES

Recomendaciones

Company: CORE LNGas hive
Facility: Straddle Carrier

Page: 1 of 1

Sesión: (1) 12/01/2017

Actividad: (1) Operaciones de carga de GNL a las Straddle Carrier (Conexión, descarga, desconexión)

Medidas adicionales	Responsable
R.1.1. Incluir en el procedimiento de admisión de la EM, el acompañamiento para entrada y salida a la zona de carga.	APM terminals (TCB)/BEST
R.1.2. Señalizar en el suelo la ubicación de la EM de GNL y de la SC.	APM terminals (TCB)/BEST/HAM
R.1.3. Elaborar procedimiento de operación y de repostaje en la terminal de la SC.	APM terminals (TCB)/BEST/HAM
R.1.4. Verificar la existencia y su descarga a lugar seguro, de la válvula de seguridad en línea vertical de GNL, desde zona inferior de la SC hasta el depósito en la zona superior.	HAM
R.1.5. Asegurar que la presión de shut off de la bomba de la EM no es superior a la presión de diseño del depósito de GNL de la SC.	HAM
R.1.6. Asegurar que la distancia mínima entre el límite exterior del área de carga y las terminales ferroviarias, vías de circulación y áreas de mantenimiento, sea como mínimo de 25 m, pudiéndose reducir esta distancia aplicando medidas preventivas y/o correctoras.	APB/APM terminals (TCB)/BEST
R.1.7. Asegurar que se incluye indicación explícita en el protocolo de carga, o el check list, de prohibición de realizar el repostaje de la SC durante una tormenta eléctrica, baja visibilidad por niebla y/o falta de luz.	APM terminals (TCB)/BEST/HAM
R.1.8. Asegurar que se dispondrá de procedimiento y de los equipos necesarios para el vaciado total del depósito, tanto de líquido como de gas.	HAM
R.1.9. Capacitar al personal de mantenimiento de APM terminals (APM terminals (TCB))/BEST para la correcta realización de vaciado del depósito de GNL de la SC para su mantenimiento.	APM terminals (TCB)/BEST
R.1.10. Analizar la conveniencia de vaciar el depósito de GNL durante períodos prolongados de inactividad.	HAM/APM terminals (TCB)/BEST

Sesión: (1) 12/01/2017

Actividad: (2) Operaciones de movimiento de las Straddle Carrier con depósito de GNL.

Medidas adicionales	Responsable
R.2.1. Determinar el área de trabajo/operación para prueba piloto (restricción de operación; la SC con depósito de GNL únicamente operará en una área restringida, reduciéndose significativamente la probabilidad de colisiones y/o vuelco).	APM terminals (TCB)/BEST
R.2.2. En un desarrollo futuro del proyecto para explotación industrial de las SCs con GNL, los depósitos de GNL deben estar protegidos por la estructura de la máquina, con el fin de reducir la posibilidad de daño en caso de colisión y/o vuelco.	HAM
R.2.3. Conducir la descarga de la válvula de seguridad del depósito de GNL al lado opuesto de la cabina del conductor de la SC, y de forma que la descarga no impacte con ningún elemento de la máquina.	HAM/IDIADA
R.2.4. Estacionar la SC, con depósito de GNL, exclusivamente en la zona de operación/carga GNL.	APM terminals (TCB)/BEST



ANEXO III. LISTADO DE ASISTENCIA



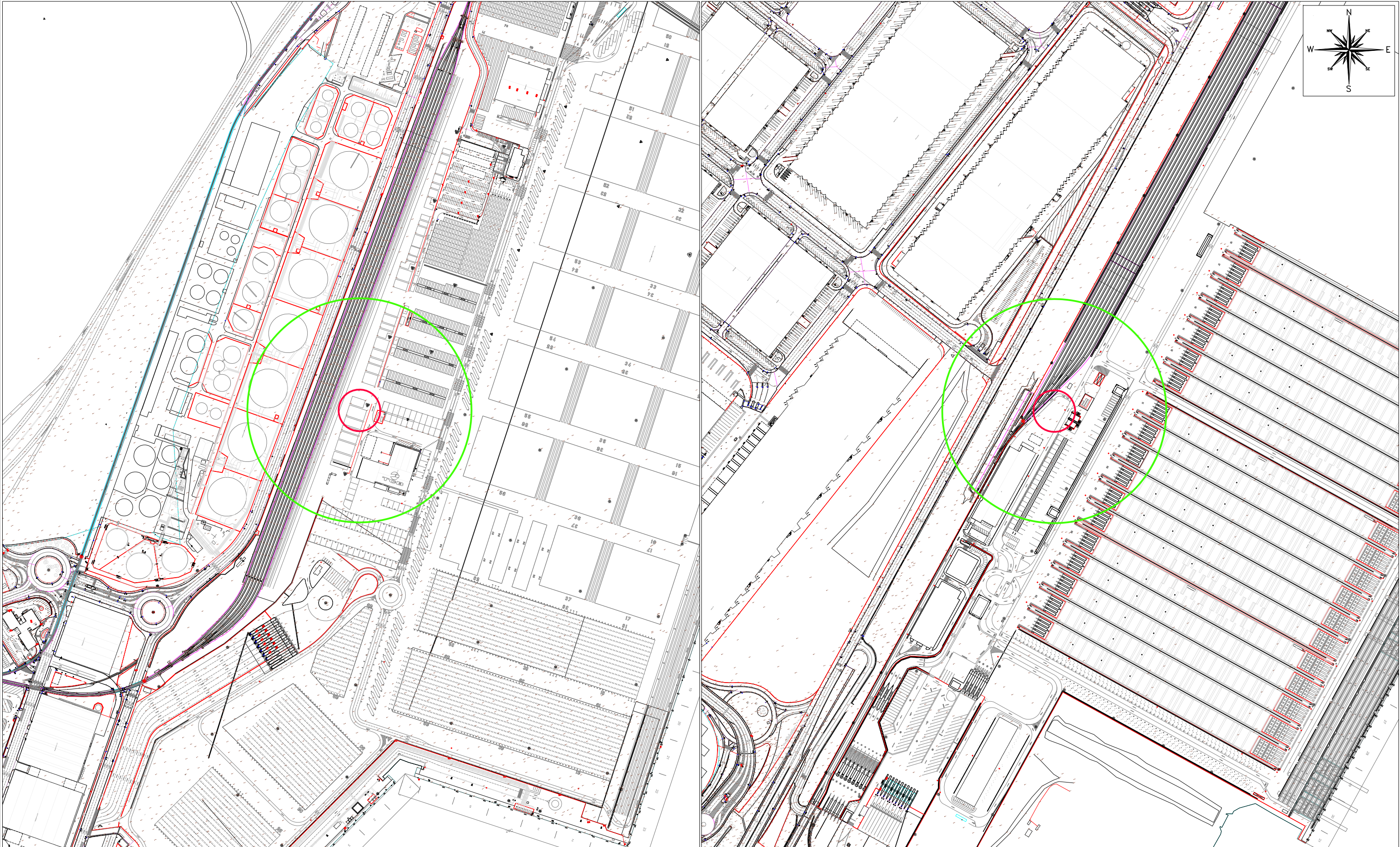
CORE LNGas
hive

WHAT IF...?

LISTA DE ASISTENCIA
12-01-2017



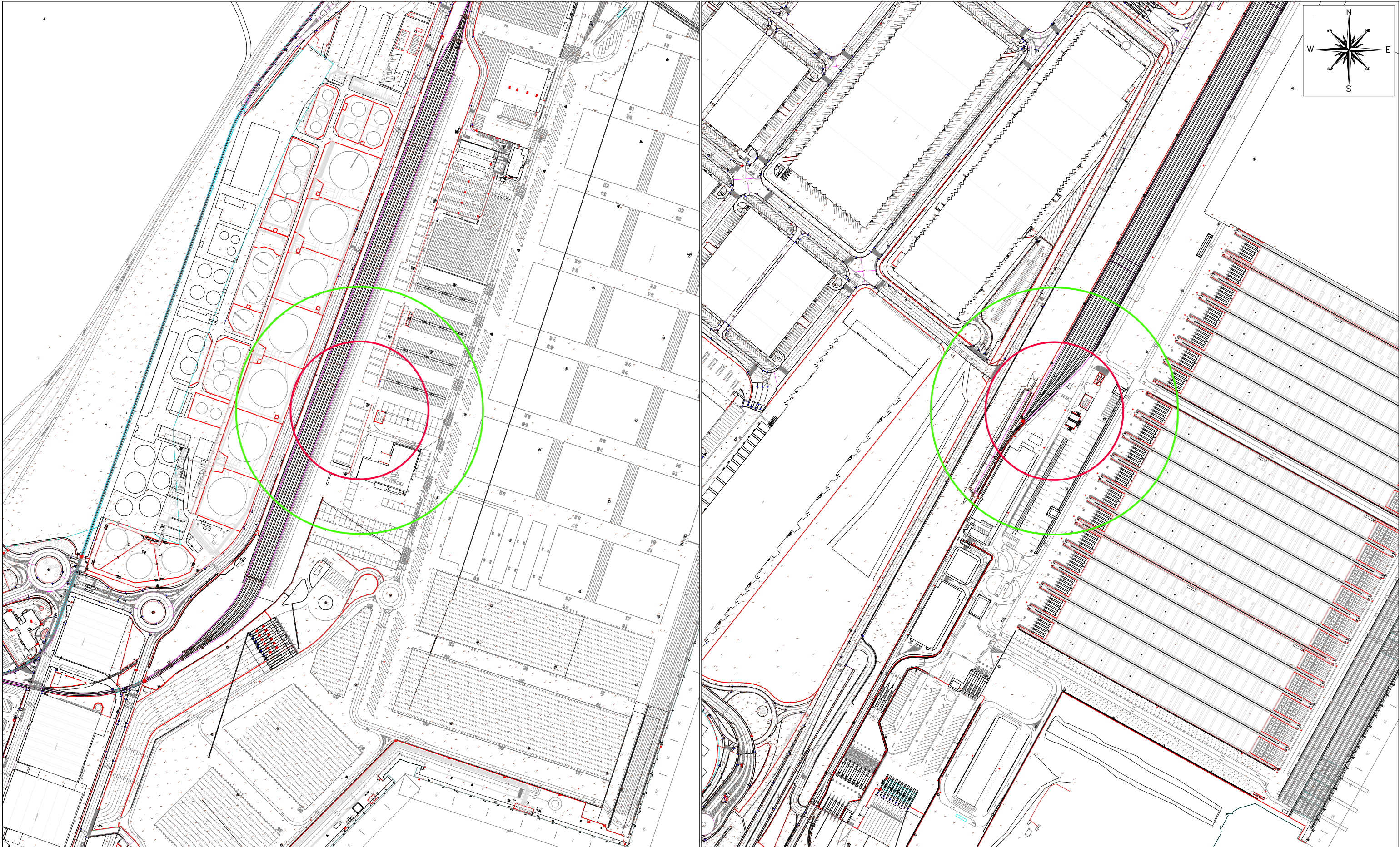
Empresa	Nombre	Cargo	Correo electrónico
TEMA S.A.	Jaime Traver	Lider What if	jtraver@tema.es
TEMA S.A.	Maria Cristina Monedero	Escriba What if	cmonedero@tema.es
APB	DANI RUIZ	TÉCNICO MEDIO AMBIENTE	daniel.ruiz.extemo@portdebarcelona.cat
H ARI	Judit Gràcia	Técnico Corrosión	jugracia@haries.es
EINESA	ALFRED GUTIERRO	Enginyer	agutierro@einesa.com
EINESA	MIQUEL GASULLA	Enginyer	einesa@einesa.com
BEST	Vicens Roig	Enginyer Nàutic	vicens.roig@best.com.es
APB	Jordi Vila	Medi Ambient	jordi.vila@portdebarcelona.cat
APB	Anna Perera	Seguretat Industrial	anna.perera@portdebarcelona.cat
APB	Alex Peralta	Operacions Portuàries	alejandro.peralta@portdebarcelona.cat



APM TERMINALES (TCB) BEST

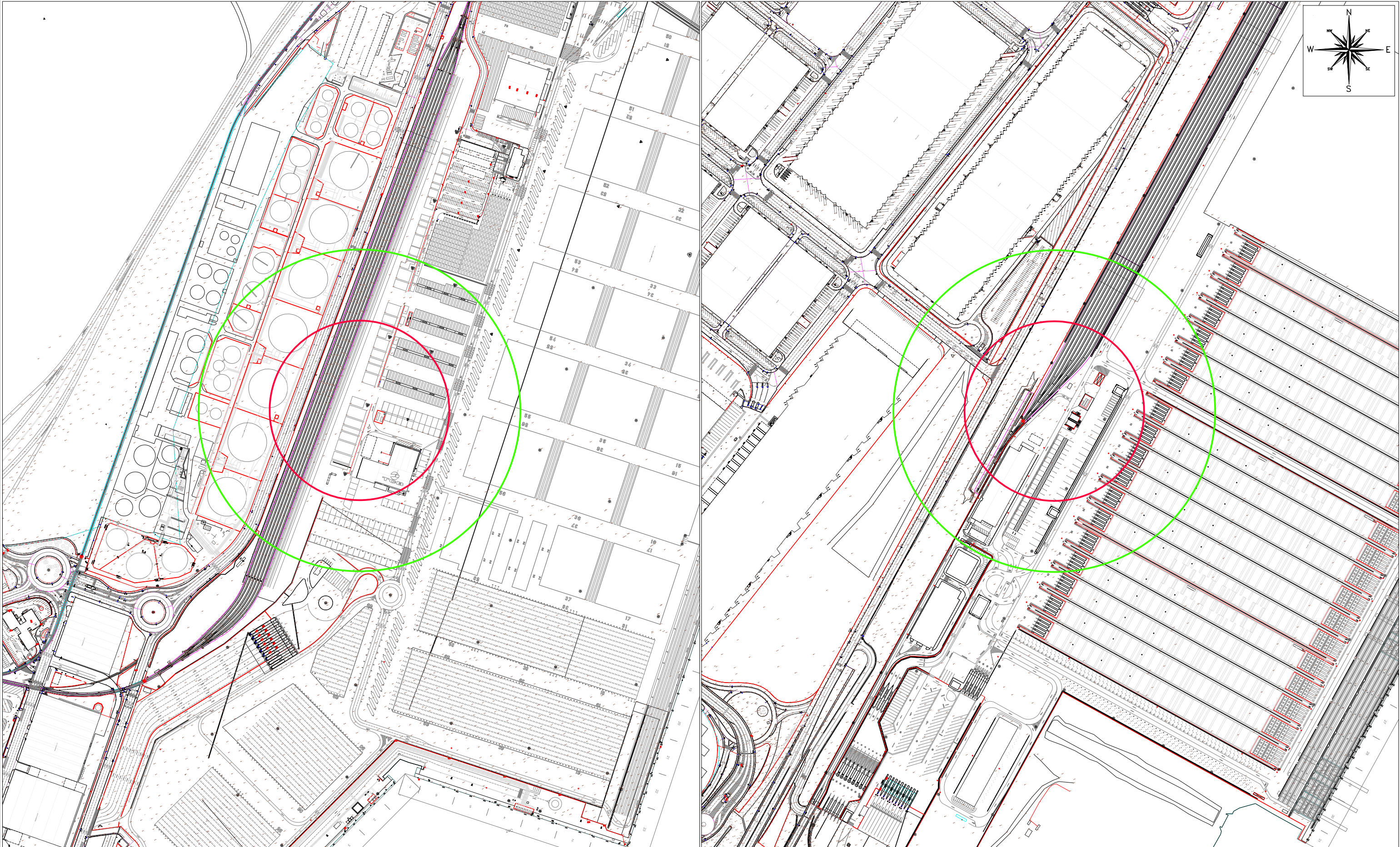
LEYENDA	
Estabilidad:	D / F
LEL:	29 m 157 m

 REF.: 1231/13694 PLANO Nº: H2d-NI FECHA: Enero 2017 ESCALA: 1/5.000 en A3	ANÁLISIS DEL RIESGO (AR) EPM3: BARCELONA: STRADDLE CARRIER PROPULSADA POR MOTOR DE GAS	
	LLAMARADA H.2.d: Rotura catastrófica de la manguera de GNL (orificio de 25mm) de entrada al depósito de 450 Kg. de GNL de la SC.	
	 SEGURIDAD & MEDIO AMBIENTE	
	REALIZADO: D. Matas	REVISIÓN: 0



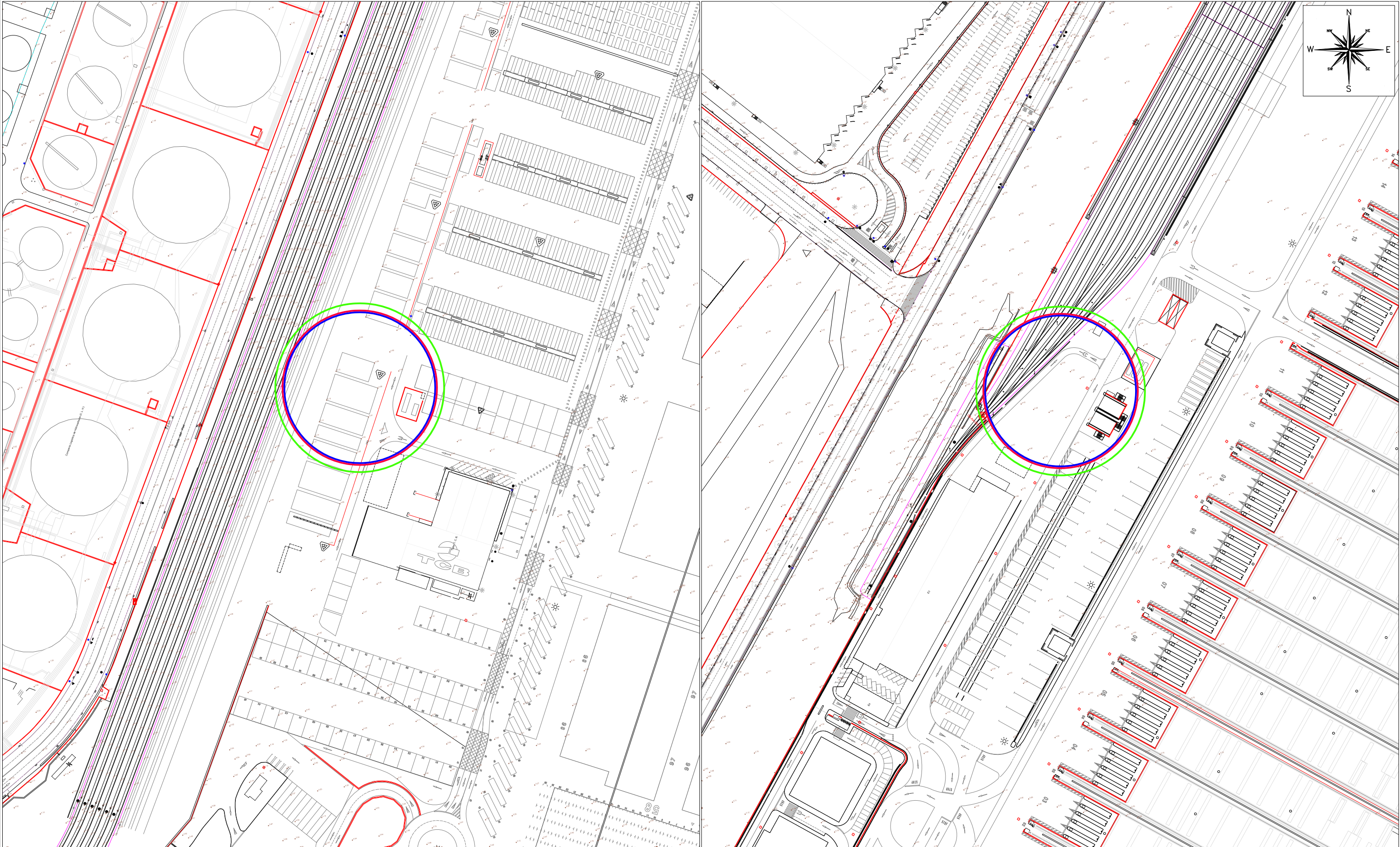
APM TERMINALES (TCB) BEST

LEYENDA Estabilidad: D / F LEL: 96 m 172 m	 	ANÁLISIS DEL RIESGO (AR) EPM3: BARCELONA: STRADDLE CARRIER PROPULSADA POR MOTOR DE GAS	
	REF.: 1231/13694	LLAMARADA	
	PLANO Nº: H5-NI	H.5: Rotura catastrófica del depósito de GNL de 225Kg. de la SC.	
	FECHA: Enero 2017	REALIZADO: D. Matas	
ESCALA: 1/5.000 en A3	 SEGURIDAD & MEDIO AMBIENTE	REVISIÓN: 0	



APM TERMINALES (TCB) BEST

LEYENDA Estabilidad: D / F LEL: 125 m 224 m	 	ANÁLISIS DEL RIESGO (AR) EPM3: BARCELONA: STRADDLE CARRIER PROPULSADA POR MOTOR DE GAS	
	REF.: 1231/13694	LLAMARADA	
	PLANO Nº: H6-NI	H.6: Rotura catastrófica del depósito de GNL de 450Kg. de la SC.	
	FECHA: Enero 2017	REALIZADO: D. Matas	
ESCALA: 1/5.000 en A3	 SEGURIDAD & MEDIO AMBIENTE	REVISIÓN: 0	



APM TERMINALES (TCB) BEST

LEYENDA

Estabilidad: F

ZI (6,64 kW/m²): 43 m

ZA (3,71 kW/m²): 47 m

ZD (8 kW/m²): 42 m

(*)Distancias desde el origen del dardo.

CORE LNGas
hive
einesa

REF.: 1231/13694

PLANO Nº: H2d-RT

FECHA: Enero 2017

ESCALA: 1/2.000 en A3

ANÁLISIS DEL RIESGO (AR)
EPM3: BARCELONA: STRADDLE CARRIER
PROPULSADA POR MOTOR DE GAS

DARDO DE FUEGO

H.2.d: Rotura catastrófica de la manguera de GNL (orificio de 25mm) de entrada al depósito de 450 Kg. de GNL de la SC.

REALIZADO: D. Matas

REVISIÓN: 0

tema
SEGURIDAD & MEDIO AMBIENTE



APM TERMINALES (TCB) BEST

LEYENDA

Estabilidad: D

ZI (6,64 kW/m²): 118 m

ZA (3,71 kW/m²): 143 m

ZD (8 kW/m²): 111 m

(*)Distancias desde el centro del charco.



REF.: 1231/13694

PLANO N°: H5-RT

FECHA: Enero 2017

ESCALA: 1/2.000 en A3


ANÁLISIS DEL RIESGO (AR)

EPM3: BARCELONA: STRADDLE CARRIER

PROPULSADA POR MOTOR DE GAS

INCENDIO DE CHARCO

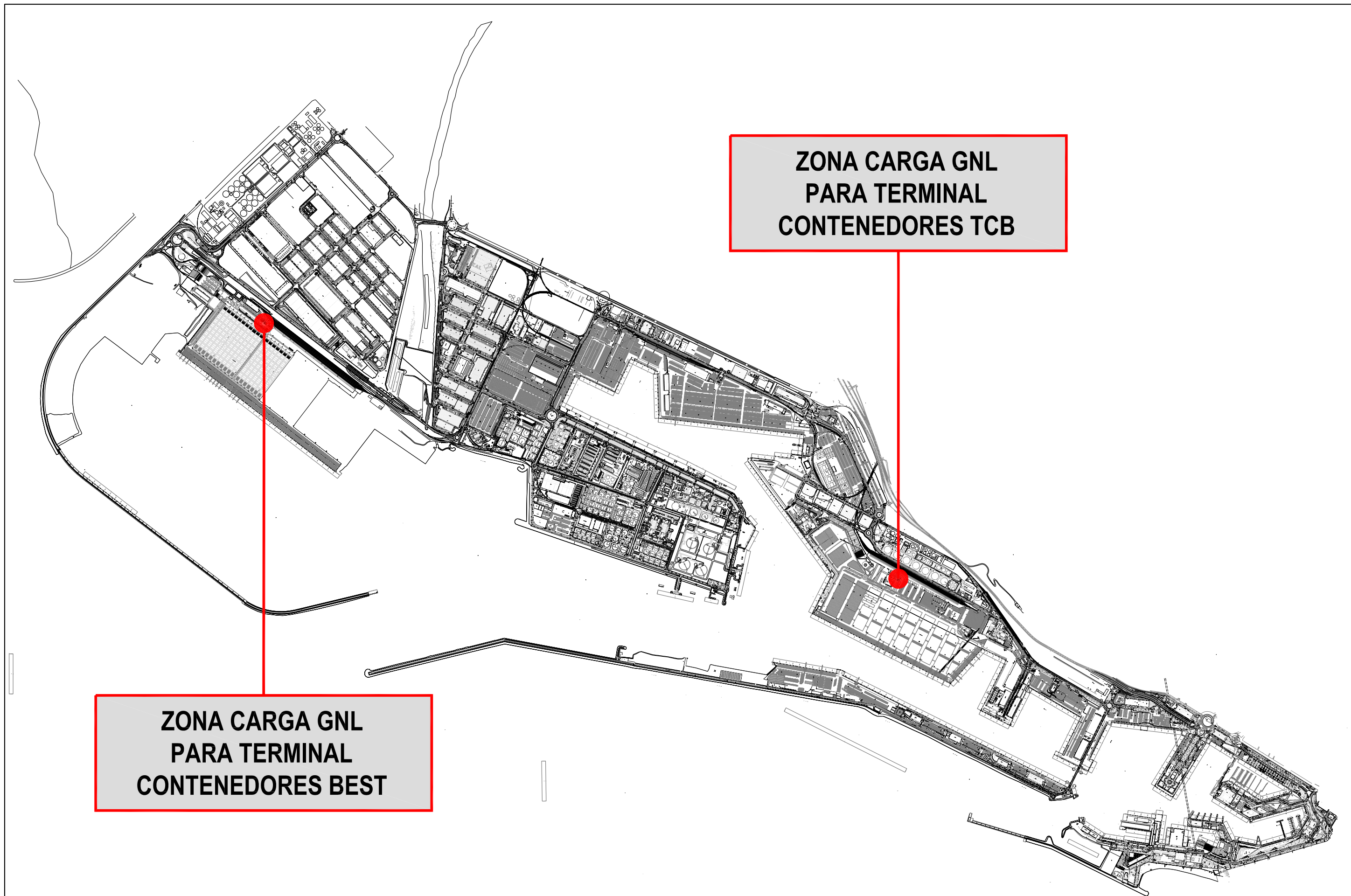
H.5: Rotura catastrófica del depósito de GNL de 225Kg. de la SC.



SEGURIDAD & MEDIO AMBIENTE

REALIZADO: D. Matas

REVISIÓN: 0



Proyecto:

EPM3 - LNG STRADDLE CARRIERS
ANÁLISIS DE RIESGO

Titular:

AUTORIDAD DEL PUERTO DE BARCELONA (APB)

Escala:

S/N

Plano:

PUNTO DE SUMINISTRO PARA LAS PRUEBAS

Fecha: Enero 2017 N. plano: -

Miembro de

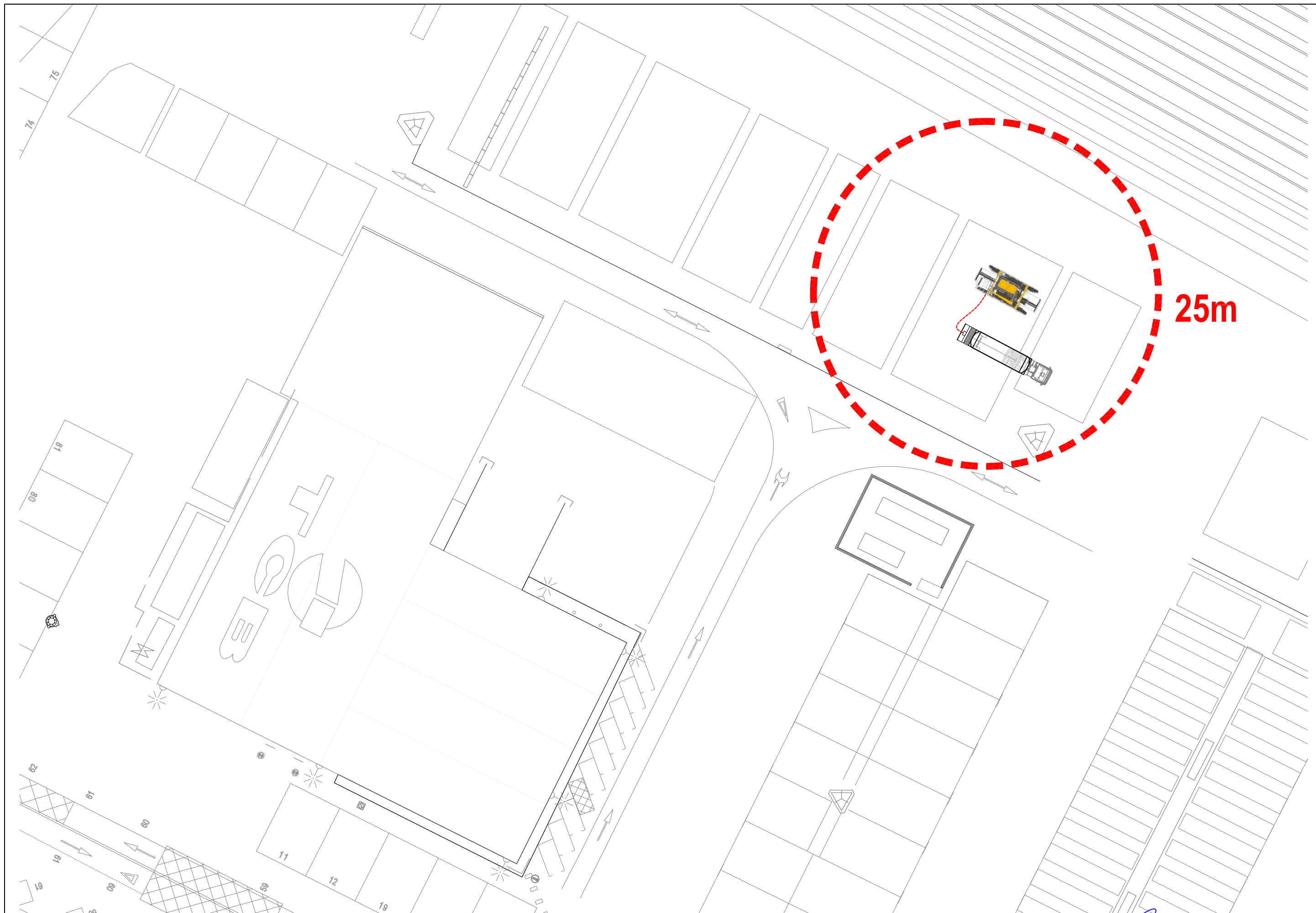


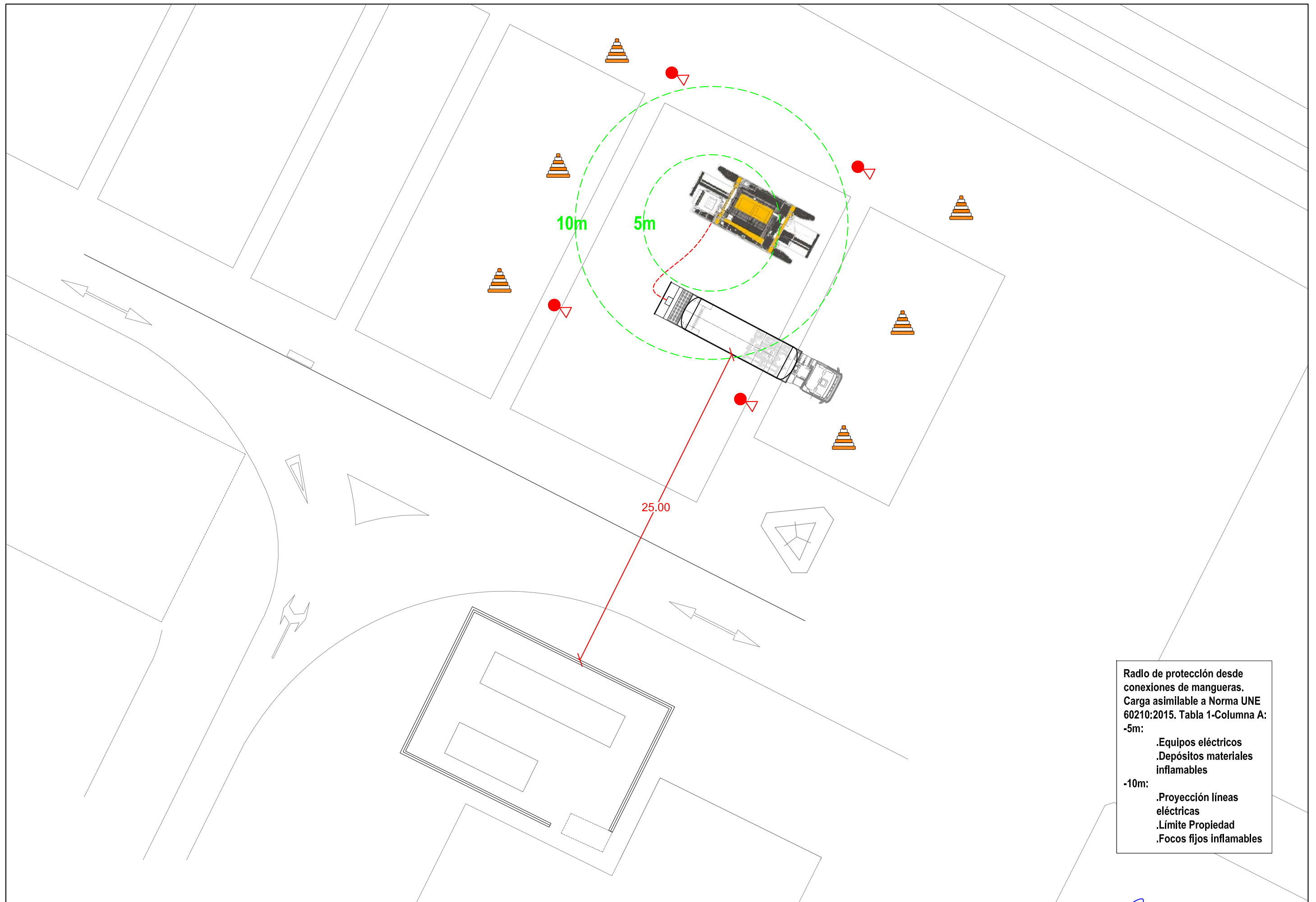
Autor del proyecto:

ALFREDO GUITARD SEIN-E
Ingeniero Industrial

einesa
ingeniería s.l.

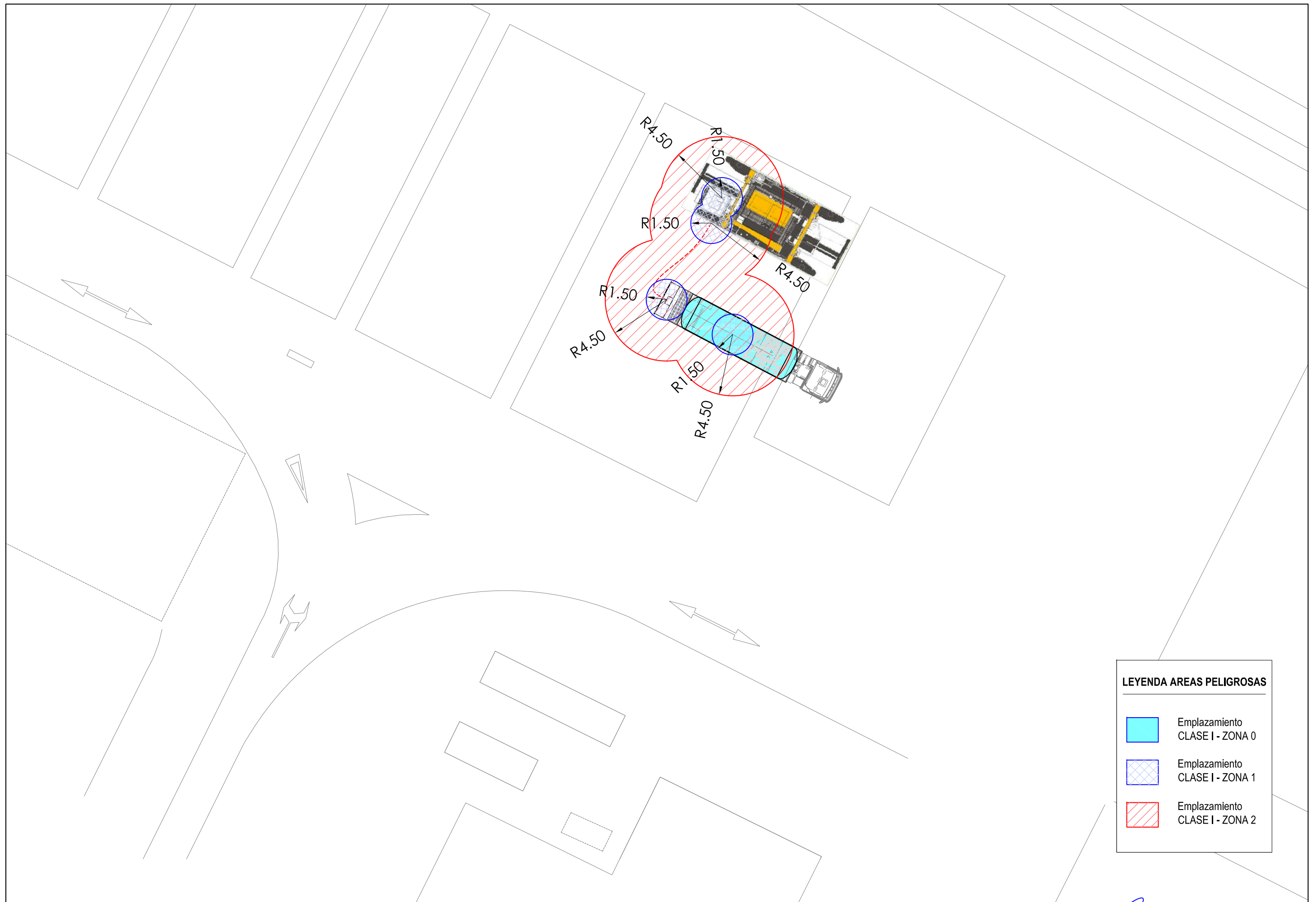
C/Academia, 2 - 25002 Lleida
Tlf. 973 280 980 - www.einesa.com







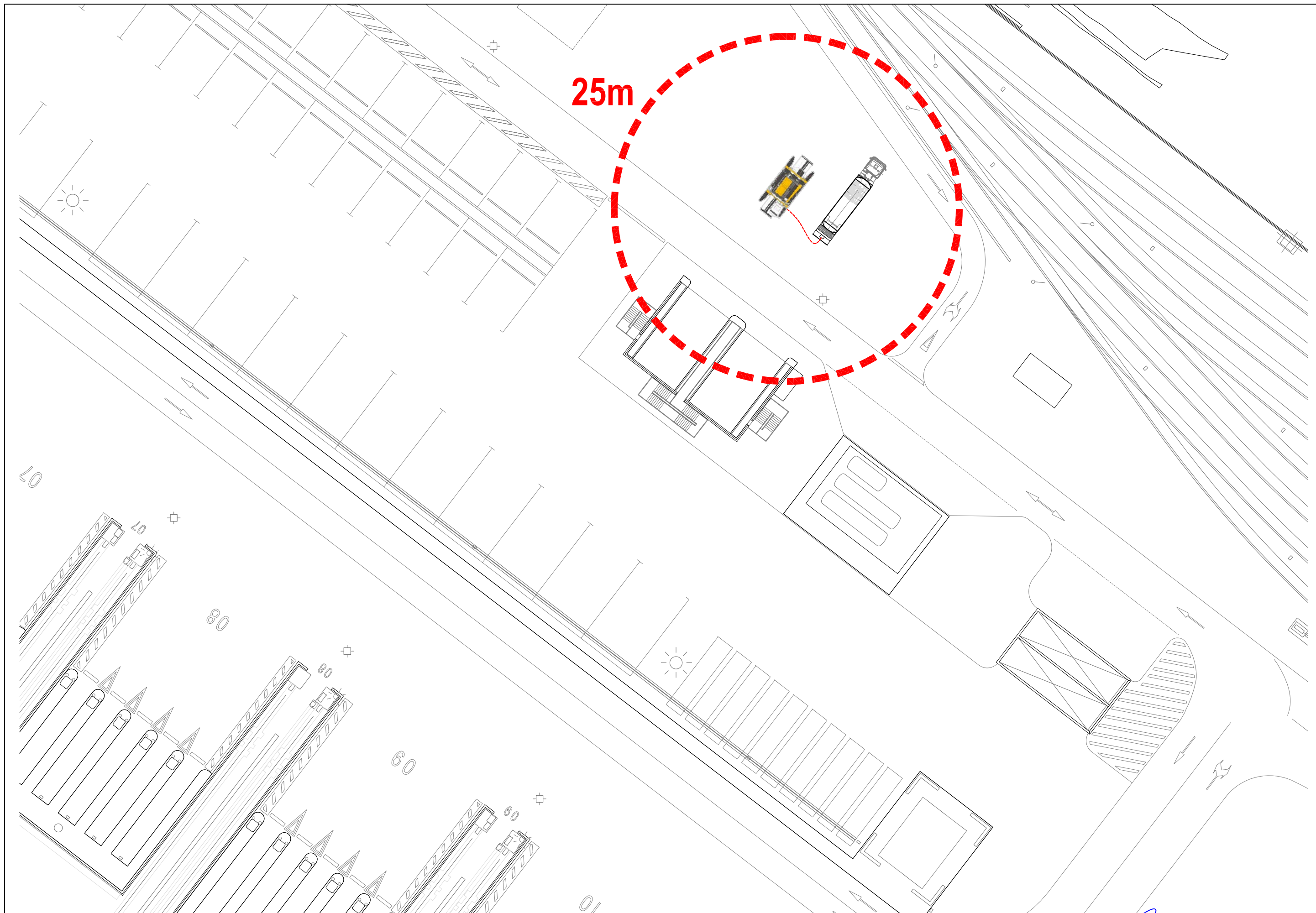
Radio de protección desde conexiones de mangueras.
Carga asimilable a Norma UNE 60210:2015. Tabla 1-Columna A:


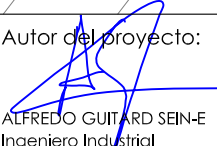

- 5m:
 - .Equipos eléctricos
 - .Depósitos materiales inflamables
- 10m:
 - .Proyección líneas eléctricas
 - .Límite Propiedad
 - .Focos fijos inflamables

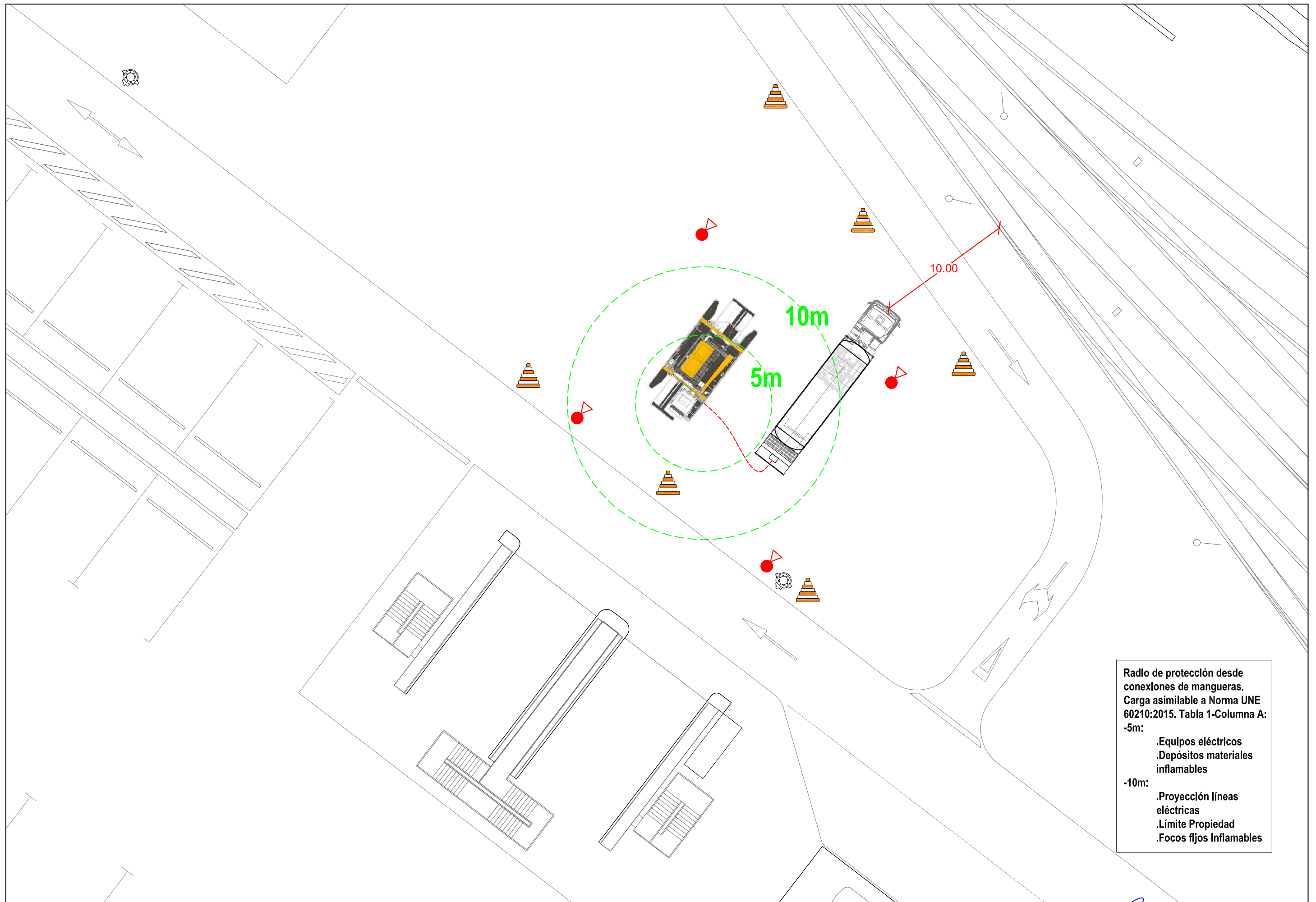


LEYENDA AREAS PELIGROSAS

	Emplazamiento CLASE I - ZONA 0
	Emplazamiento CLASE I - ZONA 1
	Emplazamiento CLASE I - ZONA 2

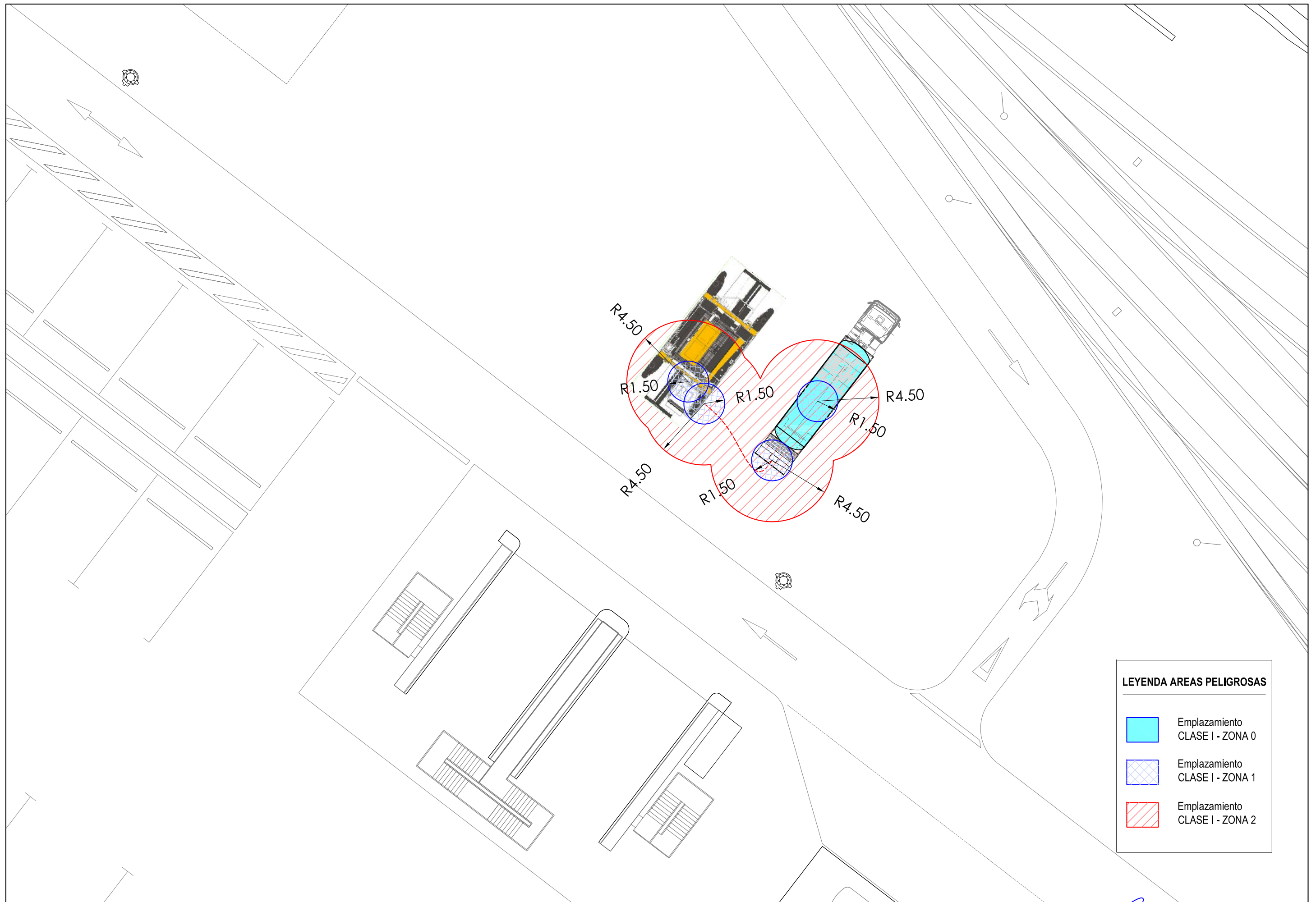


Proyecto: EPM3 - LNG STRADDLE CARRIERS ANÁLISIS DE RIESGO	Titular: AUTORIDAD DEL PUERTO DE BARCELONA (APB)	Escala: 1/500	Plano: EMPLAZAMIENTO CARGA GNL-ZONA BEST Fecha: Enero 2017 N. plano: -	Miembro de  Asociación de Consultores de Instalaciones	Autor del proyecto:  ALFREDO GUITARD SEIN-E Ingeniero Industrial  C/Academia, 2 - 25002 Lleida Tlf. 973 280 980 - www.einesa.com
--	--	-------------------------	---	---	---



Radio de protección desde conexiones de mangueras.
Carga asimilable a Norma UNE 60210:2015. Tabla 1-Columna A:

- 5m:
 - .Equipos eléctricos
 - .Depósitos materiales inflamables
- 10m:
 - .Proyección líneas eléctricas
 - .Límite Propiedad
 - .Focos fijos inflamables



LEYENDA AREAS PELIGROSAS

	Emplazamiento CLASE I - ZONA 0
	Emplazamiento CLASE I - ZONA 1
	Emplazamiento CLASE I - ZONA 2




einesa ingenieria

c/ Acadèmia núm. 2. 25002.Lleida.
einesa@einesa.com / www.einesa.com



Ficha del Trabajo :

Proyecto :	EPM3 - LNG STRADDLE CARRIERS Core LNGas HIVE project
Descripción Proyecto :	BARCELONA : Straddle Carrier impulsada por motor de gas.
Cliente :	Autoridad del Puerto de Barcelona (APB)
Trabajo / Documento:	Análisis de Riesgos 16667SC-WI-PR (Rev. 1)
Fecha :	12 de enero 2017
Participantes :	APB Autoridad del Puerto de Barcelona HAM Criogénica, S.L. APPLUS / IDIADA Gas Natural Fenosa einesa Ingenieria, s.l. / TEMA  Co-financed by the European Union Connecting Europe Facility



0. Índice :

1. Objetivo / Actividades del Proyecto.
2. Descripción y Análisis del Proceso .
 1. Definición del Proceso.
 2. Condiciones de suministro para las pruebas.
 3. Puntos de suministro para las pruebas.
3. Análisis de Riesgo.
 1. Actividades objeto del Análisis de Riesgo.
 2. Componentes del Análisis de Riesgo.
4. Normativa aplicable.
5. Operación de carga de GNL a las SC.
 1. Ubicación de las Terminales de Carga.
 2. Emplazamiento en Terminal TCB.
 3. Configuración Emplazamiento en Terminal TCB.
 4. Emplazamiento en Terminal BEST.
 5. Configuración Emplazamiento en Terminal BEST.
 6. Secuencia de actuaciones para el repostaje de GNL.
 7. Vídeo de Secuencia de actuaciones para el repostaje de GNL.
 8. Detalle de la Secuencia de actuaciones para el repostaje de GNL.
6. Operación de movimiento de las Straddle Carrier con depósito de GNL.
 1. Zonas de tránsito de las SC.
 2. Riesgos adicionales de las SC con depósito de GNL.
7. Método What If?
 1. Propósitos Método What If ? Identificación de peligros.
 2. Acciones a las que se aplicará el Método What If ?
 3. Hojas de Trabajo Método What If ?
 4. Tabla Recomendaciones Método What If ?
8. Análisis de Riesgos EPM3 (1)
 1. Documentación final Análisis de Riesgos.
 2. Etapas Análisis de Riesgos.
 3. Conclusiones y Recomendaciones.

1. Objetivo / Actividades del Proyecto :

Objetivo del Proyecto :

Piloto de dos StraddleCarrier de terminal de contenedores propulsada por gas natural. El proyecto busca romper barreras para poner en servicio maquinaria de terminal propulsada por gas a medio plazo.

Actividades del Proyecto :

1. Estudio de las necesidades de las dos máquinas.
2. Estudio de viabilidad técnica.
3. Logística de suministro de GNL :
 1. Logística del suministro.
 - 2. Estudio de Seguridad.**
 3. Permisos.
4. Modificación del motor y de la máquina para utilizar gas.
5. Seguimiento del comportamiento y desempeño de las dos máquinas.
6. Formación y seguridad.



2. Descripción y Análisis del Proceso (1).

2.1. Definición del Proceso.

Suministro y Logística de GNL para proporcionar el combustible a las Pruebas Piloto de dos StraddleCarrier en el terminal de contenedores de BCN, propulsadas por gas natural.

2.2. Solución técnica del suministro.

Dada la temporalidad del suministro de GNL requerido, la solución considerada es **una planta o estación de suministro móvil o portátil**, fácilmente transportable mediante un tráiler o cabeza tractora estándar.

Nota : Las Informaciones incluidas en este capítulo (2) están basadas en el documento "Informe SOLUCIÓN DE SUMINISTRO DE GNL PROYECTO PILOTO LNG Core Hive", fecha 18/06/2016, elaborado por Gas Natural Fenosa – engineering.



2. Descripción y Análisis del Proceso (2).

2.3. Condiciones de suministro para las pruebas.

2.3.1. Condiciones físicas

Según condiciones trabajo fabricante motor / fabricante depósitos GNL instalados en SC:

- Índice de metano igual o superior a: 75 (a confirmar según especificaciones motor)
- Presión: 8 barg
- Temperatura: - 130°C

2.3.2. Volumen de suministro de GNL.

- Volumen depósitos de GNL de las SC :
 - Escenario 1 (E1) : 500 l.
 - Escenario 2 (E2) : 1000 l.
- Frecuencia cargas : Se realizará 1 único suministro o repostaje diario, durante un mes de campaña de pruebas.
 - Escenario 1 (E1) : 500 l/día (~ 225 kg/día) – 3.500 l/semana (~ 225 kg/día) -
 - Escenario 2 (E2) : 1000 l/día (~ 450 kg/día)
- Volumen total campañas :

Está previsto realizar 2 campañas (invierno/verano) para la terminal de ESTIBARNA y 1 campaña posterior en BEST.

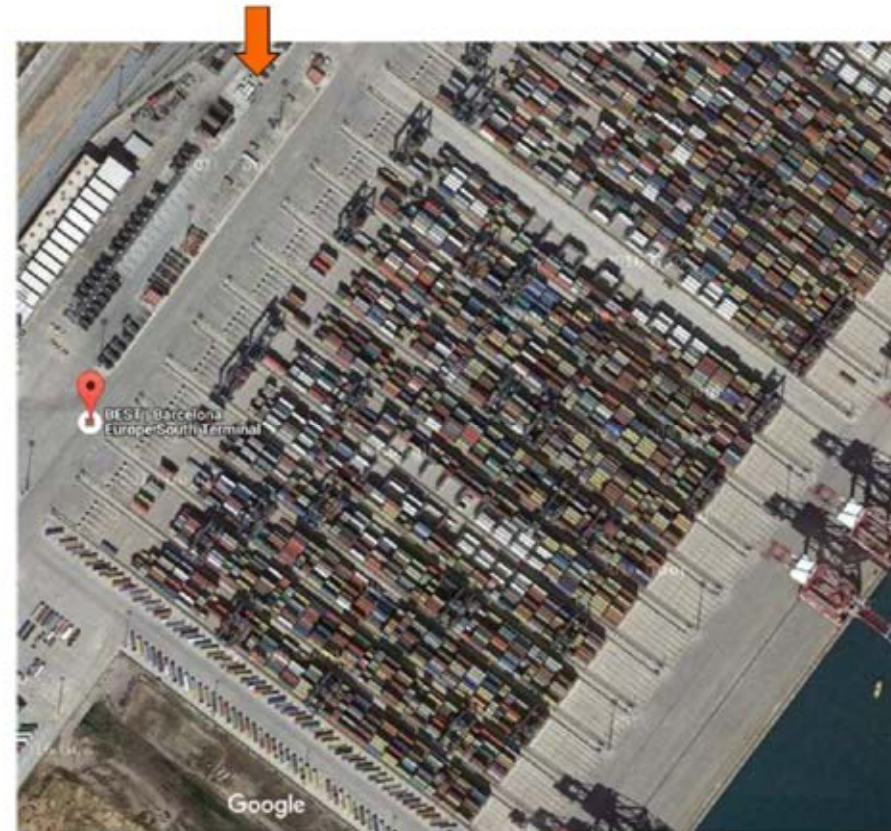
 - Total suministro de GNL previsto para 1 campaña (1 mes, repostaje 1x7): 14 m³ (E1) o 28 m³ (E2)
 - Total suministro de GNL previsto para 3 campañas (3 meses, repostaje 1x7): 42 m³ (E1) o 84 m³ (E2)

2. Descripción y Análisis del Proceso (3).

2.4. Puntos de suministro para las pruebas.



Punto de repostaje en Terminal TCB



Punto de repostaje en Terminal BEST

3. Análisis de Riesgo.

3.1. Actividades objeto del Análisis de Riesgo.

1. Operaciones de carga de GNL a las Straddle Carrier (Conexión, descarga, desconexión)
2. Operación de movimiento de las Straddle Carrier con depósito de GNL.
3. Operación de movimiento de la Estación Móvil de GNL por el interior de la Terminal de Contenedores.

3.2. Componentes del Análisis de Riesgo.

1. Análisis del Proyecto y de la Información disponible.
2. Visita a las Terminales de Contenedores.
3. Análisis “What-If” de los procesos a analizar.
4. Cálculo de consecuencias en función de los escenarios de Riesgo seleccionados.
5. Elaboración del Informe Final y sesión de Presentación.

4. Normativa Técnica aplicable al proceso (1).

Normativa aplicable.

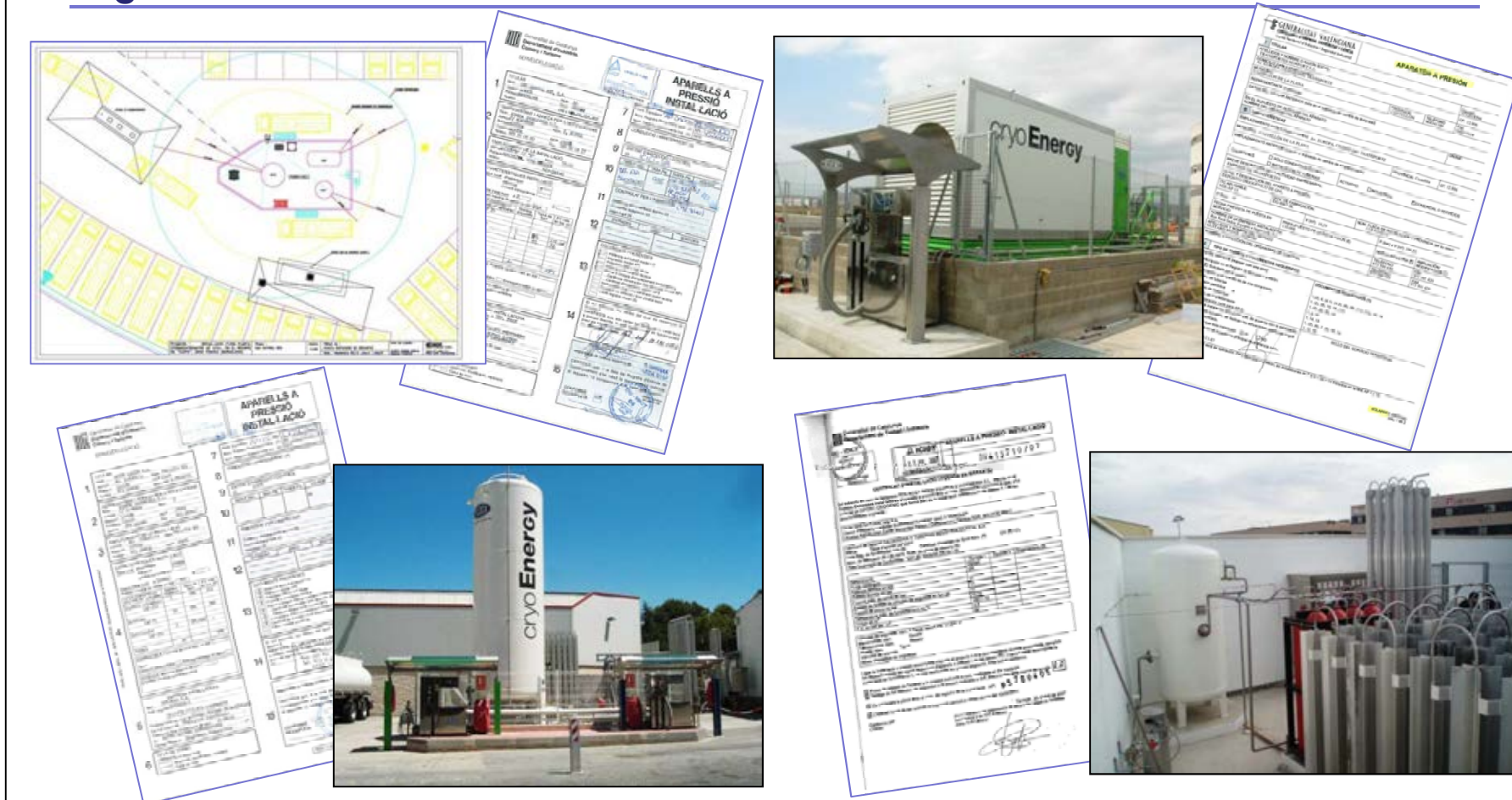
- ISO 12617 “Vehículos de carretera –Conectores para suministro de GNL
- ADR: Acuerdo Europeo sobre el transporte internacional de cargas peligrosas por vía Terrestre.
- Real Decreto 551/2006, de 5 de mayo, por el que se regulan las operaciones de transporte de mercancías peligrosas por carretera en territorio español.
- REAL DECRETO 919/2006, de 28 de julio, por el que se aprueba el Reglamento técnico de distribución y utilización de combustibles gaseosos y sus instrucciones técnicas complementarias ICG 01 a 11.

Normativa de Referencia.

- UNE 60210 Plantas satélite de gas natural licuado.
- UNE 60631 Estaciones de servicio de GNC para vehículos a motor.
- ISO/DIS 16924: “Natural gas fuelling stations - LNG stations for fuelling vehicles” - Draft International Standard
- NFPA® 59A : Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas (LNG).
- NFPA® 52: Vehicular Gaseous Fuel Systems Code.

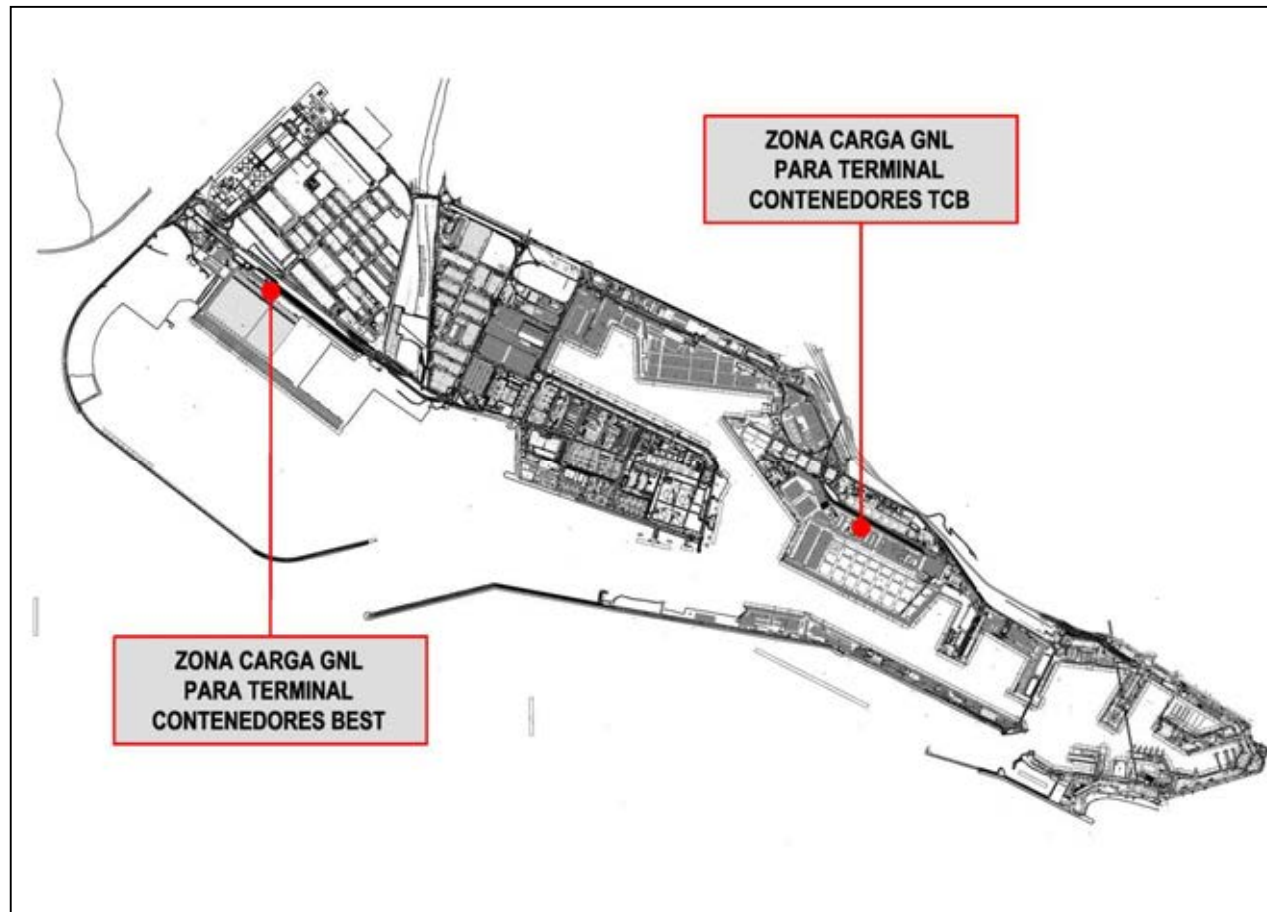
4. Normativa Técnica aplicable al proceso (2).

Legalización de las instalaciones de suministro vehicular de GNL.



5. Operación de carga de GNL a las SC (1).

5.1. Ubicación de las Terminales de Carga.



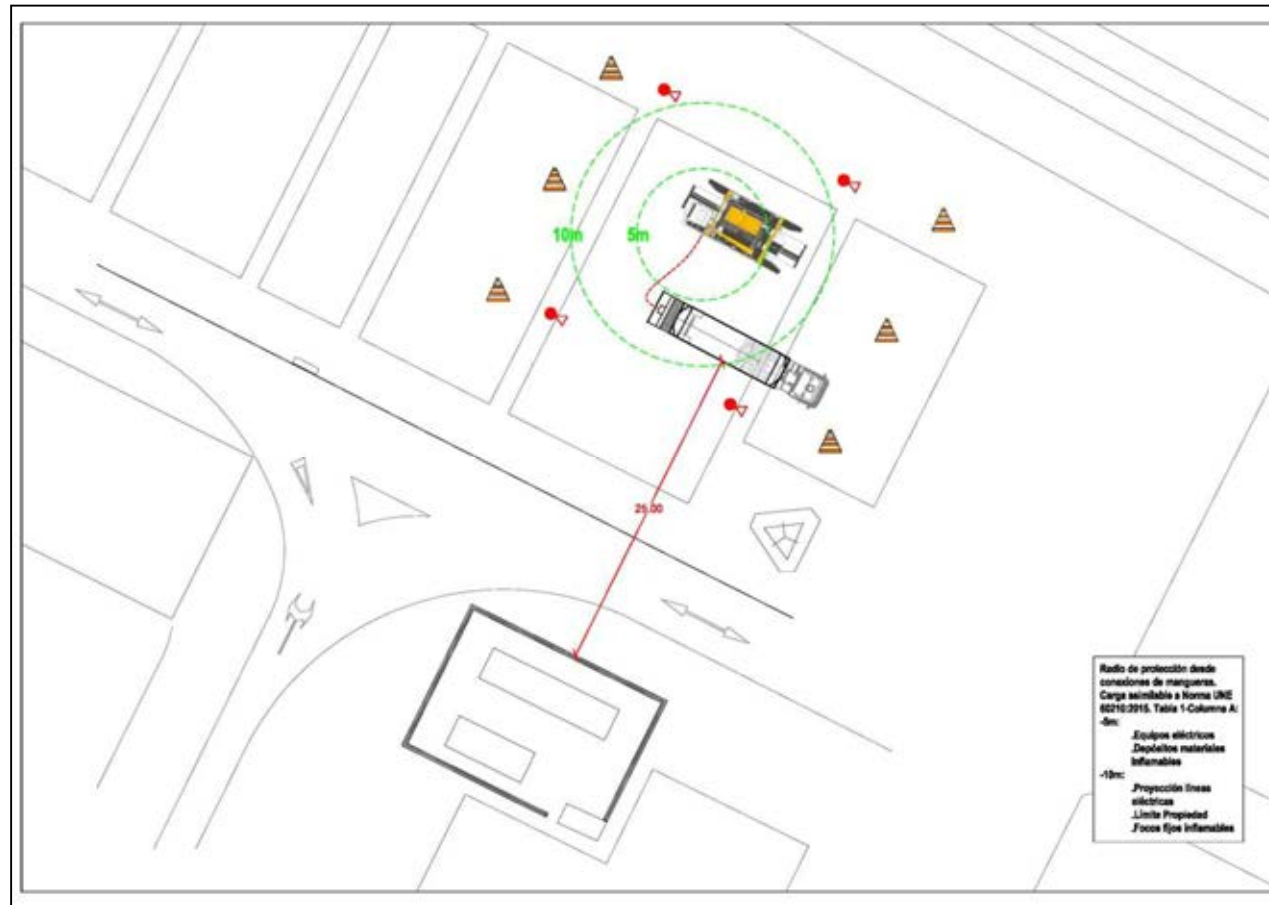
5. Operación de carga de GNL a las SC (2).

5.2. Emplazamiento en Terminal TCB.



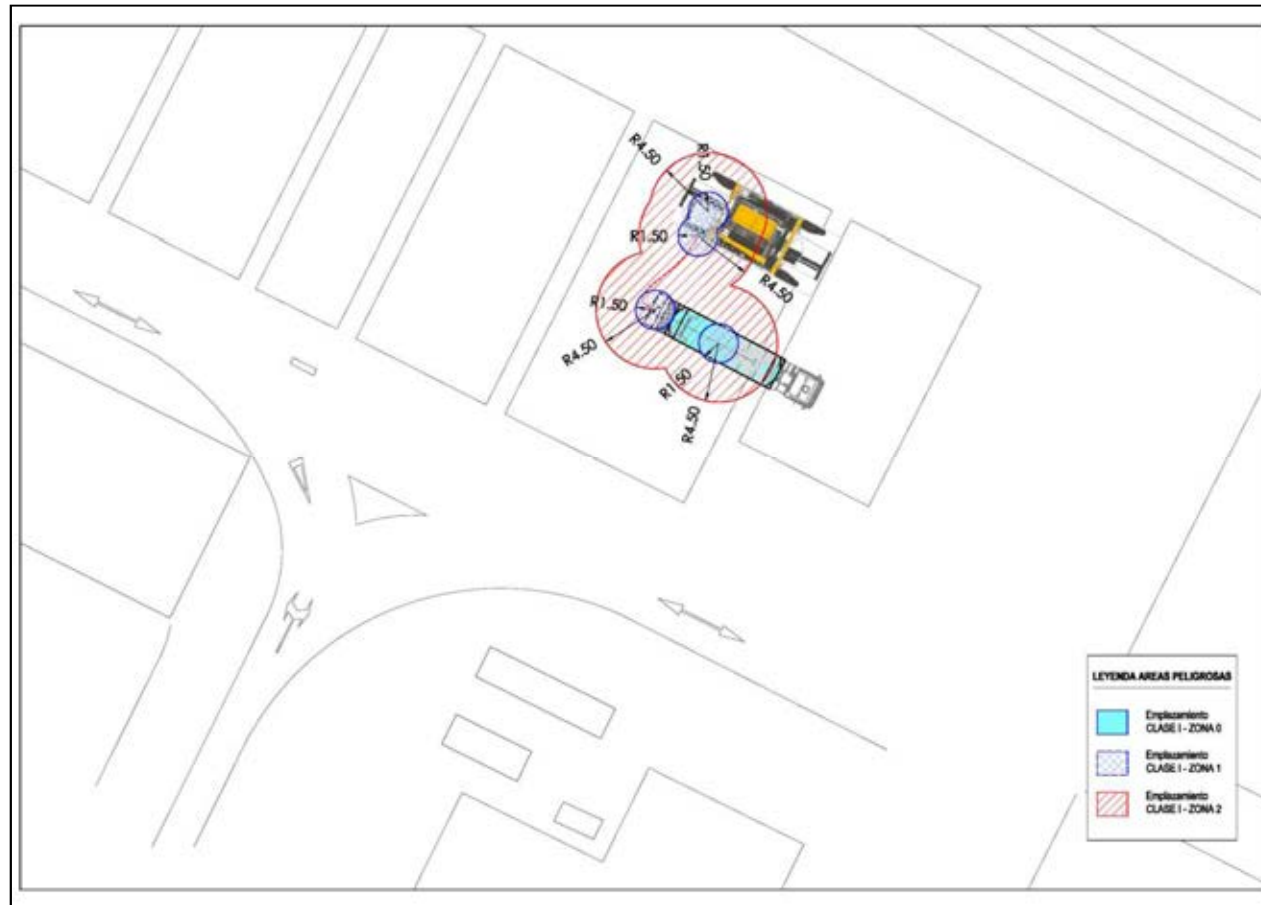
5. Operación de carga de GNL a las SC (3).

5.3. Configuración Emplazamiento en Terminal TCB (1).



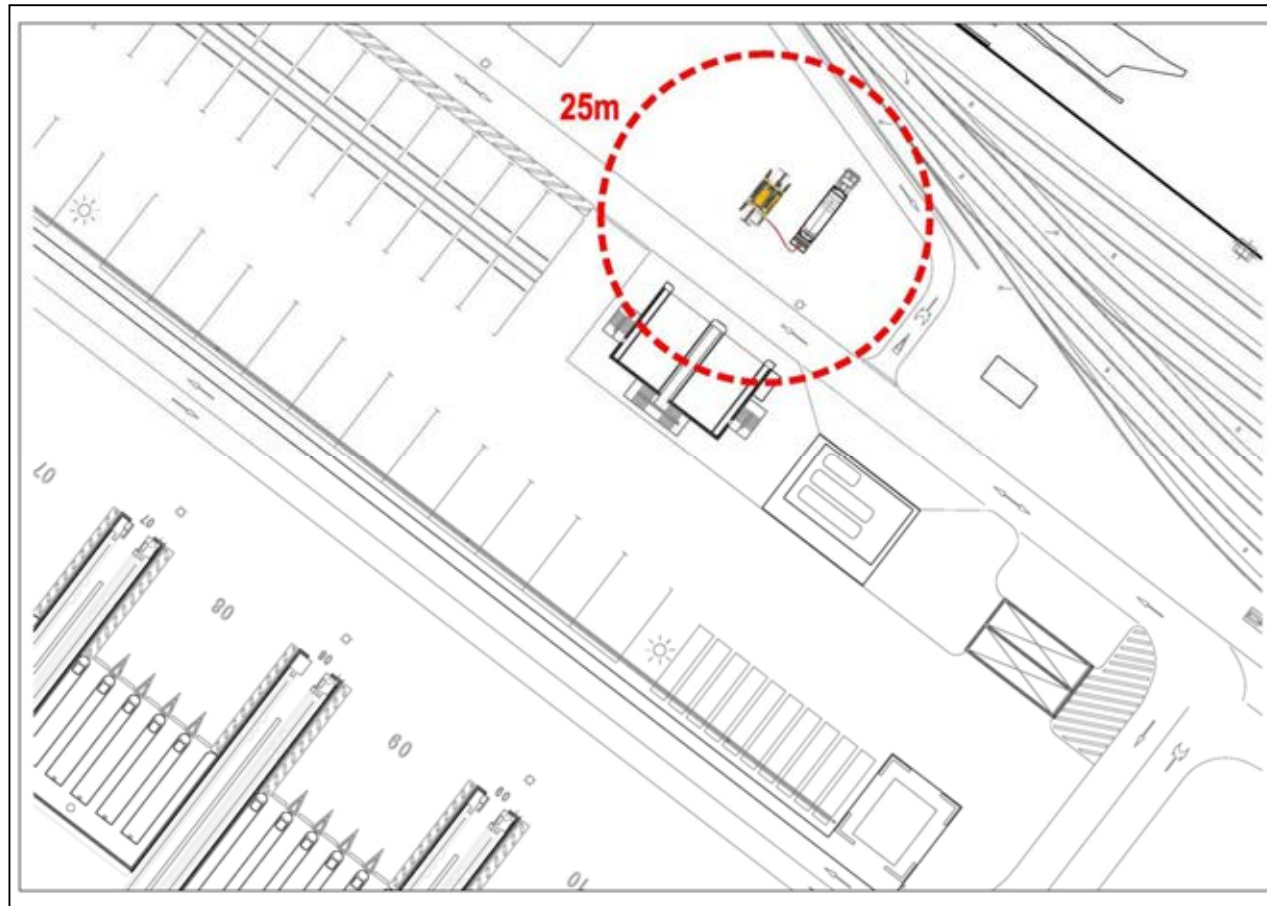
5. Operación de carga de GNL a las SC (4).

5.3. Configuración Emplazamiento en Terminal TCB (2).



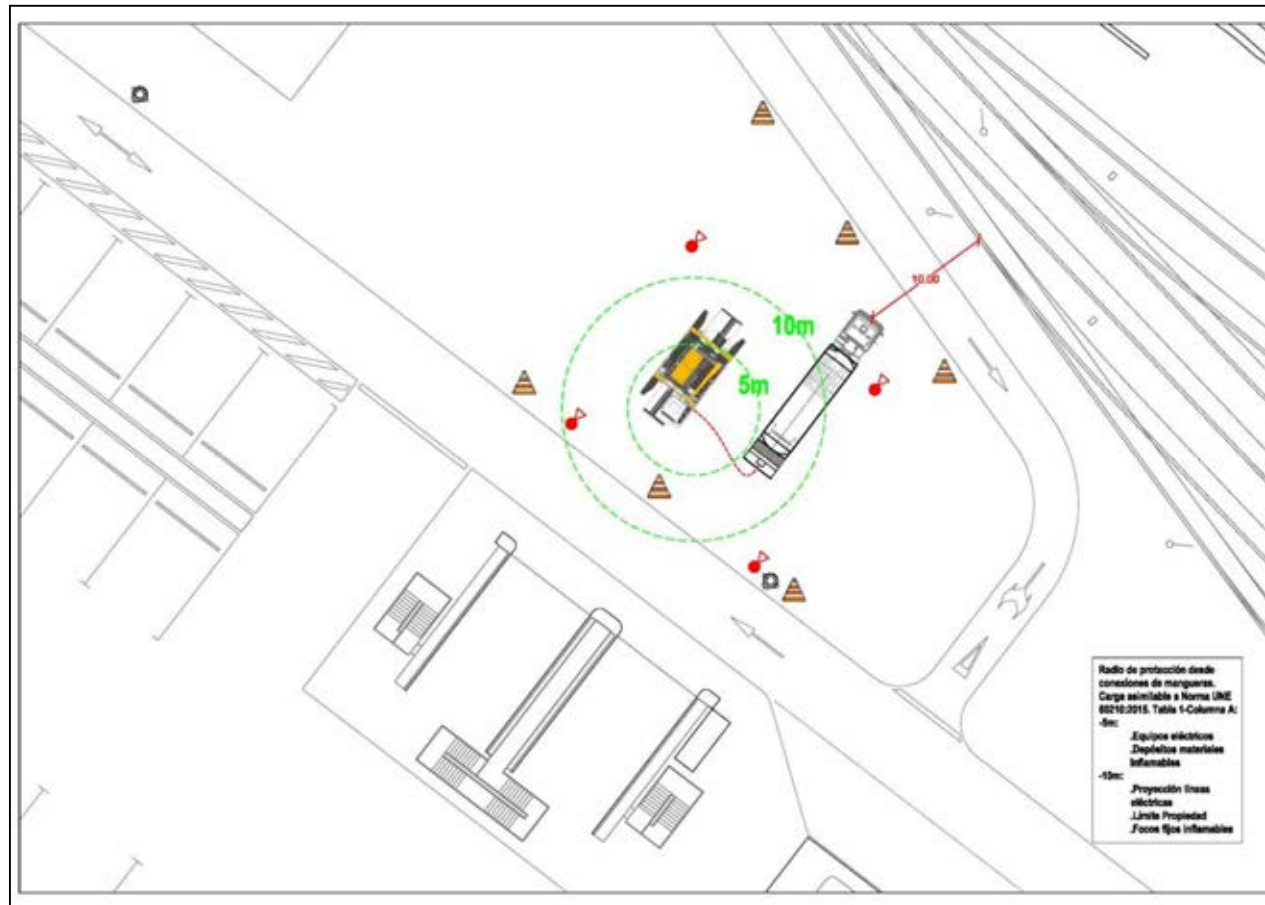
5. Operación de carga de GNL a las SC (5).

5.4. Emplazamiento en Terminal BEST.



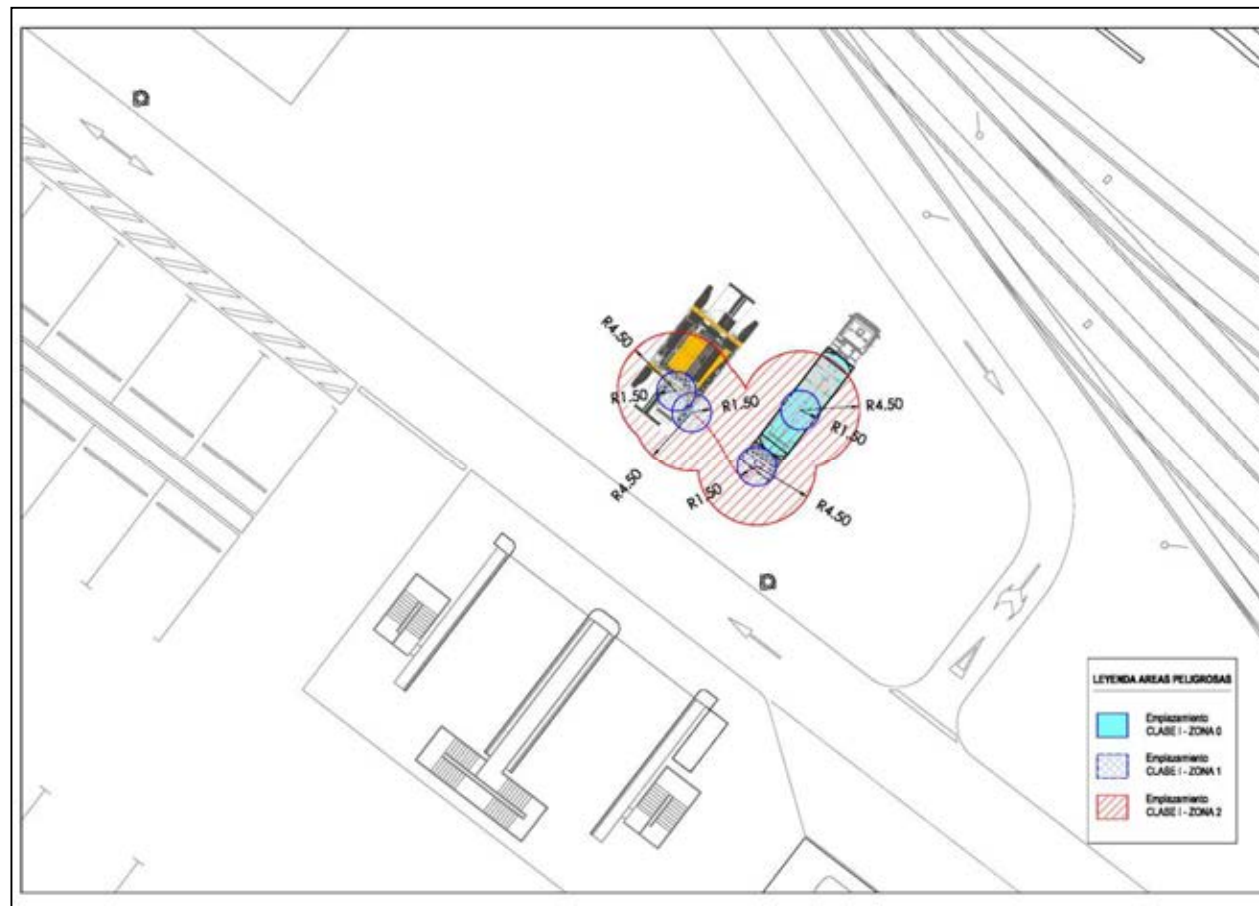
5. Operación de carga de GNL a las SC (6).

5.5. Configuración Emplazamiento en Terminal BEST (1).



5. Operación de carga de GNL a las SC (7).

5.5. Configuración Emplazamiento en Terminal BEST (2).



5. Operación de carga de GNL a las SC (8).

5.6. Secuencia de actuaciones para el repostaje de GNL.

5.1.6. Actuaciones Previas y Posteriores :

1. Maniobras de posicionamiento de los equipos necesarios para el repostaje:
2. Señalización de seguridad

5.1.6. Proceso de Carga :

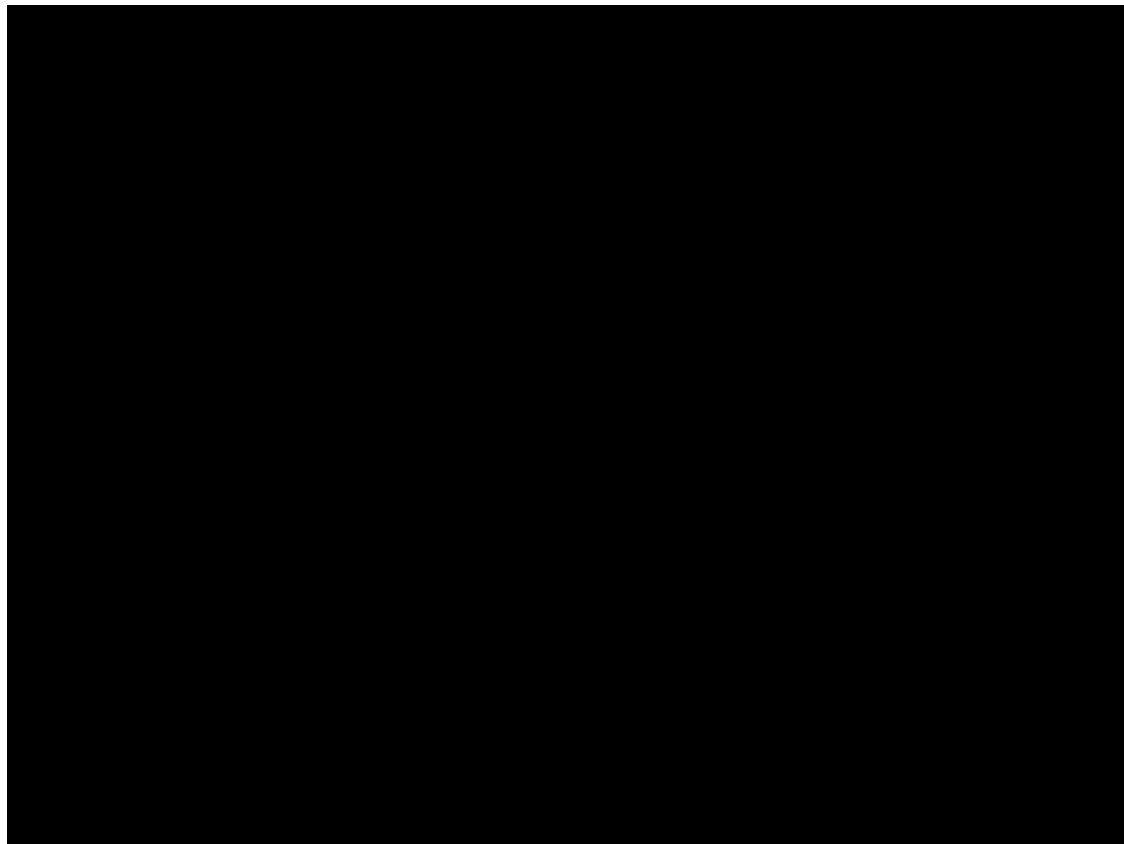
3. Utilizar los EPI (guantes, protección facial, ropa y calzado adecuado
4. Realizar comprobaciones visuales de los equipos (ES móvil y vehículos a repostar)
5. Conectar la toma de tierra al vehículo.
6. Descolgar el boquerel de líquido y acoplarlo al conector correspondiente en el depósito del vehículo.
7. Comprobaciones automáticas del sistema y presiones.
8. En caso de ser necesaria despresurización de los depósitos, descolgar el boquerel de gas y acoplarlo al conector correspondiente en el depósito del vehículo, para la recogida de BOG.
9. Pulsar el botón de marcha/paro para que comience el suministro, hasta el llenado del tanque.
10. Fin del suministro:
11. Desacoplar el boquerel de gas del vehículo y colocarlo en su alojamiento en el surtidor.
12. Desacoplar el boquerel de líquido del vehículo y colocarlo en su alojamiento en el surtidor.
13. Desconectar la toma de tierra.

Nota : Las Informaciones incluidas en este capítulo **(5.6)** están basadas en el documento “Informe SOLUCIÓN DE SUMINISTRO DE GNL PROYECTO PILOTO LNG Core Hive”, fecha 18/06/2016, elaborado por Gas Natural Fenosa – engineering.

5. Operación de carga de GNL a las SC (9).

5.7. Vídeo de Secuencia de actuaciones para el repostaje de GNL.

Video de carga de camión de GNL mediante Estación Suministro Móvil GNL de HAM :



Otros vídeos de repostaje de vehículos con GNL :

<https://www.youtube.com/watch?v=pD3NqZSdxs&t=187s>

<https://www.youtube.com/watch?v=Vy6fNgND0Bo>

https://www.youtube.com/watch?v=ZJk_gwtkVgI

5. Operación de carga de GNL a las SC (10).

5.8. Detalle de la Secuencia de actuaciones para el repostaje de GNL.



1. Maniobras de posicionamiento de los equipos necesarios para el repostaje.
2. Señalización de seguridad.



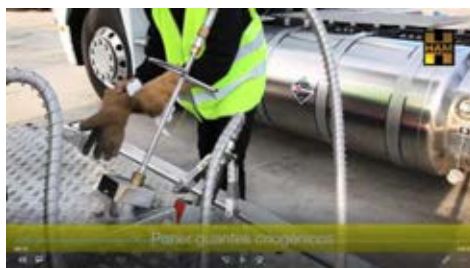
3. Utilizar los EPI (guantes, protección facial, ropa y calzado adecuado).
4. Realizar comprobaciones visuales de los equipos (ES móvil y vehículos a repostar)

5. Operación de carga de GNL a las SC (11).

5.8. Detalle de la Secuencia de actuaciones para el repostaje de GNL.



5. Conectar la toma de tierra al vehículo.



6. Descolgar el boquerel de líquido y acoplarlo al conector correspondiente en el depósito del vehículo.

5. Operación de carga de GNL a las SC (12).

5.8. Detalle de la Secuencia de actuaciones para el repostaje de GNL.



7. Comprobaciones automáticas del sistema y presiones.

8. En caso de ser necesaria despresurización de los depósitos, descolgar el boquerel de gas y acoplarlo al conector correspondiente en el depósito del vehículo, para la recogida de BOG.



9. Pulsar el botón de marcha/paro para que comience el suministro, hasta el llenado del tanque.

5. Operación de carga de GNL a las SC (13).

5.8. Detalle de la Secuencia de actuaciones para el repostaje de GNL.



10. Fin del suministro.



11. Desacoplar el boquerel de gas del vehículo y colocarlo en su alojamiento en el surtidor.

5. Operación de carga de GNL a las SC (14).

5.8. Detalle de la Secuencia de actuaciones para el repostaje de GNL.



12. Desacoplar el boquerel de líquido del vehículo y colocarlo en su alojamiento en el surtidor.



13. Desconectar la toma de tierra.

6. Operación de movimiento de las Straddle Carrier con depósito de GNL.

6.1. Zonas de tránsito de las SC.



6. Operación de movimiento de las Straddle Carrier con depósito de GNL.

6.2. Riesgos adicionales de las SC con depósito de GNL.



7. Método What If ? (1)

7.1. Propósitos Método What If ? Identificación de peligros.

- Identificar las condiciones y situaciones peligrosas posibles que pueden resultar de barreras y controles inadecuados.
- Identificar eventos que pudieran provocar incidentes/ accidentes.
- Recomendar acciones para reducir el riesgo del sistema objeto de estudio, así como para mejorar la operabilidad del mismo.

7.2. Acciones a las que se aplicará el Método What If ?

- Circulación de una Estación Móvil de carga de GNL (cisterna de GNL; en adelante EM) por el interior de la Terminal de Contenedores hasta la ubicación del punto de carga, conexión, descarga y desconexión.
- Operación de repostaje de GNL a las SC.
- Circulación y operaciones de las SC con depósito de GNL por el interior de las terminales.

7. Método What If ? (2)

7.3. Hojas de Trabajo Método What If ?

What if...?

Company: CORE LNGas hive
Facility: Straddle Carrier

Page: 1 of 8

Sesión: (1) 12/01/2017
Actividad: (1) Operaciones de carga de GNL a las Straddle Carrier (Conexión, descarga, desconexión)

¿Qué pasa si?	Consecuencia	Categoría	Medidas existentes	Medidas adicionales	Responsable
1.1. Colisión de la Estación Móvil (EM) con camiones, maquinaria industrial y/o elementos fijos en la terminal.	1.1.1.1. Daño en la EM con posibilidad de pérdida de contención. Fuga de Gas Natural Licuado (GNL). Riesgo de incendio o quemaduras por proyección de líquido.	EH/ES	Señalización variada. Limitación de velocidad a 30 KPH.	R.1.1. Incluir en el procedimiento de admisión de la EM, el acompañamiento para entrada y salida a la zona de carga.	APM terminals (TCB)/BEST
1.2. Posibilidad de admisión de la EM con algún defecto que pueda dar lugar a una pérdida de contención.	1.2.1.1. Posibilidad de fuga de GNL. Riesgo de incendio o quemaduras por proyección de líquido.	EH	Comprobación visual del estado de la EM en acceso al terminal, por parte del responsable de mantenimiento de la terminal. Comprobación del estado de la EM por el operador de la EM antes de proceder a la carga de GNL a la Straddle Carrier (SC).		
1.3. Ubicación incorrecta de la Straddle Carrier (SC) y/o de la EM en la zona de carga.	1.3.1.1. Posibilidad de tensión en la manguera de líquido con riesgo de desconexión/rotura de la manguera. Fuga de GNL. Riesgo de incendio o quemaduras por proyección de líquido. 1.3.1.2. Posibilidad de tensión en la manguera de gas con riesgo de desconexión/rotura de la manguera. Fuga de GNL. Riesgo de incendio.	EH EH	Dry coupling. Break away. Presencia permanente de personal durante la operación. Medios de extinción en el área. Seguridad en conector de gas (conexión media vuelta). Break away. Presencia permanente de personal durante la operación. Medios de extinción en el área.	R.1.2. Señalizar en el suelo la ubicación de la EM de GNL y de la SC. R.1.3. Elaborar procedimiento de operación y de repostaje en la terminal de la SC. see R.1.2. see R.1.3.	APM terminals (TCB)/BEST/HAM APM terminals (TCB)/BEST/HAM
1.4. Depósitos de suciedad, presencia de hielo y/o fallo mecánico del dispositivo de acoplamiento de la manguera de líquido (dry coupling).	1.4.1.1. Falta de estanqueidad en el acoplamiento de manguera de líquido con boca depósito de GNL a SC. Fuga de GNL. Riesgo de incendio o quemaduras por proyección de...	EH	Presencia permanente de personal durante la operación. Medios de extinción en el área.		

PHAWorks by Primattech Inc.

7. Método What If ? (3)

7.4. Tabla Recomendaciones Método What If ? (1)

Recomendaciones	
<p>Company: CORE LNGas hive Facility: Straddle Carrier</p> <p>Sesión: (1) 12/01/2017 Actividad: (1) Operaciones de carga de GNL a las Straddle Carrier (Conexión, descarga, desconexión)</p>	
Page: 1 of 1	
Medidas adicionales	Responsable
R.1.1. Incluir en el procedimiento de admisión de la EM, el acompañamiento para entrada y salida a la zona de carga.	APM terminals (TCB)/BEST
R.1.2. Señalizar en el suelo la ubicación de la EM de GNL y de la SC.	APM terminals (TCB)/BEST/HAM
R.1.3. Elaborar procedimiento de operación y de repostaje en la terminal de la SC.	APM terminals (TCB)/BEST/HAM
R.1.4. Verificar la existencia y su descarga a lugar seguro, de la válvula de seguridad en línea vertical de GNL, desde zona inferior de la SC hasta el depósito en la zona superior.	HAM
R.1.5. Asegurar que la presión de shut off de la bomba de la EM no es superior a la presión de diseño del depósito de GNL de la SC.	HAM
R.1.6. Asegurar que la distancia mínima entre el límite exterior del área de carga y las terminales ferroviarias, vías de circulación y áreas de mantenimiento, sea como mínimo de 25 m, pudiéndose reducir esta distancia aplicando medidas preventivas y/o correctoras.	APB/APM terminals (TCB)/BEST
R.1.7. Asegurar que se incluye indicación explícita en el protocolo de carga, o el check list, de prohibición de realizar el repostaje de la SC durante una tormenta eléctrica, baja visibilidad por niebla y/o falta de luz.	APM terminals (TCB)/BEST/HAM

7. Método What If ? (4)

7.4. Tabla Recomendaciones Método What If ? (2)

R.1.8. Asegurar que se dispondrá de procedimiento y de los equipos necesarios para el vaciado total del depósito, tanto de líquido como de gas.	HAM
R.1.9. Capacitar al personal de mantenimiento de APM terminals (APM terminals (TCB))/BEST para la correcta realización de vaciado del depósito de GNL de la SC para su mantenimiento.	APM terminals (TCB)/BEST
R.1.10. Analizar la conveniencia de vaciar el depósito de GNL durante periodos prolongados de inactividad.	HAM/APM terminals (TCB)/BEST

Sesión: (1) 12/01/2017

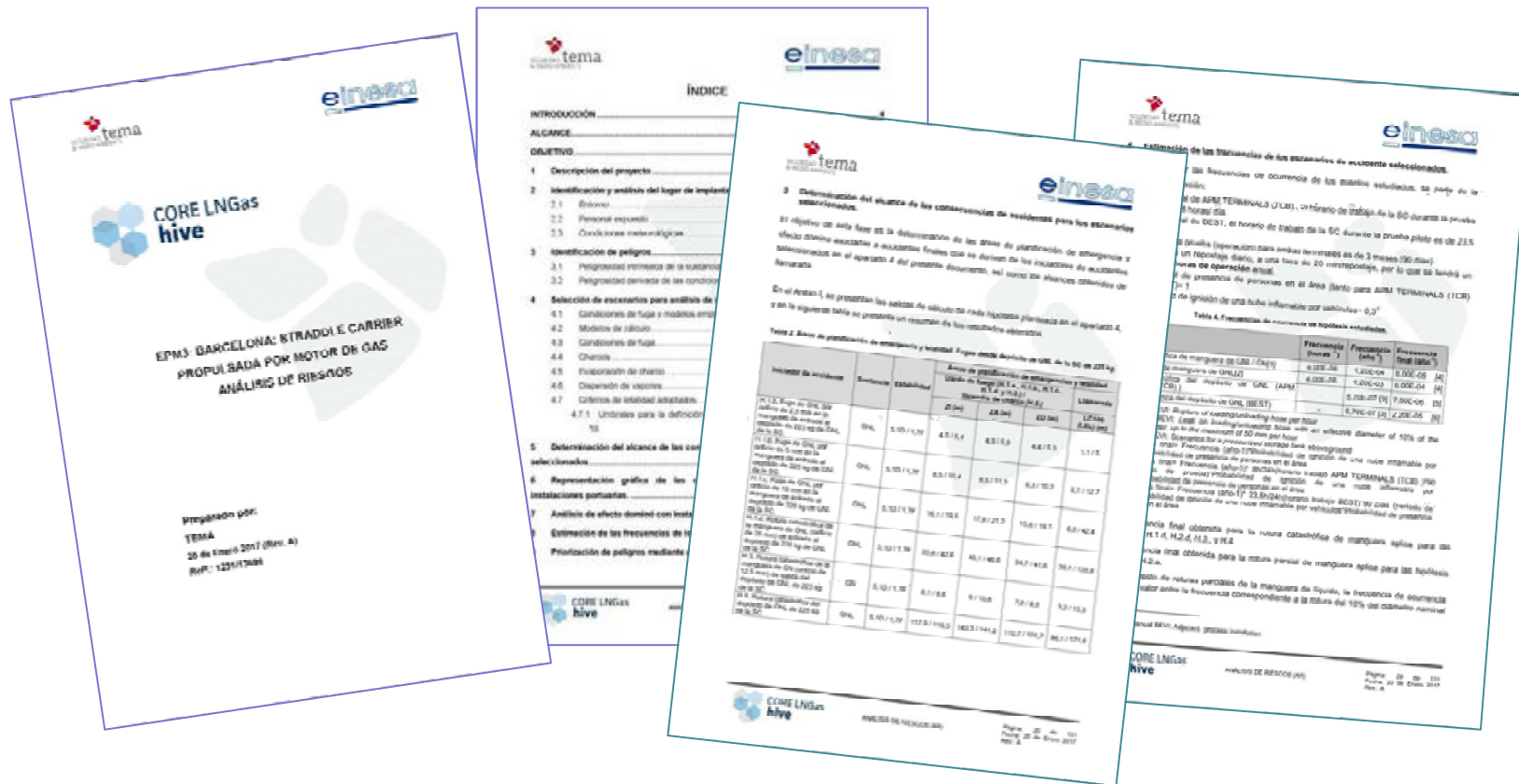
Actividad: (2) Operaciones de movimiento de las Straddle Carrier con depósito de GNL.

Medidas adicionales	Responsable
R.2.1. Determinar el área de trabajo/operación para prueba piloto (restricción de operación; la SC con depósito de GNL únicamente operará en una área restringida, reduciéndose significativamente la probabilidad de colisiones y/o vuelco).	APM terminals (TCB)/BEST
R.2.2. En un desarrollo futuro del proyecto para explotación industrial de las SCs con GNL, los depósitos de GNL deben estar protegidos por la estructura de la máquina, con el fin de reducir la posibilidad de daño en caso de colisión y/o vuelco.	HAM
R.2.3. Conducir la descarga de la válvula de seguridad del depósito de GNL al lado opuesto de la cabina del conductor de la SC, y de forma que la descarga no impacte con ningún elemento de la máquina.	HAM/IDIADA
R.2.4. Estacionar la SC, con depósito de GNL, exclusivamente en la zona de operación/carga GNL.	APM terminals (TCB)/BEST

PHAWorks by Primattech Inc.

8. Análisis de Riesgos EPM3 (1)

8.1. Documentación final Análisis de Riesgos.



8. Análisis de Riesgos EPM3 (2)

8.2. Etapas Análisis de Riesgos.

1.- Identificación de Peligros – Método What If ?

2.- Proceso / Actividades

3.- Sustancia : GNL

4.- Hipótesis accidentales consideradas / Escenarios.

5.- Condiciones de fuga y modelos de cálculo empleados.

6.- Criterios de letalidad – LEL (Llamarada)

7.- Determinación de los Radios de alcance de las consecuencias.

Llamarada: Zona de Intervención (LEL)

Dardo Fuego/Incendio de charco: Zona Intervención (6,64 kW/m²), Z. Alerta (3,71 kW/m²), Z. Efecto dominó (8 kW/m²).

8.- Determinación de la Frecuencia de los escenarios de accidente.

9.- Tipificación de peligros– Matriz cualitativa de Riesgo

10.- Clasificación de los procesos analizados dentro de la Matriz de Riesgo.

11.- Análisis salvaguardas existentes y propuestas de medidas de prevención.

12.- Conclusiones y recomendaciones.

8. Análisis de Riesgos EPM3 (3)

8.2. Etapas Análisis de Riesgos.

4.- Hipótesis accidentales consideradas / Escenarios.

ESCENARIO 1 : Hipótesis del depósito de GNL de la SC de 225 kg	ESCENARIO 2 : Hipótesis del depósito de GNL de la SC de 450 kg
H.1.a. Fuga de GNL por orificio de 2,5 mm en la manguera de entrada al depósito de 225 kg de GNL de la SC.	H.2.a. Fuga de GNL por orificio de 2,5 mm en la manguera de entrada al depósito de 450 kg de GNL de la SC.
H.1.b. Fuga de GNL por orificio de 5 mm en la manguera de entrada al depósito de 225 kg de GNL de la SC.	H.2.b. Fuga de GNL por orificio de 5 mm en la manguera de entrada al depósito de 450 kg de GNL de la SC.
H.1.c. Fuga de GNL por orificio de 10 mm en la manguera de entrada al depósito de 225 kg de GNL de la SC.	H.2.c. Fuga de GNL por orificio de 10 mm en la manguera de entrada al depósito de 450 kg de GNL de la SC.
H.1.d. Rotura catastrófica de la manguera de GNL (orificio de 25 mm) de entrada al depósito de 225 kg de GNL de la SC.	H.2.d. Rotura catastrófica de la manguera de GNL (orificio de 25 mm) de entrada al depósito de 450 kg de GNL de la SC.
H.3. Rotura catastrófica de la manguera de GN (orificio de 12,5 mm) de salida del depósito de GNL de 225 kg de la SC.	H.4. Rotura catastrófica de la manguera de GN (orificio de 12,5 mm) de salida del depósito de GNL de 450 kg de la SC.
H.5. Rotura catastrófica del depósito de GNL de 225 kg de la SC	H.6. Rotura catastrófica del depósito de GNL de 450 kg de la SC

5.- Condiciones de fuga :

Tabla 2. Condiciones de fuga.

Tipo de fuga	Diámetro de orificio (mm)	Duración de fuga (s)
Fuga pequeña (a)	2,5	3.600
Fuga mediana (b)	5	1.800
Fuga grande (c)	10	600
Rotura catastrófica	Diámetro total de la tubería	120

8. Análisis de Riesgos EPM3 (4)

8.2. Etapas Análisis de Riesgos.

6.- Criterios de letalidad - Áreas Letales / 7.- Determinación de los Radios de alcance de las consecuencias.

Iniciador de accidente	Sustancia	Estabilidad	Áreas de planificación de emergencias y letalidad (*)			
			Dardo de fuego			Llamarada
			ZI (m)	ZA (m)	ZD (m)	LC100 (LEL) (m)
H.1.a. Fuga de GNL por orificio de 2,5 mm en la manguera de entrada al depósito de 225 kg de GNL de la SC.	GNL	5,1D/1,7F	4,4/5,4	4,9/5,8	4,3/5,3	1,1/5,0
H.1.b. Fuga de GNL por orificio de 5 mm en la manguera de entrada al depósito de 225 kg de GNL de la SC.	GNL	5,1D/1,7F	8,5/10,3	9,4/11,2	8,3/10,1	2,7/12,6
H.1.c. Fuga de GNL por orificio de 10 mm en la manguera de entrada al depósito de 225 kg de GNL de la SC.	GNL	5,1D/1,7F	16,0/19,5	17,8/21,2	15,5/19,0	6,7/42,3
H.1.d. Rotura catastrófica de la manguera de GNL (orificio de 25 mm) de entrada al depósito de 225 kg de GNL de la SC.	GNL	5,1D/1,7F	35,8/42,6	40,0/46,5	34,6/41,5	29,1/155,8
H.3. Rotura catastrófica de la manguera de GN (orificio de 12,5 mm) de salida del depósito de GNL de 225 kg de la SC.	GN	5,1D/1,7F	8,0/9,7	8,9/10,6	7,8/9,5	3,2/15,2
H.5. Rotura catastrófica del depósito de GNL de 225 kg de la SC	GNL	5,1D/1,7F	117,8/110,4 (*)	143,2/141,1 (*)	110,6/101,6 (*)	96,1/171,6

Hipótesis del depósito de GNL de la SC de 225 kg

(*) Distancia desde el centro del charco para los incendios

8. Análisis de Riesgos EPM3 (5)

8.2. Etapas Análisis de Riesgos.

6.- Criterios de letalidad - Áreas Letales / 7.- Determinación de los Radios de alcance de las consecuencias.

Iniciador de accidente	Sustancia	Estabilidad	Áreas de planificación de emergencias y letalidad (*)			
			Dardo de fuego			Llamada
			ZI (m)	ZA (m)	ZD (m)	LC100 (LEL) (m)
H.2.a. Fuga de GNL por orificio de 2,5 mm en la manguera de entrada al depósito de 450 kg de GNL de la SC.	GNL	5,1D/1,7F	4,4/5,4	4,9/5,9	4,3/5,3	1,1/5,1
H.2.b. Fuga de GNL por orificio de 5 mm en la manguera de entrada al depósito de 450 kg de GNL de la SC.	GNL	5,1D/1,7F	8,5/10,4	9,4/11,3	8,3/10,1	2,7/12,7
H.2.c. Fuga de GNL por orificio de 10 mm en la manguera de entrada al depósito de 450 kg de GNL de la SC.	GNL	5,1D/1,7F	16,1/19,5	17,9/21,3	15,6/19,1	6,8/42,6
H.2.d. Rotura catastrófica de la manguera de GNL (orificio de 25 mm) de entrada al depósito de 450 kg de GNL de la SC.	GNL	5,1D/1,7F	36/42,7	40,2/46,7	34,8/41,7	29,3/156,8
H.4. Rotura catastrófica de la manguera de GN (orificio de 12,5 mm) de salida del depósito de GNL de 450 kg de la SC.	GN	5,1D/1,7F	16/19,1	17,8/20,8	15,5/18,7	7,6/47,2
H.6. Rotura catastrófica del depósito de GNL de 450 kg de la SC	GNL	5,1D/1,7F	117,8/110,4 (*)	143,2/141,1 (*)	110,6/101,6 (*)	124,5/224,3

Hipótesis del depósito de GNL de la SC de 450 kg

(*) Distancia desde el centro del charco para los incendios

8. Análisis de Riesgos EPM3 (6)

8.2. Etapas Análisis de Riesgos.

8.- Determinación de la Frecuencia de los escenarios de accidente.

Informaciones :

- En la terminal de TCB, el horario de trabajo de la SC durante la prueba piloto es de 8 horas/ día.
- En la terminal de BEST, el horario de trabajo de la SC durante la prueba piloto es de 23,5 horas /día
- El periodo de prueba (operación) para ambas terminales es de 3 meses (90 días)
- Se realizará un repostaje diario, a una tasa de 20 min/repostaje, por lo que se tendrá un total de 30 horas de operación anual.
- Probabilidad de presencia de personas en el área (tanto para TCB como BEST)= 1
- Probabilidad de ignición de una nube inflamable por vehículos= 0,5

Escenarios	Frecuencia (horas ⁻¹)	Frecuencia (año ⁻¹)	Frecuencia final (año ⁻¹)
Rotura catastrófica de manguera de GNL/ GN[1]	4,00E-06	1,20E-04	6,00E-05
Rotura parcial de manguera de GNL[2]	4,00E-05	1,20E-03	6,00E-04
Rotura catastrófica del depósito de GNL (APM TERMINALS (TCB))	-	5,70E-07 [3]	7,50E-06
Rotura catastrófica del depósito de GNL (BEST)	-	5,70E-07 [3]	2,20E-05

8. Análisis de Riesgos EPM3 (7)

8.2. Etapas Análisis de Riesgos.

9.- Priorización de los peligros – Matriz cualitativa de Riesgo

MATRIZ DE RIESGO

← Incremento de probabilidad
Probabilidad de ocurrencia

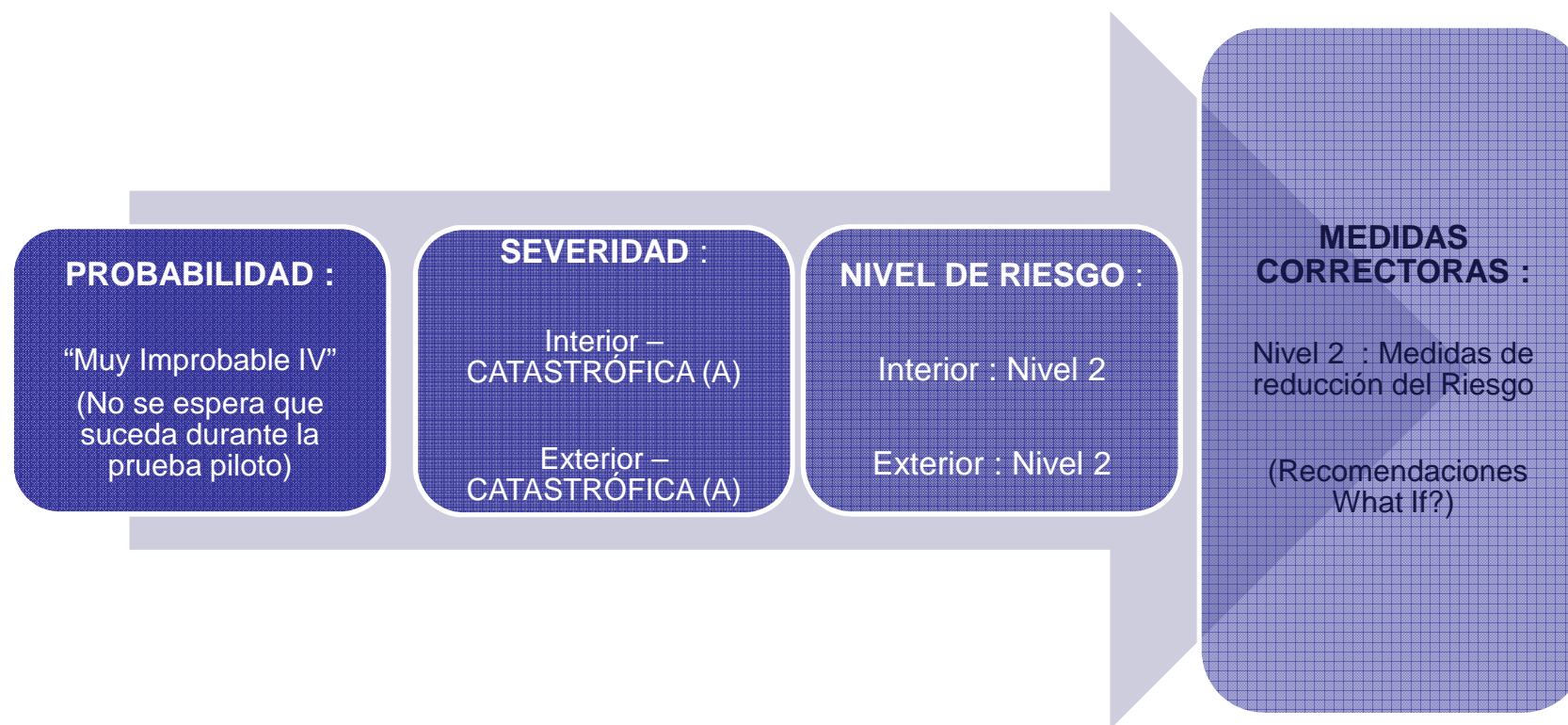
Severidad		Probabilidad				
		Probable (I) Ocurre por lo menos una vez en un año operativo.	Puede ocurrir (II) Ocurre una vez o más en 10 años operativos.	Poco probable (III) Ocurre por lo menos una vez durante la vida útil de las instalaciones.	Muy improbable (IV) Ocurre menos de una vez durante la vida útil de las instalaciones. No se espera que suceda.	No creible (V) Nunca ha sucedido hasta ahora. No hay constancia que ocurra.
Incremento de severidad ↑	A Catastrófico Personal - Varias muertes Imagen pública - Vidas expuestas a accidentes peligrosos Medio ambiente - Gran fuga incontrolada Pérdida económica muy importante.	1	1	2	2	4
	B Crítico Personal – Lesiones graves, conllevando discapacidad hasta una sola muerte. Imagen pública – Expuesto a un accidente que puede causar daños. Medio ambiente – Gran fuga no confinada. Pérdida económica importante.	1	2	2	3	4
	C Marginal Personal – Lesiones, no implicando discapacidad ni muerte. Imagen pública – Ningún impacto Medio ambiente – fuga que se mantiene confinada. Pérdida económica moderada.	2	2	3	3	4
	D Despreciable Personal – lesiones que implican sólo primeros auxilios. Medio ambiente – pequeña fuga que se mantiene confinada. Pequeña pérdida económica.	3	3	3	3	4
	E Ningún impacto (Nada sucede).	4	4	4	4	4

1 – Intolerable: Necesario un cambio de diseño o añadir un SIS 3 – Gestión de mejora continua
 2 – Incorporar medidas de reducción de riesgo o protecciones 4 – NC: No creible. NI: Ningún impacto

8. Análisis de Riesgos EPM3 (8)

8.2. Etapas Análisis de Riesgos.

10.- Clasificación de los procesos analizados dentro de la Matriz de Riesgo.



8. Análisis de Riesgos EPM3 (9)

8.3. Conclusiones y Recomendaciones.

11.- Análisis salvaguardas existentes y propuestas de medidas de prevención.

Salvaguardas Existentes :

- 1.- Comprobación visual del estado de la EM en acceso al terminal, por parte del responsable de mantenimiento de la terminal.
- 2.- Comprobación del estado de la EM por el operador de la EM antes de proceder a la carga de GNL a la Straddle Carrier (SC).
- 3.- Protocolo de repostaje el cual debe incluir una comprobación (check-list) que indique que se ha conectado la toma equipotencial.
- 4.- Presencia permanente de personal durante la operación.
- 5.- Calzos en la EM y SC.
- 6.- Break away.
- 7.- Dry coupling.
- 8.- Limitación de velocidad a 30 KPH.
- 9.- Señalización viaria.

8. Análisis de Riesgos EPM3 (10)

8.3. Conclusiones y Recomendaciones.

11.- Análisis salvaguardas existentes y propuestas de medidas de prevención.

Propuestas de medidas de prevención :

- 1.- Asegurar que la distancia mínima entre el límite exterior del área de carga y las terminales ferroviarias, vías de circulación y áreas de mantenimiento, sea como mínimo de 25 m, pudiéndose reducir esta distancia aplicando medidas preventivas y/o correctoras. (R.1.6)
- 2.- Determinar el área de trabajo/operación para prueba piloto (restricción de operación; la SC con depósito de GNL únicamente operará en una área restringida, reduciéndose significativamente la probabilidad de colisiones y/o vuelco). (R.2.1)
- 3.- Incluir en el procedimiento de admisión de la EM, el acompañamiento para entrada y salida a la zona de carga. (R.1.1)
- 4.- Señalizar en el suelo la ubicación de la EM de GNL y de la SC. (R.1.2)
- 5.- Elaborar procedimiento de operación y de repostaje en la terminal de la SC. (R.1.3)
- 6.- Estacionar la SC, con depósito de GNL, exclusivamente en la zona de operación/carga GNL. (R.2.4)
- 7.- Asegurar que se incluye indicación explícita en el protocolo de carga, o el check list, de prohibición de realizar el repostaje de la SC durante una tormenta eléctrica, baja visibilidad por niebla y/o falta de luz. (R.1.7)
- 8.- En un desarrollo futuro del proyecto para explotación industrial de las SCs con GNL, los depósitos de GNL deben estar protegidos por la estructura de la máquina, con el fin de reducir la posibilidad de daño en caso de colisión y/o vuelco. (R.2.2)

8. Análisis de Riesgos EPM3 (11)

8.3. Conclusiones y Recomendaciones.

12.- Conclusiones y Recomendaciones :

Conclusiones

- La ocurrencia de las hipótesis planteadas es muy improbable, por lo que no se espera que suceda durante la prueba piloto.
- La severidad de las llamaradas correspondientes a rotura de manguera de GNL y rotura de depósito de GNL de la SC pueden alcanzar las vías de tren y viales interiores del puerto. Tanto en el interior como en el exterior, estas llamaradas pueden provocar más de un muerto, por lo que se han tipificado como catastróficas.
- El nivel de riesgo correspondiente a las hipótesis citadas en el punto anterior de acuerdo con la matriz de riesgos es 2.
- No se ha considerado las salvaguardas “break away” y “dry coupling” para el cálculo de las consecuencias, y por consiguiente la severidad de las mismas. En base a esto los resultados de riesgo obtenidos son conservadores.
- El resto de medidas existentes así como también las medidas propuestas (ver What if...?), son de difícil cuantificación en el cálculo cuantitativo del riesgo si bien su implementación y cumplimiento reducirán el riesgo de manera significativa.

Recomendación

- Además de las medidas propuestas en el What if...?, se recomienda estudiar la posibilidad de reubicar las zonas de repostaje de GNL a las SC, de manera que la zona de ZD debido a la rotura catastrófica de la manguera de GNL no alcance las vías de tren adyacentes, ni los depósitos de diésel en APM TERMINALS (TCB).

Annex 5

Deliverable 3.3: Self-protection Plan



Port de Barcelona

**PROYECTO PILOTO DE TRANSFORMACIÓN DE UNA STRADDLE
CARRIER A GAS
PUERTO DE BARCELONA**

PLAN DE AUTOPROTECCIÓN (PAU)

**Ref.: 0734/14641
Octubre 2020
Rev. 0**

CONTROL DE CAMBIOS

VERSIONES	FECHA	DESCRIPCIÓN CAMBIO	APARTADO AFECTADO
Rev. 0	Octubre 2020	Versión inicial	Versión inicial

ÍNDICE

CONTROL DE CAMBIOS	2
DOCUMENTO 0. GENERALIDADES	7
0.1. OBJETIVO DEL PLAN.....	8
0.2. ÁMBITO DE APLICACIÓN	9
0.3. NORMATIVA LEGAL APLICABLE.....	10
0.4. CONTENIDO DEL PLAN DE AUTOPROTECCIÓN.....	11
DOCUMENTO 1. IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO: INVENTARIO, ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL RIESGO	12
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO	13
1.1.1. Nombre	13
1.1.2. Razón social.....	13
1.1.3. Número de identificación fiscal (NIF)	13
1.1.4. Dirección postal.....	13
1.1.5. Datos de contacto en caso de emergencia: teléfonos, faxes, correo electrónico, persona interlocutora de contacto en caso de emergencia	14
1.1.6. Identificación de las personas titulares de la actividad (nombre, razón social, dirección teléfono, fax correo electrónico).....	14
1.1.7. Nombre de la persona titular de la dirección del plan de autoprotección y responsables (dirección postal, teléfono, fax y correo electrónico).	14
1.2. EMPLAZAMIENTO: DESCRIPCIÓN Y PLANOS, COORDENADAS UTM DEL ESTABLECIMIENTO	15
1.3. ACCESIBILIDAD PARA LA AYUDA EXTERNA: DESCRIPCIÓN Y PLANOS.....	17
1.3.1. Vías de acceso a la zona.....	17
1.4. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN	19
1.4.1. Características constructivas del edificio	19
1.4.2. Áreas de la instalación.....	19
1.4.3. Actividades de la instalación.....	20
1.5. OCUPACIÓN	23
1.5.1. Plantilla.....	23
1.5.2. Cuadros de presencia en las diferentes horas del día de personal y ocupantes ..	23
1.5.3. Organigrama	24
1.6. ANÁLISIS DEL RIESGO.....	26
1.6.1. Análisis Histórico de Accidentes	27
1.6.2. Inventario y evaluación de riesgos internos	27

1.6.3.	Inventario y evaluación del riesgo laboral	31
1.6.4.	Inventario y evaluación de riesgos externos a la actividad.....	31
1.6.5.	Descripción o identificación de las condiciones de evacuación.....	42
1.6.6.	Evaluación de las condiciones de confinamiento	43
1.6.7.	Diagrama de personas por zonas	44
1.6.8.	Elementos vulnerables	44
1.7.	PLANOS.....	46
1.7.1.	Zonas de riesgo.....	46
1.7.2.	Zonas vulnerables	46
1.7.3.	Planos de las instalaciones y áreas donde se realiza la actividad	46
1.7.4.	Identificación del control de los suministros básicos	46
DOCUMENTO 2. IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS MEDIOS Y MEDIDAS DE AUTOPROTECCIÓN		47
2.1	MEDIOS MATERIALES DISPONIBLES	48
2.1.1.	Sectorización de incendios	48
2.1.2.	Instalaciones de detección	48
2.1.3.	Instalaciones de extinción de incendios.....	49
2.1.4.	Instalaciones de evacuación/extracción y depuración de humos	49
2.1.5.	Equipamientos para la lucha contra siniestros.....	49
2.1.6.	Señalización de las emergencias	50
2.1.7.	Sistemas internos de aviso.....	50
2.2	MEDIOS HUMANOS DISPONIBLES	51
2.2.1.	Clasificación y descripción de usuarios	51
2.2.2.	Clasificación y descripción de usuarios en relación a sus funciones en el PAU ..	51
2.3	MEDIDAS CORRECTORAS DEL RIESGO Y DE AUTOPROTECCIÓN	52
2.4	PLANOS	53
2.4.1.	Sectorización.....	53
2.4.2.	Instalaciones de detección, extinción de incendios y extracción de humos.....	53
2.4.3.	Señalización de emergencias y sistemas internos de aviso.....	53
2.4.4.	Vías de evacuación	53
2.4.5.	Áreas de confinamiento	53
DOCUMENTO 3. MANUAL DE ACTUACIÓN EN EMERGENCIAS		54
3.1	OBJETIVO Y ÁMBITO DE APLICACIÓN	55
3.2	IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE EMERGENCIAS	56
3.2.1.	Clasificación de las emergencias en función de la gravedad o nivel de la	

emergencia.....	56
3.2.2. Clasificación de las Emergencias en función del tipo de riesgo	59
3.2.3. Clasificación de las emergencias en función de la ocupación y de los medios humanos	59
3.3 EQUIPOS DE EMERGENCIA	60
3.3.1. Responsable del Centro de Control, Alarma y Comunicaciones	60
3.3.2. Jefe de la Emergencia	61
3.3.1. Equipo de Intervención	63
3.3.2. Miembros del Equipo de Intervención	64
3.3.3. Equipo de Evacuación y Confinamiento	65
3.3.4. Equipo de Primeros Auxilios	66
3.4 ACCIONES A REALIZAR	67
3.4.1. Detección y alerta	67
3.4.2. Comunicaciones y alarmas	70
3.4.3. Intervención	73
3.4.4. Evacuación	77
3.4.2. Confinamiento	78
3.4.3. Prestación de las primeras ayudas	78
3.4.4. Recepción de las ayudas externas	79
3.4.5. Fin de la emergencia	79
3.5 FICHAS DE ACTUACIÓN	82
3.6 INTEGRACIÓN EN PLANES DE ÁMBITO SUPERIOR	83
3.6.1. Coordinación a nivel directivo	83
3.6.2. Coordinación a nivel operativo	84
DOCUMENTO 4. IMPLANTACIÓN, MANTENIMIENTO Y ACTUALIZACIÓN	86
4.1. RESPONSABILIDAD Y ORGANIZACIÓN	87
4.1.1. Responsables de la implantación.	87
4.1.2. Planificación, coordinación y seguimiento de las acciones de implantación	87
4.1.3. Planificación, programa y plazos de mantenimiento	89
4.2. ACTUALIZACIÓN Y REVISIÓN DEL PLAN	92
4.2.1. Actualización del Plan de Autoprotección	92
4.2.2. Revisión del Plan de Autoprotección	92

ANEXO I.	DIRECTORIO DE COMUNICACIÓN
ANEXO II.	FORMULARIOS PARA LA GESTIÓN DE LAS EMERGENCIAS
ANEXO III.	PLANOS
ANEXO IV.	FICHAS DE ACTUACIÓN
ANEXO V.	FICHAS DE DATOS DE SEURIDAD

TERRITORIO Y MEDIO AMBIENTE, S.A. ha elaborado este documento con aplicación de su experiencia y conocimientos y observando todas las directrices, reglamentos y normativas, así como documentación proporcionada relativa al objeto del estudio, a la fecha de su ejecución.

Preparado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Ingeniera de Proyecto C.H.G.  	Directora de Proyecto G.M.M.  	PORT DE BARCELONA  Port de Barcelona
Fecha: Octubre 2020	Fecha: Octubre 2020	Fecha: Octubre 2020

Este documento es de carácter privado ya que contiene información sobre procesos productivos e instalaciones del establecimiento, por lo que es estrictamente confidencial. No está permitida su reproducción ni su divulgación, total o parcial, sin la expresa autorización por escrito, de la propiedad.



DOCUMENTO 0. GENERALIDADES

0.1. OBJETIVO DEL PLAN

El presente documento constituye la Revisión 0 del Plan de Autoprotección (PAU) de la prueba piloto del Proyecto EPM3 de Straddle Carrier propulsada por motor a gas (Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas, en adelante) en la concesión de la Terminal APMT en el Puerto de Barcelona

Para la prueba piloto se transformará una Straddle Carrier (SC, en adelante) para que pueda funcionar con gas natural, básicamente instalando en la SC un depósito de gas natural licuado (en adelante GNL) y sustituyendo sus motores, o si fuese posible modificándolos, para que puedan funcionar con gas natural.

El Plan de Autoprotección es el documento que establece el marco orgánico y funcional previsto para un centro, establecimiento, espacio, instalación o dependencia, con el objeto de prevenir y controlar los riesgos sobre las personas y los bienes, y dar respuesta adecuada a las posibles situaciones de emergencia, en la zona bajo responsabilidad del titular de la actividad, garantizando la integración de estas actuaciones con el sistema público de protección civil.

El Plan de Autoprotección aborda la identificación y evaluación de los riesgos, las acciones y medidas necesarias para la prevención y control de riesgos, así como las medidas de protección y otras actuaciones a adoptar en caso de emergencia.

0.2. ÁMBITO DE APLICACIÓN

El presente Plan de Autoprotección es de aplicación a todas las situaciones de emergencia que conlleven o se prevé que puedan conllevar repercusiones a las personas que desarrollen su trabajo durante el Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas, incluyendo personal presente en la zona, los bienes o el medio ambiente.

El alcance del proyecto incluye las siguientes operaciones:

- ❖ Circulación de una Estación Móvil de carga de GNL (cisterna de GNL, en adelante EM) por el interior de la terminal APMT (antigua TCB) hasta la ubicación del punto de carga, conexión, descarga y desconexión.
- ❖ Operaciones de repostaje de GNL a la Straddle Carrier.
- ❖ Circulación y Operaciones de la Straddle Carrier con depósito de GNL por el interior de la terminal APMT (antigua TCB)

0.3. NORMATIVA LEGAL APLICABLE

A continuación, se relaciona la legislación vigente principal en materia de prevención de riesgos, autoprotección y seguridad industrial considerada en la realización del presente PAU definiendo y justificando el posicionamiento y afección del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas en relación a dicha legislación, en función de los procesos y sustancias peligrosas involucradas en la actividad desarrollada para el Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas:

1. Ley 4/1997, de 20 de mayo, de protección civil de Cataluña.
2. Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
3. Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.

0.4. CONTENIDO DEL PLAN DE AUTOPROTECCIÓN

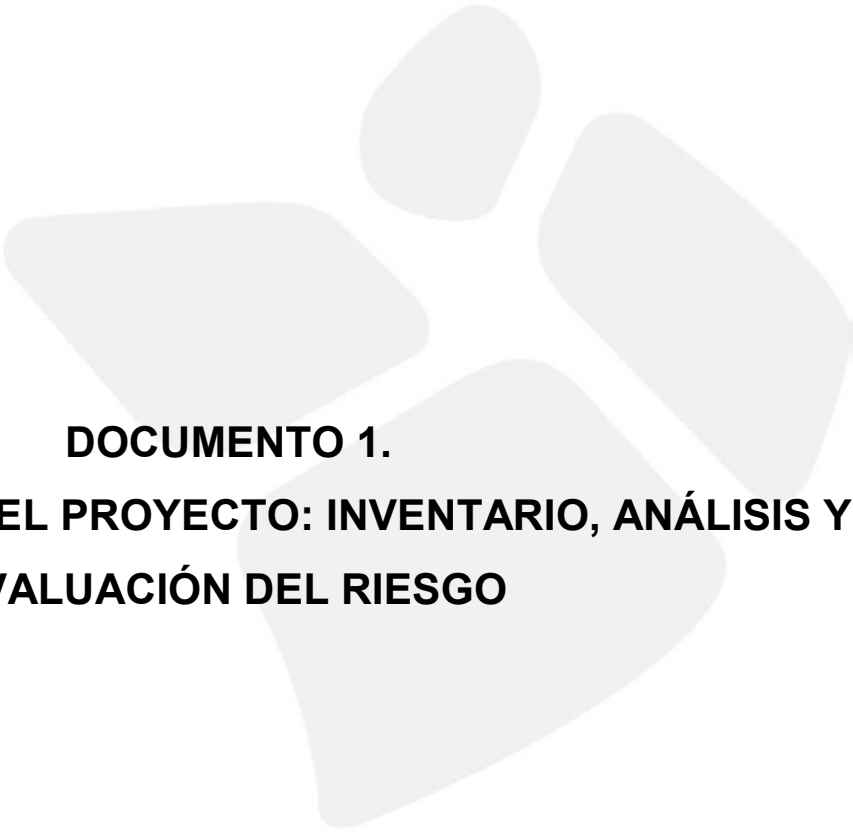
El contenido del PAU sigue el contenido mínimo especificado por el Anexo II del Decret 30/2015, de 3 de marzo, por el que se aprueba el catálogo de actividades y centros obligados a adoptar medidas de autoprotección y se fija el contenido de estas medidas (DOGC núm. 6824 con fecha de 5 de marzo de 2015), si bien la actividad que se llevará a cabo en el Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas se encuentra exenta de la aplicación de las disposiciones de dicho decreto. En base a ello, el PAU consta de:

DOCUMENTO

- Documento 1. Identificación del establecimiento: inventario, análisis y evaluación del riesgo.
- Documento 2. Inventario y descripción de los medios y medidas de autoprotección.
- Documento 3. Manual de actuación.
- Documento 4. Implantación, mantenimiento y actualización.

ANEXOS

- Anexo I. Directorio de comunicaciones.
- Anexo II. Formularios para la gestión de las emergencias.
- Anexo III. Planos.
- Anexo IV. Fichas de actuación.
- Anexo V. Fichas de Datos de Seguridad.



DOCUMENTO 1.

IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO: INVENTARIO, ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL RIESGO

1.1.IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

1.1.1.Nombre

Proyecto piloto de transformación de una straddle carrier a gas en la terminal APMT

1.1.2.Razón social

Razón social	Autoridad Portuaria de Barcelona
NIF	Q-0867012-G
Dirección	Portal de La Pau, num. 6. BARCELONA
Código Postal	08039
Localidad	Barcelona
Provincia	Barcelona
Teléfono	93.306.63.68.
Fax	93.298.21.27.
Mail	jordi.vila@portdebarcelona.cat
Representante legal	Mercè Conesa Pagès
Cargo	Presidenta

1.1.3.Número de identificación fiscal (NIF)

NIF: Q-0867012-G

1.1.4.Dirección postal

Dirección	Muelle Sur del Port de Barcelona
Código Postal	08039
Localidad	Barcelona
Provincia	Barcelona
Teléfono:	93.306.63.68.
Fax	93.298.21.27.
Correo electrónico	jordi.vila@portdebarcelona.cat
Actividad principal	Terminal de contenedores APMT

1.1.5. Datos de contacto en caso de emergencia: teléfonos, faxes, correo electrónico, persona interlocutora de contacto en caso de emergencia

Nombre	David Asensio
Cargo	Ingeniero electrónico:
Dirección	Ronda del Port, 233 08039 Barcelona.
Teléfono	+34 93 443 72 06 (fijo) 630 026 972 (móvil)
Correo electrónico	david.asensio@apmterminals.com

1.1.6. Identificación de las personas titulares de la actividad (nombre, razón social, dirección teléfono, fax correo electrónico)

Razón social	Autoridad Portuaria de Barcelona
NIF	Q-0867012-G
Dirección	Portal de La Pau, num. 6. BARCELONA
Código Postal	08039
Localidad	Barcelona
Provincia	Barcelona
Teléfono	93.306.63.68.
Fax	93.298.21.27.
Mail	jordi.vila@portdebarcelona.cat
Representante legal	Mercè Conesa Pagès
Cargo	Presidenta

1.1.7. Nombre de la persona titular de la dirección del plan de autoprotección y responsables (dirección postal, teléfono, fax y correo electrónico).

La persona titular de la dirección del Plan de Autoprotección, Jefe de Emergencia y persona responsable de la gestión de la prevención y control de los riesgos es:

Nombre	David Asensio
Cargo	Ingeniero electrónico:
Dirección	Ronda del Port, 233 08039 Barcelona.
Teléfono	+34 93 443 72 06 (fijo) 630 026 972 (móvil)
Correo electrónico	david.asensio@apmterminals.com

1.2.EMPLAZAMIENTO: DESCRIPCIÓN Y PLANOS, COORDENADAS UTM DEL ESTABLECIMIENTO

La actividad se desarrolla en el muelle Sur, en la zona concesionada a la Terminal APMT (Antigua TCB).

El Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas se encuentra delimitada por los siguientes elementos y/o infraestructuras:

- Al **Norte**, a unos 200 m la montaña de Montjuic.
- Al **Este**, se encuentran el Mar Mediterráneo a unos 50 m.
- Al **Sur**, se encuentra ubicado el río Llobregat a unos 3 km de la zona donde se ubica el proyecto.
- Al **Oeste**, se ubican las instalaciones de la Compañía Logística de Hidrocarburos CLH en el mismo puerto de Barcelona.

Las coordenadas geográficas y UTM de la zona donde se ubica el Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas son las siguientes:

Tabla 1.1. Localización del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas

COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
Longitud	2° 9' 48"
Latitud	41° 21' 11"
PROYECCIÓN UTM (ETRS89, Huso 31)	
UTM	X: 430.016 m
	Y: 4.578.292 m

Fuente: Google Earth

En las tablas siguientes se detallan las poblaciones y las infraestructuras más cercanas al Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas son los siguientes:

Tabla 1.2. Poblaciones cercanas al Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas

POBLACIÓN	DIRECCIÓN	DISTANCIA (m)	Nº DE HABITANTES
Barcelona	--	500	1.620.343
L'Hospitalet de Llobregat	Oeste	4.500	261.068
El Prat de Llobregat	Oeste / Suroeste	8.500	64.132

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (2018)

Tabla 1.3. Infraestructuras cercanas al Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas

POBLACIÓN	DIRECCIÓN	DISTANCIA (m)
Carretera portuaria de circunvalación	Oeste	70
Passeig Can Tunis	Oeste	270
Línea férrea de mercancías peligrosas	Oeste	60
Ronda Litoral	Oeste	370

Las diferentes empresas y locales de restauración existentes en los alrededores de la instalación son las siguientes:

Tabla 1.4. Empresas y locales de restauración cercana al Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas

POBLACIÓN	DIRECCIÓN
ALMACENAJES CASTILLO, S.A.	Oeste
AUTOCARES DEL NORDESTE, S.A.	Oeste
DAUNIS, MASÓ Y FONT, S.A.	Oeste
BAR LA NEVERA	Oeste
SUBIAS BERLINGHIERI HERMANOS, S.A.	Oeste
FLORISTERÍA	Oeste
EDIFICIOS DE VIVIENDAS	Oeste
BAR LITORAL	Oeste
BUNGE IBÉRICA, S.A.	Noreste
COMPAÑÍA LOGÍSTICA DE HIDROCARBUROS	Oeste
TRANSPORTES SUHEGA, S.L.	Suroeste
BARCELONA INTERNACIONAL TERMINAL, S.A. (BIT) TERMINAL DE CAFÉ Y CACAO- ALMACÉN	Sur
BARCELONA INTERNACIONAL TERMINA, S.A. (BIT) TERMINAL DE CAFÉ Y CACAO- OFICINAS Y ALMACÉN	Sur
DRUNPE, S.L.	Sur

En el **Anexo III. Planos**, se adjuntan planos de situación geográfica, entorno y topográfico de Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas, con indicación de los elementos más representativos de su entorno, así como los elementos vulnerables del entorno y vías de acceso a la zona.

1.3.ACCESIBILIDAD PARA LA AYUDA EXTERNA: DESCRIPCIÓN Y PLANOS

1.3.1.Vías de acceso a la zona

En la siguiente figura se muestra el recorrido de acceso a la zona en la que se ubica el Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas, en la zona concesionada a la Terminal de APMT.

Figura 1.1. Ruta de acceso a la zona del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas



La zona en la que se realiza la prueba piloto del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas, es accesible por tierra por cuatro puntos.

- **Control Salida**, consta con 8 accesos de anchura de 3,5 m y una puerta especial de 10 m de anchura.
- **Puerta entrada / salida**: ubicada en la Ronda del Port 233, con un vial de acceso de 3,5 m con una barrera tanto para entrada como para la salida. Así mismo se dispone de 3 tornos giratorios.
- **Acceso de ferrocarril**: ubicado en el extremo suroeste de la explanada con una anchura total de 8 m para el acceso de convoyes.
- **Control de Entrada**: consta con 8 accesos de anchura de 3,5 m y una puerta especial de 10 m de anchura.

La explanado dónde se ubica la prueba piloto dispone de acceso por vía marítima por dos paramentos que limitan directamente con el mar, como son el muelle 24A y el 24 B.

Internamente, la explanada es accesible gracias al carril de circulación de vehículos y personas que se extiende por todo el perímetro del patio de contenedores.

El acceso a la zona para los vehículos de Ayuda Externa se encuentra asegurado en caso de emergencia.

En el **Anexo III. Planos**, se adjunta información gráfica con los accesos a la zona de estudio en el plano **Entorno y vías de acceso a la instalación**.

1.4.DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

1.4.1.Características constructivas del edificio

La zona en la que se realizará la prueba piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas no consta de edificios o construcciones debido a que se realizará en la campa portuaria de la Terminal APMT (antigua TCB).

Sin embargo, a unos 50 metros se ubica del taller de mantenimiento de la Terminal APMT. Esta nave consta de tres naves de mantenimiento y una nave de almacén. Todas las naves son adosadas con cubierta de doble vertiente y los materiales de construcción son de hormigón tanto en la estructura como en los revestimientos, mientras que los techos son metálicos.

1.4.2.Áreas de la instalación

El Proyecto piloto de transformación de una *straddle carrier* a gas en el puerto de Barcelona está ubicado en la zona de la explanada de la Terminal APMT. Esta zona se divide en tres sectores: la explanada, la poza y la zona de convoyes ferroviarios.

La explanada, es el patio general de contenedores (tanto llenos como vacíos) que ocupa una superficie de unos 485.000 m², con un pavimento de hormigón. Contiene además de la zona de estacionamiento de espera de camiones para la recepción y/o entrega de contenedores, la zona en la que se realizará la prueba de piloto del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas.

La poza, se caracteriza por ser un espacio dedicado a la realización de las tareas de estiba y desestiba de los buques mercantes, con 13 grúas porta contenedores. Este sector ocupa una superficie de 75.670 m².

Los convoyes ferroviarios, este sector con 52.600 m² se caracteriza por contar con 6 vías muertas para el estacionamiento de los diferentes vagones de carga y por una zona de almacenamiento de contenedores, con una media de trenes operados de 50 por semana.

La zona de repostaje en la que se realizará la prueba piloto de desarrollará en el muelle Sur, de la concesión de Terminal APMT. En ella, se instalará una estación de repostaje móvil que permitirá realizar la carga de GNL de una Straddle Carrier modificada para poder ser propulsada con este producto.

Figura 1.2. Campa portuaria de ubicación del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas



Figura 1.3. Ubicación en la Terminal APMT del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas



1.4.3. Actividades de la instalación

El Proyecto piloto EPM3 de transformación de una Straddle Carrier a gas se realizará en la Terminal APMT (antigua TCB) del Puerto de Barcelona, entre finales de octubre y noviembre de 2020, con el fin de hacer funcionar la máquina Straddle Carrier que ha sido transformada para usar gas natural como combustible. La máquina tendrá un depósito de GNL de 600 litros y el suministro de GNL se realizará desde una estación de servicio móvil.

La prueba piloto consiste en comprobar el correcto funcionamiento de la máquina, levantando algún contenedor y realizando desplazamientos de la misma, en una zona delimitada y con restricción de tráfico.

Las condiciones de suministro de GNL cumplirán con las condiciones de trabajo específicas por el fabricante del motor y el del depósito instalado en la SC:

- Índice de metano igual o superior a 75 (a confirmar según especificaciones del motor)
- Presión 8 barg
- Temperatura: -130°C

Las operaciones que realizarán y evaluarán durante la prueba piloto son las siguientes:

- Circulación de una estación móvil de carga de GNL (cisterna de GNL, en adelante EM) por el interior de la Terminal APMT hasta la ubicación del punto de carga, conexión y descarga y desconexión.
- Operación de repostaje de GN a las SC.
- Circulación y operaciones de las SC con depósitos de GNL por el interior de las terminales.

Durante la prueba piloto se determinará los niveles de emisiones mediante la instalación de un equipo PEMS (*Portable emissions Measurement System*), que permitirá testear el motor de la maquinaria a diferentes regímenes de carga.

Figura 1.4. Estación móvil



Figura 1.5. Maquinaria de la estación móvil para el repostaje



Figura 1.6. Straddle Carrier



1.5. OCUPACIÓN

1.5.1. Plantilla

La plantilla operativa de la instalación es de 10 personas y el horario de trabajo durante la prueba piloto será de 06:00 a 18.00 h.

1.5.2. Cuadros de presencia en las diferentes horas del día de personal y ocupantes

En la siguiente tabla se indica la distribución de personal del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas presente en la zona.

Tabla 1.5. Cuadro horario de presencia de personal en Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas

PERSONAL	PUESTO DE TRABAJO	06:00-18:00
Personal (interior zona de seguridad)	Operadores HAM (Personal de montaje del motor, de taller de APMT,...)	2
Personal (exterior zona de seguridad)	Socios	8
TOTAL		10

En el interior de la zona de repostaje la ocupación máxima no superará las 10 personas. Durante el horario nocturno (18:00 a 06:00 h) no se realizará actividad de carga, por lo que no habrá presencia de personal de la instalación en la zona, aunque en las zonas colindantes sí puede haber presencia de personal de la Terminal APMT.

1.5.3. Organigrama

Se incluye el organigrama del Port de Barcelona, ya que está directamente asociado a la actividad realizada durante la prueba piloto del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas.

Figura 1.7. Organigrama del Port de Barcelona

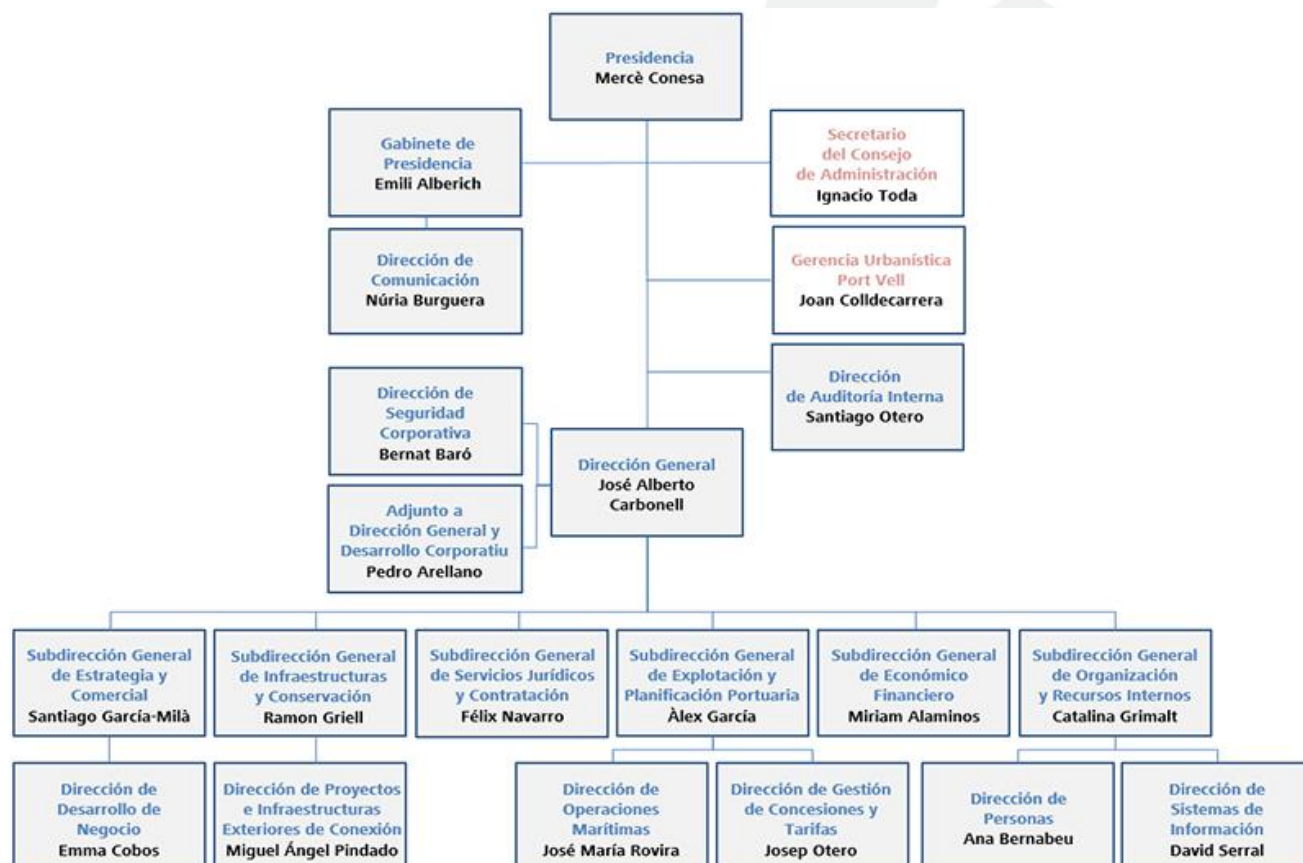
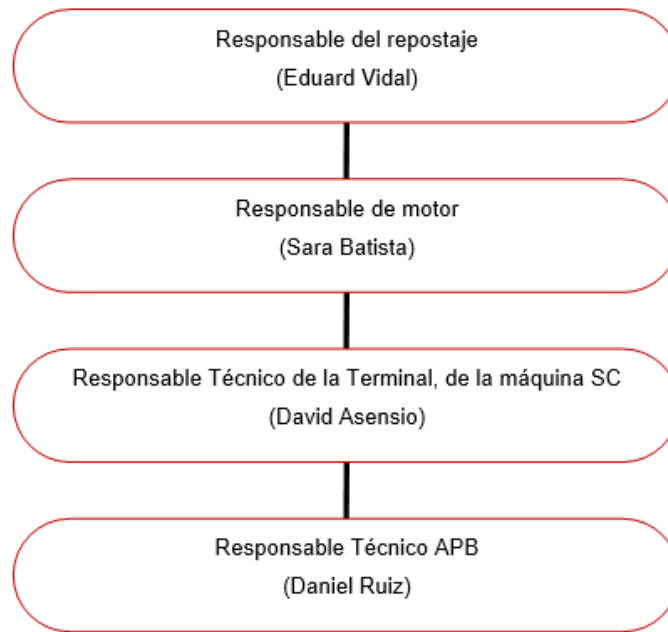


Figura 1.8. Organigrama de la Terminal APMT



1.6.ANÁLISIS DEL RIESGO

Las metodologías y técnicas utilizadas para análisis del riesgo interno del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas, así como de los posibles accidentes generales que pueden tener lugar han sido:

- Análisis de peligrosidad intrínseca de la sustancia presente en la instalación basado en las características físicas, químicas y toxicológicas de la misma, así como la localización de estas sustancias en la zona de estudio.
- Peligrosidad derivada de las condiciones de almacenamiento y operación del GNL presente en la campa de la Terminal APMT (antigua TCB).
- Estudio de identificación de peligros (What if...?) TEMA, S.A. Ref: 1231/13694, Febrero 2017)
- Análisis de Riesgos para el Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas (TEMA, S.A. Ref: 1231/13694, Enero 2017)
- Experiencia del personal de Autoridad Portuaria en la operativa relacionada con la operativa del Proyecto.
- La experiencia de TEMA, en la realización de estudios en proyectos similares

Con respecto a la identificación y evaluación de los riesgos externos se ha llevado a cabo en relación a la información facilitada por la Dirección General de Protecció civil a través del mapa de Protecció civil de Catalunya.

Tanto para los riesgos internos generales como para los riesgos externos, la evaluación de los mismos se ha realizado en base a los criterios de análisis de riesgos indicados en el Plan de Autoprotección Interno de la Autoridad portuaria de Barcelona 2010 (Punto III.2.1.2)

A continuación se muestran los valores de probabilidad y severidad utilizados en el análisis y la consecuente estimación del nivel de riesgo.

Tabla 1.6. Estimación de probabilidad de ocurrencia

CATEGORIA	PROBABILIDAD
ALTA	Más de una vez al año
MEDIA	Entre una vez al año y una vez cada 100 años
BAJA	Menos de una vez cada 100 años
MUY BAJA	Inexistente o sin constancia

Tabla 1.7. Estimación de la severidad de las consecuencias

CATEGORIA	SEVERIDAD
MUY ALTA	Muertes o pérdidas muy importantes
ALTA	Numerosos afectados o pérdidas importantes
MEDIA	Algún afectado o pérdidas limitadas
BAJA	Solo problemas operativos

Tabla 1.8. Estimación de nivel de riesgo

		PROBABILIDAD			
		ALTA	MEDIA	BAJA	MUY BAJA
SEVERIDAD	MUY ALTA	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO
	ALTA	ALTO	MEDIO	MEDIO	BAJO
	MEDIA	MEDIO	MEDIO	BAJO	BAJO
	BAJA	MEDIO	MEDIO	BAJO	BAJO

1.6.1. Análisis Histórico de Accidentes

No dispone histórico de accidentes.

1.6.2. Inventario y evaluación de riesgos internos

La identificación del riesgo y de las consecuencias se ha realizado en base a los riesgos identificados en el Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas.

1.6.2.1 Sustancias peligrosas según la normativa de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas

En la siguiente tabla se presenta la sustancia peligrosa presente en la zona de estudio clasificada según el RD 840/2015, de 21 de septiembre, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas

Tabla 1.9. Sustancia presente en la zona de estudio clasificada por el RD 840/2015

SUSTANCIA CLASIFICADA POR EL RD 840/2015	Categoría de la sustancia	Q máx (t)	Umbrales	
	Parte 2. Sustancias peligrosas nominadas		Nivel inferior	Nivel superior
GNL- Gas natural Licuado Nº CAS: 74-82-8	Ítem 18. Gases inflamables licuados de la categoría 1 o 2 (incluidos el GLP) y gas natural	0,27 ¹	50	200

La ficha de datos de seguridad del producto se adjunta en el **Anexo V. Ficha de Datos de Seguridad**.

1.6.2.2 Incendio

En la siguiente tabla se muestra la identificación y evaluación de riesgo de incendio:

Tabla 1.10. Resumen de la evaluación del riesgo de incendio

ÁREA	ACCIDENTE	PROBABILIDAD	SEVERIDAD	RIESGO
Operación de carga de GNL a la Straddle Carrier (SC)	Dardo de fuego por fuga de GNL por un orificio en la manguera de entrada al depósito de 600 l de la SC	BAJA	MEDIA	BAJO
Operación de carga de GNL a la Straddle Carrier (SC)	Llamarada por fuga de GNL por un orificio en la manguera de entrada al depósito de 600 l de la SC	BAJA	MEDIA	BAJO
Operación de carga de GNL a la Straddle Carrier (SC)	Dardo de fuego por rotura catastrófica de la manguera de entrada al depósito de 600 l de la SC	MUY BAJA	MEDIA	BAJO
Operación de carga de GNL a la Straddle Carrier(SC)	Llamarada por rotura catastrófica de la manguera de entrada al depósito de 600 l de la SC	MUY BAJA	MEDIA	BAJO

¹ La cantidad indicada hace referencia a la capacidad del depósito de GNL de la SC (600 litros).

ÁREA	ACCIDENTE	PROBABILIDAD	SEVERIDAD	RIESGO
Operación de carga de GNL a la Straddle Carrier(SC)	Dardo de fuego por rotura catastrófica de la manguera de GN de salida del depósito de GNL de 600 l	MUY BAJA	MEDIA	BAJO
Operación de carga de GNL a la Straddle Carrier(SC)	Llamarada por rotura catastrófica de la manguera de GN de salida del depósito de GNL de 600 l	MUY BAJA	MEDIA	BAJO
Operación de carga de GNL a la Straddle Carrier(SC)	Incendio por colisión de la estación móvil con camiones, maquinaria industrial y/o elementos fijos en la terminal	BAJA	MEDIA	BAJO
Estación móvil de repostaje de GNL en el área de carga	Fuego eléctrico	BAJA	MEDIA	BAJO
Operación de movimiento de la Straddle Carrier (SC) con depósito de GNL	Incendio de charco por rotura catastrófica del depósito de GNL de 600 l de la SC	MUY BAJA	MEDIA	BAJO
Operación de movimiento de la Straddle Carrier (SC) con depósito de GNL	Llamarada por rotura catastrófica del depósito de GNL de 600 l de la SC	MUY BAJA	MEDIA	BAJO
Operación de movimiento de la Straddle Carrier (SC) con depósito de GNL	Incendio por colisión y/o vuelco de la SC con camiones, maquinaria industrial y/o elementos fijos en la terminal	BAJA	MEDIA	BAJO

El riesgo de un accidente que genere un dardo de fuego es bajo ya que no se estima que pueda afectar a los contenedores de mercancías peligrosas durante la carga de GNL. Dicha operación se realiza en una zona cercana al taller, libre de contenedores de mercancías peligrosas.

1.6.2.3 Explosión

El riesgo de explosión viene dado por la generación de atmosferas explosivas de vapores inflamables en presencia de una fuente de ignición.

Se resumen a continuación las consecuencias del riesgo de explosiones de la zona de estudio.

Tabla 1.11. Resumen de la evaluación del riesgo de explosión

ÁREA	ACCIDENTE	PROBABILIDAD	SEVERIDAD	RIESGO
Operación de carga de GNL a la Straddle Carrier (SC)	Explosión por presencia de aire en el depósito de GNL de la SC	MUY BAJA	ALTA	BAJO

1.6.2.4 Fuga/derrame

El riesgo de fuga de producto puede originar, si el producto es inflamable, riesgos de explosión e incendio.

Se resumen a continuación las consecuencias del riesgo de vertidos de la zona de estudio.

Tabla 1.12. Resumen de la evaluación del riesgo de fuga / derrame

ÁREA	ACCIDENTE	PROBABILIDAD	SEVERIDAD	RIESGO
Operación de carga de GNL a la Straddle Carrier (SC)	Fuga de GNL por un orificio en la manguera de entrada al depósito de 600 l de la SC	BAJA	MEDIA	BAJO
Operación de carga de GNL a la Straddle Carrier (SC)	Fuga de GNL por rotura catastrófica de la manguera de entrada al depósito de 600 l de la SC	MUY BAJA	MEDIA	BAJO
Operación de carga de GNL a la Straddle Carrier (SC)	Fuga de GN por rotura catastrófica de la manguera de salida del depósito de GNL de 600 l	MUY BAJA	MEDIA	BAJO
Operación de movimiento de la Straddle Carrier (SC) con depósito de GNL	Derrame de GNL rotura catastrófica del depósito de GNL de 600 l de la SC	MUY BAJA	MEDIA	BAJO

1.6.2.5 Otros

Otros riesgos identificados y evaluados en la zona de estudio del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas son:

Tabla 1.13. Resumen de la evaluación otros riesgos de la zona de estudio

OTROS RIESGOS	PROBABILIDAD	SEVERIDAD	RIESGO
Posible impacto sobre camión cisterna (vallado new jersey)	BAJA	MEDIA	BAJO

OTROS RIESGOS	PROBABILIDAD	SEVERIDAD	RIESGO
Problemas estructurales	BAJA	BAJA	BAJO
Alteraciones orden público	BAJA	BAJA	BAJO
Amenaza de bomba	BAJA	ALTA	MEDIO

1.6.3. Inventario y evaluación del riesgo laboral

Los riesgos derivados de la actividad laboral que pueden dar lugar a una situación de emergencia o activar el PAU son:

- Incendios
- Explosiones

1.6.4. Inventario y evaluación de riesgos externos a la actividad


La elaboración del inventario y caracterización de los riesgos externos a la actividad se ha desarrollado de acuerdo a lo indicado en el Mapa de Protección Civil de Catalunya. Estos riesgos pueden tener diversos orígenes:

- De origen tecnológico:
 - Riesgo químico por la presencia de establecimientos industriales.
 - Riesgo por el transporte de mercancías peligrosas.
 - Riesgo nuclear
 - Riesgo radioactivo.
- De origen natural:
 - Riesgo por inundaciones.
 - Riesgo por incendios forestales
 - Riesgo por nevadas.
 - Riesgo por terremotos.
 - Riesgo por viento

Los riesgos externos se valoran con el mismo criterio que se ha utilizado para la evaluación de los riesgos anteriores.



RIESGOS EXTERNOS		PROBABILIDAD	SEVERIDAD	EVALUACIÓN DEL RIESGO	AFECTACIÓN
<p>Riesgo químico en establecimientos industriales (empresas SEVESO)</p>	 <p>Sirenes: cobertura  Sirenes: cobertura  Sirenes</p>	MEDIA	ALTA	MEDIO	<p>El Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas se encuentra dentro del radio de la Zona de Alerta (ZA) máxima por riesgo químico en establecimientos industriales.</p> <p>Según el PLASEQCAT, las emergencias químicas exteriores que pueden afectar a las instalaciones de El Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gasse pueden originar en las empresas SEVESO de nivel alto del entorno, afectando la instalación por la zona de alerta.</p> <p>El aparcamiento de mercancías peligrosas de ADIF El Morrot se encuentra a unos de 600 m al noreste de las instalaciones. Allí se pueden encontrar productos y sustancias peligrosas almacenadas en contenedores que podrían ocasionar un accidente grave.</p>
	 <p>Zones intervenció i alerta màximes</p> <p> Zona d'alerta  Zona d'intervenció</p> <p>Perímetre de les instal·lacions</p> <p> ALT  ALTRES  BAIX  MMPP Adif</p>				

RIESGOS EXTERNOS		PROBABILIDAD	SEVERIDAD	EVALUACIÓN DEL RIESGO	AFECTACIÓN
Riesgo por accidente en el transporte de mercancías peligrosas (MMPP) por ferrocarril	 <p>Riscos Tecnològics/Risc Transport Mercaderies Perilloses</p> <p>Nivells de flux per trams de la xarxa ferroviària</p> <ul style="list-style-type: none"> Baix Moderat Mig Important Molt important <p>Perímetre de les instal·lacions</p> <ul style="list-style-type: none"> ALT ALTRES BAIX MMPP Adif 	MEDIA	BAJA	MEDIO	<p>Existe un tramo férreo Nus Castellbisbal – Barcelona, que pasa junto próximo a la zona donde se encuentra el Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas, queda afectado por el TRANSCAT ferrocarril, al estar considerado como una vía con un flujo de mercancías peligrosas asociado medio.</p> <p>Junto a las instalaciones se encuentra la estación de ferrocarril “Barcelona el Port” de FGC y a menos de 600 m al noreste la terminal ferroviaria de mercancías peligrosas de ADIF El Morrot.</p> <p>Respecto al tramo de vías ADIF que pasan próximos a la zona de estudio, en el caso de producirse un accidente de un vagón cisterna con fuga o derrame de un líquido muy inflamable, un líquido extremadamente inflamable o un GLP (por ejemplo: propano) no cabría esperar daños en la zona del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas por radiación térmica como consecuencia de un incendio de producto o del propio vagón o de sobrepresión como consecuencia de una deflagración de una nube inflamable o BLEVE.</p>

RIESGOS EXTERNOS		PROBABILIDAD	SEVERIDAD	EVALUACIÓN DEL RIESGO	AFECTACIÓN
Riesgo por accidente en el transporte de mercancías peligrosas (MMPP) por carretera	 <p>Riscos Tecnològics/Risc Transport Mercaderies Perilloses</p> <p>Nivell de flux per trams de la xarxa viària</p> <ul style="list-style-type: none"> Baix Moderat Mig Important Molt important <p>Perímetre de les instal·lacions</p> <ul style="list-style-type: none"> ALT ALTRES BAIX MMPP Adif 	MEDIA	BAJA	MEDIO	<p>La vía B10, al noroeste del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas, quedan afectadas por el TRANSCAT viario, al estar consideradas como vías con un flujo de mercancías peligrosas asociado de riesgo bajo.</p> <p>En los viales del puerto de Barcelona puede haber tránsito local de camiones ADR con destino o procedencia al aparcamiento de mercancías peligrosas ADIF El Morrot.</p> <p>En el caso de producirse un accidente de un camión cisterna en el Passeig Can Tunis con fuga o derrame de no cabría esperar daños sobre los equipos del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas por radiación térmica (8 kW/m^2) o sobrepresión (160 mbar).</p> <p>Si el accidente se produce en la carretera de Circunvalación del Port de Barcelona y el vehículo transporta un líquido muy inflamable, un líquido extremadamente inflamable o un GLP (por ejemplo: propano o butano) también cabría esperar daños sobre los equipos del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas por radiación térmica como consecuencia de un incendio de producto o del propio vehículo o de sobrepresión como consecuencia de una deflagración de una nube inflamable o BLEVE.</p>


RIESGOS EXTERNOS		PROBABILIDAD	SEVERIDAD	EVALUACIÓN DEL RIESGO	AFECTACIÓN
Riesgo químico en los ductos de materias peligrosas	 <p>Riscos Tecnològics/Risc Químic en els Conductes de Matèries Perilloses Municipis amb oleoducte Municipis amb oleoducte</p>  <p>Municipis amb gasoducte operatiu Municipis amb gasoducte operatiu</p>	MUY BAJA	BAJA	BAJO	<p>La zona de estudio tiene en la instalación de CLH Barcelona el punto de entrada/salida del oleoducto TABAGE.</p> <p>El ramal de salida del gasoducto se encuentra alejado de las instalaciones (lado Sur del Puerto), por lo que no se considera que pueda tener una afectación directa sobre las instalaciones de la zona de estudio.</p> <p>No hay ningún etilenoducto en las proximidades de la instalación.</p>

RIESGOS EXTERNOS		PROBABILIDAD	SEVERIDAD	EVALUACIÓN DEL RIESGO	AFECTACIÓN
Riesgo radiológico	 <p>Riscos Tecnològics/Risc Radiològic Municipis instal·lacions radioactives</p>	MEDIA	MEDIA	MEDIO	La instalación está ubicada en un municipio con instalaciones radioactivas (15 de categoría 3 y 48 de categoría 2), con una instalación de vigilancia radiológica (código IVR-147) y con instalaciones nucleares no generadoras de energía (Puerto de Barcelona).
Riesgo por accidente en el transporte aeronáutico	 <p>Riscos en el Transport/Risc Aeronàutic Instal·lacions aeronaútiques</p> <p> ● Aeroport ● Aeròdrom ● Heliport </p>	BAJA	BAJA	BAJO	La instalación se encuentra a 1,4 km al suroeste del helipuerto de la Autoritat Portuària de Barcelona.

RIESGOS EXTERNOS		PROBABILIDAD	SEVERIDAD	EVALUACIÓN DEL RIESGO	AFECTACIÓN
Riesgo por contaminación marina	 <p>Riscos Tecnològics/Risc Contaminació Marina</p> <p>Vulnerabilitat</p> <p>2 3 4 5</p> <p>Perill</p> <p>Molt Alt Alt Mitjà Baix</p>	ALTO	MEDIA	MEDIO	<p>Según el CAMCAT, la Instalación está en una zona donde el peligro por riesgo de contaminación marina es alto y la vulnerabilidad del medio marino está clasificada como 4.</p> <p>La instalación puede ser generadora de contaminación accidental de las aguas marinas en el muelle de atraque.</p>

RIESGOS EXTERNOS		PROBABILIDAD	SEVERIDAD	EVALUACIÓN DEL RIESGO	AFECTACIÓN
Riesgo sísmico	 <p>Intensidad sísmica</p> <ul style="list-style-type: none"> V-VI VI VI-VII VII VII-VIII VIII 	BAJA	MEDIA	BAJO	Puede sufrir un terremoto con una intensidad máxima de VII de la escala MSK según el <i>Mapa de Protecció Civil de Catalunya</i> . Municipio incluido en el Plan Sismicat.
Riesgo de nevadas	 <p> Vies prioritizadas</p>	BAJA	BAJA	BAJO	La vía N-II, próxima a la instalación, queda afectada por el NEUCAT al estar considerada como vía sobre la cual se priorizan las actuaciones de recuperación de la normalidad en caso de nevada.

RIESGOS EXTERNOS		PROBABILIDAD	SEVERIDAD	EVALUACIÓN DEL RIESGO	AFECTACIÓN
Riesgo de incendios forestales	<p>Riscos Naturals/Risc Incendis Forestals</p> <p>Perill</p> <ul style="list-style-type: none"> Molt Alt Alt Moderat Baix <p>Riscos Naturals/Risc Incendis Forestals</p> <p>Vulnerabilitat</p> <ul style="list-style-type: none"> Molt Alta Alta Miixa Moderada Baixa 	--	--	--	<p>Según el INFOCAT, la Instalación está en una zona donde el peligro por riesgo forestal es muy alto y la vulnerabilidad muy alta.</p> <p>Dado que las áreas forestales se encuentran a más de 500 m del El Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas no se considera posible la afectación por un incendio forestal, por lo que este riesgo no se evalúa.</p>

RIESGOS EXTERNOS		PROBABILIDAD	SEVERIDAD	EVALUACIÓN DEL RIESGO	AFECTACIÓN
Riesgo de inundaciones (fluviales)	 <p>Riscos Naturals/Risc Inundacions (Capes inclosos al pla INUNCAT) Zones potencialment inundables</p> <ul style="list-style-type: none"> Antiga il·lucsa Potencialment inundable marítm terrestre Potencialment inundable per curs fluvial 	MEDIA	BAJA	MEDIO	La instalación se encuentra en una zona potencialmente inundable por curso fluvial.
Riesgo de vientos	 <p>Riscos naturals/Risc vent Perillositat vent</p> <ul style="list-style-type: none"> ≤10 dies >10 dies 	BAJA	BAJA	BAJO	La zona del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas se encuentra ubicado en una zona en la que el riesgo de ráfagas de viento superiores a 20 m/s es inferior a 10 días al año

1.6.4.1 Resumen de la identificación y evaluación del riesgo externo

En la siguiente tabla se resume la identificación del riesgo externo y la evaluación de la misma, de acuerdo a la matriz especificada en la tabla 1.4.

Tabla 1.14. Evaluación del riesgo externo

RIESGO	PLANES DE AMBITO SUPERIOR	SEVERIDAD	PROBABILIDAD	RIESGO
QUÍMICO POR LA PRESENCIA DE ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES	PLASEQCAT	ALTA	MEDIA	MEDIO
TRANSPORTE DE MERCANCÍAS PELIGROSAS POR CARRETERA	TRANSCAT	BAJA	MEDIA	MEDIO
TRANSPORTE DE MERCANCÍAS POR FERROCARRIL	FERROCAT	BAJA	MEDIA	MEDIO
DUCTOS	PBEM	BAJA	MUY BAJA	BAJO
INUNDACIONES	INUNCAT	BAJA	MEDIA	MEDIO
INCENDIOS FORESTALES	INFOCAT	--	--	--
NEVADAS	NEUCAT	BAJA	BAJA	BAJO
TERREMOTOS	SISMICAT	MEDIA	BAJA	BAJO
VIENTO	VENCAT	BAJA	BAJA	BAJO
RADIOLÓGICO	RADCAT	MEDIA	MEDIA	MEDIO
CONTAMINACIÓN DE AGUAS MARINAS	CAMCAT	MEIDA	ALTO	MEDIO
AERONÁUTICO	AEROCAT	BAJA	BAJA	BAJO

1.6.5. Descripción o identificación de las condiciones de evacuación

Las características de la ubicación de la zona de repostaje del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas facilita la evacuación ya que puede considerarse espacio seguro según el RD 2267/2004 de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales, por las siguientes consideraciones:

- Permite la dispersión de los ocupantes en condiciones de seguridad.
- No existen edificios con una presencia de personal corregida mayor que 50 personas.
- Está comunicado con la red viaria, permitiendo el acceso de los efectivos de bomberos y de los medios de ayuda a los ocupantes que sean necesarios.

- Permite una amplia disipación del calor, de humos y de los gases producidos por el incendio.

La zona de repostaje del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas ubicada en el área de concesión de Terminal APMT dispone de recorridos de evacuación menores a 50 metros, que permiten acceder a los distintos puntos de reunión en caso de que se produzca la emergencia.

Los recorridos de emergencia se encuentran debidamente señalizados y permanentemente libres de obstáculos. Asimismo, todas las rutas de evacuación, así como el Punto de Reunión se encuentran señalizados de acuerdo a las especificaciones de la normativa vigente.

Por otro lado, tanto la explanada como la zona en la que se realizará el Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas cuenta con medios propios que permiten la evacuación de cualquier persona que pudiera encontrarse herida o que no pueda valerse por sí misma tanto hasta alguno de los puntos de reunión existentes como hasta alguno de los centros de asistencia próximos.

En el **Anexo III. Planos**, se incluye un plano con las Vías de evacuación donde se indican los recorridos de evacuación de la zona donde se ubican el Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas

1.6.6. Evaluación de las condiciones de confinamiento

La acción de confinamiento consiste en permanecer o acudir al interior de un edificio al objeto de obtener protección por el mismo contra una posible situación de emergencia exterior.

El personal que deberá optar por la acción de confinamiento será todo aquél que se encuentre en el interior, o en las proximidades, de un edificio que pueda, en caso extremo, verse afectado por concentraciones exteriores de gas tóxico o inflamable, o por una nube de humos tóxicos de combustión.

Dadas las características de la operativa el confinamiento se realizará como consecuencias de un accidente con sustancias químicas clasificadas como tóxicas o como consecuencia de un evento natural externo de grandes magnitudes. En todo caso el confinamiento se realizará después de haber recibido alguna notificación de algún organismo externo que indique al Jefe de Emergencia la necesidad de llevar a cabo el confinamiento.

1.6.7. Diagrama de personas por zonas

En la tabla 1.5 del presente documento, se indican la relación de personas existentes en la zona de repostaje de GNL del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas.

1.6.8. Elementos vulnerables

Se indican a continuación los elementos vulnerables ubicados dentro de un diámetro de 500 m desde la zona en la que se ubicará la prueba piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas.

Tabla 1.15. Elementos vulnerables

NÚM. DE IDENTIFICACIÓN EN EL PLANO	ELEMENTOS VULNERABLES	ACTIVIDAD	DIRECCIÓN	TELÉFONO
1	RONDA LITORAL (B-10)	Tráfico de vehículos Intensidad Media Diaria, IMD > 2.000 vehículos/día)	--	--
2	ALMACENAJES CASTILLO, S.A.	Prestación de servicios de almacén de depósito, manipulación y distribución de mercancías	Passeig Cantunis, 102-104 08038 Barcelona	93 289 64 70
3	AUTOCARES DEL NORESTE, S.A.	Transporte de viajeros por carretera	Passeig de Cantunis, 88, 08038 Barcelona	902 20 20 40
4	DAUNIS, MASÓ Y FONT, S.A.	Servicios logísticos. Transporte internacional de mercancías.	Passeig Cantunis, 102-104 08038 Barcelona	93 454 66 06 (Oficina) 93 223 17 59 (Almacén)
5	BAR LA NEVERA	Restauración	C/ Mare de Déu del Port, 2 08038 Barcelona	--
6	SUBIAS BERLINGHIERI HERMANOS, S.A.	Mármoles y granitos	C/ Mare de Déu del Port, 12 08038 Barcelona	93 223 22 69
7	FLORISTERÍA	Venta de flores	C/ Mare de Déu del Port, 12 08038 Barcelona	93 223 16 73
8	EDIFICIOS DE VIVIENDAS	Residencial	C/ Mare de Déu del Port 08038 Barcelona	---
9	Compañía Logística de Hidrocarburos CLH, S.A.	Recepción, almacenamiento y trasiego de combustibles líquidos	Passeig Can Tunis, 67, 08038 Barcelona	932 89 54 45

NÚM. DE IDENTIFICACIÓN EN EL PLANO	ELEMENTOS VULNERABLES	ACTIVIDAD	DIRECCIÓN	TELÈFONO
10	TRANSPORTES SUHEGA, S.L.	Transporte portuario	Muelle Evaristo Fernandez, s/n 2ª Planta C203 08039 Barcelona	93 223 16 16
11	DRUNPE, S.L.	Almacén Servicios logísticos	Muelle Álvarez de la Campa, s/n Puerto de Barcelona 08039 Barcelona	949 348 620

1.7.PLANOS

1.7.1.Zonas de riesgo

Se incluye en el **Anexo III. Planos.**, plano de la zona de riesgo del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas.

1.7.2.Zonas vulnerables

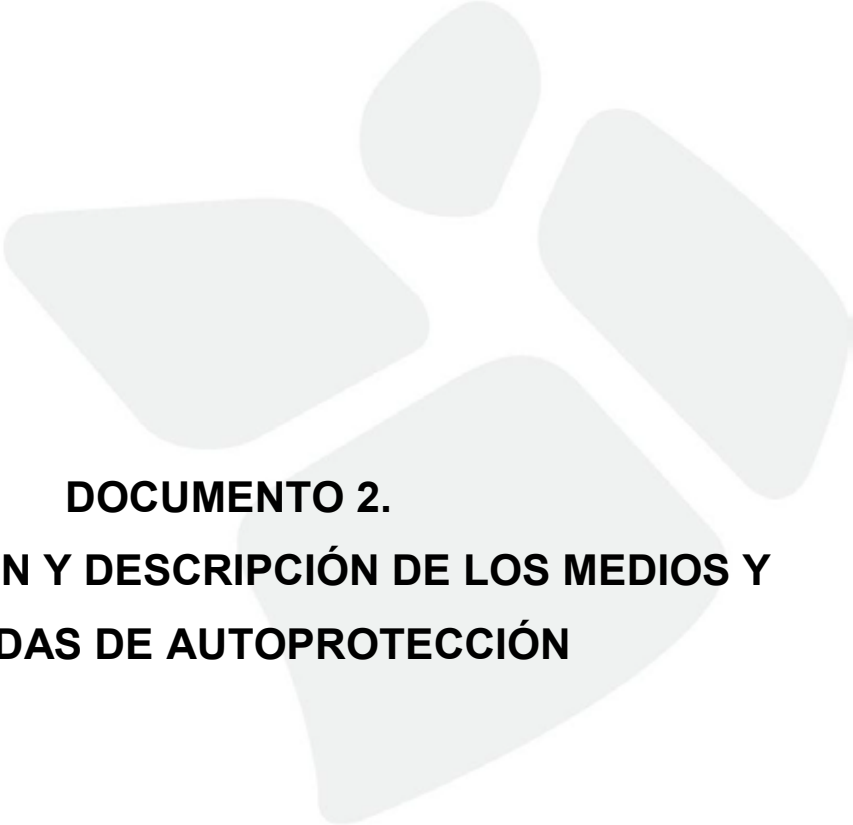
Se incluye en el **Anexo III. Planos.**, plano de elementos vulnerables en la zona de la actividad del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas

1.7.3.Planos de las instalaciones y áreas donde se realiza la actividad

Se incluye en el **Anexo III. Planos**, plano de ubicación de la prueba piloto del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas

1.7.4.Identificación del control de los suministros básicos

No aplica



DOCUMENTO 2.

IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS MEDIOS Y MEDIDAS DE AUTOPROTECCIÓN

2.1 MEDIOS MATERIALES DISPONIBLES

2.1.1. Sectorización de incendios

Según las características constructivas de la ubicación del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas, la aplicación las especificaciones del Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales² (en adelante RSCIEI), no es posible debido a las circunstancias que la caracterizan las terminales de depósitos de contenedores puesto que no es posible establecer una media de los factores necesarios para el cálculo de la carga de fuego causado a la variabilidad de circunstancias presentes.

Sin embargo según la instrucción Técnica Complementaria SP-107 sobre el “*Càlcul de la càrrega de foc en Activitats d’Emmagatzematge*”³, se indica que cuando los establecimientos destinados a almacenes de logística o tránsitos se desconozcan los productos almacenados y ,por lo tanto no se puede calcular una carga de fuego específica, como mínimo se consideran establecimientos de nivel intrínseco MEDIO.

En todo momento, la zona del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas cumple con las especificaciones del Reglamento de Seguridad Contra Incendios en Establecimientos Industriales y de la Instrucción Técnica Complementara SP-107.

2.1.2. Instalaciones de detección

2.1.2.1. Incendios

No se dispone de sistemas de detección de incendios específicos del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas debido a que la instalación está al aire libre.

Sin embargo, el taller mecánico y mantenimiento dispone de detectores de alarma de incendios, así como un pulsador de aviso, como se indica en el Plan de Emergencia de la Terminal APMT.

2.1.2.2. Monóxido de carbono

No se dispone de sistemas de detección de monóxido de carbono

² Aprobado por el Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales, publicado en el BOE núm. 303 con fecha de 17.12.2004.

2.1.2.3. Otros sistemas de detección

Se dispone de detectores de gas natural.

2.1.3. Instalaciones de extinción de incendios

La estación móvil de repostaje de GNL estará provista de 2 extintores de incendios:

- 1 Extintor adjunto a la pata de aterrizaje delantera izquierda.
- 1 Extintor adjunto al lado trasero derecho de la cisterna.

Además, se dispone de los siguientes medios técnicos de extinción, distribuidos a lo largo de la explanada de la Terminal APMT, de acuerdo a la normativa vigente aplicable:

- 22 Carros extintores móviles de 50 kg Tipo ABC ubicados en la explanada
- 1 Extintor de 6kg Tipo ABC, ubicados en cada cabina del manipulante de la Straddle Carrier
- 11 Hidrantes existentes de columna seca + 11 nuevos hidrantes ubicados en la explanada de la concesión.
- 31 Extintores de polvo ABC de entre 2kg - 6kg ubicados en las grúas
- 10 Extintores de CO₂ de entre 3,5kg – 5kg ubicados en las grúas

En el **Anexo III. Planos**, se adjuntan diferentes planos con la distribución de hidrantes existentes.

2.1.4. Instalaciones de evacuación/extracción y depuración de humos

No se disponen.

2.1.5. Equipamientos para la lucha contra siniestros

La explanada concesión de la Terminal APMT dispone de los siguientes equipos para la lucha contra la emergencia:

- Material de recogida de vertidos.
- Botiquín y material sanitario.

³ Instrucción Técnica complementaria, publicada por la Dirección general de Prevención, Extinción de Incendios y Salvamentos de la Generalitat de Catalunya.

2.1.6. Señalización de las emergencias

La zona estará señalizada con conos y durante la operativa de carga de la maquinaria habrá un vallado perimetral de seguridad.

2.1.7. Sistemas internos de aviso

Los sistemas y dispositivos para transmitir y comunicar alarmas a la zona en la que se realizará el Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas son:

- Comunicación personal, bien sea directamente (a viva voz) o llamando al teléfono del Centro de Control, Alarma y Comunicaciones (CCAC) (Ext. 550).
- Sirena electromecánica de motor trifásico, modelo 450 D, ubicada en la azotea del edificio donde se encuentra el CCAC.

2.2 MEDIOS HUMANOS DISPONIBLES

2.2.1. Clasificación y descripción de usuarios

La clasificación y descripción de los usuarios que pueden encontrarse o verse involucrados en una situación de emergencia es la siguiente:

- Personal propio, toda persona presente durante el Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas.
- Persona ajena, formado por:
 - o Trabajadores de la Terminal APMT, alude al personal que no está involucrado en la operativa del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas, pero que realiza un trabajo en las zonas adyacentes y su trabajo pueda afectar o verse afectado por los mismos riesgos que el personal de plantilla.

2.2.2. Clasificación y descripción de usuarios en relación a sus funciones en el PAU

2.2.2.1. Personal activo

Se considera personal activo a todas aquellas personas que tienen una función específica en el PAU. Es personal formado para la función a desarrollar.

En el apartado 1.5.2. Cuadros de presencia en las diferentes horas del día de personal y ocupantes se pueden observar los medios humanos disponibles en la zona donde se realiza el Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas, distribuidos por franjas horarias y día de la semana en la que tenga lugar la emergencia.

2.2.2.2. Personal pasivo

Dentro de este grupo se incluye a todo el personal en la zona donde se realiza el Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas, que en el momento de la Emergencia se encuentra en la zona y que no tenga asignadas funciones directamente relacionadas con las actuaciones frente a la Emergencia y al personal ajeno al Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas.

2.3 MEDIDAS CORRECTORAS DEL RIESGO Y DE AUTOPROTECCIÓN

Las medidas correctoras del riesgo y de autoprotección corresponden a salvaguardas tecnológicas que actuarán para:

- Prevenir fugas.
- Detectar posibles fugas lo más tempranamente posibles.
- Intervenir contra los efectos de las fugas para su minimización.

La instalación dispone de las siguientes salvaguardas:

- Comprobación visual del estado de la EM en acceso al terminal, por parte del responsable de mantenimiento.
- Comprobación del estado de la EM por el operador de la EM antes de proceder a la carga de GNL a la Straddle Carrier.
- Protocolo de repostaje el cual debe incluir una comprobación (check-list) que indique que se ha conectado la toma equipotencial.
- Presencia permanente de personal durante la operación.
- Calzos en la EM y la SC.
- Break away.
- Dry coupling.
- Limitación de velocidad de 30 KPH.
- Señalización viaria.

2.4 PLANOS

2.4.1. Sectorización

No aplica

2.4.2. Instalaciones de detección, extinción de incendios y extracción de humos

En el **Anexo III. Planos** se adjunta planos con la ubicación de los hidrantes en la Terminal APMT.

2.4.3. Señalización de emergencias y sistemas internos de aviso

No aplica

2.4.4. Vías de evacuación

En el **Anexo III. Planos** se adjuntan planos con los distintos recorridos de evacuación de la Terminal APMT y los puntos de reunión terrestres.

2.4.5. Áreas de confinamiento

No aplica



DOCUMENTO 3.

MANUAL DE ACTUACIÓN EN EMERGENCIAS

3.1 OBJETIVO Y ÁMBITO DE APLICACIÓN

El objetivo principal del Manual de Actuación es proponer una protección eficaz a todo el personal existente, contratistas, visitantes y público en general, además de proteger las instalaciones en el caso de producirse una situación de emergencia que afecte al establecimiento.

En el Manual de Actuación se define la secuencia de acciones a desarrollar para el control inicial de las emergencias que puedan producirse, respondiendo a las preguntas “¿Qué se hará?, ¿Quién lo hará?, ¿Cuándo?, ¿Cómo? y ¿Dónde se hará?”, y planificando la organización humana con los medios necesarios que la posibilite, con el fin de conseguir los siguientes objetivos:

Este PAU afecta a todas las personas presentes en la zona de realización del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas. (empleados, socios, bomberos, etc.) así como al personal ajeno al mismo cuya colaboración sea necesaria para la resolución de la emergencia.

3.2 IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE EMERGENCIAS

Las emergencias que pudieran producirse o llegar a afectar a la zona dónde se realizará el Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas se pueden clasificar en función de:

- Gravedad o nivel de la emergencia.
- Tipo de riesgo.
- Ocupación y medios humanos.

3.2.1. Clasificación de las emergencias en función de la gravedad o nivel de la emergencia

A efectos de la planificación de la emergencia por parte de la *Direcció General de Protecció Civil*, la tipología de los distintos accidentes se define, teniendo en cuenta su gravedad, del siguiente modo:

3.2.1.1. Incidente

Aquellos sucesos que, sin ser un accidente grave, produzcan efectos perceptibles en el exterior susceptibles de alarmar a la población, como por ejemplo ruidos, emisiones, pruebas de alarmas, prácticas de extinción de incendios, etc.

3.2.1.2. Accidente

Existen diferentes criterios para la clasificación de los accidentes en función de la gravedad.

Según la Directriz Básica, los accidentes se clasifican en tres categorías, según el tipo de daños que puedan generar:

- **Categoría 1**, aquellos accidentes para los que se prevea, como única consecuencia, daños materiales en el establecimiento accidentado y no se prevean daños de ningún tipo en el exterior de éste.

NOTA: El PLASEQCAT (Febrero 2020), divide los accidentes de esta categoría en dos grupos:

- Categoría 1 poco importantes: No hay movilización de los grupos de actuación. Únicamente se realizará una labor informativa con especial preocupación en informar a la población. No se producirá una movilización de los grupos de actuación. Se producirá la difusión a la población.
- Categoría 1 importantes: Comporta la activación en ALERTA del PLASEQCAT. Se puede requerir la movilización de los grupos de actuación y el aviso a las personas e instituciones ligadas al plan.

- **Categoría 2**, aquellos accidentes para los que se prevea, como consecuencias, posibles víctimas y daños materiales en el establecimiento; mientras que las repercusiones exteriores se limitan a daños leves o efectos adversos sobre el medio ambiente en áreas limitadas. Comporta la activación en EMERGENCIA del PLASEQCAT.
- **Categoría 3**, aquellos accidentes para los que se prevea, como consecuencias, posibles víctimas y daños materiales graves o alteraciones graves del medio ambiente en zonas extensas, tanto en el interior como en el exterior del establecimiento. Comporta la activación en EMERGENCIA del PLASEQCAT.

CUALQUIER EMERGENCIA SE CLASIFICARÁ EN UN NIVEL DE EMERGENCIA Y EN UNA CATEGORÍA DE ACCIDENTE.

Por otro lado, la *Instrucció* 11/2010 SIE, realiza la siguiente clasificación de los accidentes:

- **Categoría 1**, aquellos accidentes para los que la ZI no supera el límite del establecimiento.
- **Categoría 2**, aquellos accidentes para los que la ZI sobrepasa menos de 100 m el límite del establecimiento.
- **Categoría 3**, aquellos accidentes para los que la ZI sobrepasa más de 100 m el límite del establecimiento.

En la siguiente tabla se indica la categoría de los diferentes accidentes planteados en el Análisis de Riesgos del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas (TEMA, S.A. Ref: 1231/13694, Febrero 2017), en función a los criterios expuestos en la *Instrucció* 11/2010, considerando las consecuencias del accidente final de mayor alcance de cada una de las hipótesis consideradas.

Tabla 3.1. Clasificación de los accidentes estudiados en el Análisis del Riesgo (Ref. 1231/13694, Febrero 2017)

Iniciador de accidente	Áreas de planificación de emergencias	Categoría
	ZI (m)	
H.1.a. Fuga de GNL por orificio de 2,5 mm en la manguera de entrada al depósito de 225 kg de GNL de la SC.	4,5 / 5,4	1
H.1.b. Fuga de GNL por orificio de 5 mm en la manguera de entrada al depósito de 225 kg de GNL de la SC.	8,5 / 10,4	1
H.1.c. Fuga de GNL por orificio de 10 mm en la manguera de entrada al depósito de 225 kg de GNL de la SC.	16,1 / 19,5	1
H.1.d. Rotura catastrófica de la manguera de GNL (orificio de 25 mm) de entrada al depósito de 225 kg de GNL de la SC.	35,8 / 42,6	1

Iniciador de accidente	Áreas de planificación de emergencias	Categoría
	ZI (m)	
H.2.a. Fuga de GNL por orificio de 2,5 mm en la manguera de entrada al depósito de 450 kg de GNL de la SC.	4,5 / 5,5	1
H.2.b. Fuga de GNL por orificio de 5 mm en la manguera de entrada al depósito de 450 kg de GNL de la SC.	8,6 / 10,4	1
H.2.c. Fuga de GNL por orificio de 10 mm en la manguera de entrada al depósito de 450 kg de GNL de la SC.	16,1 / 19,6	1
H.2.d. Rotura catastrófica de la manguera de GNL (orificio de 25 mm) de entrada al depósito de 450 kg de GNL de la SC.	36 / 42,8	1
H.3. Rotura catastrófica de la manguera de GN (orificio de 12,5 mm) de salida del depósito de GNL de 225 kg de la SC.	8,1 / 9,8	1
H.4. Rotura catastrófica de la manguera de GN (orificio de 12,5 mm) de salida del depósito de GNL de 450 kg de la SC.	16 / 19,2	1
H.5. Rotura catastrófica del depósito de GNL de 225 kg de la SC	117,9 / 110,5	1
H.6. Rotura catastrófica del depósito de GNL de 450 kg de la SC	117,9 / 110,5	1

Los posibles tipos de emergencia en función de su gravedad, se clasifican en tres niveles, siendo sus definiciones y sucesos iniciadores los siguientes:

3.2.1.3. Conato de emergencia

Accidente que puede ser controlado y dominado de forma sencilla y rápida por el personal y medios de protección de local, dependencia o sector.

3.2.1.4. Emergencia Parcial

Accidente que para ser dominado requiere la actuación de los equipos de intervención del sector. Sus efectos se limitan al sector y no afectan a los sectores colindantes ni a terceras personas.

3.2.1.5. Emergencia General

Accidente que precisa de la actuación de todos los equipos y medios de protección del establecimiento y la ayuda de medios de socorro y salvamento exteriores. Comporta la evacuación de las personas de determinados sectores.

EL PLAN DE AUTOPROTECCIÓN SE ACTIVARÁ EN CASO DE EMERGENCIAS PARCIALES Y EMERGENCIAS GENERALES

3.2.2. Clasificación de las Emergencias en función del tipo de riesgo

Las situaciones de emergencia que puedan tener su origen o afectar a las instalaciones, se clasifican en función del tipo de riesgo en:

- Emergencias Internas:
 - Incendio o explosión
 - Fuga, vertido o escape
 - Accidentes con lesiones personales y/o enfermedad
- Emergencias externas:
 - Riesgos derivados de comportamientos antisociales (amenaza de bomba, robo, sabotaje, intrusión, etc.).
 - Riesgos naturales (inundaciones, terremotos, tormentas, ráfagas de viento, etc.)

No obstante, el PAU puede ser activado por cualquier otro accidente imprevisto que pueda significar un peligro potencial para el personal, los equipos o el medio ambiente.

En los apartados 3.4. Acciones a realizar y 3.5 Fichas de actuación del presente PAU, se detallan los procedimientos de actuación que se establecen como respuesta a las posibles situaciones de emergencia.

3.2.3. Clasificación de las emergencias en función de la ocupación y de los medios humanos

De acuerdo al horario para el Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas se pueden determinar dos situaciones bien definidas en cuanto a ocupación:

- Horario de máxima actividad, de 06:00 a 18:00h, y en donde existe una mayor probabilidad de que pueda producirse una emergencia.
- Horario de actividad reducida, el resto del tiempo, y en donde existe una menor probabilidad de que pueda producirse una emergencia.

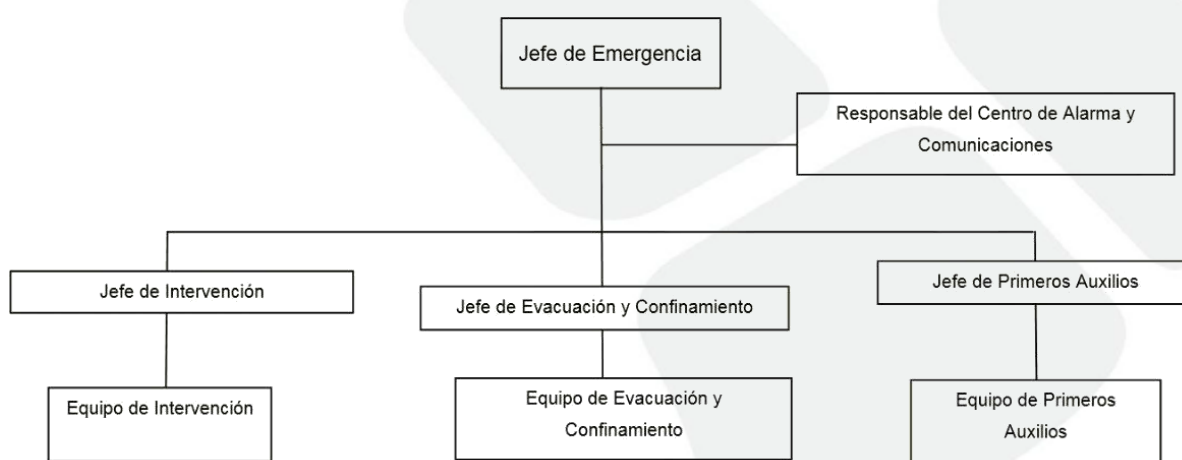
Se debe tener en cuenta que fuera del horario en el que se realiza la actividad no se precisa una estructura ante a una posible emergencia, debido a que no se dispone de equipos ni personal de operación.

3.3 EQUIPOS DE EMERGENCIA

Dadas las características operativas del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas y la dotación operativa, todo el personal presente durante la prueba piloto queda encuadrado en los grupos de actuación contra la emergencia.

El organigrama funcional de los Equipos de Emergencia para el Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas es el siguiente:

Figura 3.1. Organigrama funcional de los Equipos de Emergencia



3.3.1. Responsable del Centro de Control, Alarma y Comunicaciones

El Centro de Control, Alarma y Comunicaciones (CCAC) es el lugar donde se establece el centro de operaciones y comunicaciones durante la emergencia, y está dotado con los siguientes elementos:

- Línea fija de teléfono exterior para las comunicaciones
- Listado del personal presente en la instalación
- Plan de Autoprotección
- Lista telefónica de los principales integrantes del Plan de Autoprotección y de los servicios externos de emergencia y de los organismos oficiales (Ver **Anexo I. Directorio de Comunicaciones**)
- Fichas de datos de seguridad de los productos presentes en la zona en que se realizará el Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas.

Está situado en el Centro de Control Port de Barcelona y hasta allí se desplazará el Jefe de la Emergencia en caso que se considere necesario.

Las funciones principales del Responsable del Centro de Control, Alarma y Comunicaciones son:

- Recepción de avisos de una situación de emergencia y transmisión de información.
- Localizar al Jefe de la Emergencia.
- Realizar las comunicaciones externas que solicite el Jefe de Emergencia, como por ejemplo avisar al Jefe de Emergencia de la concesión de la Terminal APMT para la activación de su Plan de Emergencia en caso que sea necesario.

En el **Anexo I. Directorio de Comunicaciones** se indican los puestos de trabajo de las personas que asumirán las funciones durante la emergencia, así como los teléfonos para ayudas externas.

Sus responsabilidades y actuaciones a realizar se describen en el **Anexo IV. Fichas de Actuación (Ficha nº4)**

3.3.2. Jefe de la Emergencia

El Jefe de la Emergencia es la persona designada de activar el plan de emergencias, de acuerdo a lo establecido en el mismo, declarando la correspondiente situación de emergencia, notificando a las autoridades competentes, informando al personal, y adoptando las acciones inmediatas para reducir las consecuencias del accidente o suceso.

Tabla 1.16. Jefe de la Emergencia

	Persona Designada
JEFE DE LA EMERGENCIA	Titular: David Asensio Suplente: Daniel Ruiz

Funciones del Jefe de Emergencia:

❖ *En situación normal:*

- Actualización del plan de emergencias
- Mantenimiento de la relación de personal adscrito al plan. Conocer en todo momento el grado de preparación y concienciación del personal.

- Realización de cursos de formación continuada al personal de emergencias
- Detectar posibles fallos en la actuación de los equipos y propugnar nuevos métodos.
- Recoger la información proporcionada por el Jefe de Intervención sobre siniestros que hayan tenido lugar y elaborar los informes pertinentes para mejorar la situación.

❖ *En caso de emergencia:*

- Valoración inicial de la situación y activación del plan de autoprotección.
- Tomar el control y mando de la situación hasta la llegada de los equipos de protección externos.
- Ante una comunicación de emergencia deberá ponerse inmediatamente en el Centro de control de Emergencias para poder estar informado en todo momento a través del Jefe de Intervención sobre la magnitud y estado de la situación que ha generado la emergencia.
- En caso necesario, ordenar la evacuación parcial de la zona en que se realiza el Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas.
- Avisar a la persona designada de la concesión de la Terminal APMT, para que en caso que sea necesario activar el Plan de Autoprotección de la misma.
- Facilitar cuanta información necesiten los bomberos en relación con el siniestro y su evolución.
- Ceder el mando de las operaciones, en caso que sea necesario al Jefe de la Emergencia de la Terminal APMT y en caso de presencia de Ayuda Externa, ceder el mando al Jefe de Bomberos.
- Ordenar el fin de la emergencia llegado el momento o cuando así lo indique la Autoridad Competente.
- Ordenar el retorno de las personas a su puesto de trabajo para el Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas.

Sus responsabilidades y actuaciones a realizar se describen en el **Anexo IV. Fichas de Actuación (Ficha nº1)**

3.3.1. Equipo de Intervención

3.3.1.1. Jefe de Intervención

El Jefe de Intervención es el responsable de la dirección y coordinación de los equipos de intervención.

Tabla 1.17. Jefe de Intervención

JEFE DE INTERVENCIÓN	Persona Designada
	Titular: Eduard Vidal Suplente: David Asensio

Funciones del Jefe de Intervención:

❖ *En situación normal:*

- Estar localizable en todo momento.
- Tener localizables los miembros del Equipo de Intervención.
- Verificar la realización de las comprobaciones de los elementos de lucha contra incendios.
- Velar por el cumplimiento del aviso de Emergencias.
- Informar al Jefe de Emergencias de las posibles irregularidades en los equipos para la realización del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas.

❖ *En caso de emergencia:*

- Personarse inmediatamente en el lugar de la emergencia.
- Valorar la situación e informar al Centro de Control, Alarma y Comunicaciones del tipo y alcance del siniestro.
- Dirigir y coordinar la actuación del Equipo de Intervención
- Ordenar el aislamiento de la zona siniestrada evacuando al personal de la zona impidiendo el acceso a la misma.
- Mantenerse en contacto permanente con el Jefe de la Emergencia.
- Transmitir las órdenes del Jefe de Emergencias al Equipo de Intervención.
- Comprobar el desarrollo de la evacuación hasta el final

- Ponerse a disposición de los Bomberos con el Equipo de Intervención.
- Restablecida la normalidad, efectuar la revisión del lugar con los Bomberos y ordenar la reposición de los medios utilizados. Informar al Jefe de la Emergencia sobre posibles deficiencias observadas durante la actuación.

Sus responsabilidades y actuaciones a realizar se describen en el **Anexo IV. Fichas de Actuación (Ficha nº2)**

3.3.2. Miembros del Equipo de Intervención

Personal con formación y adiestramiento, medios técnicos necesarios y adoptando las medidas de autoprotección adecuadas acudirán al lugar donde se haya producido la incidencia emergencia con la finalidad de intentar su control y mitigación.

Tabla 1.18. Equipo de Intervención

	Persona Designada
EQUIPO DE INTERVENCIÓN	Técnico Auxiliar (Empresa HAM): Eduard Vidal Técnico Responsable (Empresa APMT): David Asensio

3.3.2.1. Funciones

❖ *En situación normal:*

- Conocer el plan de emergencias y consignas de actuación
- Participar de forma activa en las formaciones de prácticas de fuego y en los simulacros de emergencias.
- Colaborar en la vigilancia del cumplimiento de las medidas de prevención de incendios.
- Avisar de la existencia de anomalías en los equipos y sistemas de protección y señalización.

❖ *En caso de emergencia:*

- Recibir el aviso de incidencia
- Equiparse con los medios técnicos adecuados para el control y mitigación de la incidencia o siniestro.

- Adoptando las medidas de autoprotección adecuadas para acudir al lugar de la emergencia.
- En caso de producirse la emergencia, iniciará las medidas pertinentes a fin de tratar de mitigarla, en tanto no esté presente el Jefe de Intervención. Una vez se persone el Jefe de Intervención, le informará de las medidas emprendidas y sus resultados, poniéndose a su disposición.

Sus responsabilidades y actuaciones a realizar se describen en el **Anexo IV. Fichas de Actuación (Ficha nº3)**

3.3.3. Equipo de Evacuación y Confinamiento

3.3.3.1. Jefe de Evacuación y Confinamiento

El jefe de Evacuación y Confinamiento es la persona encargada de declarar la situación de Evacuación de la zona del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas, verificar la completa evacuación de su zona y de realizar el recuento del personal presente en el área en el punto de reunión designado.

Tabla 1.19. Jefe de Evacuación y Confinamiento

	Persona Designada
JEFE de EVACUACIÓN y CONFINAMIENTO	Titular: David Asensio Suplente: Daniel Ruiz

3.3.3.2. Miembros del Equipo de Evacuación y Confinamiento

El equipo de Evacuación y Confinamiento recae sobre el mismo Jefe de Evacuación y Confinamiento

3.3.3.3. Funciones del Equipo de Evacuación y Confinamiento

Las funciones del Equipo de Evacuación y Confinamiento

- Prepararán a las personas de la zona de la prueba piloto para una posible evacuación al escuchar el aviso de alarma.
- Realizarán la evacuación de la zona al escuchar la orden de evacuación.

- Verificarán la evacuación, asegurándose que nadie quede en la misma.
- Se seguirán las pautas de evacuación marcadas en lo referente a itinerarios.
- Realizarán el recuento en el punto de reunión indicado.
- Comunicarán rápidamente el resultado de este recuento y las posibles anomalías en cuanto a personal al Jefe de la Emergencia.

Sus responsabilidades y actuaciones a realizar se describen en el **Anexo IV. Fichas de Actuación (Ficha nº5)**

3.3.4. Equipo de Primeros Auxilios

3.3.4.1. Jefe del Equipo de Primeros Auxilios

Las funciones del Jefe del Equipo de Primeros Auxilios las realiza el personal de primeros auxilios de la Terminal APMT.

3.3.4.2. Miembros del Equipo de Primeros Auxilios

Las funciones del Equipo de Primeros Auxilios las realiza el personal el personal de primeros auxilios de la Terminal APMT.

3.3.4.3. Funciones del Equipo de Primeros Auxilios

Las funciones del Equipo de Primeros Auxilios son la de prestar los primeros auxilios a los lesionados por la emergencia, determinando la necesidad de trasladar los mismos a un centro sanitario y/o hospitalario.

3.4 ACCIONES A REALIZAR

En los apartados que siguen se indican las acciones a realizar de manera genérica por el personal que estará presente durante la prueba piloto del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas, en función de si se trata de personal activo o pasivo.

3.4.1. Detección y alerta

Cualquier persona que detecte una posible emergencia deberá avisar inmediatamente por el medio más rápido posible al Jefe de la Emergencia y éste deberá informar al Centro de Control, Alarma y Comunicaciones, especificando:

- Lugar de la emergencia
- Tipo de accidente (incendio, derrame,...) concretando el tipo de producto involucrado.
- Posible asistencia de heridos.

Figura 3.2. Actuación ante un Conato de Emergencia

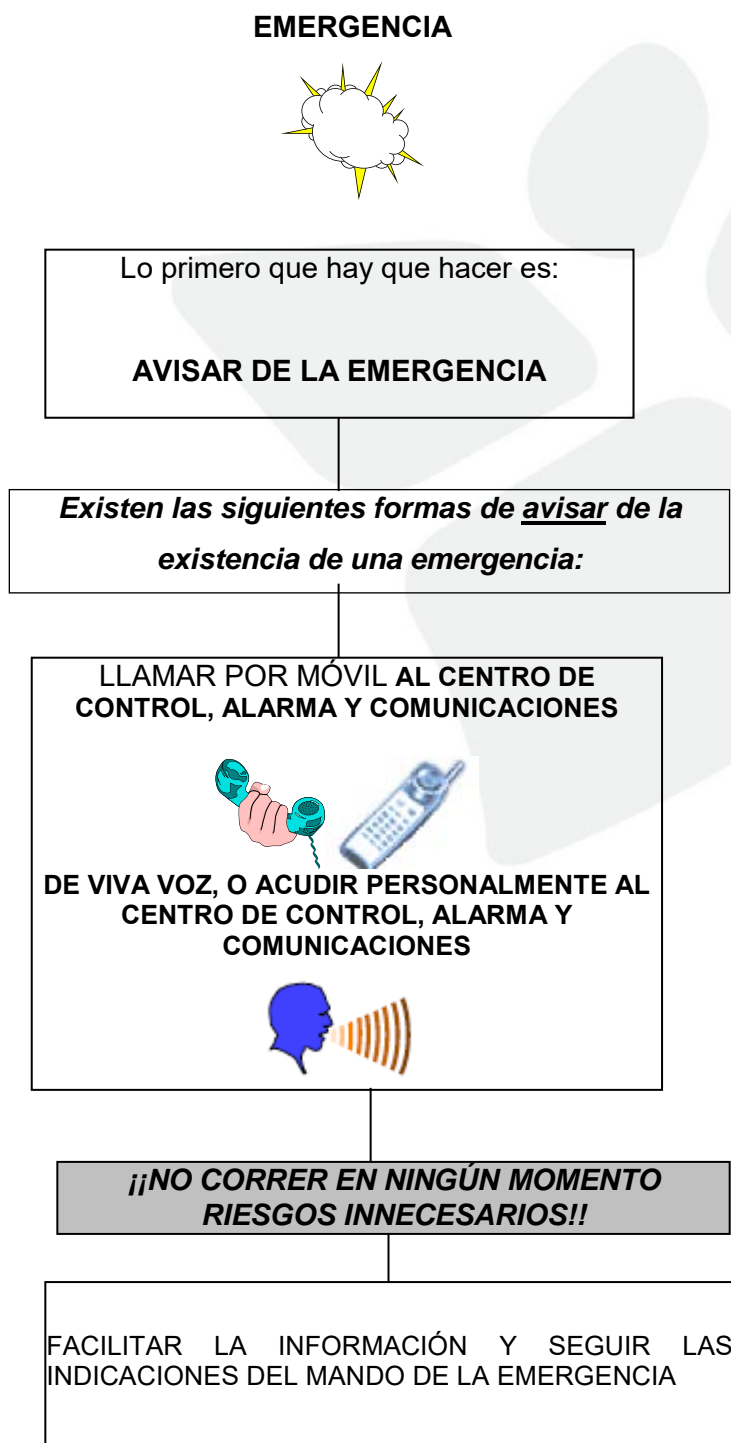
¿QUÉ HACER SI DETECTA UN CONATO DE EMERGENCIA?

CONATO DE EMERGENCIA



Figura 3.3. Actuación ante una Emergencia Parcial/General

¿QUÉ HACER SI DETECTA UNA EMERGENCIA?



A continuación se indica de forma esquemática las acciones a realizar por la persona que detecte la Emergencia Parcial y/o General:

¿QUE TIENE QUE HACER EL QUE DESCUBRA LA EMERGENCIA?

1.- AVISAR mediante alguno de los siguientes sistemas:

- Teléfono móvil.

2.- INFORMAR sobre:

- Identificación personal
- Zona o área implicada
- Clase de accidente (accidente personal, fuga, incendio, etc.).
- Sustancia implicada.
- Personas afectadas.
- Ayuda necesaria.

3.- ACTUAR con los medios disponibles.

4.- NO ARRIESGARSE INÚTILMENTE.

3.4.2. Comunicaciones y alarmas

3.4.2.1. Persona que realiza las comunicaciones

La persona encarga de notificar los avisos en caso de emergencia será el Jefe de la Emergencia, o en su caso, la persona que éste designe.

Una vez enterado de la alarma, y en función de la gravedad de la misma según la información que le facilite el Jefe de Intervención, decretará el estado de emergencia que corresponda (ALARMA PARCIAL o ALARMA GENERAL).

Los sistemas por los que realizará los avisos son los siguientes:

- Llamadas telefónicas a los números de teléfono establecidos de acuerdo al orden de comunicaciones establecidos.
- Comunicaciones vía mail de acuerdo a los protocolos de comunicación establecidos

3.4.2.2. Avisos a realizar

Las comunicaciones durante la prueba piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas se realizarán vía telefónica o a viva voz. Mientras que las comunicaciones a la Terminal APMT se realizarán por vía telefónica.

Comunicaciones a nivel interno

El Técnico responsable de la Emergencia, el técnico del equipo de intervención o el equipo de evacuación realizará el aviso al Jefe de la Emergencia. En caso que sea necesario, también se avisará al Centro de Control, Alarma y Comunicaciones.

Comunicaciones externas en caso de emergencia

El Jefe de la Emergencia es el responsable de notificar la situación de emergencia. El Responsable del centro de Control, Alarma y Comunicaciones realizará las llamadas de solicitud de Ayuda externa que le indique el Jefe de la Emergencia. De forma simultánea, el Jefe de intervención realizará las llamadas tácticas que le indique el Jefe de la Emergencia.

Desde el Centro de Control, Alarma y Comunicaciones se gestionan las emergencias y coordinan todas las acciones de notificación de alerta, activación de alarma.

Los accidentes o emergencias (categorías 2 y 3), así como aquellos incidentes que pudieran causar alarma social y/o una incidencia medioambiental, se notificarán de forma obligatoria e inmediata a las siguientes instituciones, siguiendo el orden marcado:

1. Centre d'Atenció i Gestió de Trucades d'Urgència 112 Catalunya.

El mensaje de notificación se ha de exponer de forma clara y sencilla, incluyendo la información facilitada en el modelo adjunto en el **Anexo II. Formularios para la gestión de emergencias**.

2. Centro de Coordinació Operativa del Port de Barcelona (CECOPORT)

Esta comunicación, se realizará a través del teléfono **900 100 852**.

3. Centre de Coordinació Operativa de Catalunya (CECAT)

Esta comunicación se realizará por teléfono, llamando al **93.551.72.85**

Complementariamente, y con la máxima celeridad posible, se realizará también la comunicación a través de correo electrónico **cecat@gencat.cat**.

Además de la comunicación inicial, el Jefe de la Emergencia deberá mantener un flujo de información constante con el CECAT mientras dure la emergencia.

Esta comunicación ha de contener los mismos datos que los indicados en el **Anexo II. Formularios para la gestión de emergencia**, y comprenden:

- Nombre y emplazamiento del establecimiento y los datos necesarios para su rápida localización.
- Descripción y alcance del siniestro y estimación de sus efectos, al interior y al exterior.
- Medidas adoptadas y previstas
- Medidas de apoyo al exterior solicitadas para el control del accidente y la atención a las personas afectadas.
- Información complementaria que se considere que puede facilitar el control del accidente.

Finalizada la emergencia y una vez conocidas las consecuencias y las posibles causas de la emergencia, así como una estimación de la población afectada, se realizará un informe para la valoración de lo sucedido.

En todo momento, las líneas telefónicas quedarán abiertas para priorizar las comunicaciones internas y solamente se utilizarán exteriormente para comunicaciones relacionadas con la emergencia.

En el **Anexo I. Directorio de comunicaciones** se indican los teléfonos de todos aquellos medios de ayuda externa, establecimientos vecinos y/o servicios necesarios para realizar las comunicaciones necesarias en caso de emergencia.

3.4.3. Intervención

Se entiende por intervención el conjunto de acciones que permiten establecer las medidas de autoprotección en caso de emergencias provocadas por causas internas, tales como atacar un incendio, detener una fuga, y emergencias de origen externo, como sería inundaciones y grandes tormentas en la zona, terremotos, nevadas...

Estas acciones serán realizadas por el Equipo de Intervención que actuará de acuerdo a lo establecido en la ficha de actuación según cada uno de los procedimientos indicados ante cada uno de los tipos de emergencia.

Conato de Emergencia

- El personal de la zona afectada, al descubrir la emergencia, tendrá que:
 - Para máquinas, cerrar llaves de paso de líquidos y gases y desconectar los equipos eléctricos.
- El Jefe de intervención, coordinará junto con el Jefe de la Emergencia, las acciones a realizar para hacer frente a la emergencia.
- Al restablecer la normalidad, se hará un análisis de los daños y de las causas de la emergencia, el Jefe de la Emergencia junto con el Jefe de Intervención.

Emergencia Parcial

- El personal de la zona afectada, al descubrir la emergencia, tendrá que:
 - Para máquinas, cerrar llaves de paso de líquidos y gases y desconectar los equipos eléctricos.
- El Jefe de intervención, coordinará junto con el Jefe de la Emergencia, las acciones a realizar para hacer frente a la emergencia.
- El equipo de Intervención se equipará adecuadamente, para poder atacar la emergencia y seguir las órdenes del Jefe de Intervención.
- Al restablecer la normalidad, se hará un análisis de los daños y de las causas de la emergencia, el Jefe de la Emergencia junto con el Jefe de Intervención.

- Se deberá realizar una revisión de los equipos posiblemente afectados durante la emergencia, con el objetivo de garantizar la reposición de los medios de lucha contra la emergencia, lo más rápidamente posible.

Emergencia Parcial

Todo personal sin funciones durante la emergencia, abandonarán la zona dejando todos los equipos en posición segura y se dirigirá al punto de reunión indicado por el Equipo de Evacuación y Confinamiento, acompañado en todo momento por el personal del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas.

3.4.3.1. Procedimiento de actuación ante fuego eléctrico en la EM de repostaje de GNL

El fuego eléctrico puede originarse en el cuadro de distribución general, en cualquiera de los paneles eléctricos de baja tensión o en uno de los paneles de control. La magnitud de este tipo de incendio generalmente no es muy grande, por tanto, se debe actuar rápidamente para evitar la propagación a otras zonas.

Para controlarlo se deben seguir las siguientes indicaciones:

- Declarar la condición de emergencia. Esta situación detiene inmediatamente el funcionamiento de la estación y, por tanto, el consumo de energía de la misma y pone en alerta al personal de la empresa.
- Extinción de incendios de cualquiera de los extintores portátiles disponibles. Evite el uso de agua a menos que esté seguro de haber desconectado cualquier alimentación posible de la estación.
- Fuente de alimentación APAGADO. Si no sucedió antes, apague la fuente de alimentación, preferiblemente desde el interruptor principal si es posible y dependiendo de la posición de encendido.

Una vez se ha extinguido el incendio, la estación no volverá a iniciarse has que una inspección por parte de la empresa de servicio autorizada haya dictado las causas del incidente y resuelva el problema.

3.4.3.2. Procedimiento ante un incendio de una fuente externa

En caso de originarse un incendio en la proximidad de la EM de repostaje de GNL (por ejemplo, un vehículo), deben realizarse las siguientes acciones:

- Declarar la condición de emergencia para notificar la circunstancia.
- Alejar el origen del incendio si es posible (por ejemplo, en un incendio de un vehículo)
- Extinción. Si hay fuego cerca de la estación, intenta apagar el fuego además de alejarlo. Se puede usar agua para enfriar las partes de gas más cercanas, siempre que no afecten directamente al sistema eléctrico. Desconectar previamente.
- La alimentación se apaga. Cierre el suministro eléctrico si es posible desde el interruptor principal.

Después del incidente, antes de volver a poner en servicio la instalación, debe asegurarse de que no haya sufrido ningún tipo de daño, alertando al servicio de asistencia en caso de dudas antes de volver a comenzar.

3.4.3.3. Procedimiento ante un fuego de gas en la EM de repostaje de GNL

Un incendio provocado por gas se produce en forma de llama más o menos controlada con origen de la fuga en algún lugar de la instalación. La forma más efectiva de controlar el fuego es apagar el suministro de gas hasta este punto, por lo que el fuego se extingue de inmediato. No sirve de nada intentar extinguir el fuego sin cerrar el suministro de gas. Para ello se deben realizar las siguientes indicaciones:

- Declarar la condición de emergencia activando cualquier botón de emergencia. Inmediatamente las válvulas automáticas se cerrarán. Reduciendo el fuego de forma muy probable.
- Cierre de la fuente de alimentación. Si es posible, apague la fuente de alimentación del interruptor principal.
- Extinción. Una vez se interrumpe el flujo de gas, se pueden combatir las llamas alrededor del punto de fuga. La terminación se realizará con extintores de polvo ubicados en varios puntos del sistema. El agua utilizada para extinguir un incendio causado por el gas prácticamente no tiene efecto.

La estación no estará en servicio antes de que se hayan investigado las causas del incendio y se hayan tomado las medidas adecuadas.

3.4.3.4. Procedimiento ante una acumulación de gas en la EM de repostaje de GNL

Según el diseño de la instalación, no existe la posibilidad de tal evento, ya que todos los espacios están abiertos y ampliamente ventilados.

3.4.3.5. Procedimiento ante una explosión por sobrepresión de gas en la EM de repostaje de GNL

Si la presión dentro de un recipiente o tubería supera su resistencia mecánica, podría producirse una explosión, por lo general, al abrir una grieta en el punto más débil, lo que permitirá que el gas se escape, lo que puede declarar un incendio en brevedad. En ese caso deben tenerse en cuenta las acciones indicadas en los apartados 3.4.3.2 y 3.4.3.3.

3.4.3.6. Procedimiento de actuación ante una emergencia en la EM de repostaje de GNL: Recomendaciones generales

- Mantener fresco, actuar con calma evitando riesgos innecesarios.
- Alertar a las personas que puedan verse afectadas por el riesgo.
- Presionar el botón de PARADA DE EMERGENCIA si está cerca y es accesible. Al presionar el botón de emergencia, el sistema se cerrará automáticamente las válvulas automáticas y se interrumpirá cualquier operación de carga o reabastecimiento.
- Apagar la fuente de alimentación si es posible desde el interruptor principal.
- En caso de incendio, preceder a la extinción con el equipo disponible. Usar extintores para cualquier incendio, usando agua sólo en caso de incendios externos o las necesidades de refrigeración de las instalaciones adyacentes.
- En caso de un gran incendio que no pueda extinguirse localmente, avise inmediatamente al departamento de extinción de incendios y las fuerzas de seguridad.

3.4.4. Evacuación

El objetivo prioritario del presente Plan de Autoprotección es el de salvaguardar la integridad física de las personas que trabajan durante el Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas o que pudieran estar en la zona, por lo que la evacuación del personal debe estar contemplada dentro de este Plan de Autoprotección.

A continuación, se detallan situación que podrían dar lugar a una evacuación del personal:

- **Incendios:** Incendio de gran magnitud que pueda suponer riesgo para el personal presente en la prueba piloto.
- **Derrames:** Derrames de gran magnitud que puedan suponer riesgo para el personal presente en la prueba piloto y/o para el medio ambiente.
- **Explosión:** Explosión de un equipo que pueda suponer riesgo para el personal presente en la prueba piloto.
- **Situaciones de emergencia especiales:** Situaciones de riesgo producidas por un accidente de transporte en las proximidades de la zona de la prueba piloto, por un fenómeno de bomba, derrumbamiento o por otras situaciones especiales no previstas que puedan aconsejar la evacuación.

Generalmente, las situaciones que pueden generarse para la evacuación del área del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas, serán debidas a situaciones externas originadas en la Terminal APMT. Por lo que en caso de que se precise la evacuación, se procederá a seguir el procedimiento indicado en el Manual de Autoprotección de la Terminal APMT.

3.4.1.1. Puntos de reunión

Las vías de evacuación son vías de acceso, habituales o no (escaleras y salidas de emergencia), que, en caso de emergencia, hacen posible el desplazamiento del personal presente hasta un espacio exterior seguro. Estas vías son practicables, es decir, no puede haber puertas cerradas con llave ni objetos que dificulten el camino.

Debido a que la prueba piloto está ubicada en la concesión de la Terminal APMT, se han establecido los mismos puntos de reunión que dispone la misma. A continuación, se detallan los distintos puntos de reunión presentes:

PUNTOS DE REUNIÓN	
MARÍTIMOS	TERRESTES
ME 15 – paramento Norte, junto Moll Oest 23 ^a	PR-00 Parking Edificio Oficinas Generales
	PR-01 Zona entre Edificio oficinas Generales y Triangulo
	PR-02 Zona control de contenedores
ME 16 – sección central del Moll Sud 24B	PR-03 Zona taller de Mantenimiento
	PR-04 Zonas puertas salida
	PR-05 Zona Truck Center, puertas entrada

En el **Anexo III. Planos**, se adjunta el plano con los recorridos de evacuación y de los puntos de reunión terrestres de la concesión de la Terminal APMT.

3.4.2. Confinamiento

La **acción de confinamiento** consiste en permanecer o acudir al interior de un edificio con el fin de obtener protección por el mismo contra una posible situación de emergencia exterior.

Se procederá a la acción de confinamiento en un edificio cuando lo indique el Jefe de Emergencia.

El personal que deberá optar por la acción de confinamiento será todo aquél que se encuentre en el interior, o en las proximidades, de un edificio que pueda, en caso extremo, verse afectado por concentraciones exteriores de gas tóxico o inflamable, o por una nube de humos tóxicos de combustión.

3.4.3. Prestación de las primeras ayudas

Todo el personal presente durante el Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas conoce la ubicación de los equipos sanitarios, así mismo el Equipo de Primeros Auxilios, bajo órdenes del Jefe de la Emergencia, prestará los primeros auxilios a los accidentados, así como organizará su traslado en caso de que sea necesario.

3.4.4. Recepción de las ayudas externas

La Ayuda Externa que serán recibidos por el Jefe de la Emergencia, quien les informará del sucedido. En particular, informará al Jefe de Bomberos, para que resulte eficaz y segura su intervención con los medios que aporte.

3.4.5. Fin de la emergencia

3.4.5.1. Aviso de fin de la emergencia

El Jefe de Emergencia, cuando considere que la situación está bajo control, y de acuerdo al Jefe de Intervención, si se da por finalizada la situación de emergencia, informará al personal involucrado en la misma del Fin de dicha Emergencia.

3.4.5.2. Criterios de fin de la emergencia

Cuando la situación que ha dado origen a la emergencia haya sido controlada, el Equipo de Intervención deberá informar del hecho al Jefe de Emergencia. Las condiciones que se deben dar para declarar que una situación de emergencia está bajo control son, al menos, las siguientes:

1. El Equipo de Intervención y la posible Ayuda Exterior hayan finalizado su actuación, debiendo suceder que:
 - En caso de fuga inflamable, la salida de sustancia haya cesado y la nube esté suficientemente dispersa.
 - En caso de incendio, el fuego debe estar sofocado.
 - En caso de derrame, que éste haya terminado y el producto vertido esté perfectamente confinado, ya sea con medidas de autoprotección existentes o mediante dispositivos instalados al efecto durante la emergencia.
2. Los heridos o afectados en la situación de emergencia hayan recibido asistencia médica y/o hayan sido evacuados a centros asistenciales.
3. Se haya inspeccionado la planta afectada por el Equipo de Intervención y el Jefe de la Emergencia. Éstos deberán asegurarse que la emergencia no haya dado lugar a otro suceso que pudiera ser causa de un nuevo aviso de emergencia.

El fin de la emergencia, se comunicará asegurándose previamente de que la totalidad del personal del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas, tiene conocimiento del fin de estado de alarma.

Se tendrá que comunicar del fin de la emergencia, a los organismos a los que se ha informado de la misma.

3.4.5.3. Post-emergencia

Una vez declarado el fin de la emergencia el personal del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas, podrán volver a sus puestos habituales y comenzar los trabajos de reparación, limpieza o acciones correctoras que fueran necesarios.

Tras producirse el fin de la emergencia, el Jefe de Emergencia en colaboración con el Jefe de Intervención, tiene que llevar a cabo las siguientes actuaciones:

1. Hacerse cargo de las comunicaciones con el exterior.
2. Recibir a las autoridades y personas (familiares), en los lugares que se destinen a tal efecto.
3. Realizar un control de presencia del personal.
4. Elaborar un informe que contemple los siguientes puntos:
 - a. Que ha sucedido.
 - b. Orden cronológico de los sucesos.
 - c. Posibles causas.
 - d. Daños personales.
 - e. Daños materiales.
 - f. Acciones realizadas.
 - g. Medidas correctoras aconsejables.
 - h. Críticas de las actuaciones que pudieran mejorar y/o perfeccionar el Plan de Emergencia.

Se recomienda que este informe sea firmado por el Jefe de la Emergencia y remitido, en un plazo máximo de 7 días hábiles, a la Direcció General de Protecció Civil.

Por lo que respecta a los sistemas de autoprotección se tomarán las siguientes medidas:

1. Descontaminación de los equipos empleados en el control de la emergencia.
2. Los equipos dañados en la emergencia deben ser reemplazados lo más rápidamente posible por otros en perfectas condiciones de uso, de modo que se pueda restablecer la operatividad del sistema lo antes posible.
3. Se repondrá con carácter urgente todo el material de protección y actuación ante emergencias empleado por los Equipos de Intervención.

Tras la declaración del fin de la emergencia, el Jefe de Emergencia podrá ordenar la investigación de las causas y condiciones de la misma, a fin de obtener el conocimiento necesario para la adopción de acciones preventivas y correctoras.

3.5 FICHAS DE ACTUACIÓN

Las fichas de actuación, se adjuntan en el **Anexo IV. Fichas de Actuación.**



3.6 INTEGRACIÓN EN PLANES DE ÁMBITO SUPERIOR

El PAU del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas ha de prever la integración y coordinación con otros planes de ámbito superior que se pudiesen activar de forma simultánea con el PAU.

En caso de emergencia, el presente PAU se integra en los siguientes planes de ámbito superior:

- Plan de Autoprotección de la Terminal APMT (antigua TCB)
- Plan de Autoprotección del Port de Barcelona
- *Plans Territorials* como:
 - PROCICAT, *Pla de Protecció Civil de Catalunya*.
- *Plans especials* de la Generalitat de Catalunya como:
 - PLASEQCAT, Pla d'Emergència Exterior del Sector Químic de Catalunya.
 - TRANSCAT, Pla de Protecció Civil per accidents en el transport de mercaderies perilloses per carretera i ferrocarril a Catalunya.
 - RADCAT, Pla especial per a emergències radiològiques de Catalunya.
 - AEROCAT, Pla especial per a emergències aeronàutiques de Catalunya.
 - CAMCAT, Pla especial d'emergències per contaminació accidental de las aigües marines a Catalunya.
 - INUNCAT, Pla especial d'emergències per inundacions.
 - NEUCAT, Pla especial d'emergències per nevades a Catalunya.
 - VENTCAT, Pla especial d'emergències per risc de vent a Catalunya
 - SISMICAT, Pla especial d'emergències sísmiques a Catalunya.
- Planes de Actuación Municipal de Barcelona.

3.6.1. Coordinación a nivel directivo

La activación de un plan de ámbito superior de la Generalitat de Catalunya (PROCICAT, PLASEQCAT, TRANSCAT, RADCAT, AEROCAT, CAMCAT, INUNCAT, NEUCAT, VENTCAT, SISMICAT), de un Plan de Actuación Municipal de Barcelona, del Plan de Autoprotección del Port de Barcelona o del Plan de Autoprotección de la Terminal APMT significa la puesta en

escena de una organización de apoyo a la emergencia que dará servicio tanto al Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas como al entorno de la misma (población civil, medio ambiente, accesos, etc.).

La coordinación entre la dirección del PAU y la dirección del plan de ámbito superior de la Generalitat de Catalunya como el Plan de Actuación Municipal de Barcelona que se haya podido activar se llevará a cabo mediante una llamada al CECAT a través del teléfono 93 551 72 85. Complementariamente, y con la máxima celeridad posible, se realizará también la comunicación a través de correo electrónico cecat@gencat.cat o fax (93 551 72 86).

La coordinación entre la dirección del PAU y la dirección del Plan de Autoprotección del Port de Barcelona o el Plan de Autoprotección de la Terminal APMT se llevará a cabo mediante una llamada al Centre de Coordinació Operativa del Port de Barcelona (CECOPORT) a través del teléfono 900 100 852.

En caso de solicitar ayuda a los Servicios de Ayuda Exterior, cuando éstos lleguen a la zona del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas la gestión y coordinación de la emergencia se transferirá a la dirección de la ayuda externa (Bomberos).

3.6.2. Coordinación a nivel operativo

Ante la activación de un plan de emergencia de ámbito superior de la Generalitat de Catalunya (PROCICAT, PLASEQCAT, TRANSCAT, RADCAT, AEROCAT, CAMCAT, INUNCAT, NEUCAT, VENTCAT, SISMICAT), de un Plan de Actuación Municipal de Barcelona, del Plan de Autoprotección del Port de Barcelona o del Plan de Autoprotección de la Terminal APMT, que suponga la activación del PAU del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas se mantendrá el organigrama de mando descrito en el apartado 3.3.

La coordinación a nivel operativo se gestionará mediante la notificación del accidente al 112 en caso de necesitar ayuda externa en una emergencia y de la comunicación inmediata por teléfono al CECAT llamando al 93 551 72 85 y a través de correo electrónico a cecat@gencat.cat o fax (93 551 72 86), de acuerdo al modelo indicado en el Anexo II.- Formularios para la gestión de las emergencias, y a través de la solicitud de la presencia de medios de la ayuda externa (bomberos, policía local, mossos d'esquadra, SEM, etc.). De forma simultánea, se avisará por teléfono al CECOPORT (900 100 852).

El **Jefe de la Emergencia**, es la persona **encargada de recibir e informar a los medios de ayuda externa** de la naturaleza y situación de la emergencia, así como de las actuaciones que se han llevado a cabo hasta el momento.

En general, la **coordinación operativa** se da con la **relación entre el Jefe de Intervención y el responsable de los Servicios externos (bomberos)**, quién tomará el mando de las actuaciones tan pronto se reciban los efectivos de ayuda externa **y la comunicación CAC-CCA (Centro de Mando Avanzado del plan superior que se active)**.

En caso de activarse el PLASEQCAT, y cuando sea requerido por la Dirección del mismo, por haberse producido una emergencia en la zona del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas, un representante del establecimiento, en este caso el Jefe de la Emergencia (o en su defecto, su suplente o la persona que sea designada por el mismo), se personará en la sede del CECAT para integrarse dentro del Consell Assessor del PLASEQCAT.

En todo caso, y en atención a la singularidad de los fenómenos causantes de la emergencia, el *Consell Assessor* podrá constituirse y actuar sin necesidad de reunirse físicamente en la sede del CECAT, pudiendo asesorar al Director del PLASEQCAT por los medios tecnológicos disponibles.



DOCUMENTO 4.

IMPLANTACIÓN, MANTENIMIENTO Y ACTUALIZACIÓN

4.1. RESPONSABILIDAD Y ORGANIZACIÓN

4.1.1 Responsables de la implantación.

Los socios del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas son los responsables de poner en funcionamiento el Plan de Autoprotección. La implantación de dicho Plan se realiza a partir del presente documento, donde se recoge la estructura y operatividad del Plan, motivo por el cual tiene que ser conocido por cada persona afectada por el mismo.

4.1.2. Planificación, coordinación y seguimiento de las acciones de implantación

El Director del PAU, como persona responsable de su implantación, establecerá aquellas acciones necesarias para formar a todos los trabajadores del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas y, especialmente a aquellos con funciones dentro del PAU.

Las funciones asignadas al responsable de la implantación del Plan de Autoprotección son:

- Elaborar y difundir el manual de actuación en emergencias, mediante la convocatoria de reuniones informativas a todo el personal del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas. Estas reuniones tienen por objetivo informar al personal sobre:
 - Principales tipos de riesgo existentes en la instalación.
 - Medidas básicas de autoprotección y actuación.
 - Nociones de Primeros Auxilios.
 - Estructura y operatividad del Plan (Detección y comunicación de la emergencia, Equipo de Intervención, Equipo de Evacuación y Confinamiento, Equipos de Primeros Auxilios).
- Garantizar el mantenimiento de la zona del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas.
- Garantizar el mantenimiento de la zona del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas de protección contra incendios.
- Garantizar la formación del personal adscrito al Plan de Autoprotección.
- Comprobar que se mantienen las condiciones de seguridad previstas, actualizando el plan cuando se produzcan modificaciones que lo aconsejen.

- Analizar la gestión de medios y recursos mediante los oportunos simulacros para optimizar su eficacia ante una emergencia.
- Organizar y programar la ejecución de ejercicios parciales y simulacros generales, para comprobar y mejorar el funcionamiento humano y comprobar la comprensión general del mismo, tanto del personal directamente interviniente como de resto de personas incluidas en la actividad.

4.1.2.1. Planificación, programa y plazos de acciones de formación y divulgación

El Jefe de Emergencia, como persona responsable de la implantación del Plan de Autoprotección, establece aquellas acciones necesarias para formar a todos los trabajadores del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas y, especialmente a aquellos con funciones dentro del PAU.

Se describen en este apartado las etapas previstas para la implantación y las actuaciones de formación necesarias para un correcto funcionamiento.

1. Reuniones del Jefe de Emergencia con el personal con funciones específicas en el PAU (Jefe de Intervención, Equipo de Evacuación y Confinamiento, etc.). El objetivo de estas reuniones es garantizar que dicho personal conozca sus respectivas funciones en situación de emergencia.
2. Nombramiento de las personas que integran los grupos de los equipos de Emergencia o actualización de los integrantes.
3. Distribución de las instrucciones de actuación para los miembros del Plan de Autoprotección, tanto para el personal activo como para el personal ajeno (personal de la Terminal APMT).

4.1.2.2. Planificación, programa y plazos de ejercicios y simulacros.

La implantación del Plan de Autoprotección tiene por objeto garantizar la operatividad del plan a través de acciones que se prevén convenientes para progresar en la eficacia de su aplicación.

Al efectuar su implantación se organizarán conferencias divulgativas del mismo, necesarias para que todo el personal conozca su existencia, finalidades y nociones básicas de autoprotección.

Su conocimiento, en la parte que corresponde a cada uno, es OBLIGATORIO para TODO el personal que desarrolle sus actividades en el establecimiento.

4.1.3 Planificación, programa y plazos de mantenimiento

El responsable del PAU, como máximo responsable de la seguridad de la planta, se encarga de que todos los equipos de protección e intervención disponibles en el ámbito del mismo sean verificados de acuerdo la periodicidad necesaria, con el fin de garantizar su perfecto estado en caso de emergencia.

En estas revisiones se seguirán escrupulosamente las indicaciones realizadas por los fabricantes de los equipos, así como la normativa legal aplicable.

En caso de tener lugar una emergencia, al final de la misma, se evalúa el estado de los medios no utilizados durante la emergencia, así como también, se realiza un inventario de los medios utilizados, con el fin de poderlos repostar con la mayor brevedad posible.

4.1.3.1. Mantenimiento de instalaciones y equipamientos

El adecuado mantenimiento de las instalaciones y equipos resulta imprescindible para que el presente Plan de Autoprotección mantenga su eficacia.

Los medios materiales de protección contra incendios disponibles para el Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas son sometidos a un programa mínimo de mantenimiento por parte de la empresa suministradora, de acuerdo a lo especificado en el Real Decreto 513/2017⁴ con el fin de que los medios materiales de protección contra incendios se encuentren en perfecto estado de uso.

El Director del Plan de Autoprotección, como máximo responsable de la seguridad en la misma, se encargará de que los equipos de protección e intervención sean verificados con la periodicidad necesaria, con el fin de garantizar su perfecto estado en caso de emergencia.

A continuación, en las tablas 4.1 y 4.2, se muestran los programas de mantenimiento mínimo de las instalaciones de protección contra incendios del Proyecto piloto de transformación de

⁴ Real Decreto 513/2017, de 22 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios.

una Straddle Carrier a gas de acuerdo a lo indicado en el Real Decreto 513/2017, de 22 de mayo.

Tabla 1.20. Operaciones a realizar por personal de empresa mantenedora autorizada, o bien, por personal del usuario o titular del establecimiento.

EQUIPO O SISTEMA	CADA TRES MESES	CADA SEIS MESES
Extintores de incendio.	<p>Realizar las siguientes verificaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Que los extintores están en su lugar asignado y que no presentan muestras aparentes de daños. – Que son adecuados conforme al riesgo a proteger. – Que no tienen el acceso obstruido, son visibles o están señalizados y tienen sus instrucciones de manejo en la parte delantera. – Que las instrucciones de manejo son legibles. – Que el indicador de presión se encuentra en la zona de operación. – Que las partes metálicas (boquillas, válvula, manguera...) están en buen estado. – Que no faltan ni están rotos los precintos o los tapones indicadores de uso. – Que no han sido descargados total o parcialmente. <p>También se entenderá cumplido este requisito si se realizan las operaciones que se indican en el «Programa de Mantenimiento Trimestral» de la norma UNE 23120.</p> <p>Comprobación de la señalización de los extintores.</p>	
Bocas de incendio equipadas (BIE).	Comprobación de la señalización de las BIEs.	
Columnas secas.		<p>Comprobación de la accesibilidad de la entrada de la calle y tomas de piso.</p> <p>Comprobación de la señalización.</p> <p>Comprobación de las tapas y correcto funcionamiento de sus cierres (engrase si es necesario).</p> <p>Maniobrar todas las llaves de la instalación, verificando el funcionamiento correcto de las mismas.</p> <p>Comprobar que las llaves de las conexiones siamesas están cerradas.</p> <p>Comprobar que las válvulas de seccionamiento están abiertas.</p> <p>Comprobar que todas las tapas de racores están bien colocadas y ajustadas.</p>

Tabla 1.21. Operaciones a realizar por el personal especializado del fabricante o instalador del equipo o sistema o por el personal de la empresa mantenedora autorizada.

EQUIPO O SISTEMA	CADA AÑO	CADA CINCO AÑOS
Extintores de incendio.	<p>Realizar las operaciones de mantenimiento según lo establecido en el «Programa de Mantenimiento Anual» de la norma UNE 23120.</p> <p>En extintores móviles, se comprobará, adicionalmente, el buen estado del sistema de traslado.</p>	<p>Realizar una prueba de nivel C (timbrado), de acuerdo a lo establecido en el anexo III, del Reglamento de Equipos a Presión, aprobado por Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre,</p> <p>A partir de la fecha de timbrado del extintor (y por tres veces) se procederá al retimbrado del mismo de acuerdo a lo establecido en el anexo III del Reglamento de Equipos a Presión.</p>

EQUIPO O SISTEMA	CADA AÑO	CADA CINCO AÑOS
Bocas de incendios equipadas (BIE).	Realizar las operaciones de inspección y mantenimiento anuales según lo establecido la UNE-EN 671-3. La vida útil de las mangueras contra incendios será la que establezca el fabricante de las mismas, transcurrida la cual se procederá a su sustitución. En el caso de que el fabricante no establezca una vida útil, esta se considerará de 20 años.	Realizar las operaciones de inspección y mantenimiento quinquenales sobre la manguera según lo establecido la UNE-EN 671-3.
Hidrantes.	Verificar la estanquidad de los tapones.	Cambio de las juntas de los racores.
Sistemas de columna seca.		Prueba de la instalación en las condiciones de su recepción.

Se efectuarán las inspecciones de seguridad de forma periódica que incluyan la detección de posibles causas de incendios, existentes y/o potenciales, derivados de las instalaciones, locales, puestos de trabajo y tareas, al objeto de establecer las medidas necesarias para prevenirlos.

4.1.3.2. Estudio y evaluación de los accidentes e incidentes

Los eventuales incidentes o accidentes deberán ser estudiados y analizados para, entre otras exigencias, detectar eventuales fallos en la implantación, organización o redacción del presente Plan de Autoprotección.

Para ello se deberá constituir un grupo de trabajo formado por el personal que haya participado en la resolución de la emergencia, juntamente con los responsables del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas para analizar las causas, valorar los daños y proponer un plan de medidas correctoras.

4.2. ACTUALIZACIÓN Y REVISIÓN DEL PLAN

El Plan de Autoprotección debe mantenerse en todo momento vigente y acorde con la situación de la instalación. Para ello, existen dos formas de actuación:

- Actualización.
- Revisión.

4.2.1. Actualización del Plan de Autoprotección

Consiste en la modificación sistemática de los datos introducidos en el Plan de Autoprotección que hayan podido sufrir cambios y que permiten la vigencia total del Plan de Autoprotección en todo momento (números de teléfono, nombres de personas, etc.).

En base a ello, de forma periódica se verifica que los datos principales introducidos en el PAU se encuentran vigentes con la situación de la actividad del Proyecto piloto de transformación de una Straddle Carrier a gas.

4.2.2. Revisión del Plan de Autoprotección

Consiste en examinar de forma detallada el Plan de Autoprotección realizando aquellas modificaciones necesarias con el fin de adecuar el documento a nuevas situaciones de riesgo, cambios estructurales y/o operativos o mejoras que se hayan detectados a raíz de la puesta en marcha de ejercicios y simulacros.

Así, el Plan de Autoprotección deberá someterse a revisión como mínimo, en los siguientes casos:

- Ampliación o modificación de las instalaciones o de las actividades que se desarrollan.
- Incorporación de nuevos riesgos derivados de la manipulación, almacenamiento o trasiego de otras mercancías peligrosas a las inicialmente consideradas por el Plan de Autoprotección.
- Cuando sean necesarias modificaciones en este Plan de Autoprotección para su correcta integración en Planes de ámbito Superior (Plan de Autoprotección de la Terminal APMT, Plan de Autoprotección del Port de Barcelona, Planes de Emergencia de la Generalitat de Catalunya, Planes de Actuación Municipal, etc).
- Cambios legislativos en materia de planificación de la emergencia y seguridad industrial.



ANEXO I

DIRECTORIO DE COMUNICACIONES



TELÉFONOS DE EMERGENCIA DE AYUDA EXTERNA

TELÉFONOS DE EMERGENCIA DE AYUDA EXTERNA	
CENTRE D'ATENCIÓ I GESTIÓ DE TRUCADES D'URGÈNCIA: Bomberos, Sistema d'Emergències Mèdiques (SEM), Mossos d'Esquadra	112
CENTRE DE COORDINACIÓ OPERATIVA DEL PORT DE BARCELONA (CECOPORT)	900 100 852 Mail: centre.control@portdebarcelona.cat
CENTRE DE COORDINACIÓ OPERATIVA DE CATALUNYA (CECAT)	93 551 72 85 Fax: 93 551 72 86 Mail: cecat@gencat.cat
OTROS TELÉFONOS DE INTERÉS	
AUTORIDAD PORTUARIA	93 306 88 00
CAPITANÍA MARÍTIMA	93 223 53 94
SALVAMENTO MARÍTIMO	93 223 47 33
GUARDIA CIVIL PORTUARIA	93 223 50 40
SEGURIDAD INDUSTRIAL GENERALITAT	93 484 93 00
AYUNTAMIENTO DE BARCELONA	93 402 70 00
AMBULANCIAS PUERTO-ESTIBA	93 223 20 20
CLÍNICA QUIRÓN	93 285 00 00
CLÍNICA CORACHÁN	93 254 58 00
H. CRUZ ROJA	93 507 27 00
VALL DE HEBRÓN. TRAUMATOLOGÍA Y QUEMADOS	93 489 30 00
HOSPITAL DE BELLVITGE	93 260 75 75
HOSPITAL CLÍNIC	93 227 54 00



TELÉFONOS DEL PERSONAL DE EMERGENCIAS DE LA ACTIVIDAD

TELÉFONOS DEL PERSONAL DE EMERGENCIAS DE LA ACTIVIDAD		
DIRECTOR DEL PLAN DE AUTOPROTECCIÓN	Titular: Jordi Vila	627 47 14 27
	Suplente: Daniel Ruiz	608 74 09 82
JEFE DE EMERGENCIA	Titular: David Asensio	630 026 972
	Suplente: Daniel Ruiz	608 74 09 82
JEFE DE INTERVENCIÓN	Titular: Eduard Vidal	652 84 17 75
	Suplente: David Asensio	630 026 972
EQUIPOS DE PRIMERA INTERVENCIÓN (EPI)	Titular: Técnico Auxiliar (Empresa HAM)	
	Suplente: Técnico Responsable (Empresa APMT)	
EQUIPO DE EVACUACIÓN Y CONFINAMIENTO	Titular: David Asensio	630 026 972
	Suplente: Daniel Ruiz	608 74 09 82
RESPONSABLE DEL CENTRO DE CONTROL, ALARMA Y COMUNICACIONES	Policía Portuaria	900 10 08 52 Centre.control@portdebarcelona.cat



ANEXO II

FORMULARIOS PARA LA GESTIÓN DE EMERGENCIAS

**MODELO DE LLAMADA AL 112, CECAT 93 551 72 85 Y
CECOPORT 900 100 852
CASOS DE EMERGENCIA PARCIAL SIN NECESIDAD DE
AYUDA EXTERNA**

1. Aquí el Proyecto piloto de transformación de una straddle carrier a gas en la terminal APMT situado en Muelle Sur del Port de Barcelona.

2. Les llama:

- *Jefe de Medio Ambiente*
-

Les llamamos para informarles que hace unos momentos hemos tenido:

- *Un fuego*
- *Una fuga de producto*
- *Una explosión*
-

3. La situación está controlada y NO se necesita ayuda ni alertar a nadie.

Este aviso sólo se realiza para que puedan tranquilizar a cualquier comunicante.

4. ¿Ha entendido el mensaje?

Muchas gracias.

**MODELO DE LLAMADA AL 112, CECAT 93 551 72 85 Y
CECOPORT 900 100 852**

EMERGENCIAS CON NECESIDAD DE AYUDA EXTERNA

1. **Aquí la Proyecto piloto de transformación de una straddle carrier a gas en la terminal APMT situado en Muelle Sur del Port de Barcelona**

2. **Les llama**

- *Jefe de Medio Ambiente*

-

Les llamamos porque tenemos una emergencia consistente en

3. **La situación NO puede ser controlada per los medios propios de APMT.**

4. Es necesaria la presencia de medios de Ayuda Externa. Las 2 posibles puertas de acceso son las siguientes.

Punto 1:Control Entrada (UTM31N, X:429.936 m, Y:4.578.077 m)

Punto 2: Control Salida (UTM31N, X:430.473 m, Y:4.578.815 m)

5. **Las medidas que se han llevado a cabo hasta el momento han sido.....**

6. **¿Ha comprendido el mensaje?**

Muchas gracias

MODELO DE NOTIFICACIÓN DEL INCIDENTE O ACCIDENTE AL CECAT

(enviarlo al **CECAT** por correo electrónico a cecat@gencat.cat o por **FAX** al 93 551 72 86)

FULL NOTIFICACIÓ D'INCIDENT O ACCIDENT:

EMPRESA: Proyecto piloto de transformación de una straddle carrier a gas

POBLACIÓ: BARCELONA

ESCENARI:

☐ Fuita ☐ Incendi ☐ Explosió ☐ Altra _____

PRODUCTE: _____ NÚMERO ONU: _____ ESTAT: Gas Líquid

NÚMERO D'AFECTATS: Morts: _____ Ferits greus: _____ Ferits lleus: _____

SITUACIÓ ACTUAL:

DIRECCIÓ DEL VENT:

MESURES D'EMERGÈNCIA ADOPTADES (Interior i exterior):

EVOLUCIÓ I EFECTES ESPERATS:

POSSIBLE AFECTACIÓ INTERIOR? ☐ SI ☐ NO

POSSIBLE AFECTACIÓ EXTERIOR? ☐ SI ☐ NO

CATEGORÍA: _____

TIPUS: _____

RECOLZAMENT EXTERIOR NECESSARI:

CAL ACTIVAR LES SIRENES D'AVIS A LA POBLACIÓ? ☐ SI ☐ NO

SON NECESSARIS: ☐ BOMBERS ☐ SANITARIS ☐ ALTRES: _____

INTERLOCUTOR EMPRESA:

NOM: _____

CÀRREC: _____

TELÈFON DE CONTACTE: _____

OBSERVACIONS:

1. Assegureu-vos, en la trucada telefònica, que l'interlocutor ha rebut correctament totes les dades.
2. La direcció del vent cal indicar-la amb referències geogràfiques clares (Exemple: cap un poble determinat, un barri, etc.)



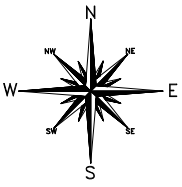
ANEXO III

PLANOS

Se adjuntan a continuación los planos mencionados en los diferentes documentos del Plan de Autoprotección del Proyecto piloto de transformación de una straddle carrier a gas:

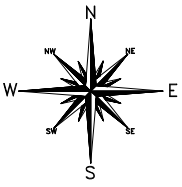
Nº DE PLANO	TITULO	DESCRIPCIÓN	ESCALA
1	Situación geográfica	Situación de la actividad en el Puerto de Barcelona	1 / 20.000
2	Entorno	Entorno y vías de acceso a la instalación	1 / 20.000
3	Implantación General	Instalaciones y áreas del Proyecto piloto de transformación de una straddle carrier a gas	1 / 10.000
		Esquema de la estación móvil de carga de la Straddle Carrier	--
4	Zonas de riesgo	Zonas de riesgo	1 / 5.000
5	Elementos vulnerables	Elementos vulnerables del entorno	1 / 5.000
6	Sistema de protección contra incendios	Ubicación de los hidrantes	1 / 100
7	Vías de evacuación y puntos de reunión	Identificación de los puntos de reunión y las zonas de confinamiento	1 / 5.000
8	EPM3: BARCELONA: STRADDLE CARRIER PROPULSADA POR MOTOR DE GAS (LLAMARADA)	Identificación de las distancias de alcance del LEL de la Hipótesis.2.d para estabilidad D y F (Ref. 1231/13694)	1 / 5.000
9	EPM3: BARCELONA: STRADDLE CARRIER PROPULSADA POR MOTOR DE GAS (LLAMARADA)	Identificación de las distancias de alcance del LEL de la Hipótesis.5 para estabilidad D y F (Ref. 1231/13694)	1 / 5.000
10	EPM3: BARCELONA: STRADDLE CARRIER PROPULSADA POR MOTOR DE GAS (LLAMARADA)	Identificación de las distancias de alcance del LEL de la Hipótesis.6 para estabilidad D y F (Ref. 1231/13694)	1 / 5.000
11	EPM3: BARCELONA: STRADDLE CARRIER PROPULSADA POR MOTOR DE GAS (DARDO DE FUEGO)	Identificación de las distancias de alcance de la radiación térmica de la Hipótesis.2.d para estabilidad D y F (Ref. 1231/13694)	1 / 5.000
12	EPM3: BARCELONA: STRADDLE CARRIER PROPULSADA POR MOTOR DE GAS (INCENDIO DE CHARCO)	Identificación de las distancias de alcance de la radiación térmica de la Hipótesis.5 para estabilidad D y F (Ref. 1231/13694)	1 / 5.000
13	PUNTO DE SUMINISTRO PARA LAS PRUEBAS	EMP3-LNG STRADDLE CARRIERS ANÁLISIS DE RIESGO	S/N

Nº DE PLANO	TITULO	DESCRIPCIÓN	ESCALA
14	EMPLAZAMIENTO CARGA GNL-ZONA TCB	PROYECTO: EMP3-LNG STRADDLE CARRIERS ANÁLISIS DE RIESGO	1/500
15	DETALLE CARGA GNL-ZONA TCB DISTANCIAS SEGURIDAD Y SEÑALIZACIÓN	PROYECTO: EMP3-LNG STRADDLE CARRIERS ANÁLISIS DE RIESGO	1/250
16	ÁREAS PELIGROSAS – ZONA TCB	PROYECTO: EMP3-LNG STRADDLE CARRIERS ANÁLISIS DE RIESGO	1/250



Proyecto piloto de transformación de una straddle carrier a gas
X: 430.016 m
Y: 4.578.292 m
REF.: HUSO 31T (ETRS89)

		PROYECTO PILOTO DE TRANSFORMACIÓN DE UNA STRADDLE CARRIER A GAS PLAN DE AUTOPROTECCIÓN (PAU)	
REF.:	0734/14893	SITUACIÓN GEOGRÁFICA	
PLANO Nº:	01		
FECHA:	SEPT. 2020		REALIZADO: A. BROGGI
ESCALA:	1/20.000 en A3		REVISIÓN: 0



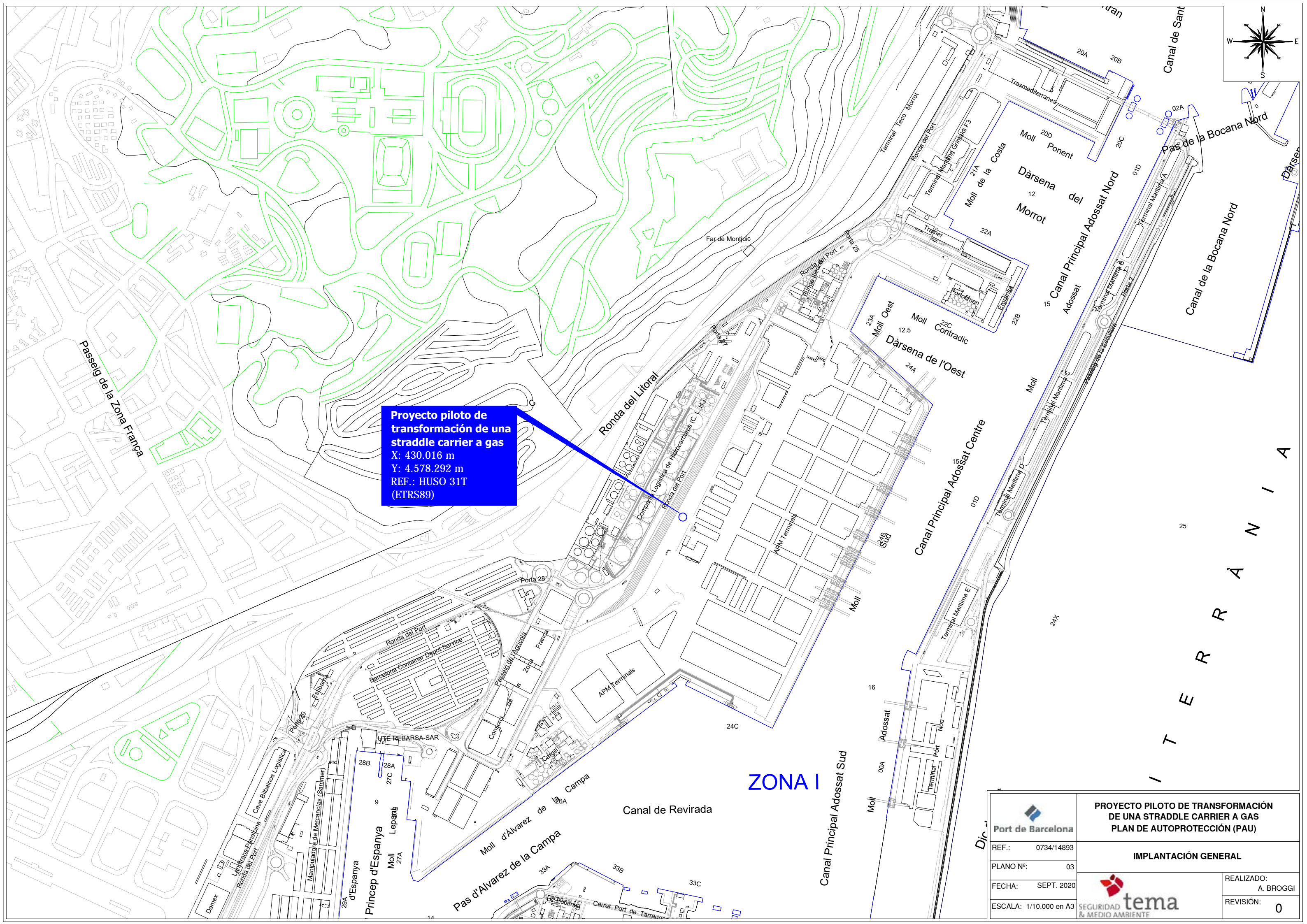
Proyecto piloto de transformación de una straddle carrier a gas
X: 430.016 m
Y: 4.578.292 m
REF.: HUSO 31T
(ETRS89)

CONTROL SALIDA

CONTROL ENTRADA

ZONA I

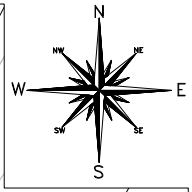
		PROYECTO PILOTO DE TRANSFORMACIÓN DE UNA STRADDLE CARRIER A GAS PLAN DE AUTOPROTECCIÓN (PAU)	
REF.:	0734/14893	ENTORNO	
PLANO Nº:	02		
FECHA:	SEPT. 2020		REALIZADO: A. BROGGI
ESCALA:	1/20.000 en A3		REVISIÓN: 0



Proyecto piloto de transformación de una straddle carrier a gas
X: 430.016 m
Y: 4.578.292 m
REF.: HUSO 31T (ETRS89)

ZONA I

	PROYECTO PILOTO DE TRANSFORMACIÓN DE UNA STRADDLE CARRIER A GAS PLAN DE AUTOPROTECCIÓN (PAU)	
REF.: 0734/14893	IMPLANTACIÓN GENERAL	
PLANO Nº: 03	 SEGURIDAD & MEDIO AMBIENTE	REALIZADO: A. BROGGI
FECHA: SEPT. 2020		REVISIÓN: 0
ESCALA: 1/10.000 en A3		



Proyecto piloto de transformación de una straddle carrier a gas
X: 430.016 m
Y: 4.578.292 m
REF.: HUSO 31T
(ETRS89)

 **ZONA DE RIESGO**



REF.: 0734/14893
PLANO Nº: 04
FECHA: SEPT. 2020
ESCALA: 1/5,000 en A3

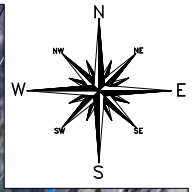
PROYECTO PILOTO DE TRANSFORMACIÓN DE UNA STRADDLE CARRIER A GAS
PLAN DE AUTOPROTECCIÓN (PAU)

ZONAS DE RIESGO



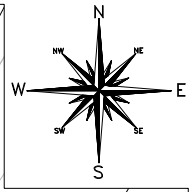
SEGURIDAD & MEDIO AMBIENTE

REALIZADO: A. BROGGI
REVISIÓN: 0

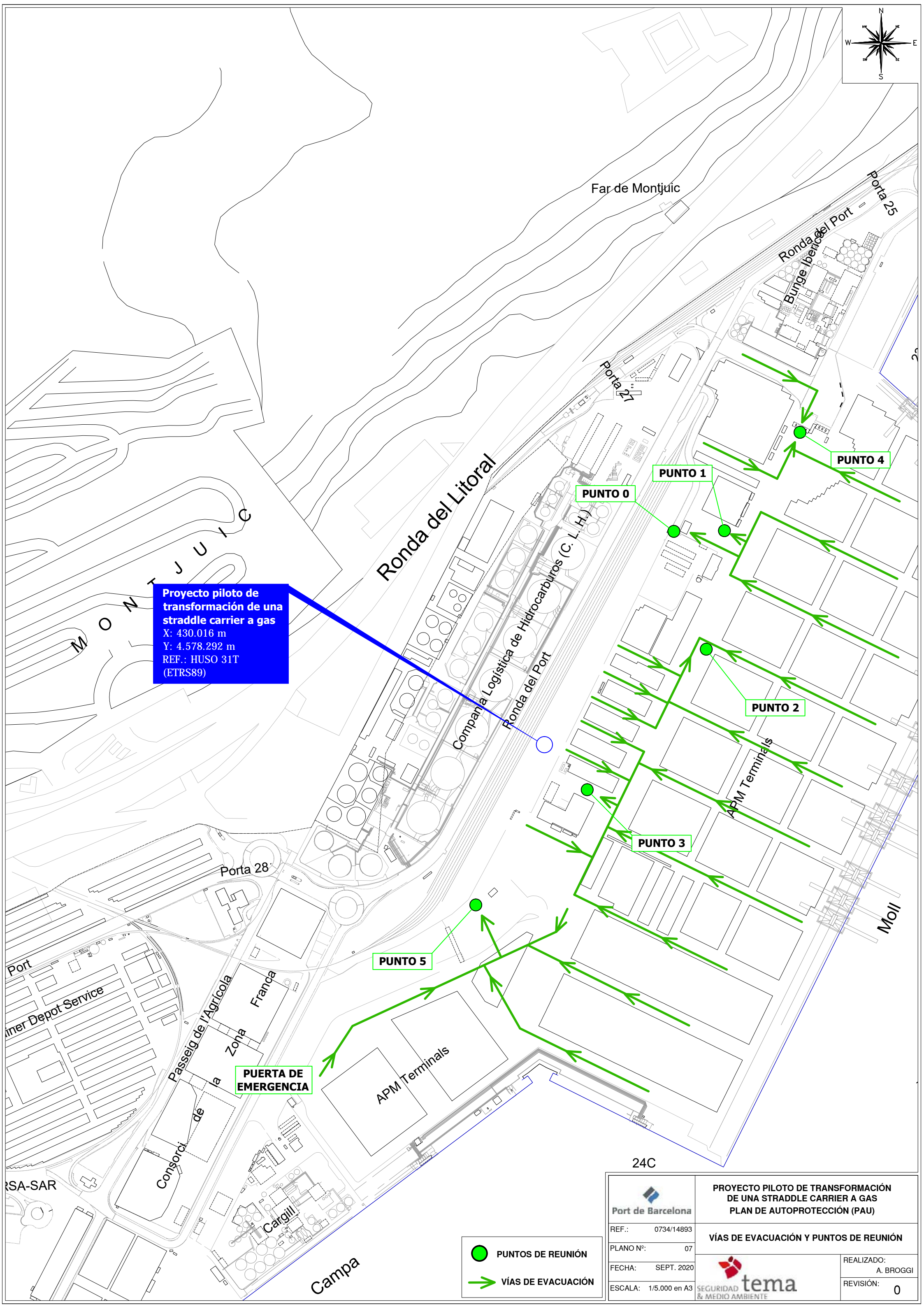



Proyecto piloto de transformación de una straddle carrier a gas
X: 430.016 m
Y: 4.578.292 m
REF.: HUSO 31T (ETRS89)


 Port de Barcelona		PROYECTO PILOTO DE TRANSFORMACIÓN DE UNA STRADDLE CARRIER A GAS PLAN DE AUTOPROTECCIÓN (PAU)	
REF.:	0734/14893	ELEMENTOS VULNERABLES	
PLANO Nº:	05	 tema SEGURIDAD & MEDIO AMBIENTE	REALIZADO: A. BROGGI
FECHA:	SEPT. 2020		REVISIÓN:
ESCALA:	1/5.000 en A3		0



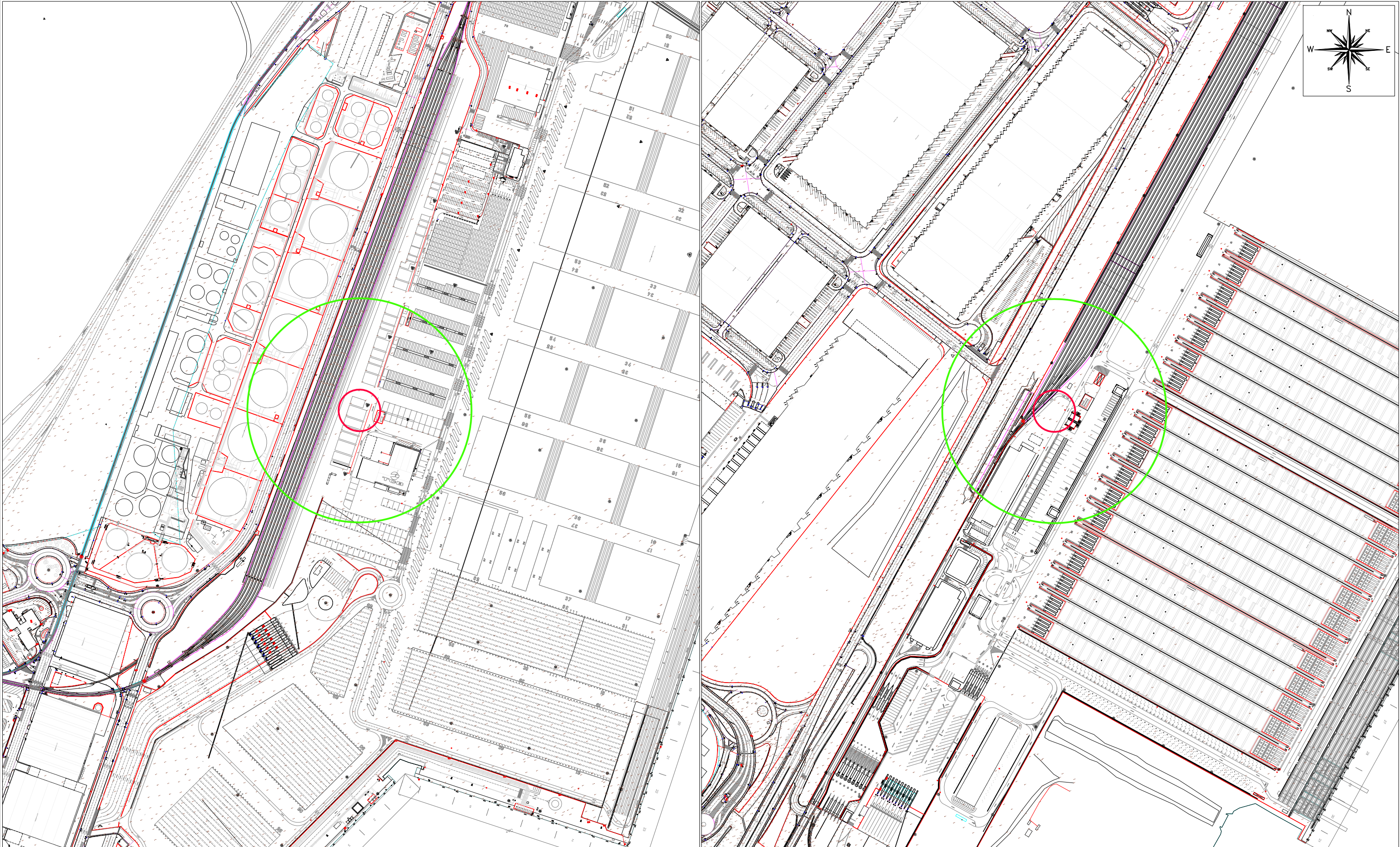
Proyecto piloto de transformación de una straddle carrier a gas
X: 430.016 m
Y: 4.578.292 m
REF.: HUSO 31T
(ETRS89)



 **PUNTOS DE REUNIÓN**

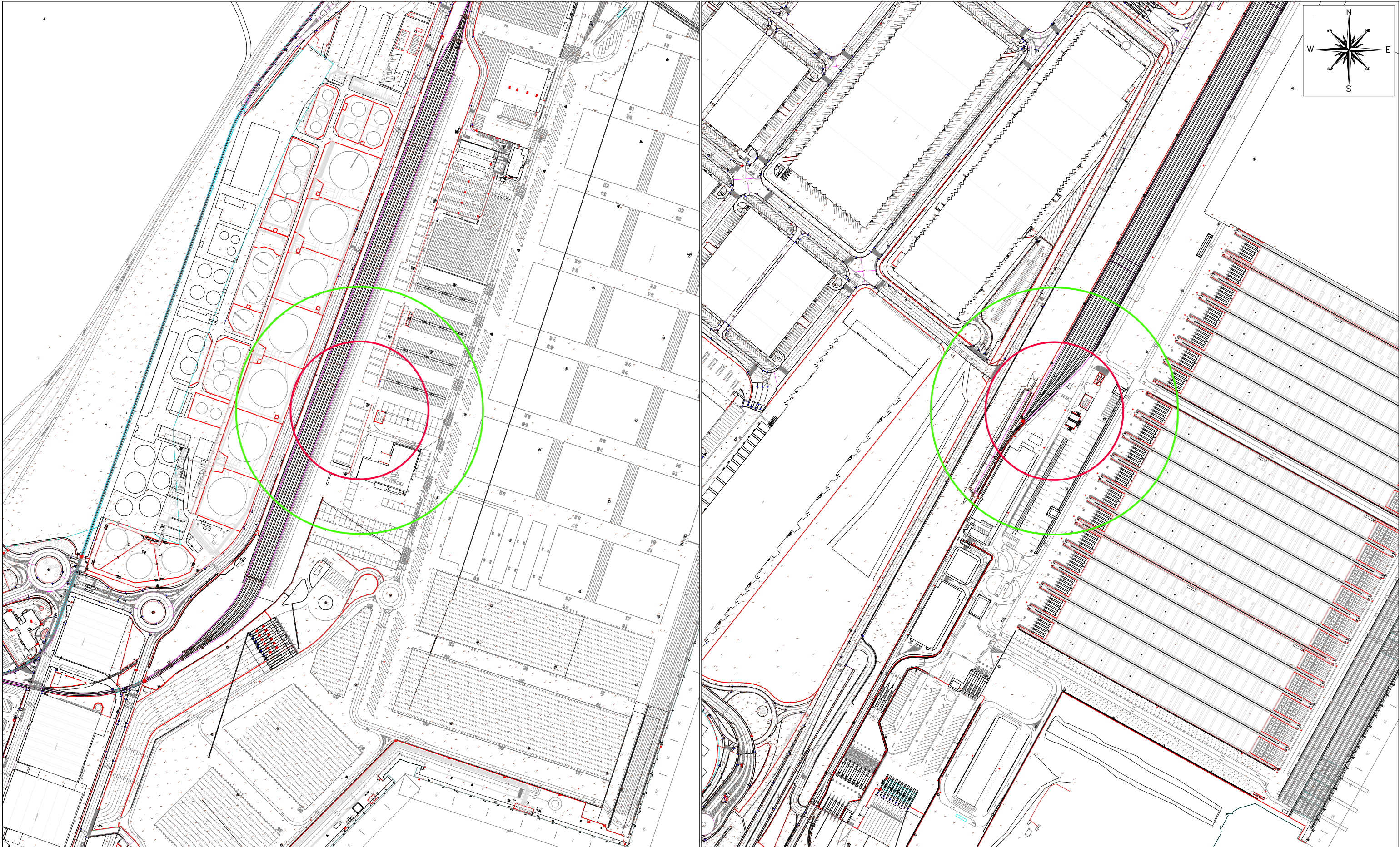
 **VÍAS DE EVACUACIÓN**

 REF.: 0734/14893 PLANO Nº: 07 FECHA: SEPT. 2020 ESCALA: 1/5,000 en A3	PROYECTO PILOTO DE TRANSFORMACIÓN DE UNA STRADDLE CARRIER A GAS PLAN DE AUTOPROTECCIÓN (PAU)	
	VÍAS DE EVACUACIÓN Y PUNTOS DE REUNIÓN	
	 SEGURIDAD & MEDIO AMBIENTE	REALIZADO: A. BROGGI
		REVISIÓN: 0



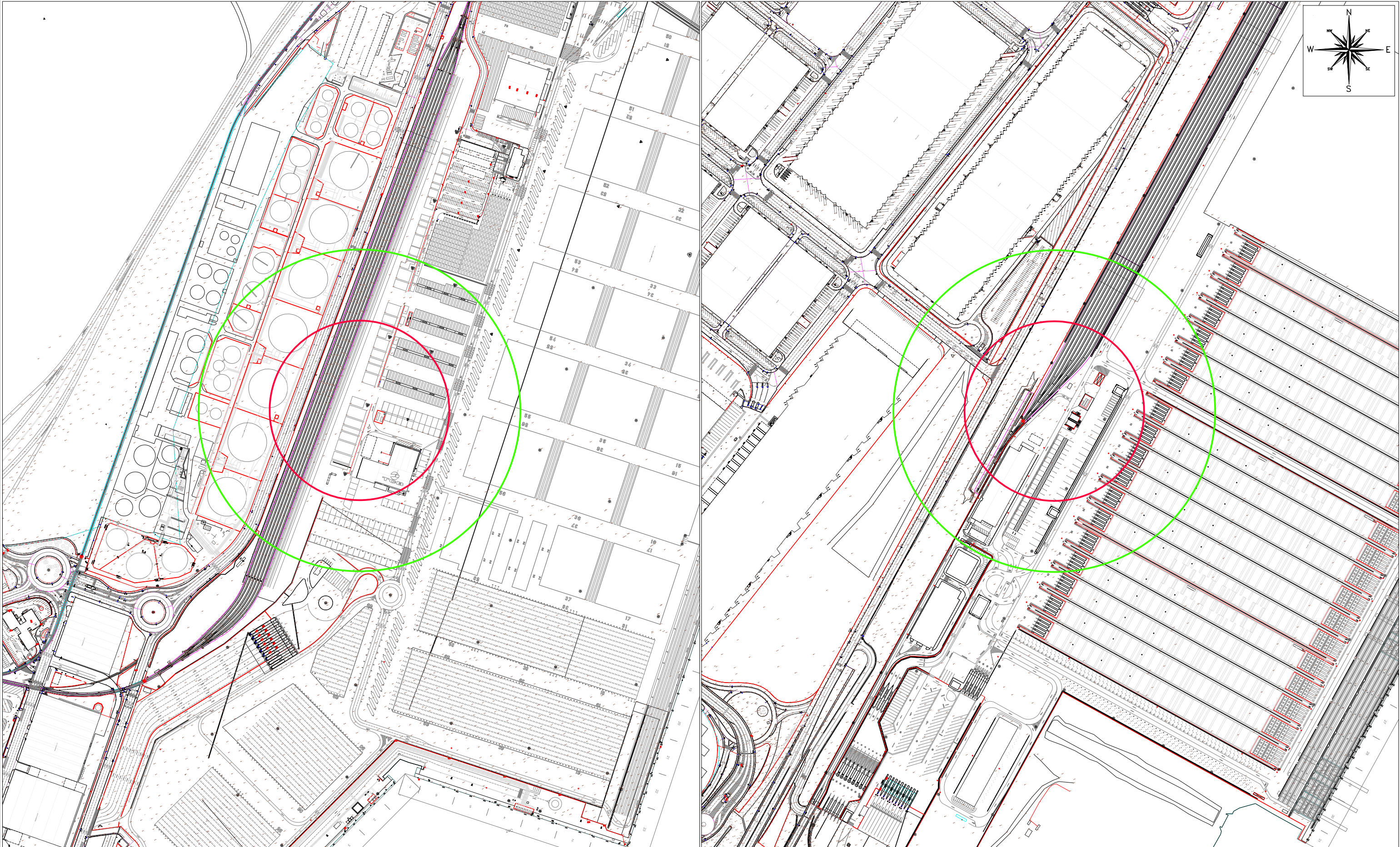
APM TERMINALES (TCB) BEST

LEYENDA Estabilidad: D / F LEL: 29 m 157 m	 	ANÁLISIS DEL RIESGO (AR) EPM3: BARCELONA: STRADDLE CARRIER PROPULSADA POR MOTOR DE GAS	
	REF.: 1231/13694	LLAMARADA	
	PLANO Nº: H2d-NI	H.2.d: Rotura catastrófica de la manguera de GNL (orificio de 25mm) de entrada al depósito de 450 Kg. de GNL de la SC.	
	FECHA: Enero 2017	REALIZADO: D. Matas	
ESCALA: 1/5.000 en A3	 SEGURIDAD & MEDIO AMBIENTE	REVISIÓN: 0	



APM TERMINALES (TCB) BEST

LEYENDA Estabilidad: D / F LEL: 96 m 172 m	 	ANÁLISIS DEL RIESGO (AR) EPM3: BARCELONA: STRADDLE CARRIER PROPULSADA POR MOTOR DE GAS	
	REF.: 1231/13694	LLAMARADA	
	PLANO N°: H5-NI	H.5: Rotura catastrófica del depósito de GNL de 225Kg. de la SC.	
	FECHA: Enero 2017	REALIZADO: D. Matas	
ESCALA: 1/5.000 en A3	 SEGURIDAD & MEDIO AMBIENTE	REVISIÓN: 0	



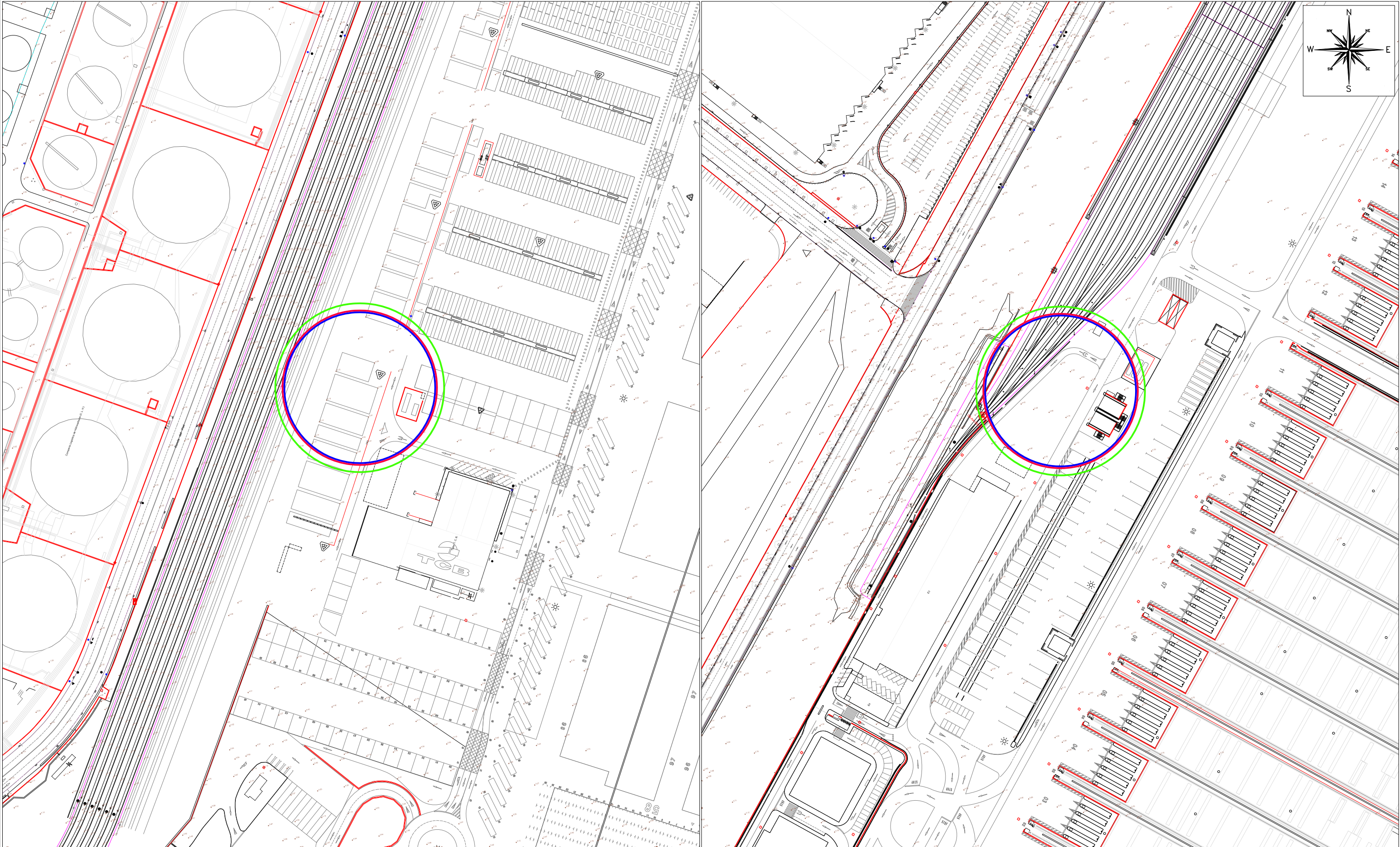
APM TERMINALES (TCB) BEST

LEYENDA

Estabilidad: D / F

LEL: 125 m 224 m

 	ANÁLISIS DEL RIESGO (AR) EPM3: BARCELONA: STRADDLE CARRIER PROPULSADA POR MOTOR DE GAS			
	LLAMARADA			
	H.6: Rotura catastrófica del depósito de GNL de 450Kg. de la SC.			
	REALIZADO: D. Matas	REVISIÓN: 0		
REF.: 1231/13694	PLANO Nº: H6-NI	FECHA: Enero 2017	ESCALA: 1/5.000 en A3	 SEGURIDAD & MEDIO AMBIENTE



APM TERMINALES (TCB) BEST

LEYENDA

Estabilidad: F

ZI (6,64 kW/m²): 43 m

ZA (3,71 kW/m²): 47 m

ZD (8 kW/m²): 42 m

(*)Distancias desde el origen del dardo.

CORE LNGas
hive
einesa

REF.: 1231/13694

PLANO Nº: H2d-RT

FECHA: Enero 2017

ESCALA: 1/2.000 en A3

ANÁLISIS DEL RIESGO (AR)
EPM3: BARCELONA: STRADDLE CARRIER
PROPULSADA POR MOTOR DE GAS

DARDO DE FUEGO

H.2.d: Rotura catastrófica de la manguera de GNL (orificio de 25mm) de entrada al depósito de 450 Kg. de GNL de la SC.

REALIZADO: D. Matas

REVISIÓN: 0

tema
SEGURIDAD & MEDIO AMBIENTE



APM TERMINALES (TCB)

BEST

LEYENDA

Estabilidad: D

ZI (6,64 kW/m²): 118 m

ZA (3,71 kW/m²): 143 m

ZD (8 kW/m²): 111 m

(*)Distancias desde el centro del charco.



REF.: 1231/13694
PLANO N°: H5-RT
FECHA: Enero 2017
ESCALA: 1/2.000 en A3

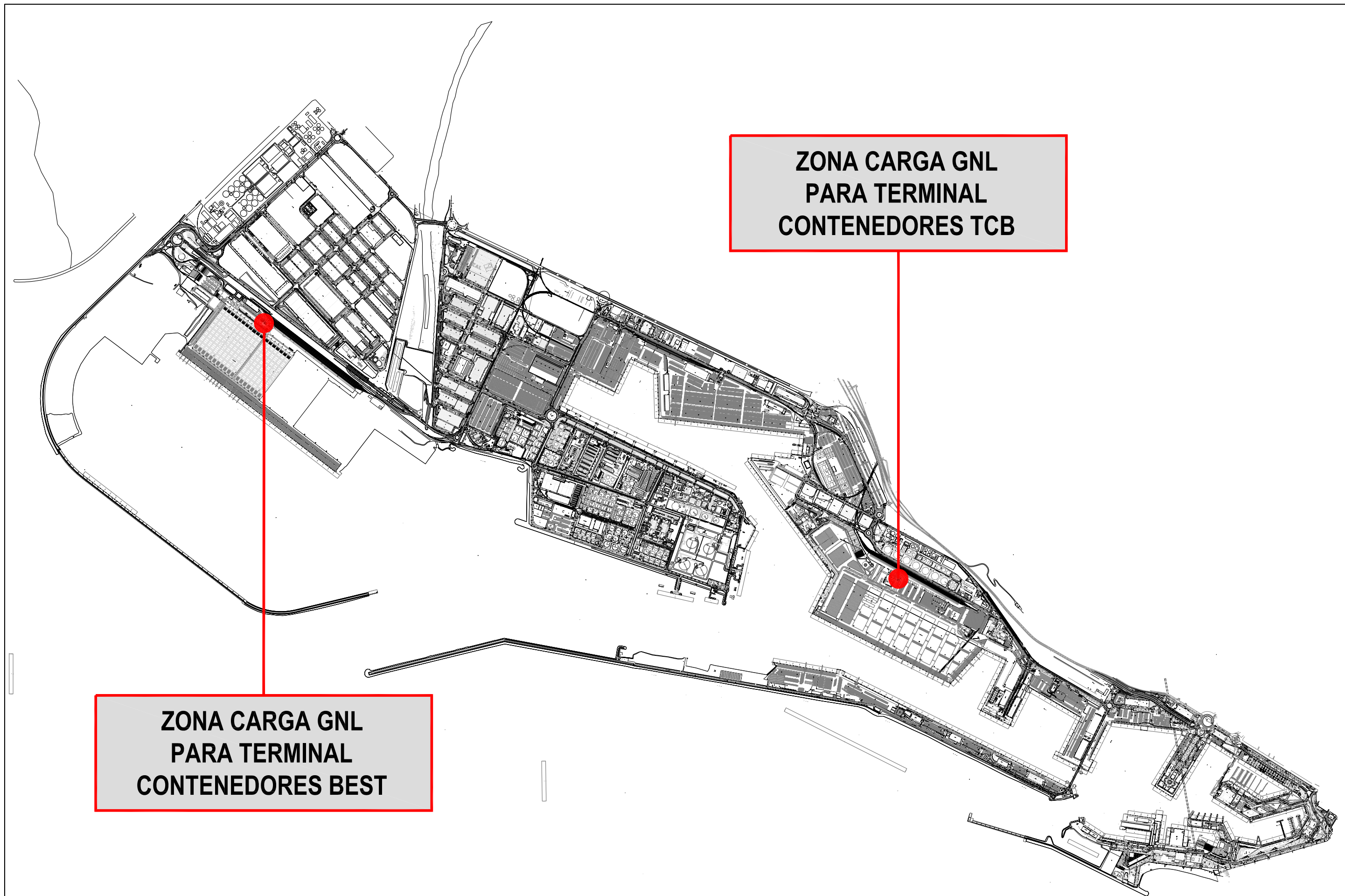
ANÁLISIS DEL RIESGO (AR)
EPM3: BARCELONA: STRADDLE CARRIER
PROPULSADA POR MOTOR DE GAS

INCENDIO DE CHARCO

H.5: Rotura catastrófica del depósito de GNL de 225Kg. de la SC.

 **tema**
SEGURIDAD & MEDIO AMBIENTE

REALIZADO: D. Matas
REVISIÓN: 0



Proyecto:

EPM3 - LNG STRADDLE CARRIERS
ANÁLISIS DE RIESGO

Titular:

AUTORIDAD DEL PUERTO DE BARCELONA (APB)

Escala:

S/N

Plano:

PUNTO DE SUMINISTRO PARA LAS PRUEBAS

Fecha: Enero 2017 N. plano: -

Miembro de

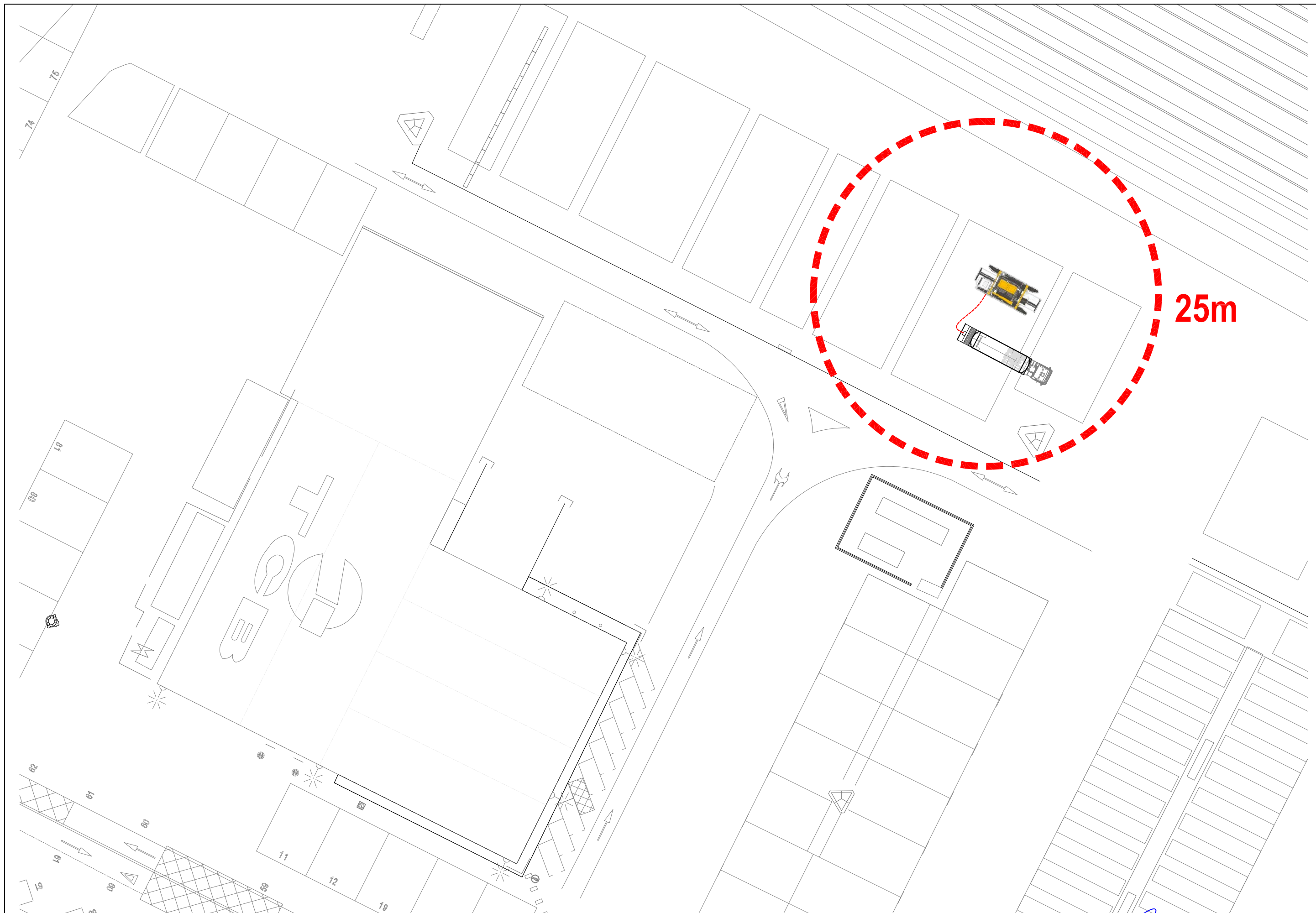



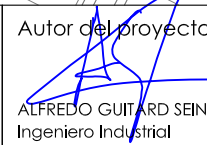
Autor del proyecto:

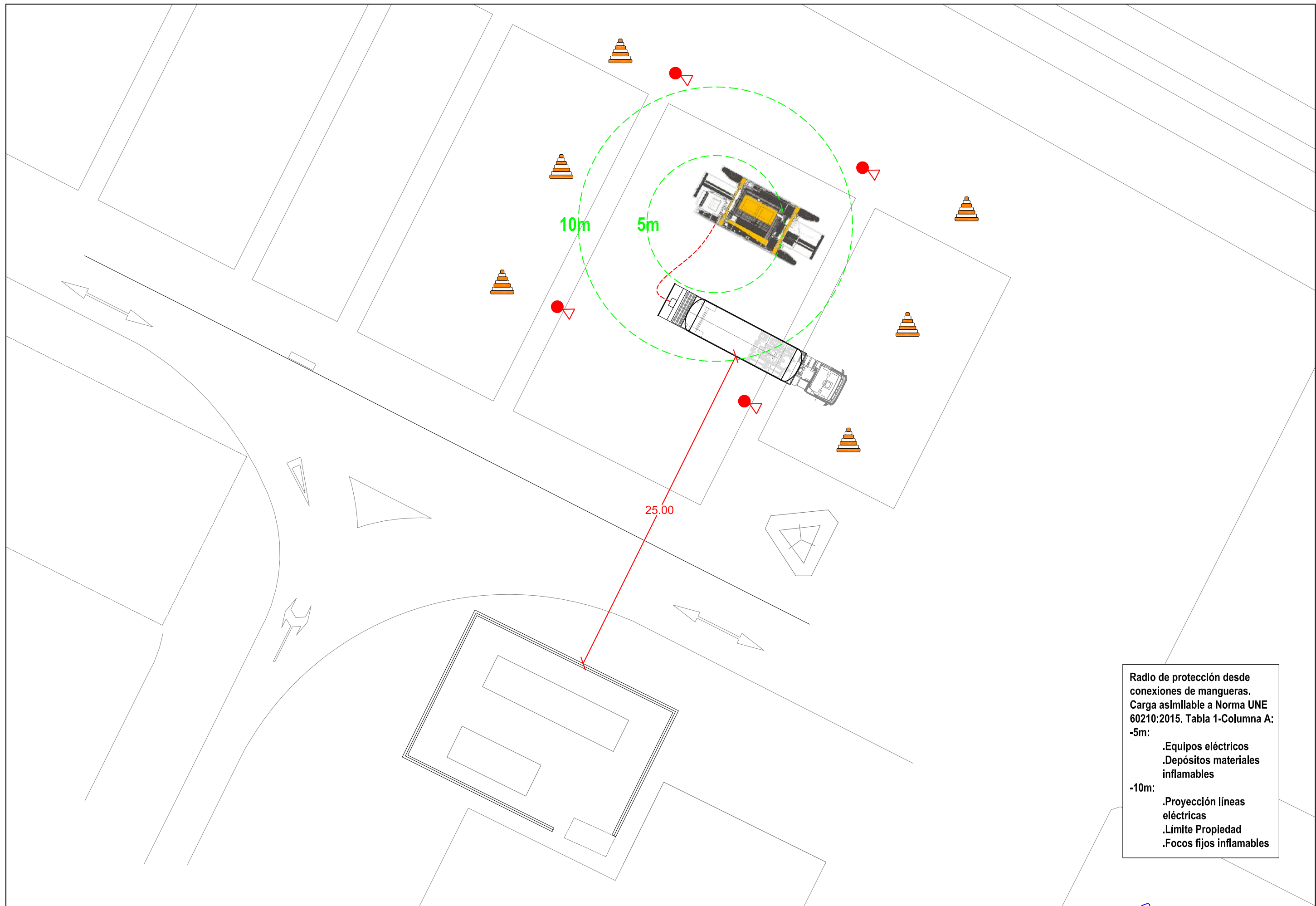
ALFREDO GUITARD SEIN-E
Ingeniero Industrial

einesa
ingeniería s.l.

C/Academia, 2 - 25002 Lleida
Tlf. 973 280 980 - www.einesa.com

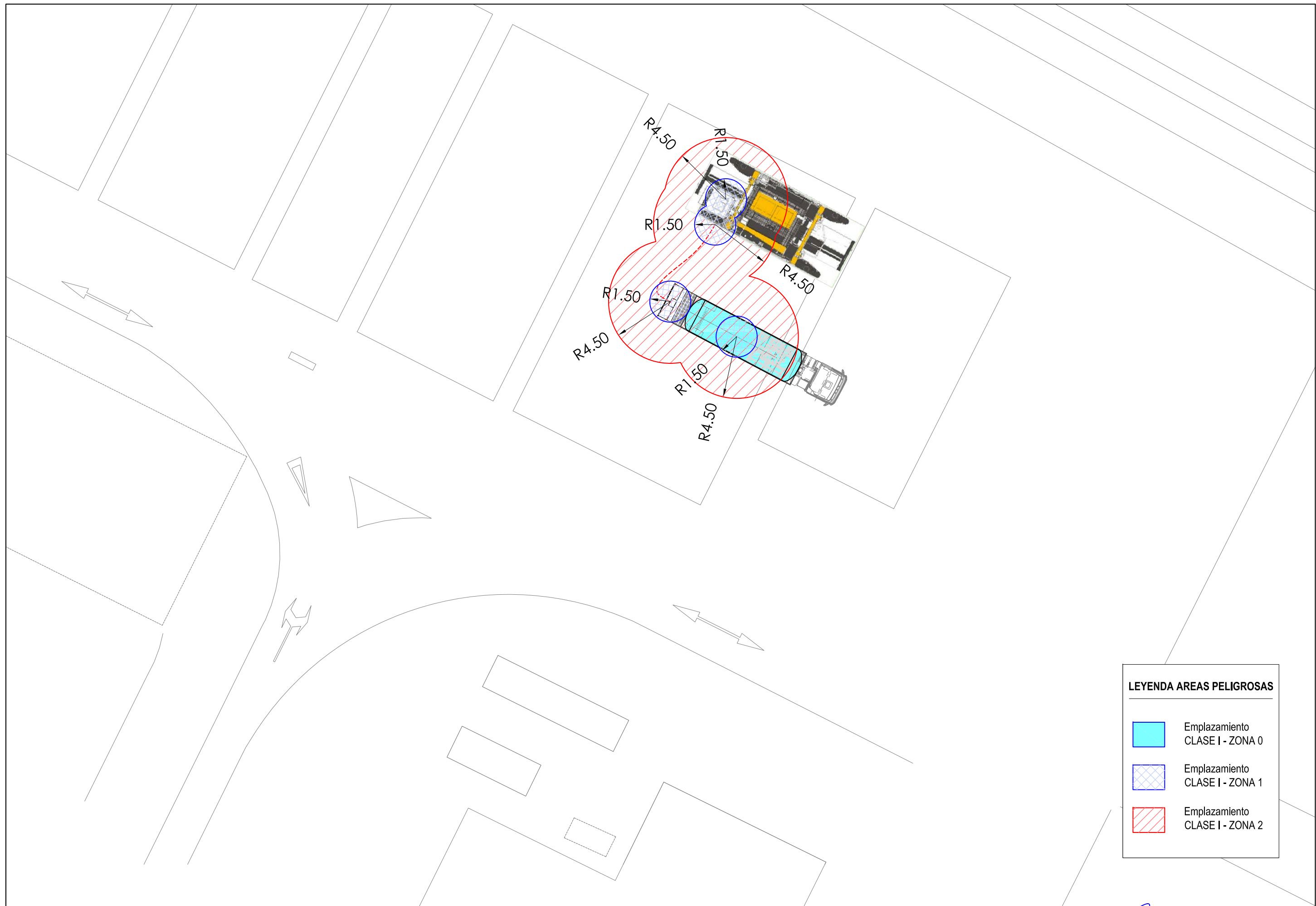


<p>Proyecto:</p> <p>EPM3 - LNG STRADDLE CARRIERS</p> <p>ANÁLISIS DE RIESGO</p>	<p>Titular:</p> <p>AUTORIDAD DEL PUERTO DE BARCELONA (APB)</p>	<p>Escala:</p> <p>1/500</p>	<p>Plano: EMPLAZAMIENTO</p> <p>CARGA GNL-ZONA TCB</p> <p>Fecha: Enero 2017 N. plano: -</p>	<p>Miembro de</p> 	<p>Autor del proyecto:</p>  <p>ALFREDO GUITARD SEIN-E</p> <p>Ingeniero Industrial</p> <p>einesa</p> <p>ingeniería s.l.</p> <p>C/Academia, 2 - 25002 Lleida</p> <p>Tlf. 973 280 980 - www.einesa.com</p>
--	--	-----------------------------	--	---	---





Radio de protección desde conexiones de mangueras.
Carga asimilable a Norma UNE 60210:2015. Tabla 1-Columna A:

- 5m:
 - .Equipos eléctricos
 - .Depósitos materiales inflamables
- 10m:
 - .Proyección líneas eléctricas
 - .Límite Propiedad
 - .Focos fijos inflamables



LEYENDA AREAS PELIGROSAS

	Emplazamiento CLASE I - ZONA 0
	Emplazamiento CLASE I - ZONA 1
	Emplazamiento CLASE I - ZONA 2



ANEXO IV

FICHAS DE ACTUACIÓN

JEFE DE EMERGENCIA	
Titular: David Asensio Suplente: Daniel Ruiz	
❖ <i>En situación normal:</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Actualización del plan de emergencias • Mantenimiento de la relación de personal adscrito al plan. Conocer en todo momento el grado de preparación y concienciación del personal. • Realización de cursos de formación continuada al personal de emergencias • Detectar posibles fallos en la actuación de los equipos y propugnar nuevos métodos. • Recoger la información proporcionada por el Jefe de Intervención sobre siniestros que hayan tenido lugar y elaborar los informes pertinentes para mejorar la situación.
❖ <i>En caso de emergencia:</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Valoración inicial de la situación y activación del plan de autoprotección. • Tomar el control y mando de la situación hasta la llegada de los equipos de protección externos. • Ante una comunicación de emergencia deberá ponerse inmediatamente en el Centro de Control, Alarma y Comunicaciones para poder estar informado en todo momento a través del Jefe de Intervención sobre la magnitud y estado de la situación que ha generado la emergencia. • En caso necesario, ordenar la evacuación parcial de la zona en que se realiza el Proyecto piloto de transformación de una straddle carrier a gas. • Avisar a la persona designada de la concesión de la Terminal de APMT, para que en caso que sea necesario activar el Plan de Autoprotección de la misma. • Facilitar cuanta información necesiten los bomberos en relación con el siniestro y su evolución. • Ceder el mando de las operaciones, en caso que sea necesario al Jefe de la Emergencia de la Terminal de APMT y en caso de presencia de Ayuda Externa, ceder el mando al Jefe de Bomberos. • Ordenar el fin de la emergencia llegado el momento o cuando así lo indique la Autoridad Competente. • Ordenar el retorno de las personas a su puesto de trabajo para el Proyecto piloto de transformación de una straddle carrier a gas.

JEFE DE INTERVENCIÓN (JI)

Titular: Eduard Vidal
Suplente: David Asensio

❖ *En situación normal:*

- Estar localizable en todo momento.
- Tener localizables los miembros del Equipo de Intervención.
- Verificar la realización de las comprobaciones de los elementos de lucha contra incendios.
- Velar por el cumplimiento del aviso de Emergencias.
- Informar al Jefe de Emergencias de las posibles irregularidades en los equipos para la realización del Proyecto piloto de transformación de una straddle carrier a gas.

❖ *En caso de emergencia:*

- Personarse inmediatamente en el lugar de la emergencia.
- Valorar la situación e informar al Centro de Control, Alarma y Comunicaciones del tipo y alcance del siniestro.
- Dirigir y coordinar la actuación del Equipo de Intervención
- Ordenar el aislamiento de la zona siniestrada evacuando al personal de la zona impidiendo el acceso a la misma.
- Mantenerse en contacto permanente con el Jefe de la Emergencia.
- Transmitir las órdenes del Jefe de Emergencias al Equipo de Intervención.
- Comprobar el desarrollo de la evacuación hasta el final
- Ponerse a disposición de los Bomberos con el Equipo de Intervención.
- Restablecida la normalidad, efectuar la revisión del lugar con los Bomberos y ordenar la reposición de los medios utilizados. Informar al Jefe de la Emergencia sobre posibles deficiencias observadas durante la actuación.

EQUIPO DE PRIMERA INTERVENCIÓN (EPI)

Titular: Técnico Auxiliar (Empresa HAM)

Suplente: Técnico Responsable (Empresa APMT)

❖ *En situación normal:*

- Conocer el plan de emergencias y consignas de actuación
- Participar de forma activa en las formaciones de prácticas de fuego y en los simulacros de emergencias.
- Colaborar en la vigilancia del cumplimiento de las medidas de prevención de incendios.
- Avisar de la existencia de anomalías en los equipos y sistemas de protección y señalización.

❖ *En caso de emergencia:*

- Recibir el aviso de incidencia
- Equiparse con los medios técnicos adecuados para el control y mitigación de la incidencia o siniestro.
- Adoptando las medidas de autoprotección adecuadas para acudir al lugar de la emergencia.
- En caso de producirse la emergencia, iniciará las medidas pertinentes a fin de tratar de mitigarla, en tanto no esté presente el Jefe de Intervención. Una vez se persone el Jefe de Intervención, le informará de las medidas emprendidas y sus resultados, poniéndose a su disposición.

RESPONSABLE DEL CENTRO DE CONTROL, ALARMA Y COMUNICACIONES

Titular: Policía Portuaria

- Recepción de avisos de una situación de emergencia y transmisión de información.
- Localizar al Jefe de la Emergencia.
- Realizar las comunicaciones externas que solicite el Jefe de Emergencia, como por ejemplo avisar al Jefe de Emergencia de la concesión de la Terminal de APMT para la activación de su Plan de Emergencia en caso que sea necesario.

JEFE / EQUIPO DE EVACUACIÓN Y CONFINAMIENTO

Titular: David Asensio

Suplente: Daniel Ruiz

- Prepararán a las personas de la zona de la prueba piloto para una posible evacuación al escuchar el aviso de alarma.
- Realizarán la evacuación de la zona al escuchar la orden de evacuación.
- Verificarán la evacuación, asegurándose que nadie quede en la misma.
- Se seguirán las pautas de evacuación marcadas en lo referente a itinerarios.
- Realizarán el recuento en el punto de reunión indicado.
- Comunicarán rápidamente el resultado de este recuento y las posibles anomalías en cuanto a personal al Jefe de la Emergencia.



ANEXO V

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL GNL

Ficha de datos de seguridad	Página: 1/16
	Número de revisión: 2
Gas Natural Licuado	Fecha de emisión: 01/03/2014
	Reemplaza: 07/01/2004

Sección 1: Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificador del producto:

Nombre comercial /denominación : Gas Natural Licuado
 CAS N° : 8006-14-2
 EC-No. : 232-343-9

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos específicos :

- Materia prima uso doméstico industrial
- Carburante para motores de combustión interna

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Firma :

- Gas Natural Fenosa
- Plaza del Gas, 1
- 08003 Barcelona. España
- segind@gasnatural.com

1.4 Teléfono de emergencia

Teléfono de emergencia : +34 900 750 750

SPAIN, Servicio de Información : +34 915 620 420
 Toxicológica Instituto
 Nacional de Toxicología,
 Departamento de Madrid

Sección 2: Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

2.1.1 Clasificación de conformidad con el Reglamento (UE)1272/2008 (CLP)

Clases de peligros /categorías de peligro	Declaraciones de peligro
Gases inflamables, Categoría 1	Flam. Gas 1
Gases bajo presión, Gas líquido congelado	Refrigerated liquefield gas
Gas extremadamente inflamable	H220
Contiene gas refrigerado; puede provocar quemaduras o lesiones criogénicas	H281

2.1.2 Clasificación de acuerdo con las Directivas de la UE 67/548/CEE ó 1999/45/CE

Características de los peligros	Frases R del apartado 3
Extremadamente inflamable	F+
Extremadamente inflamable	R12

Ficha de datos de seguridad	Página: 1/16
	Número de revisión: 2
Gas Natural Licuado	Fecha de emisión: 01/03/2014
	Reemplaza: 07/01/2004

2.2 Elementos de la etiqueta

2.2.1 Etiquetaje de conformidad con el Reglamento (UE) 1272/2008

CLP Símbolo :



GHS02

Palabra de advertencia :

- Peligro

Indicaciones de peligro :

- **H220**- Gas extremadamente inflamable
- **H281**- Contienen un gas refrigerado; puede provocar quemaduras o lesiones criogénicas.

Consejos de prudencia :

- **P210**- Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar
- **P282**- Llevar guantes que aíslen del frío/gafas/máscara.
- **P315**- Consultar a un médico inmediatamente
- **P336**- Descongelar las partes heladas con agua tibia. No frotar la zona afectada.
- **P377**- Fuga de gas en llamas: No apagar, salvo si la fuga puede detenerse sin peligro.
- **P381**- Eliminar todas las fuentes de ignición si no hay peligro en hacerlo.
- **P403**- Almacenar en un lugar bien ventilado.

2.2.2 Etiquetaje de conformidad con la Directiva de la UE 67/548/CEE

No relevante

2.3 Otro peligros

Otros peligros que no dan lugar a la clasificación :

- Resultados de la valoración PBT y MPMB: No hay datos disponibles.

Riesgos para la salud :

- Puede ocasionar quemaduras por congelación en la piel

Riesgos para la seguridad :

- Al usarlo pueden formarse mezclas explosivas/inflamables

Ficha de datos de seguridad	Página: 1/16
	Número de revisión: 2
Gas Natural Licuado	Fecha de emisión: 01/03/2014
	Reemplaza: 07/01/2004



Sección 3: Composición / Información sobre los componentes

3.1 Sustancias

Composición del Gas Natural

Combinación compleja de hidrocarburos alifáticos saturados con niveles de carbono en el rango C1 a C4, principalmente metano.

Nombre de sustancia	Identificador del producto	%	Clasificación según reglamento (UE) No. 1272/2008 [CLP]
Natural gas	(CAS N°) 8006-14-2 (EC-No.) 232-343-9	100	Flam. Gas 1, H220 Refrigerated liquefied gas, H281
Nombre de sustancia	Identificador del producto	%	Clasificación según la directiva 67/548/CEE
Natural gas	(CAS N°) 8006-14-2 (EC-No.) 232-343-9	100	F+; R12

El texto completo de las frases H, R mencionadas en esta Sección, se indica en la Sección 16.

3.2 Mezclas

No aplicable

Sección 4: Primeros auxilios

4.1 Descripción de los primeros auxilios

- | | | |
|------------------------------|---|---|
| Inhalación/anoxia | : | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Mantener en reposo ▪ Abastecer de aire fresco ▪ Si la respiración es difícil, darle oxígeno ▪ Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial ▪ Consultar a un médico. |
| Contacto con la piel | : | <ul style="list-style-type: none"> ▪ En caso de congelamiento aclarar con mucha agua ▪ No quitar la ropa ▪ Sumergirse en agua fresca/aplicar compresas húmedas ▪ Mantener al afectado tranquilo, tapado y caliente ▪ Consultar a un médico |
| Contacto con los ojos | : | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Lavar inmediatamente con abundante agua, también debajo de los párpados, al menos durante 15 minutos. ▪ Consultar a un médico. |
| Ingestión | : | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Consultar a un médico |

Ficha de datos de seguridad	Página: 1/16
	Número de revisión: 2
Gas Natural Licuado	Fecha de emisión: 01/03/2014
	Reemplaza: 07/01/2004



Consejos adicionales

- Enjuagar inmediatamente la boca con agua y beber agua en abundancia
- Primer socorrista: ¡Prestar atención a autoprotección!
- Ver igualmente la sección 8
- Tratar según síntomas
- Nunca dar por la boca algo a una persona que estén sin conocimiento o tenga contracciones espasmódicas.
- Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio
- En todos los casos de duda o si existen síntomas, solicitar asistencia médica.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Inhalación

- Puede resultar irritante

Contacto con la piel

- Puede resultar irritante. Puede causar congelación

Contacto con los ojos

- Puede resultar irritante
- Provoca quemaduras por congelación en los ojos

Ingestión

- La ingestión es improbable

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

Sin datos disponibles

Sección 5: Medidas de lucha contra incendios

En caso de incendio, **cortar la alimentación de gas**

5.1 Medios de extinción

Material extintor adecuado

- Dióxido de carbono (CO₂), Producto químico en polvo, ABC-polvo, agua pulverizada, espuma

Medios de extinción que no deben utilizarse por razones de seguridad

- Chorro de agua potente

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Peligro de Incendio

- Gas extremadamente inflamable

Peligros específicos

- Los vapores pueden formar con el aire una mezcla explosiva

Ficha de datos de seguridad	Página: 1/16
	Número de revisión: 2
Gas Natural Licuado	Fecha de emisión: 01/03/2014
	Reemplaza: 07/01/2004



- Los vapores son más pesados que el aire y pueden expandirse a lo largo del suelo
- Los vapores se pueden extender sobre grandes distancias y por la fuente de ignición se pueden inflamar, retroceso de la llama y explotar
- El fuego o el calor intenso pueden provocar la ruptura violenta de los embalajes
- El envase puede estallar si es calentado
- Durante un incendio, se pueden formar gases de combustión que son peligrosos para la salud, (CO, H₂O y CO₂)

5.3 **Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios**

**Recomendaciones para el personal :
de lucha contra incendios**

- Evacuar la zona
- Equipo especial de protección en caso de incendio
- En caso de incendio: Utilizar un aparato de respiración autónomo
- En caso de incendio, enfriar los depósitos con proyección de agua
- El agua de extinción debe recogerse por separado, no debe penetrar en el alcantarillado

Sección 6: Medidas en caso de vertido accidental (caso de una fuga de gas no inflamable)

Cortar la alimentación de gas

6.1 **Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia**

**Consejos para el personal que
NO es de emergencia**

- **Evacuar la zona**
- Mantener alejadas a las personas de la zona de fuga y permanecer del lado donde sopla el viento. A una distancia de seguridad de 50-60 m fuera de la nube de gas
- **Cortar el suministro eléctrico**
- Asegurar una ventilación adecuada
- Utilizar el equipo de protección individual obligatorio
- Ver igualmente la sección 8
- Evitar el contacto con la piel, los ojos y la ropa
- No respirar los aerosoles
- **No fumar**
- Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición.
- Utilizar únicamente herramientas que no produzcas chispas

Ficha de datos de seguridad	Página: 1/16
	Número de revisión: 2
Gas Natural Licuado	Fecha de emisión: 01/03/2014
	Reemplaza: 07/01/2004



Consejos para el personal de emergencia :

- Asegurarse que todo el equipamiento tenga una toma de tierra y esté conectado a tierra antes de empezar las operaciones de traspaso
- Utilizar instalaciones, aparatos, instalación de aspiración, equipos, etc. Protegido contra explosiones
- Sólo el personal cualificado, dotado de equipo de protección adecuado, puede intervenir.
- Ver igualmente la sección 8

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente

Precauciones para la protección del medio ambiente :

- Evite que el producto penetre en el alcantarillado

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza

Métodos de limpieza :

- Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos
- Dejar evaporarse
- Arrastrar con agua a presión los gases/humos/polvo
- Todos los procesos deben estar supervisados por especialistas o personal autorizado

6.4 Referencia a otras secciones

Ver igualmente la sección 8

Ver igualmente la sección 13

Sección 7: Manipulación y almacenamiento

7.1 Precauciones para una manipulación segura

Manipulación :

- **¡Precaución!** Gas y líquido extremadamente frío bajo presión. Causa graves quemaduras por congelación
- Asegurar una ventilación adecuada
- Antes de usar comprobar la hermeticidad/opacidad
- Utilizar el equipo de protección individual obligatorio
- Ver igualmente sección 8
- No respirar los aerosoles
- Evitar el contacto con la piel, los ojos, y la ropa
- Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición.
- Mantener el recipiente bien cerrado
- **No fumar**
- Asegurarse que todo el equipamiento tenga una toma de tierra y esté conectado a tierra antes de empezar las operaciones de traspaso
- Ver igualmente la sección 10

Ficha de datos de seguridad	Página: 1/16
	Número de revisión: 2
Gas Natural Licuado	Fecha de emisión: 01/03/2014
	Reemplaza: 07/01/2004



Medidas de higiene

- :
 - Utilizar instalaciones, aparatos, instalación de aspiración, equipos, etc. Protegido contra explosiones
 - Utilizar únicamente herramientas que no produzcan chispas
 - Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad
 - No comer, ni beber, ni fumar durante su utilización
 - Lavarse las manos y la cara antes de las pausas e inmediatamente después del handling del producto
 - Quitarse las prendas contaminadas y lavarlas antes de volver a usarlo

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Almacenamiento

- :
 - **Conectar a tierra cualquier elemento que contenga o transporte Gas Natural Licuado**
 - Condiciones de almacenamiento seguro, recipiente a presión a temperatura inferior a la del punto crítico
 - Mantener el envase cerrado en un lugar seco, fresco y bien ventilado
 - Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición.
 - No fumar
 - No almacenar con ningún material enumerado en el apartado 10 ni en las proximidades de dichos materiales
 - Almacenar a temperatura inferior a 30°C
 - No deje que la temperatura rebase 45°C
 - Mantener alejado de la luz directa del sol

Material de embalaje

- :
 - Conservar/almacenar únicamente en el recipiente original

7.3 Usos específicos finales

No hay datos disponibles

Ficha de datos de seguridad	Página: 1/16
	Número de revisión: 2
Gas Natural Licuado	Fecha de emisión: 01/03/2014
	Reemplaza: 07/01/2004



Sección 8: Controles de exposición/protección individual

8.1 Parámetros de control

Límite (s) de exposición

De acuerdo a los Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España, publicados por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), los valores son:

Ámbito de actuación	Sustancia	Nº CAS	Fuente	Límite de exposición
España y Países comunitarios	Natural gas	8006-14-2	INSHT (ppm)	1000 ppm

Procedimiento de vigilancia recomendado

- :
 - Control y medida de la exposición individual
 - Medida de concentración en el aire

Niveles sin efectos derivados (DNEL) PNEC

- :
 - No aplicable
- :
 - No se han presentado evaluaciones de exposición para el medio ambiente y por lo tanto no se requieren valores de concentración prevista sin efecto.

8.2 Controles de la exposición

Protección personal

- :
 - El nivel de protección y los tipos de controles necesarios variaran dependiendo de las potenciales condiciones de exposición. Seleccionar controles basados en una valoración de riesgos de las circunstancias locales. Las medidas a tomar apropiadas incluyen las relacionadas con: Ventilación adecuada, controlando las concentraciones suspendidas en el aire por debajo de las directrices/límites de exposición evitando las explosiones.

Protección respiratoria

- :
 - Para trabajos de salvamento y mantenimiento en los depósitos de almacenamiento usar un aparato respiratorio independiente del aire circulante
 - Aparato respiratorio autónomo de circuitoabierto de aire comprimido (UNE-EN 137:2007)
 - O₂-deficiencia: llevar un respirador equipado con presión positiva

Ficha de datos de seguridad	Página: 1/16
	Número de revisión: 2
Gas Natural Licuado	Fecha de emisión: 01/03/2014
	Reemplaza:07/01/2004



- Protección de las manos** :
- Para la selección de guantes específicos hay que tener en cuenta las aplicaciones determinadas y el tiempo de uso en el área de trabajo. También deben de tenerse en cuenta otros factores en el espacio de trabajo; por ejemplo, otros productos químicos que se puedan utilizar, requisitos físicos (protección contra cortes/perforaciones, técnicas, protección térmica) y las instrucciones y especificaciones del proveedor de guantes.
 - Guantes de protección contra el frío: guantes que aislen del frío (UNE-EN 511) (caucho nitrilo)
- Protección ocular** :
- Gafas de seguridad ajustadas al contorno del rostro (UNE- EN 166), pantalla facial (UNE- EN 166)
 - Llevar un equipamiento de protección apropiado
- Protección de la piel y del cuerpo** :
- Utilice equipamientos especializados
- Protección peligros térmicos** :
- Sistema cerrado
 - Asegurar una ventilación adecuada
- Medidas técnicas de control** :
- Utilizar solamente en áreas provistas de ventilación y extracción apropiadas
 - Asegúrese de que las estaciones de lavado de ojos y las duchas de seguridad estén localizadas cerca del sitio de trabajo
 - Adoptar la acción necesaria para evitar la descarga de la electricidad estática (que podría ocasionar la inflamación de los vapores orgánicos)
 - Proporcione precauciones adecuadas, como tierra eléctrica y vínculos, o atmósferas inertes
 - Utilícese únicamente equipo eléctrico antideflagrante
 - Medidas organizadoras para evitar/limitar la puesta libre, extensión y exposición
 - Ver igualmente la sección 7
- Controles de la exposición del medio ambiente** :
- Evite que el producto penetre en el alcantarillado
 - Cumple con la legislación comunitaria relativa a la protección del medio ambiente

Ficha de datos de seguridad	Página: 1/16
	Número de revisión: 2
Gas Natural Licuado	Fecha de emisión: 01/03/2014
	Reemplaza: 07/01/2004

Sección 9: Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

Aspecto	:	▪ Gas licuado
Color	:	▪ Incoloro
Olor	:	▪ Inodoro
Umbral olfativo	:	▪ No hay datos disponibles
pH	:	▪ No aplicable
Punto/intervalo de fusión	:	▪ -183°C Metano
Punto/intervalo de ebullición	:	▪ -161°C Metano
Punto de inflamabilidad	:	▪ -188°C Metano
Velocidad de evaporación	:	▪ No hay datos disponibles
Inflamabilidad (sólido, gas)	:	▪ Extremadamente inflamable
Límite de explosión (Límite inferior de explosión, Límite superior de explosión)	:	▪ LEL: 4.14-UEL: 17%
Presión de vapor	:	▪ 147 kPa Metano
Densidad de vapor	:	▪ >1 (air=1)
Densidad	:	▪ 0.7- 0.85 kg/m ³
Densidad relativa	:	▪ 0.54- 0.66 g/cm ³
Solubilidad en agua	:	▪ Insoluble
Solubilidad en otros disolventes	:	▪ No hay datos disponibles
Coeficiente de reparto n-octano/agua	:	▪ No hay datos disponibles
Temperatura de auto-inflamación	:	▪ 600°C Metano
Temperatura de descomposición	:	▪ No hay datos disponibles
Viscosidad	:	▪ No hay datos disponibles

9.2 Información adicional

Punto de rocío	:	▪ < 5 °C Metano
Peso molecular	:	▪ 16.5- 18.5 g/mol

Sección 10: Estabilidad y reactividad

10.3 Reactividad

Reactividad	:	▪ Gas extremadamente inflamable
		▪ Ver la sección 10.5

10.4 Estabilidad química

Estabilidad	:	▪ Estable en condiciones normales
-------------	---	-----------------------------------

10.5 Posibilidad de reacciones peligrosas

Reacciones peligrosas	:	▪ Reacciona en forma enérgica con oxidantes y ácidos fuertes
-----------------------	---	--

Ficha de datos de seguridad	Página: 1/16
	Número de revisión: 2
Gas Natural Licuado	Fecha de emisión: 01/03/2014
	Reemplaza: 07/01/2004



10.6 Condiciones que deben evitarse

- Condiciones que deben evitarse :**
- Calor, llamas y chismas
 - Explosión al aire

10.7 Materiales incompatibles

- Materiales incompatibles :**
- Agentes oxidantes fuertes, Halógenos

10.8 Productos de descomposición peligrosa

- Productos peligrosos de Descomposición :**
- La combustión completa de gas natural produce principalmente dióxido de carbono y agua. Su combustión incompleta puede producir monóxido de carbono (**riesgo de envenenamiento**)

Sección 11: Información toxicológica

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

- Toxicidad extrema :**
- **No** es un gas **Tóxico**. Puede causar quemaduras por congelación

Sustancia	Nº CAS	CL50/inhalación/4h/rata
Natural gas	8006-14-2	658 mg/l/4h

- Corrosión o irritación cutáneas :**
- Puede ocasionar quemaduras por congelación
- pH :**
- No aplicable
- Lesiones o irritación ocular graves :**
- Puede ocasionar quemaduras por congelación
- Sensibilización respiratoria o cutánea :**
- La inhalación de vapores o producto en forma de neblina puede producir irritación del sistema respiratorio
- Mutagenicidad de células germinativa :**
- No es considerado como peligro mutagénico
- Carcinogenicidad :**
- No hay datos disponibles
- Toxicidad para la reproducción :**
- No hay datos disponibles
- Toxicidad específica en determinados órganos (exposición única) :**
- No hay datos disponibles
- Toxicidad específica en determinados órganos (exposición repetida) :**
- No hay datos disponibles
- Peligro por aspiración :**
- No hay datos disponibles

11.2 Información adicional

Síntomas relacionados con las características físicas, químicas y toxicológicas, Ver la sección 4.2

Ficha de datos de seguridad	Página: 1/16
	Número de revisión: 2
Gas Natural Licuado	Fecha de emisión: 01/03/2014
	Reemplaza: 07/01/2004



Sección 12: Información ecológica

12.1 Toxicidad

Efectos eco-toxicológicos :

- No peligroso

12.2 Persistencia y degradabilidad

Persistencia y degradabilidad :

- Desintegración biológica fácil

12.3 Potencial de bioacumulación

Bioacumulación :

- Bajo

 Coeficiente de reparto :

- No hay datos disponibles

 n-octanol/agua

12.4 Movilidad en el suelo

Capacidad de movilidad :

- No aplicable

12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB

PBT/mPmB :

- No hay datos disponibles

12.6 Otros efectos adversos

Información adicional :

- Sin datos disponibles

Sección 13: Consideraciones relativas a la eliminación

13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

Desechos de residuos /producto :

- El gas natural no debe descargarse en un lugar donde su acumulación pudiera ser peligrosa, ya sea por la explosión o ignición, o por disminución del contenido de oxígeno en el aire respirado
- No se permite la liberación de gas natural en los espacios cerrados
- Para la eliminación de excedente de gas natural o purgar una canalización, se aísla la sección de tubo y se libera a la atmósfera mediante un orificio de ventilación.
- Instalar una antorcha a la salida de la ventilación para quemar el gas natural y que salga a la atmósfera los productos de combustión.
- La descarga controlada de gas natural a la atmósfera en grandes cantidades es una

 no utilizado

Ficha de datos de seguridad	Página: 1/16
	Número de revisión: 2
Gas Natural Licuado	Fecha de emisión: 01/03/2014
	Reemplaza: 07/01/2004

operación ruidosa (expansión de gas de alto flujo), que requiere el uso de un dispositivo adecuado de ruido, y la producción de frío. Estas operaciones son responsabilidad de las personas autorizadas en virtud de procedimientos de seguridad específicos.

- Evitar en lo posible la liberación de gas natural debido a su impacto en el clima

Información ecológica complementaria :

- No dejar verter ni en la canalización ni en desagües

Lista de códigos sugeridos para desechos / designaciones de desechos de acuerdo con el EWC :

- Clasificado como residuo peligroso de acuerdo con las Regulaciones de la Unión Europea

14.1 Número ONU

UN No. :

- 1972

14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas

Designación oficial de transporte :
Designación oficial de transporte :
de las Naciones Unidas IATA/IMDG

- GAS NATURAL LÍQUIDO REFRIGERADO
- NATURAL GAS, REFRIGERATED LIQUID

14.3 Clase(s) de peligro para el transporte

14.3.1 Transporte por vía terrestre

Clase :

- 2-Gases

Clases de peligro :

- 23

Código de clasificación :

- 3F

Etiquetas ADR/RID :

- 2.1 – Gases inflamables



14.3.2 Transporte por vía fluvial (ADN)

Etiquetas :

- 2.1

Clase :

- 2

Ficha de datos de seguridad	Página: 1/16
	Número de revisión: 2
Gas Natural Licuado	Fecha de emisión: 01/03/2014
	Reemplaza: 07/01/2004



14.3.3 Transporte marítimo

Etiquetas : ■ 2.1

Clase : ■ 2 - Gases

14.3.4 Transporte aéreo

Etiquetas : ■ 2.1

Clase : ■ 2 - Gases

14.4 Grupo de embalaje

Sin datos disponibles

14.5 Peligros para el medio ambiente

Otra información : ■ No se dispone de información adicional

14.6 Precauciones particulares para los usuarios

Sin datos disponibles

14.7 Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio Marpol 73/78 y Código IBC

Sin datos disponible

14.8 Otra información para el transporte

Asegurarse de que el conductor está enterado de los riesgos potenciales de la carga y de que conoce cómo actuar en caso de un accidente o una emergencia

Sección 15: Información reglamentaria

15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

Prescripciones europeas:

- Reglamento (CE) n° 1272/2008 (UE-SGA) del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas
- Directivas 67/548/CEE y 1999/45/CE sobre la clasificación y etiquetado de sustancias peligrosas, derogado por el Reglamento (CE) n° 1272/2008 (CLP)
- Reglamento REACH EC 1907/2006 y sus modificaciones: los beneficios de proveedores del régimen de exención establecidos en el anexo V (exenciones de registro al amparo del art 0.2 § 7 B).
- No es necesario un informe sobre la seguridad química
- Directiva ATEX 94/9/CE
- Equipos a presión 97/23/CE Directiva de 29 de mayo de 1997
- Directiva 2012/18/UE, de 4 de julio, relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas y por la que se modifica y ulteriormente deroga la Directiva 96/82/CE, cuyo plazo máximo de transposición máximo es 1 de Julio del 2015.

Ficha de datos de seguridad	Página: 1/16
	Número de revisión: 2
Gas Natural Licuado	Fecha de emisión: 01/03/2014
	Reemplaza: 07/01/2004

Cantidades umbral (en toneladas) de las sustancias peligrosas a que se hace referencia en el artículo 3, apartado 10, a efectos de aplicación de los		
	Requisitos de nivel inferior	Requisitos de nivel superior
LÍQUIDOS INFLAMABLES Líquidos inflamables de las categorías 2 o 3	5.000	50.000

Prescripciones nacionales (España):

- Real Decreto 919/2006, de 28 de julio, por el que se aprueba el Reglamento técnico de distribución y utilización de combustibles gaseosos y sus instrucciones técnicas complementarias ICG 01 a 11
- Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

15.2 Evaluación de la seguridad química

No aplicable (no se ha realizado evaluación)

Sección 16: Información adicional

Texto completo de las frases R, H y EUH:

Flam. Gas 1	:	▪ Gases inflamables, categoría 1
Refrigerated liquefied gas	:	▪ Gases bajo presión Gas comprimido
H220	:	▪ Gas extremadamente inflamable
H281	:	▪ Contiene gas refrigerado: peligro de explosión en caso de calentamiento
R12	:	▪ Extremadamente inflamable
F+	:	▪ Extremadamente inflamable

Fuentes de los principales datos utilizados para elaborar la ficha	:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ European Chemicals Bureau (http://esis.jrc.ec.europa.es) ▪ Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España, publicados por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)
Abreviaturas y acrónimos	:	
AND	:	▪ Acuerdo Europeo relativo al Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por vías de Navegación interior
ADR	:	▪ Acuerdo europeo relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera
CLP	:	▪ Classification, Labelling and Packaging Regulation according to 1272/2008/CE

Ficha de datos de seguridad	Página: 1/16
	Número de revisión: 2
Gas Natural Licuado	Fecha de emisión: 01/03/2014
	Reemplaza: 07/01/2004



IATA	:	▪ International Air Transport Association
IMDG	:	▪ International Maritime Dangerous Goods Code
LEL	:	▪ Lower Explosive Limit/Lower Explosion Limit
UEL	:	▪ Upper Explosive Limit/Upper Explosion Limit
REACH	:	▪ Registration, Evaluation, authorization and Restriction of Chemicals
CSR	:	▪ El informe sobre la seguridad química
DNEL	:	▪ Nivel sin efecto derivado
LD50	:	▪ Dosis letal media
N.O.S	:	▪ No especificadas en otra categoría
PNEC	:	▪ Concentración prevista sin efecto
STEL	:	▪ Valor límite de exposición a corto plazo
TLV	:	▪ Límites umbrales
TWA	:	▪ Media de tiempo de carga
PBT	:	▪ Persistente, bioacumulable y tóxica
mPmB	:	▪ Muy persistentes y muy bioacumulables

Esta ficha de seguridad ha sido elaborada a título informativo y a los únicos fines de describir el producto en relación con la seguridad, la salud y el medio ambiente.

La actual ficha de seguridad ha sido elaborada para los usos indicados en el apartado 1.2 y con la información existente hasta el momento. Cualquier información adicional detectada por cualquiera de los agentes en la cadena de suministro, sobre:

- Usos no recogidos
- Información nueva sobre propiedades peligrosas, independientemente de los usos de que se trate
- Cualquier información que pueda poner en tela de juicio la idoneidad de las medidas de gestión de riesgos identificadas en las FDS

Deberá ser transmitida hacia el elaborador de la ficha de seguridad para su corrección. La enumeración de textos legislativos y normativos no puede considerarse exhaustiva.

Annex 6

Deliverable 3.3 bis: LNG supply procedures



PROCEDIMIENTO DE DESCARGA DE GNL

1. Estacionar el vehículo correctamente
2. Desconectar cualquier fuente de ignición
3. Colocar los calzos
4. Colocarse los EPI reglamentarios
5. Conectar la pinza de tierras.
6. Activar el selector de descargas a la posición 1.
7. Quitar el tapón de la conexión de carga y conectar la manguera de carga.
8. Preparar el equipo de descarga y presurizar la salida de bomba.
9. Cuando la presión de la salida de la bomba este 1 bar por encima del indicador de presión del tanque abrir de forma progresiva la válvula manual VAH04 situada en la ventana de descarga.
10. El GNL empezará a pasar a través de la manguera y se llenará el tanque.
11. Controlar el llenado progresivo del tanque mediante el indicador de nivel y asegurarse de mantener la presión por debajo de los 18 bar en todo momento.
12. Una vez se llegue al nivel máximo de la descarga o al 85% desconectar la bomba.
13. Cerrar la válvula VAH04
14. Esperar a que el GNL del flexible gasifique hacia el interior de la cisterna.
15. Desconectar la manguera de la instalación.
16. Colocar el tapón a la conexión de carga.
17. Poner el selector de carga en la posición 0.
18. Cerrar la puerta.
19. Quitar la pinza y los calzos.
20. Proceder a la salida en modo seguro de la planta.



Contenido

1. Objetivo	2
2. - Riesgos Implicados en el repostaje de GNL.....	2
3. - Equipos de Protección Individual	2
4. - Incidencias	2
5. Proceso de carga de GNL del depósito de la tractora:	2
6. Conexión pistola LIQUIDO	3
7. Desconexión pistola LIQUIDO.....	3
8. FDS del GNL	4
ACUSE DE RECIBO DE COPIA CONTROLADA	5

MODIFICACIONES	Rev:B	Incluir calzos y adecuar los EPI's
	Rev:	
	Rev:	

Elaborado	Revisado	Aprobado	Nº Rev.	Fecha
ELENA PASCUET	JAUME SURIOL	VICTOR BANDERAS	A	2/05/2017
RESP. GESTIÓN DE SISTEMAS	DIRECTOR TÉCNICO	JEFE SEGURIDAD		



1. Objetivo

Describir el procedimiento para la carga de los depósitos de GNL de los vehículos.

Dichas operaciones serán realizadas por el propio conductor del vehículo previamente formado por personal con sobrada experiencia y formación para realizar este tipo de operaciones.

2. - Riesgos Implicados en el repostaje de GNL

a) Manipulación de líquido criogénico (gas natural licuado - 160 °C).

Posibles riesgos de quemaduras por frío, instalación de aire frío, desplazamiento de oxígeno, etc..

Adjuntamos hoja de seguridad del producto, donde se detallan los riesgos. Todo nuestro personal implicado dispone de dichas hojas y formación específica.

b) Manipulación gas inflamable. Posibles riesgos asociados a la inflamabilidad. Riesgos detallados en las hojas de seguridad adjuntas.

3. - Equipos de Protección Individual

A parte de los EPI's propios del trabajo como zapatos de seguridad, chaleco refractario, etc... se describen a continuación las protecciones individuales específicas del GNL, que son:

Protección facial: Casco con pantalla o equivalente homologados

Protección en manos y antebrazos: Guantes criogénicos largos homologados

Protección del cuerpo total : Ropa ignífuga y antichispas homologada

Protección tronco: Mandil de cuero.

4. - Incidencias

A continuación se describen las posibles incidencias en los repostajes y cómo proceder.

Fuga por la junta de la pistola de carga.

Fuga por la pistola de venteos.

Fuga por la manguera de gnl o venteos.

Arranque del break away.

En cualquier de los casos descritos apretar la SETA DE EMERGENCIA y ponerse en contacto con un técnico de la estación de servicio (Hacer incidencia).

5. Proceso de carga de GNL del depósito de la tractora:

1. Aparcar y detener el vehículo, desconectar toda fuente de ignición.
2. Colocar los calzos.
3. Colocarse los EPI's adecuados.
4. Conexión de la pinza de la toma de tierras.
5. Introducir la tarjeta de pago para autorizar la carga.



6. Limpiar y secar el boquerel del camión y de la pistola de carga.
7. Conectar la manguera fase líquida en el tanque del camión. Ver apartado Conexión pistola LIQUIDO
8. Apretar el Botón START. Existen las siguientes 2 posibilidades que son:
 - 8.1. El surtidor empieza la operación de puesta en frío. Pasar al punto 8.
 - 8.2. El surtidor detecta que el tanque del camión tiene sobrepresión. El surtidor dictará las instrucciones a realizar que serán:
 - 8.2.1. Desconexión manguera de fase líquida
 - 8.2.2. Conexión manguera fase gas y abrir la válvula del camión de despresurización
 - 8.2.3. Pulsar el botón START. El surtidor empezará a descomprimir el tanque de GNL del camión.
 - 8.2.4. Desconexión manguera fase gas una vez el surtidor lo indique.
 - 8.2.5. Conexión nuevamente de la manguera fase líquida.
 - 8.2.6. Pulsar el botón START del surtidor y éste empieza la operación de puesta en frío. Pasar al punto 8.
9. El surtidor detecta el finalizado del repostaje y lo indica por pantalla FIN RESPOTAJE. EN CUALQUIER MOMENTO PODEMOS PULSAR EL BOTÓN STOP Y LA CARGA SE DETENDRÁ.
10. Desconectamos la manguera de fase líquida. Ver apartado Desconexión pistola LIQUIDO.
11. Comprobamos el correcto estado de la manguera, pistola y boquerel de carga.
12. Desconectamos la toma de tierra.
13. Salimos de la zona de repostaje con precaución.

Durante el proceso de carga sonará la bocina que cada X tiempo (Death man). Cada vez que suene se tendrá que apretar al botón start. Ésta operativa se realiza por seguridad para que el chofer esté en la zona de carga en todo momento. Sino se presiona el botón start en X tiempo la carga se detendrá.

6. Conexión pistola LIQUIDO

1. Descolgar la pistola o boquerel del soporte instalado en el pie del surtidor.
2. Sujetar y encarar el receptáculo de carga del vehículo con las 2 manos.
3. Tirar las asas hacia atrás.
4. Encajar el boquerel en el receptáculo encajándolo en las ranuras con las guías.
5. Realizar la operación de empuje hacia adelante y rotación horaria hasta el tope.
6. Tirar las asas hacia adelante totalmente.

7. Desconexión pistola LIQUIDO

1. Tirar las asas hacia atrás totalmente.



2. Realizar la operación de tirar hacia atrás y rotación anti-horaria hasta el tope.
3. Colgar la pistola o boquerel al soporte instalado en el pie del surtidor.

8. [FDS del GNL](#)



ACUSE DE RECIBO DE COPIA CONTROLADA

TIPO DE MANUAL	IT. Instrucciones de trabajo
CÓDIGO	IT-CD-054.B
DOCUMENTO	I.T. PARA EL REPOSTAJE DE GNL
ENTREGADA A	CONDUCTOR

Fecha Recepción:

Firma Recepción:

Nombre y Apellidos Conductor



INSTRUCCIÓN DE TRABAJO EN GASINERA
SUSTITUCIÓN PISTOLA

IT-HC-067

Contenido

1. Objetivo	2
2. Epis.....	2
3. Procedimiento:	2
4. Herramientas / Útiles	5

MODIFICACIONES	Rev:R	
	Rev:	
	Rev:	

Elaborado	Revisado	Aprobado	Nº Rev.	Fecha
LAURA PERERA	ELENA PASCUET	JAUME SURIOL	A	27/03/2018



INSTRUCCIÓN DE TRABAJO EN GASINERA
SUSTITUCIÓN PISTOLA

IT-HC-067

1. Objetivo

El objeto del presente procedimiento es el de disponer de unas directrices de actuación que permita al equipo de mantenimiento realizar el trabajo garantizando su seguridad.

En la planta de GNL se manipula líquido criogénico (gas natural licuado - 160 °C) donde existen posibles riesgos de quemaduras por frío, instalación de aire frío, etc.



2. - Epis

A parte de los EPI's propios del trabajo como zapatos de seguridad, ropa de trabajo adecuada, etc.

Se necesitan las siguientes protecciones individuales específicas del GNL, que son:

- Protección facial: Casco con pantalla o equivalente homologados
- Protección en manos: Guantes criogénicos largos homologados (waterproof Cryo-Gloves)
- Los trabajadores deberán de acudir en equipo (dos técnicos).

3. Procedimiento:

A continuación se enumeran los pasos a seguir para sustituir la pistola de carga:

- Pulsar seta de emergencia del surtidor afectado.



- Cierre de válvulas, que están dentro del recinto de la gasinera.

* Surtidor 1. Válvulas V8.2 y V20.1 (observar el recorrido de las tuberías del surtidor afectado al depósito de GNL)

* Surtidor 2. Válvulas V8.2 y V20.1 (observar el recorrido de las tuberías del surtidor afectado al depósito de GNL)

- Para liberar la presión que hay entre la válvula de seguridad y la pistola se utiliza el útil de despresurización de la pistola solo en caso de no disponer, aflojar las tuercas que unen la manguera con la pistola y que el GNL salga expulsado a la atmósfera poco a poco, nunca aflojar del todo las tuercas hasta que no se libere de presión.



- Una vez se libere de presión ya se puede desapretar la tuerca y soltar la pistola de la manguera.

- Se coge la nueva pistola, se le pone teflón en la rosca de la pistola que va a la manguera y se aprieta.



INSTRUCCIÓN DE TRABAJO EN GASINERA
SUSTITUCIÓN PISTOLA

IT-HC-067



En este procedimiento se ha liberado de presión entre la válvula de seguridad interna en el surtidor y la pistola por lo que es necesario realizar un barrido.

Con el barrido lo que se consigue es liberar el aire caliente que se ha generado al abrir el sistema, para ello se tiene que usar un útil que es como una boca de depósito de camión (a partir de ahora boca de mantenimiento) y conectar la pistola a dicha boca de mantenimiento como si se estuviese conectando la pistola al depósito del camión.

Como no hay presión el sistema irá generando la presión paulatinamente, una vez que se tenga presión el operario debe de activar el surtidor como si fuese hacer una carga a un camión y el otro operario abrir y cerrar poco a poco la pistola tirando de las asas de la misma, nunca tirar de las asas de la pistola a tope, con el objetivo de expulsar el aire caliente y que el nitrógeno corra por la manguera hasta que sea expulsado por la boca de la pistola, se observa cómo se va congelando la manguera. En ese momento el sistema ya está preparado para probar en un camión.

Cuando se use la boca de mantenimiento el GNL saldrá a la atmósfera por lo que se debe de apuntar hacia una zona donde no haya personal.

- Procedimiento de habilitación de surtidor y expulsión de gas caliente:
- Abrir las válvulas de seguridad que se cerraron previamente para realizar el cambio de pistola de carga.
- Soltar la seta de emergencia que se pulsó previamente en el propio surtidor afectado.
- Introducir la tarjeta de activación para autorizar la carga. Comprobar que está autorizada la operación mirando el display de tarjetero.
- Apretar el Botón START del surtidor y éste empieza la operación de alimentación de GNL.

ENCUALQUIER MOMENTO PODEMOS PULSAR EL BOTÓN STOP Y LA CARGA SE DETENDRÁ.

Mantener el botón verde de DEAD pulsado para permitir la salida de GNL.

Cuando el técnico haya abierto-cerrado las asas de la pistola 4 veces aprox (nunca del todo la apertura) ya habrá salido GNL por lo que la manguera ya estará congelada y el equipo listo para usar.

Comprobamos visualmente el correcto estado de la manguera, pistola, break away.



INSTRUCCIÓN DE TRABAJO EN GASINERA
SUSTITUCIÓN PISTOLA

IT-HC-067

Usar bote comprobador de fugas en las uniones que se han hecho nuevas para descartar fugas de GNL.

4. Herramientas / Útiles

A continuación se detallan las herramientas / útiles que se han de usar en este procedimiento:

- Bote comprobador de fugas
- Llaves fijas
- Tarjeta HAM
- Llaves de acceso al recinto de la gasinera
- Teflón
- Boca de mantenimiento



Para dar por finalizado el trabajo se tiene que hacer una prueba de carga con un camión. Si no se pudiera hacer DICHA PRUEBA el surtidor se queda anulado HASTA QUE EL TECNICO COMPRUEBE MEDIANTE UNA CARGA EL TRABAJO FINALIZADO.



Criogénica

Fecha: 6 de Mayo de 2019

Rev.: 01

Preparado por: JSC

VAKUUM

MICROFUELER 6947

Estación móvil de repostaje de GNL

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Documento Nº: MICROFUELER 6947-OMM




	VAKUUM MICROFUELER- Estación móvil de repostaje de GNL Especificación técnica	Fecha: Doc.-Num. Rev.: Preparado por:	Junio 2019 MICROFUELER 6947-OMM 01 JSC
--	--	--	---

Table of Contents


1	Datos Generales	5
1.1	Identificación	5
2	Datos generales de la estación móvil.....	5
2.1	Uso normal	5
2.2	Indicaciones.....	5
2.3	Ruido ambiental.	5
2.4	Vibraciones.....	6
2.5	Localizaciones de trabajo.	6
2.5.1	Localizaciones.....	6
2.5.2	Medio ambiente	6
2.6	Descripción detallada.	6
2.6.1	Semiremolque.	6
2.6.2	Depósito Criogénico	6
2.6.3	Vaporizador de saturación número 1.....	7
2.6.4	Vaporizador de saturación número 2.....	7
2.6.5	Bomba sumergida.	8
2.6.6	Cajas de potencia y control.....	8
2.6.7	Surtidor.....	9
2.6.8	Marquesina.....	9
2.6.9	Soplador.....	9
2.6.10	Calentador.....	9
2.6.11	Tuberías.....	10
2.7	Dispositivos externos.....	11
3	Transporte, Mantenimiento y Almacenaje de la estación.....	11
3.1	Transporte	11
3.2	Dimensiones y pesos.	11
3.3	Manejo y posicionamiento de la estación.....	11
3.4	Condiciones de almacenaje	12

	VAKUUM MICROFUELER- Estación móvil de repostaje de GNL Especificación técnica	Fecha: Junio 2019 Doc.-Num. MICROFUELER 6947-OMM Rev.: 01 Preparado por: JSC
--	--	---

3.5	Instrucciones de seguridad.....	12
4	Instalación y puesta en marcha.....	12
4.1	Establecimiento	12
4.2	Instrucciones de ensamblaje	13
4.2.1	Conexión eléctrica y arranque de la estación.....	13
4.2.2	Presión de los actuadores	13
4.2.3	Marquesina.....	13
4.3	Antes de mover la estación a otro establecimiento.....	14
4.4	Condiciones medioambientales	14
4.5	Medidas de seguridad para los usuarios	14
4.5.1	Características GNL.....	14
4.5.2	Instrucciones básicas de seguridad.....	16
5	Subconjuntos y sistemas operativos:.....	16
5.1	Subconjuntos.....	17
5.1.1	Panel neumático.....	17
5.1.2	Panel de control	18
5.2	Carga de la MICROFUELER.....	21
5.3	Repostaje de tanque de camión.....	22
5.4	Carga de la cisterna de GNL.....	22
5.5	Parámetros de la cisterna. Presión, nivel y presión de vacío	24
5.6	Sobrepresión de la MicrofueLER.....	24
5.7	Ventilación centralizada	25
5.8	Sistemas auxiliares.	25
5.8.1	Sistema de detección de gas	26
5.8.2	ESD	26
5.8.3	Sistema de hombre muerto	27
5.8.4	PT100 (sensors de temperatura)	27
5.8.5	Extintores.....	28
6	Comportamiento frente a emergencias.....	28

	VAKUUM MICROFUELER- Estación móvil de repostaje de GNL Especificación técnica	Fecha: Doc.-Num. Rev.: Preparado por:	Junio 2019 MICROFUELER 6947-OMM 01 JSC
--	---	--	---

6.1	Fuego eléctrico	28
6.2	Incendio de una Fuente externa	29
6.3	Fuego de gas.....	29
6.4	Acumulación de gas.....	29
6.5	Explosión por sobrepresión de gas.....	29
6.6	Recomendaciones generales.	30
7	Solución de problemas.....	30
7.1	Instrumentación, válvulas e instalación	30
7.2	Semitrailer.	31
7.3	Bomba de GNL.....	31
8	Instrucciones de mantenimiento.	32
8.1	Uniones con bridas y dispositivos de tres piezas	32
8.2	Filtros.....	32
8.3	Válvulas manuales.....	32
8.4	Válvulas automáticas.....	32
8.5	Equipos de llenado	33
8.6	Estado del vacío de la cisterna.	33
8.7	Instalación eléctrica.....	33
8.8	Sistema de extinción de incendios.	33
8.9	Bomba de GNL.....	33
8.10	Limpieza y mantenimiento general.....	33
8.11	Libro de mantenimiento.....	33
8.12	Calificación del personal.....	34
9	Desmantelar la estación.....	34
9.1	Instrucciones	34
9.2	Reciclaje de componentes.....	34

	<table> <tr> <td>Fecha:</td><td>6 de Mayo de 2019</td></tr> <tr> <td>Rev.:</td><td>01</td></tr> <tr> <td>Preparado por:</td><td>JSC</td></tr> </table>	Fecha:	6 de Mayo de 2019	Rev.:	01	Preparado por:	JSC
Fecha:	6 de Mayo de 2019						
Rev.:	01						
Preparado por:	JSC						

1 Datos Generales

1.1 Identificación

- Fabricante: VAKUM BARCELONA, S.L.
- Servicio técnico: HAM Criogénica, S.L.
- Dirección: P.I. Sesrovires, C/ Joan Oró 1, 08635 Sant Esteve Sesrovires, Barcelona
- Tipo: MICROFUELER LNG Mobile Refuelling Station
- Modelo: CAES 14-40
- Año: 2019

2 Datos generales de la estación móvil

2.1 Uso normal

Esta estación de repostaje ha sido diseñada para suministrar GNL a todos esos vehículos rodados que usan 100% ese tipo de combustible o una combinación con Diesel (Dual Fuel). El suministro se realiza a través de un surtidor especialmente diseñado para GNL.

La estación es totalmente autónoma, y solamente se requiere para poder realizar el repostaje, de una tarjeta válida.

Adicionalmente, esta estación, se puede utilizar como una cisterna tradicional de GNL que suministra GNL a otras instalaciones.

2.2 Indicaciones.

El suministro de GNL a vehículos que utilizan este tipo de fuel.

Así como, cualquier otro tipo de fuel: propano, petróleo, diésel o bio-diesel.

Deben seguirse las siguientes medidas de seguridad:


- No fumar o encender ningún tipo de llama o fuego.
- Solo personal involucrado puede permanecer cerca de la estación.
- Solo personal formado están autorizados a operar la estación.
- No se permite el almacenamiento de productos ajenos de los permitidos.
- Solo equipos o aparatos clasificados para zonas explosivas son permitidos.
- Salidas y acceso a dispositivos de seguridad estarán claramente señalizados.
- Todas las recomendaciones incluidas en el manual deberán cumplirse.

2.3 Ruido ambiental.

No hay indicaciones especiales relacionadas con el ruido ambiental.

Durante el transporte, no se produce ningún ruido de la estación, y una vez en servicio, el nivel acústico es similar a una estación convencional de fuel.

No se emite ruido por encima de 70 dB con el funcionamiento normal de la Estación

	VAKUUM MICROFUELER- Estación móvil de repostaje de GNL Especificación técnica	Fecha: Junio 2019 Doc.-Num. MICROFUELER 6947-OMM Rev.: 01 Preparado por: JSC
--	--	---

2.4 Vibraciones

No existen vibraciones en los elementos de trabajo durante el repostaje.

2.5 Localizaciones de trabajo.

2.5.1 Localizaciones.

El suministro de GNL puede ser realizado en múltiples localizaciones debido a que la estación puede ser trasladada a una ubicación previamente designada.

Todos los elementos están incluidos dentro del semitrailer de 3 ejes de suspensión. La unidad es ADR y puede ser transportada con producto dentro sin mayor problemática.

Las localizaciones más comunes son cercanas a estaciones de servicio estándares o dentro de ubicaciones de grandes flotas de camiones de GNL.

Solamente se necesita una conexión de 400 V y una conexión a tierra para operar la estación.

Con anterioridad a establecer la estación en una nueva localización, el propietario debe realizar un plan de seguridad y protección.

2.5.2 Medio ambiente

Condiciones medioambientales extremas de trabajo:

Temperatura ambiente:	-20°C to +40°C
Presión ambiente:	990 hPa to 1020 hPa
Max. cambio de presión ambiente :	20 mbar/h
Humedad:	30% to 90%
Humedad (diseño)	85% @ 30°C
Precipitación (annual)	700 mm
Precipitación (hora)	50 mm
Peso de nieve de diseño:	0.8 kN/m ²
Radiación solar de diseño:	980 Wh/m ²
Velocidad viento de diseño:	120 km/h

2.6 Descripción detallada.

La estación básicamente está compuesta por los siguientes elementos. Observar foto 2.


2.6.1 Semiremolque.

Semiremolque portacontenedor de tres ejes (1), diseñado para soportar una estación de repostaje de GNL.

Sus tareas principales son mover toda la estación de un lugar a otro y mantenerla estable, con cuatro patas de anclaje, durante el funcionamiento normal.

2.6.2 Depósito Criogénico

Se utiliza para almacenar el GNL (2) que se suministra a los camiones y debe rellenarse una vez el nivel bajo es alcanzado. Depósitos especiales con bombas de descarga se usan para este tipo de operaciones.

	VAKUUM	Fecha:	Junio 2019
	MICROFUELER- Estación móvil	Doc.-Num.	MICROFUELER 6947-OMM
	de repostaje de GNL	Rev.:	01
	Especificación técnica	Preparado por:	JSC

Todas las válvulas principales para controlar la operación de llenado y la presión interna están incluidas.

También está incluido todo el Sistema de tubing para operar las válvulas automáticas.

Propiedades principales:

Fabricante:	Vakuum
Tipo:	Horizontal
Modelo:	CAES 1440
Número de serie:	6947
Capacidad:	40.000 l
MWP:	14 bar
Presión de prueba:	19,5 bar
Temperatura de diseño:	-196 / +50 °C
Casco externo:	Acero inox.

2.6.3 Vaporizador de saturación número 1.

Vaporizador atmosférico de saturación 1 **(3)** que se usa, durante las operaciones de carga, para calentar el GNL suministrado desde una cisterna, para alcanzar la presión de equilibrio deseada.

Fabricado en tubo aleteado en aleación de aluminio.

Características principales:

Fabricante:	LOAR
Tipo:	Atmosférico
Modelo:	E65
Número de serie:	12
Capacidad:	11,17 l
MAWP:	30 bar
Presión de prueba:	33 bar
Temperatura de diseño:	-196 / +50 °C
Certificación:	97/23/EC B Module


2.6.4 Vaporizador de saturación número 2.

Vaporizador atmosférico de saturación 2 se usa para, durante las operaciones de carga, calentar el GNL suministrado desde un depósito y alcanzar la presión de equilibrio deseada.

Fabricado en tubos aleteados de aleación de aluminio.

Características principales:

Fabricante:	LOAR
Tipología:	Atmosférico
Modelo:	E66C
Número de serie:	11
Capacidad:	12,6 l
MAWP:	30 bar
Presión de prueba:	33 bar

	VAKUUM	Fecha:	Junio 2019
	MICROFUELER- Estación móvil	Doc.-Num.	MICROFUELER 6947-OMM
	de repostaje de GNL	Rev.:	01
	Especificación técnica	Preparado por:	JSC

Temperatura de diseño: -196 / +50 °C

Certificación: 97/23/EC B Module

2.6.5 Bomba sumergida.

La bomba se instala en la unidad para presurizar el GNL del depósito al tanque del camión. La bomba está sumergida y siempre permanece fría en el depósito.

Características principales:

Fabricante:	ACD
Tipo:	TC 34
Modelo:	C34 1x2x6-2VSL
Número de serie:	184518851-3
Potencia nominal:	28,6 KW
Voltaje:	400 V
Presión diferencial:	9,4 bar
Caudal :	503 l/min

2.6.6 Cajas de potencia y control.

Las cajas de control son dos armarios Eléctricos ATEX **(6)** a cada lado del semiremolque.

Un modem permite comunicarse con la estación en remoto vía Scada.

El panel de control está dividido en dos áreas: Potencia y control:

- **“Potencia”** incluye todos los elementos principales que se le suministran tensión de 400V (3+N) y también el variador de frecuencia o VFD.
- **“Control”** incluye todos los elementos y señales de instrumentos que necesitan 230 V AC or 24 V DC.


La instalación eléctrica está controlada por un PLC que gestiona todos los procesos de la instrumentación. Algunos ejemplos son:

- Almacenaje: Nivel y presión.
- Suministro de GNL: temperatura de carga, presión de carga, caudal, cantidad de GNL cargado,...
- Llenado del tanque principal: Temperatura de GNL, nivel de carga, nivel de presión,...

Además, algunos parámetros de trabajo de alguna estación han de poderse monitorizar y modificar los valores establecidos desde el panel de control en el surtidor de la estación de GNL.

Las características principales de las pantallas de control son:

Fabricante:	Bartec
Modelo:	K101
Número de Serie:	50183 382 (right side) / 0919 476
Voltaje máximo:	400 V
Temperatura de diseño:	-20 / +40 °C

	VAKUUM MICROFUELER- Estación móvil de repostaje de GNL Especificación técnica	Fecha: Junio 2019 Doc.-Num. MICROFUELER 6947-OMM Rev.: 01 Preparado por: JSC
--	--	---

2.6.7 Surtidor.

El GNL es suministrado a los vehículos a través de unos surtidores especialmente diseñados divididos en 2 partes diferentes, la parte hidráulica y la parte eléctrica situada en una cabina presurizada **(7)**. El surtidor obtiene GNL del tanque principal controlado por las válvulas automáticas. En un lado separado se incluye una conexión para retorno de gas y se conecta al tanque de boil-off. Las principales características de la caja presurizada son:

Fabricante:	BARTEC
Tipo:	07-370310210202
Número de serie:	337
Caudal:	150 l/min
Tipo de caudalímetro:	Coriolis
MAWP:	23 bar
Clase de exactitud:	1,5
EU Tipo de certificación:	T10693 2014/32/EU

2.6.8 Marquesina.

Para proteger el surtidor y los clientes durante el repostaje **(8)**, existe una clase de cobertizo en la parte de atrás del semitrailer. Durante el transporte se Cierra totalmente, pero cuando se opera, se puede fijar con la ayuda de dos soportes de inoxidable.

2.6.9 Soplador.

Existe un soplador en la parte delantera del semitrailer que inserta aire a la boquilla de GNL para prevenir la congelación de la junta de la boquilla.

Características principales:


Fabricante:	LEISTER
Tipo:	AIRPACK
Potencia:	2.200 W
Voltaje:	400 V
Caudal :	3.900 l/min
Protección eléctrica:	IP 54

2.6.10 Calentador.

Existe un calentador, que es básicamente una resistencia eléctrica que calienta el aire del soplador para acelerar el deshielo de la boquilla de GNL y su junta. Esta unidad está encapsulada en una caja ATEX y siempre está a presión positive.

Características específicas:

Fabricante:	LEISTER
Tipo:	LHS 61
Potencia:	4 to 9 KW
Voltage:	400 V

	VAKUUM	Fecha:	Junio 2019
	MICROFUELER- Estación móvil	Doc.-Num.	MICROFUELER 6947-OMM
	de repostaje de GNL	Rev.:	01
	Especificación técnica	Preparado por:	JSC

El soplador y el calentador de aire se pondrán en funcionamiento cuando la boquilla de GNL vuelva a su soporte o cuando las fotocélulas (**foto 1**) detectan un nuevo camión para suministro.



Foto 01

2.6.11 Tuberías.

Las tuberías de interconexión han sido fabricadas para conectar los diferentes componentes de la estación. Eso incluye las válvulas manuales y automáticas, así como transmisores de temperatura y presión, y niveles diferenciales. Entre cada dos válvulas donde el GNL puede quedar atrapado, existe una válvula de alivio térmica o TRV con válvulas abiertas bloqueadas.

Las principales características son:

Material de tubería y piping:	AISI 304L/316L
Dimensión máxima:	DN65
Especificación de Espesor:	>= sch 10
Tipo de conexión:	mangueras
Válvulas y mangueras:	>= PN25
MAWP:	18 bar
Presión de prueba:	20 bar
Temperatura de diseño:	-196 / +50 °C
Certificación:	97/23/EC


	VAKUUM MICROFUELER- Estación móvil de repostaje de GNL Especificación técnica	Fecha: Doc.-Num. Rev.: Preparado por:	Junio 2019 MICROFUELER 6947-OMM 01 JSC
--	--	--	---



Foto 02

2.7 Dispositivos externos

El Sistema de pago se instala para controlar los repostajes de los diferentes clientes de la estación. El protocolo del surtidor de la Microfueler es ISFS LON.

3 Transporte, Mantenimiento y Almacenaje de la estación.

3.1 Transporte

Como ya se ha comentado, la estación es auto-transportable ya que todo el equipo está instalado en un semirremolque.

Solamente es necesario para moverla de un lugar a otro, una tractora. La unidad tractor debe cumplir ADR si la estación Microfueler no está inertizada.


3.2 Dimensiones y pesos.

Max Longitud:	12.330 mm
Max Anchura:	2.550 mm
Max Peso:	3.990 mm
Aprox. LNG carga útil @ 85% & 6 bar:	13.600 kg

3.3 Manejo y posicionamiento de la estación.

Mientras la tractora está presente, se puede utilizar para posicionar la estación en la localización final.

Si no hay la posibilidad de tener una cabeza tractora, la Estación se debe mover con una carretilla elevadora adecuada. En este caso, será necesario soltar los frenos presionando

	VAKUUM MICROFUELER- Estación móvil de repostaje de GNL Especificación técnica	Fecha: Junio 2019 Doc.-Num. MICROFUELER 6947-OMM Rev.: 01 Preparado por: JSC
--	--	---

el botón negro dentro de la caja de plástico ubicada en el lado posterior izquierdo del remolque. Observar **foto 03**.

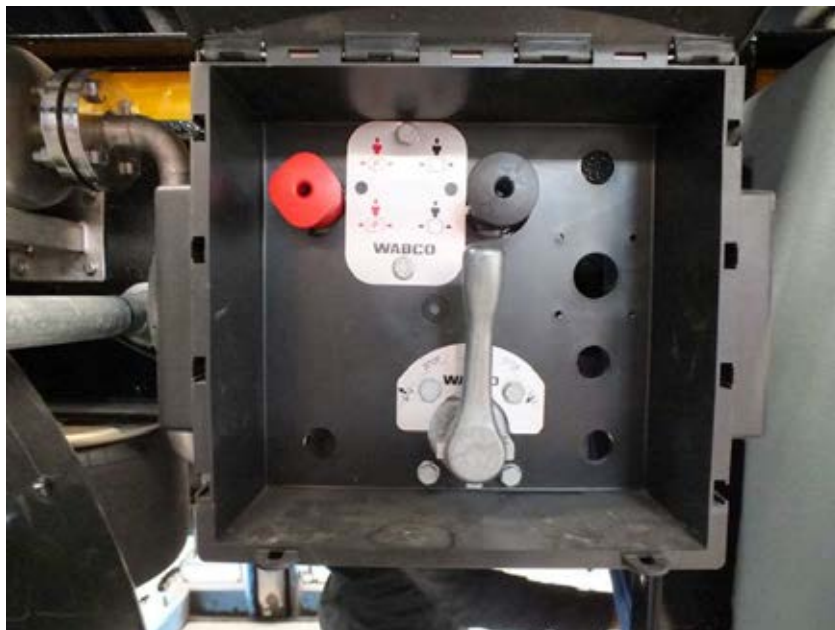


Foto 03

3.4 Condiciones de almacenaje

La estación está diseñada para estar al aire libre, por lo que no se deben tener muchas consideraciones salvo si la estación no trabaja durante un largo periodo.

En ese caso, se advierte vaciar el GNL e inertizar la estación con Nitrógeno para evitar el riesgo de explosión y un riesgo de sobrepresión y venteo no controlado cuando el GNL se ponga demasiado caliente.

Tanto si la estación trabaja o no, también se recomienda bloquear la suspensión y mantener el semitrailer lo suficientemente alto como para dejar los neumáticos sin peso. Esto se consigue gracias a las cuatro patas de anclaje con que se equipa el semitrailer.

3.5 Instrucciones de seguridad


Durante el transporte, los requerimientos legales aplicables al transporte por carretera y los aplicables en su nueva localización se explican en el siguiente capítulo.

4 Instalación y puesta en marcha

4.1 Establecimiento

La semitrailer debe frenarse antes de desacoplar el perno de la quinta rueda del camión. El freno de estacionamiento debe activarse presionando el botón rojo dentro de la caja de plástico ubicada en el lado posterior izquierdo del remolque. Ver foto 4.

Otra seguridad adicional es colocar dos calzos de rueda antes y después de cada una de las ruedas para asegurar que no haya movimiento alguno.

	VAKUUM MICROFUELER- Estación móvil de repostaje de GNL Especificación técnica	Fecha: Junio 2019 Doc.-Num. MICROFUELER 6947-OMM Rev.: 01 Preparado por: JSC
--	---	---

Se debe verificar que las patas de anclaje, 4 unidades, y la zona de suspensión están colocadas en un suelo sólido y estable y que no se deforme por el peso de la Estación.

4.2 Instrucciones de ensamblaje

La estación se envía totalmente montada. No obstante, hay unas pocas operaciones que son necesarias antes de la puesta en marcha.



Foto 04

4.2.1 Conexión eléctrica y arranque de la estación

Antes de conectar los armarios eléctricos, la estación debe conectarse a tierra insertando un poste metálico en el área circundante y conectándolo a una parte metálica del bastidor del semitrailer. Si hay pavimento o una superficie en concreto, el poste metálico debe estar insertado de tal manera que llegue a alcanzar tierra debajo de él.


4.2.2 Presión de los actuadores

Si la estación no tiene GNL o su presión es inferior a 3.5 bar, las válvulas automáticas no se abrirán y no será posible realizar ninguna operación.

Su conexión está localizada en el panel de aire en la parte derecha de la estación. Es necesario suministrar aire a 6 bar para conseguir que la estación funcione.

4.2.3 Marquesina

Para proteger al conductor durante la operación de repostaje, una marquesina puede extenderse. Si se usa una barra diseñada para ese propósito, es posible liberar los puntos de anclaje delanteros girando la palanca 180° con un extremo más pequeño de la barra y luego utilizando el otro extremo subirlo hasta el final. La barra está ubicada en la parte final derecha del semitrailer encima de la caja eléctrica.

	VAKUUM MICROFUELER- Estación móvil de repostaje de GNL Especificación técnica	Fecha: Junio 2019 Doc.-Num. MICROFUELER 6947-OMM Rev.: 01 Preparado por: JSC
--	--	---

4.3 Antes de mover la estación a otro establecimiento

En el caso de que la estación deba moverse a una ubicación diferente, hay varios pasos que tener en cuenta.

- Poner la estación en modo “Desactivado” girando a 0 todos los interruptores.
- Recuperar la manguera de alimentación y almacenarla dentro del bastidor de la estación.
- Si la presión del tanque está cerca de la presión máxima de trabajo o si viajará durante mucho tiempo, se recomienda ventilar manualmente el tanque principal hasta los 8-10 bar. Para hacerlo, deberá abrir la válvula de globo manual, “V24” y verificar la presión con el “PI01” o “PI04”. Esta liberación de presión, especialmente si el tanque está bastante lleno, debe hacerse con cuidado para evitar la descarga de GNL a la atmósfera. También se recomienda mover la estación cuando esté lo más vacía posible.

La conexión a tierra, debe retirarse de su ubicación y almacenarse en su soporte.

También la marquesina debe volver a su posición cerrada.

Y las patas de anclaje deben ponerse en la posición de viaje, para tener la estación preparada para el transporte.

4.4 Condiciones medioambientales

Definidas en el capítulo 2.5.2

4.5 Medidas de seguridad para los usuarios

4.5.1 Características GNL

El gas natural licuado, acrónimo GNL es un hidrocarburo compuesto mayoritariamente por (80%-95%) de metano (CH₄). La parte restante está compuesta por Ethano (C₂H₆), Propano (C₃H₈), Nitrogeno (N₂) y algunas trazas de otros hidrocarburos más pesados. Normalmente se almacena en grandes tanques a una temperatura sobre los -160 °C para mantenerlo en estado líquido.

Una vez el GNL es enviado a consumo a través de tuberías, vaporizadores, bombas y mangueras, este se calienta y se vaporiza. Aunque se mantiene aún muy frío, y los componentes permanecen a baja temperatura cubiertos de escarcha en una fase inicial y hielo a posteriori.

Aun así es normal, y no afecta significativamente el rendimiento de la estación pero los componentes están muy fríos y no deben tocarse sin protección térmica. Observa la **foto 05**.


	VAKUUM MICROFUELER- Estación móvil de repostaje de GNL Especificación técnica	Fecha: Junio 2019 Doc.-Num. MICROFUELER 6947-OMM Rev.: 01 Preparado por: JSC
--	---	---



Foto 05

Debido a las bajas temperaturas, una fuga de GNL puede dañar seriamente las estructuras y conexiones, ya que no están diseñadas para valores criogénicos. Se convierten en frágiles y se pueden romper con facilidad.

En lo que concierne a la gente, el GNL y sus vapores podrían dañar la piel al quemarla en lo que se conoce como "quemadura fría". Una breve exposición a los vapores podría dañar los ojos y otros órganos sensibles. Si la exposición es más larga, podría quemarse y causar enfermedades pulmonares.

Si la piel entra en contacto con una pieza de metal fría, se quedará enganchada. Use agua tibia (no caliente) para liberarse.

En caso de congelación debido a GNL, enjuague con agua tibia, deje la ropa puesta y busque asistencia médica.

El gas natural, como su nombre indica, no es líquido; pero el gas en condiciones normales (0 °C y 1 atm) se comprime a alta presión (alrededor de 200 bar), se conoce como GNC.


Cuando el gas natural en fase líquida se convierte en gas, aumenta su volumen en 600 veces. Esta es una de las razones para almacenarlo a temperaturas criogénicas en fase líquida.

El Gas natural, cuando es líquido, tiene una densidad de alrededor de 0,45 Kg / dm³ y cuando se convierte en gas, alrededor de 0,7 Kg / m³ en condiciones estándar.

Como es más liviano que el aire, si hay una fuga, el gas natural tenderá a subir y dispersarse. Es anormal encontrar concentraciones de gas a nivel del suelo.

El riesgo más alto aparece si hay opciones para tener bolsas de gas en las partes altas. Dentro de la estación y debajo de la semitrailer, no hay tales posibilidades; por lo que no se espera que tenga altas concentraciones de gas en caso de una fuga.

El gas natural no es tóxico ni corrosivo; pero puede causar asfixia ya que reemplaza al oxígeno.

	VAKUUM MICROFUELER- Estación móvil de repostaje de GNL Especificación técnica	Fecha: Junio 2019 Doc.-Num. MICROFUELER 6947-OMM Rev.: 01 Preparado por: JSC
--	--	---

4.5.2 Instrucciones básicas de seguridad

4.5.2.1 Para cualquiera que esté a menos de 15 metros de la estación (considerado localmente):


- Evitar la posibilidad de cualquier chispa, por lo que está prohibido utilizar herramientas como amoladoras, sopletes, cortadores radiales...
- Usar herramientas que no produzcan chispas si se caen al suelo, y aparatos eléctricos con protección según Eex dII BT3
- No usar zapatos con suela metálica o con clavos. Se recomienda utilizar suelas de goma.
- Nunca dejar a un trabajador solo en un área peligrosa o durante la operación de repostaje. En este caso, alguien más debe estar lejos del área pero con una buena imagen y listo en caso de que se le solicite que asista con un extintor de incendios u otros medios de prevención.
- Mantener el área limpia, especialmente de materiales combustibles como papel, madera, plásticos...
- Elimine cualquier fuga, incluso pequeña, una vez detectada.

4.5.2.2 Además, está totalmente prohibido:

- Fumar o encender cualquier fuego.
- Soldar algo dentro del área de seguridad.
- Manipular las válvulas de vacío del tanque sin la presencia de personal de HAM.
- Manipular cualquier medidor, transmisor, dispositivo de seguridad si no está autorizado.
- Soldar en cualquier tubería, dentro del área inflamable, incluso si está vacía de gas natural.
- Si es absolutamente necesario, se debe usar nitrógeno o un gas equivalente para realizar el inertizado del gas natural. Una vez hecho esto, el área estará controlada para verificar que no queden rastros.
- Reemplazar cualquier elemento bajo presión o en estrecho contacto con LNG.
- Manipular cualquier elemento sospechoso de estar a baja temperatura sin guantes criogénicos.
- Trabajar / manipular con grasa o aceite.
- No seguir las instrucciones de seguridad incluidas en los paneles e íconos de advertencia dentro de áreas peligrosas.

5 Subconjuntos y sistemas operativos:

A continuación se realiza una descripción resumida de las principales operaciones realizadas en / por la Estación. Básicamente, hay 3 operaciones principales que se pueden realizar: la estación puede ser cargada por otra cisterna de GNL; Puede suministrar GNL a camiones y, finalmente, puede llenar instalaciones criogénicas como plantas satélites de Regasificación o plantas vehiculares. Todas las etiquetas de válvulas e instrumentos se pueden encontrar en P&ID.

	VAKUUM MICROFUELER- Estación móvil de repostaje de GNL Especificación técnica	Fecha: Junio 2019 Doc.-Num. MICROFUELER 6947-OMM Rev.: 01 Preparado por: JSC
--	---	---

5.1 Subconjuntos

5.1.1 Panel neumático.

Este panel neumático está situado en el centro de la estación. Es donde se debe conectar el aire externo de la planta para tener presión en la Microfueler. Consulte la imagen a continuación para comprender la utilización de cada comando. Consulta ahí, cada elemento descrito en el panel:

BOTON V1 Líquido:

Apretado= Válvula V1 abierta. INDICADOR VERDE

Suelto = Válvula V1 cerrada. NO INDICADOR VERDE

BOTON V2 Gas:

Apretado= Válvula V2 abierta. INDICADOR VERDE

Suelto = Válvula V2 cerrada. NO INDICADOR VERDE

AIRE PLANTA/TRAILER:

Planta = Aire viene de la conexión de aire exterior.

INDICADOR VERDE

Tráiler= Aire viene de la conexión de la tractora. NO INDICADOR VERDE



Foto 06

ALIMENTACIÓN: CONEXIÓN DE AIRE DESDE FUENTE EXTERNA.

Esta conexión es altamente recomendada debido a que es una conexión ESD bidireccional, y es una medida adicional de seguridad porque si la unidad móvil tiene una emergencia, el aire se libera en este punto y se avisa a la planta. Además, por otro lado, si la planta libera aire cuando hay una ESD y no hay presión de aire en este punto, la unidad móvil también se detiene.

Todos los actuadores de válvulas automáticas están conectados a la presión de aire. Se utilizan dos reductores de presión para ajustar los valores requeridos, controlados por un indicador de presión analógico.

El primero sirve para controlar la presión neumática de los actuadores desde las válvulas de llenado inferior y superior (actuadores de goma) y el segundo es para controlar la presión neumática de los actuadores del resto de las válvulas (actuadores verdes).

Observar **foto 07 y 08.**


	VAKUUM MICROFUELER- Estación móvil de repostaje de GNL Especificación técnica	Fecha: Junio 2019 Doc.-Num. MICROFUELER 6947-OMM Rev.: 01 Preparado por: JSC
--	--	---



Foto 07



Foto 08

5.1.2 Panel de control

5.1.2.1 Cuadro de control (BOX 1)

En la parte posterior derecha, se coloca la caja de control (BOX 1). Esta es la caja principal a la que viene la fuente de alimentación externa y alimenta los 400 V, 230 V y 24 V. A continuación, se describen varios botones, conexiones, etc.

PLANTA LISTA: luz verde ENCENDIDA = Tensión OK

SELECTOR 220V:

0 = 220 V No conectado

1 = 220 V Conectado

SELECTOR 24 V:

0 = 24 V No conectado

1 = 24 V Conectado

RESET DE EMERGENCIA:

Restablecer emergencia.

SELECTOR STAND BY / SURTIDOR / DESCARGA:

Stand By = Unidad en modo Stand By

Modo de SURTIDOR = unidad como una estación de servicio de GNL

Modo de descarga = Unidad como un semitrailer de GNL que entrega GNL

BOTÓN ESD:

ESD Presionado = Emergencia activada

ESD liberado = Emergencia desactivada


	VAKUUM MICROFUELER- Estación móvil de repostaje de GNL Especificación técnica	Fecha: Junio 2019 Doc.-Num. MICROFUELER 6947-OMM Rev.: 01 Preparado por: JSC
--	--	---



Foto 09

5.1.2.2 CUADRO DE POTENCIA (BOX 2)

Esta caja eléctrica, se utiliza principalmente para la bomba de GNL. A continuación se describen varios botones, conexiones, etc.

LUZ VERDE = Reserva 1

SELECTOR DE ALIMENTACIÓN:

0 = NO fuente de alimentación de la bomba

1 = fuente de alimentación de la bomba

SELECTOR 2 = Reserva 2

BOTÓN 3: Reserva 3

SELECTOR 4:

0 = soplador de aire parado

1 = soplador de aire en modo automático

BOTÓN ESD:

ESD Presionado = Emergencia activada

ESD liberado = emergencia desactivada

La rotación del soplador debe verificarse cuando la unidad móvil está instalada. Se verifica con el SELECTOR 4 en la posición 1 y luego se extrae la boquilla de LNG del receptáculo y, después de 10 segundos, se coloca nuevamente en el receptáculo y se verifica si el flujo de aire llega a la boquilla. Si se trata de la boquilla de GNL, la rotación es correcta, si no se cambian DOS de las tres fases en la línea de alimentación.


	VAKUUM MICROFUELER- Estación móvil de repostaje de GNL Especificación técnica	Fecha: Junio 2019 Doc.-Num. MICROFUELER 6947-OMM Rev.: 01 Preparado por: JSC
--	--	---



Foto 10

5.1.2.3 CAJA DE SURTIDOR (BOX 3)

Esta caja eléctrica, se utiliza principalmente para el repostaje de GNL y también para la entrega de GNL a otras aplicaciones. A continuación se describen varios botones, conexiones, etc.

BOMBA MANUAL SELECTOR (solo para usos de descarga)

Carga de la bomba: el punto de ajuste de la bomba es el % de la potencia de la bomba.

Presión de salida de la bomba: El punto de ajuste de la bomba es la presión de salida.

BOTÓN ESD:

ESD Presionado = Emergencia ON

ESD liberado = emergencia desactivada

BOTÓN DE INICIO

Botón presionado = Comenzar a repostar combustible (TAMBIÉN EL BOTÓN DEL HOMBRE MUERTO al rellenar) / Comenzar a descargar

BOTÓN DETENER

Botón presionado = Detener repostaje / Detener descarga

GIRO DE REGULACIÓN (sólo para fines de descarga)

PUNTO DE REGULACIÓN SET POINT, regulación de giro, potencia o presión.


	VAKUUM MICROFUELER- Estación móvil de repostaje de GNL Especificación técnica	Fecha: Junio 2019 Doc.-Num. MICROFUELER 6947-OMM Rev.: 01 Preparado por: JSC
--	--	---



Foto 11

5.2 Carga de la MICROFUELER.


Cuando la estación está vacía o casi, o simplemente queremos subir el nivel, otro camión cisterna debe acercarse y volver a llenar la estación. También esta estación, cuando se usa como una cisterna tradicional de almacenaje de GNL, puede ir a una terminal para ser rellenada.

Hay 4 conexiones para rellenar la estación, dos pares de 2" y dos pares de 3". Los de 3" están situados uno a cada lado y están conectados al fondo del recipiente o cisterna. Los 2 pares de 2" están conectados a la parte superior del recipiente y también se ubican a cada lado. Por lo general, cuando la estación móvil se llena en una terminal de GNL, se utilizan ambas conexiones, se llena desde la parte inferior y conecta la fase de gas a la terminal.

Cuando la estación se usa como una estación de repostaje de combustible y otra cisterna de GNL la llena, las conexiones utilizadas serán las conexiones SUPERIORES.

Para operar las válvulas de llenado inferior y superior, debemos tener presión de aire y a través de la fuente de aire externa. El operador tiene que activar el BOTÓN V1 líquido o el BOTÓN V2 de acuerdo con la válvula que desea operar. Para más detalles, consulte el manual en el punto 7.3 PROCEDIMIENTO DE CARGA / DESCARGA.

Consulta *Annexo 5.2.2 Truck Tank Refilling P&Id*.

	VAKUUM MICROFUELER- Estación móvil de repostaje de GNL Especificación técnica	Fecha: Junio 2019 Doc.-Num. MICROFUELER 6947-OMM Rev.: 01 Preparado por: JSC
--	--	---

5.3 Repostaje de tanque de camión.

MicrofueLER se utiliza como una estación de GNL para repostar los tanques de los camiones. Para este propósito hay un manual de llenado específico para que el usuario siga el procedimiento indicado. Antes, el mantenedor u operador de la estación debe colocar los interruptores de las cajas de control en la siguiente posición:

CONTROL BOX, parte posterior derecha (BOX 1):

PLANTA PREPARADA: LUZ VERDE ON= Tensión OK

SELECTOR 220V: 1= 220 V Conectado

SELECTOR 24 V: 1= 24 V Conectado

SELECTOR STANBD BY/SURTIDOR/DESCARGA:

Surtidor modo = Unidad como una estación de GNL

ESD BUTTON: ESD liberado = Emergencia OFF

CAJA DE POTENCIA, parte posterior izquierda (BOX 2)

SELECTOR POWER SUPPLY: 1= suministro potencia bomba

SELECTOR 4: 1 = soplador en modo automático

BOTON ESD: ESD liberado = Emergency OFF

Una vez que los interruptores están en esta posición, la estación está lista para repostar GNL a los camiones de GNL. El manual es el Anexo 5.3.1 *INSTRUCCIONES DE REPOSTAJE*.

Observa el *Annexo 5.3.2 Truck Tank Refuelling P&Id*.

5.4 Carga de la cisterna de GNL

La unidad también podría usarse como una cisterna de GNL y rellenar los tanques de GNL en las plantas de Regasificación o en otras estaciones vehiculares. En este caso, el líquido no pasa por el medidor de caudal debido a la pérdida de presión y el líquido sale directamente al lado posterior derecho del semitrailer por una Brida DN 50 después de abrir la válvula manual V26. Para este propósito, primero el operador debe configurar los selectores de los paneles de la siguiente manera:


	VAKUUM MICROFUELER- Estación móvil de repostaje de GNL Especificación técnica	Fecha: Doc.-Num. Rev.: Preparado por:	Junio 2019 MICROFUELER 6947-OMM 01 JSC
--	--	--	---



Foto 12

CAJA DE CONTROL, parte posterior derecha (BOX 1):

PLANTA PREPARADA: Luz verde ON= Tensión OK

SELECTOR 220V: 1= 220 V Connected

SELECTOR 24 V: 1= 24 V Connected

SELECTOR STANBD BY/SURTIDOR/DESCARGA: **Modo descarga = Unidad como cisterna de suministro de GNL**

BOTON ESD: ESD Liberado= Emergencia OFF

CAJA DE POTENCIA, parte posterior izquierda (BOX 2)

SELECTOR SUMINISTRO POTENCIA: 1= Bomba suministro potencia

SELECTOR 4: 1 = Soplador en modo automático

BOTON ESD: ESD liberado = Emergencia OFF

Después de colocar los interruptores en las cajas de control, el operador está listo para entregar el GNL por la conexión DN 50 trasera derecha. El control de la bomba de GNL lo realiza el operador utilizando los controles en el panel de control, a continuación se explica cada uno de los controles de esta operación.

CAJA DE SURTIDOR, (BOX 3)


El BOTÓN DE ARRANQUE se presiona para arrancar la bomba y luego se debe controlar de dos maneras diferentes, dependiendo de la presión de salida o el porcentaje de la potencia de la bomba, a continuación se explican ambas formas de operación:

BOMBA MANUAL SELECTOR (solo para descarga)

Carga de la bomba: el punto de ajuste de la bomba es el % de la potencia de la bomba. Se utiliza cuando tiene una presión baja en el tanque receptor y desea poder alcanzar un determinado caudal.

Presión de salida de la bomba: El punto de ajuste de la bomba es la presión de salida. Se usa cuando se conoce su presión en el tanque receptor y es alta, en este caso el flujo no es tan importante como antes.

BOTÓN ESD: Liberar ESD = Emergencia DESACTIVADA

	VAKUUM MICROFUELER- Estación móvil de repostaje de GNL Especificación técnica	Fecha: Junio 2019 Doc.-Num. MICROFUELER 6947-OMM Rev.: 01 Preparado por: JSC
--	--	---

GIRO DE REGULACIÓN (sólo para fines de descarga)

PUNTO DE REGULACIÓN SET POINT, regulación potencia o presión. Esta regulación se utiliza para subir o bajar la configuración elegida, el porcentaje de potencia o la presión de salida.

El botón STOP se usa para detener la bomba cuando finaliza la carga o cuando el operador lo necesita o lo desea.

Ver Anexo 5.4 LNG Vessel Refilling P & Id

5.5 Parámetros de la cisterna. Presión, nivel y presión de vacío

Los parámetros del tanque principal, el nivel de llenado y la presión se pueden leer en cualquiera de los dos colectores ubicados en el costado de la cisterna, en la parte trasera de la caja del surtidor. También conectado a uno de los colectores, hay un transmisor de presión.

El nivel de vacío de la cámara intermedia de la cisterna se puede controlar mediante las válvulas **TV1** (abierta) y **TC1** y un equipo de control especial. Vea la **imagen 13 y 14** para la ubicación de estas válvulas.



Picture 13




Picture14

5.6 Sobrepresión de la Microfueler.

Si se detecta una sobrepresión inusual dentro del tanque principal, se debe verificar la causa raíz.

Como una primera medida paliativa, existe una válvula de ventilación manual (**V24**) que libera presión a la atmósfera a través de las válvulas de seguridad de la línea de ventilación. Si no se realiza ninguna acción, cuando la presión suba por encima de 14 bar, un conjunto de válvulas de seguridad (**PSV-01 o PSV-02**) (dependiendo de la posición del desviador) libera la sobrepresión para ventilar la línea, y luego, si la presión aumenta por encima de 15 bar, la válvula de seguridad **PSV-03** también se abre.

	VAKUUM MICROFUELER- Estación móvil de repostaje de GNL Especificación técnica	Fecha: Junio 2019 Doc.-Num. MICROFUELER 6947-OMM Rev.: 01 Preparado por: JSC
--	---	---

Una válvula de desvío (**DRV**) permite seleccionar manualmente qué par de válvulas de seguridad están "en servicio" girando la palanca del desviador (-90° / 0° / $+90^\circ$). Ninguna posición de palanca cierra todas las válvulas de conexión; Si no se selecciona ningún par de válvulas, todas están "en servicio". Ver **foto 15**.

El cambio de las válvulas se realizará después de cualquier liberación de presión del par actual.

Si se prevé un largo período de inactividad, se recomienda no rellenar el tanque, ya que la presión aumentará rápidamente a valores no deseados. También es una buena práctica, en este caso, monitorear el valor de la presión con mayor frecuencia. También se recomienda abrir el **V-24** en un modo controlado para mantener baja la presión, evitando la ventilación inesperada de las válvulas de seguridad.



Foto 15

5.7 Ventilación centralizada

Fuera de línea de ventilación de las válvulas de seguridad, hay otra línea de ventilación centralizada donde el resto del equipo puede liberar presión.


Si el alivio térmico (TRVXX) o las válvulas de seguridad de otras cisternas o botellas secundarias se abren, toda la presión liberada se dirigirá a un colector de ventilación conectado a una tubería de ventilación centralizada.

Cualquier otra línea de ventilación también se conectará al colector de ventilación o directamente a la tubería de ventilación centralizada.

Estos dos tubos de ventilación son la única conexión entre el tanque y las tuberías y el medio ambiente.

5.8 Sistemas auxiliares.

Consultar anexo 5.8 *Auxiliary systems refuelling station*.

	VAKUUM MICROFUELER- Estación móvil de repostaje de GNL Especificación técnica	Fecha: Junio 2019 Doc.-Num. MICROFUELER 6947-OMM Rev.: 01 Preparado por: JSC
--	---	---

5.8.1 Sistema de detección de gas

Hay 2 detectores de gas (GD1, GD2) ubicados en la parte delantera derecha de la semitrailer y otro en el colector de válvulas, detrás del panel del surtidor.

ACCIÓN:

Si se detecta gas natural, la fuente de alimentación se apaga y las válvulas se cierran.

REARMAR:

No se detecta gas natural y pulsar botón RESET.

5.8.2 ESD

En caso de una emergencia, es importante llevar la Estación a su posición segura lo más rápido posible. Para este propósito se proporciona un sistema de parada de emergencia (ESD).

El sistema se activa mediante botones de emergencia ubicados estratégicamente alrededor de la Estación que enviarán información al PLC para apagar todas las válvulas y motores relevantes.

Para desbloquear pulsadores de emergencia basta con:

- Tire energéticamente de cualquiera de ellos, excepto ESD03 y ESD04.
- Gire a la derecha 90 ° y el botón volverá automáticamente a la posición original.

En esta instalación podemos dividir en 2 tipos de ESD, los neumáticos (ESDp) y los eléctricos (ESDe):

ESDp (Emergency shut down pneumatically)

UBICACIÓN:

Hay 4 botones neumáticos ESD (ESDp 1, ESDp 2, ESDp 3, ESDp 4) ubicados en cada esquina del recipiente.

ACCIÓN:

Si se presiona un botón, el aire se libera y, en consecuencia, cierra las válvulas neumáticas.

REARMAR:


Extraiga el botón ESD hacia fuera.



Picture 16

ESDe (Emergency shut down electrical)

UBICACIÓN:

	VAKUUM MICROFUELER- Estación móvil de repostaje de GNL Especificación técnica	Fecha: Junio 2019 Doc.-Num. MICROFUELER 6947-OMM Rev.: 01 Preparado por: JSC
--	--	---

Hay 3 botones eléctricos de ESD neumáticos (ESDe 1, ESDe 2, ESDe 3) ubicados en la caja de alimentación, la caja de control y panel de control del surtidor.

ACCIÓN:

Si se presiona el botón, la fuente de alimentación está apagada y las válvulas se apagan.

REARMAR:

Extraiga el botón ESD y pulsa el botón RESET.



Picture 17

5.8.3 Sistema de hombre muerto

Para evitar que el conductor abandone el área de repostaje de combustible durante la operación o en caso de que pueda tener problemas, hay un botón de "Hombre muerto" en el surtidor; Si no se presiona, al menos una vez por minuto, se detiene la operación de repostaje.


Este botón está en cuadro del surtidor.



Picture 18

5.8.4 PT100 (sensors de temperatura)

Hay 2 sensores de temperatura (TT05, TT06) ubicados en la pata de apoyo delantera derecha y en la pata trasera izquierda para detectar bajas temperaturas, en caso de que

	VAKUUM MICROFUELER- Estación móvil de repostaje de GNL Especificación técnica	Fecha: Junio 2019 Doc.-Num. MICROFUELER 6947-OMM Rev.: 01 Preparado por: JSC
--	---	---

se derramen GNL en el suelo o en caso de que haya algún incendio cerca de los sensores de temperatura.

ACCIÓN:

Si la temperatura está por debajo de consigna o por encima de consigna establecida, la fuente de alimentación se apaga y las válvulas se cierran.

REARMAR: temperatura OK y pulsar botón RESET



Picture 19

5.8.5 Extintores

La estación está provista de dos extintores de incendios:

- Uno adjunto a la pata de aterrizaje delantera izquierda.
- Otro adjunto al lado trasero derecho de la cisterna.

Ambos están protegidos dentro de un armario de plástico.


6 Comportamiento frente a emergencias.

6.1 Fuego eléctrico

Pueden originarse en el cuadro de distribución general, en cualquiera de los paneles eléctricos de baja tensión o en uno de los paneles de control. La magnitud de este tipo de incendio generalmente no es muy grande, por lo tanto, actúe rápidamente si puede evitar que se propague a otras partes de la instalación.

Proceder según las siguientes indicaciones:

- Declarar la condición de emergencia. Esa situación detiene inmediatamente el funcionamiento de la estación y, por lo tanto, el consumo de energía de la misma y pone en alerta al personal de la empresa.
- Extinción de incendios con cualquiera de los extintores portátiles disponibles. Evite el uso de agua a menos que esté seguro de haber desconectado cualquier alimentación posible de la estación.
- Fuente de alimentación APAGADO. Si no sucedió antes, apague la fuente de alimentación, preferiblemente desde el interruptor principal si es posible y dependiendo de la posición del incendio.

	VAKUUM MICROFUELER- Estación móvil de repostaje de GNL Especificación técnica	Fecha: Junio 2019 Doc.-Num. MICROFUELER 6947-OMM Rev.: 01 Preparado por: JSC
--	---	---

Una vez que se haya extinguido el incendio, la estación no volverá a iniciarse hasta que una inspección por parte de una empresa de servicio autorizada haya dictado las causas del incidente y resuelva el problema.

6.2 Incendio de una Fuente externa

Si se origina un incendio en la proximidad de la instalación (por ejemplo, un vehículo), proceda de la siguiente manera:

- Declarar la condición de emergencia para notificar la circunstancia.
- Alejar el origen del incendio si es posible (por ejemplo, en un incendio de un vehículo)
- Extinción. Si hay fuego cerca de la estación, intente apagar el fuego además de alejarlo. Se puede usar agua para enfriar las partes de gas cercanas, siempre que no afecten directamente el sistema eléctrico. Desconecta previamente.
- La alimentación se apaga. Cierre el suministro eléctrico si es posible desde el interruptor principal.

Después del incidente, antes de volver a poner en servicio la instalación, debe asegurarse de que no haya sufrido ningún tipo de daño, alertando al servicio de asistencia en caso de dudas antes de volver a comenzar.

6.3 Fuego de gas.

Un incendio provocado por gas se produce en forma de llama más o menos controlada con origen en una fuga en algún lugar de la instalación. La forma más efectiva de controlar el fuego es apagar el suministro de gas hasta este punto, por lo que el fuego se extingue de inmediato. No sirve de nada intentar extinguir el fuego sin cerrar el suministro de gas.

Proceder de la siguiente manera:

- Declare la condición de emergencia activando cualquier botón de emergencia. Inmediatamente las válvulas automáticas se cerrarán. Hay una buena probabilidad de que el fuego se reduzca después.
- Cierre de la fuente de alimentación. Si es posible, apague la fuente de alimentación del interruptor principal.
- Extinción. Una vez que se interrumpe el flujo de gas, se pueden combatir las llamas alrededor del punto de fuga. La terminación se realizará con extintores de polvo ubicados en varios puntos del sistema. El agua utilizada para extinguir un incendio causado por el gas prácticamente no tiene efecto.

La estación no estará en servicio antes de que se hayan investigado las causas del incendio y se hayan tomado las medidas adecuadas.


6.4 Acumulación de gas.

Según el diseño de esta instalación, no existe la posibilidad de tal evento, ya que todos los espacios están abiertos y ampliamente ventilados.

6.5 Explosión por sobrepresión de gas.

Si la presión del gas dentro de un recipiente o tubería supera su resistencia mecánica, podría producirse una explosión, por lo general, al abrir una grieta en el punto más débil, lo que permitirá que el gas se escape, lo que puede declarar un incendio en brevedad.

Acciones a tomar son las mismas que el capítulo anterior.

	VAKUUM MICROFUELER- Estación móvil de repostaje de GNL Especificación técnica	Fecha: Junio 2019 Doc.-Num. MICROFUELER 6947-OMM Rev.: 01 Preparado por: JSC
--	---	---

6.6 Recomendaciones generales.

La forma correcta de actuar frente a cualquiera de los incidentes descritos es siempre muy similar:

Mantente fresco, actúa con calma evitando riesgos innecesarios. ALERTA a las personas que puedan verse afectadas por el riesgo.

Presione el botón de PARADA DE EMERGENCIA si está cerca de usted y es accesible. Al presionar un botón de emergencia, el sistema cerrará automáticamente las válvulas automáticas y se interrumpirá cualquier operación de carga o reabastecimiento.

Apague la fuente de alimentación si es posible desde el interruptor principal.


En caso de incendio, proceder a la extinción con el equipo disponible. Use extintores para cualquier incendio. Use agua solo si los incendios externos o las necesidades de refrigeración de las instalaciones adyacentes.

En caso de incendio grande que no pueda extinguirse localmente, avise inmediatamente al departamento de extinción de incendios y las fuerzas de seguridad.

7 Solución de problemas.

7.1 Instrumentación, válvulas e instalación

PROBLEMA	CAUSA	SOLUCIÓN
Válvula se mantiene abierta	Hielo en el cierre	Enjuague con agua tibia
	Juntas dañadas o agarrotadas	Reemplace las juntas
	Daños graves en los componentes internos de las válvulas	Reemplace todo el ensamblaje
Válvulas de seguridad se mantienen abiertas después del servicio	Algo de hielo bloquea el cierre	Cambia a otro par de válvulas mediante el divertor
TRV o válvulas de seguridad que no abren según consigna	Establecido un valor erróneo	Inserte el valor correcto
	Válvula bloqueada	Reemplazar
Fugas	Juntas de mangueras o empalmes con bridas sueltas	Volver apretar correctamente


	VAKUUM MICROFUELER- Estación móvil de repostaje de GNL Especificación técnica	Fecha: Junio 2019 Doc.-Num. MICROFUELER 6947-OMM Rev.: 01 Preparado por: JSC
--	--	---

	Junta agarrotada	Reemplazar junta
Sin tensión	Interruptor de protección a posición "0"	Girar interruptor a posición "1"
	Cable principal no conectado/sin alimentación externa	Verificar con la instalación responsable
	ESD restablecido sin tensión después	Presionar el botón de rearme
La estación no puede funcionar como se esperaba	El botón ESD está presionado	Revisar que ningún ESD está presionado. Rearmar planta.
	Interruptor de modo de estación mal configurado	Cambiar a modo deseado
	Válvulas automáticas no reaccionan	Verifique el regulador de presión de la línea de pilotaje y actúe en consecuencia
Baja presión de la cisterna	Alguna válvula manual conectada a la línea de venteo no está completamente cerrada.	Revise todas las válvulas y ciérrelas completamente.

7.2 Semitrailer.

PROBLEMA	CAUSA	SOLUCIÓN
El semirremolque se mantiene frenado	Línea de suministro (acople rojo) no conectado	Conecta la línea de suministro al tráiler
	Freno de estacionamiento activado	Desactive freno de estacionamiento
	Alguna puerta de la estación está abierta	Cierre todas las compuertas
Las patas de sujeción se hunden en el suelo	Suelo demasiado blando	Añade un compartidor de carga

7.3 Bomba de GNL

	VAKUUM MICROFUELER- Estación móvil de repostaje de GNL Especificación técnica	Fecha: Junio 2019 Doc.-Num. MICROFUELER 6947-OMM Rev.: 01 Preparado por: JSC
--	--	---

PROBLEMA	CAUSA	SOLUCIÓN
Bomba no presuriza	Línea de salida cerrada	Abra válvulas
	No suficiente LNG	Rellene la cisterna
	Cavitación	Suba la presión de la cisterna
Fallo eléctrico	Humedad en el Sistema eléctrico	Resiga todas las conexiones y séquelas
	No suficiente contacto eléctrico	Tensa y revisa todas las conexiones

8 Instrucciones de mantenimiento.

8.1 Uniones con bridas y dispositivos de tres piezas

Cada seis meses, compruebe el ajuste de las tuercas de los pernos de la brida, si es necesario, apriételos en forma de cruz.

Cada seis meses, compruebe que no haya fugas en las juntas (use un detector de fugas de spray o agua jabonosa), debe detectar fugas y apretar los tornillos en forma transversal. Si la fuga persiste, reemplace la unión que se encuentra entre las dos bridas.

Cada seis meses, compruebe si hay fugas en las uniones hechas por los dispositivos de tres piezas. Si se detecta una fuga, apriete el enlace. Si la fuga persiste, use teflón líquido en el enlace.

8.2 Filtros.

Cada seis meses, limpie los filtros.

Antes de abrir el filtro, cierre las válvulas de gas y líquido del circuito, despresurice el circuito utilizando la válvula en fase de gas.

Coloque el teflón líquido en el asiento de la tapa antes de cerrarlo.

8.3 Válvulas manuales

Cada seis meses, compruebe si hay fugas en la válvula (utilice un detector de fugas o agua jabonosa), si se detectan fugas, ténselas.


Cada seis meses, compruebe si hay fugas en la unión del vástago de la válvula con el cuerpo, si se detectan fugas, apriete los tornillos. Cuando se aíslan válvulas solo si se sospecha.

Si la fuga no se resuelve apretando el casquillo o los tornillos, retire la válvula y reemplace la junta o el sello ubicado entre el vástago y el cuerpo.

Cada 6 meses, retire la válvula y verifique el cierre del asiento, si está dañado o desgastado, cámbielo por uno nuevo. En el caso de válvulas aisladas solo si se sospechan fugas.

8.4 Válvulas automáticas

Cada seis meses, verifique el estado y las posibles fugas de los circuitos de aire que controlan estas válvulas.

	VAKUUM MICROFUELER- Estación móvil de repostaje de GNL Especificación técnica	Fecha: Junio 2019 Doc.-Num. MICROFUELER 6947-OMM Rev.: 01 Preparado por: JSC
--	---	---

Cada seis meses, compruebe que estas válvulas no tengan fugas a través de la glándula, apriete en caso de fuga.

Cada seis meses, compruebe la estanqueidad de todos los tornillos existentes en las válvulas y los actuadores neumáticos.

Cada 18 meses, retire la válvula y verifique el estado de las juntas existentes, si están dañadas o desgastadas, reemplácelas

8.5 Equipos de llenado

Inspeccionar cada seis meses, verificando su estado y, en particular, la ausencia de fugas o el deterioro de la salida de las mangueras de llenado.

Cada 2 años debe proceder a verificar el funcionamiento correcto de los elementos de medición y recalibrarlos si es necesario. Cambie los asientos de las válvulas.

Después de cuatro años debe proceder al reemplazo de las secciones flexibles de las mangueras de llenado.

Control anual del sistema de fugas, válvulas de conexión, corrosión y abrazaderas.

Controlar cada dos años los elementos de lectura y los dispositivos de seguridad.

Recalibración de válvulas de seguridad.

Fugas anuales del sistema de control, válvulas de conexión, corrosión y abrazaderas.

8.6 Estado del vacío de la cisterna.

Se recomienda controlar el valor de vacío de la cámara de aislamiento cada seis meses.

Si existe alguna sospecha de pérdida de vacío, el valor debe verificarse inmediatamente y con una frecuencia más alta. De diario a semanal dependiendo del ratio de pérdida de vacío.

8.7 Instalación eléctrica

Una vez al año se debe revisar la instalación eléctrica. El mantenedor autorizado emitirá el certificado correspondiente.

Durante esta inspección, la revisión debe proceder a verificar el consumo, la estanqueidad de los terminales, el funcionamiento del equipo de protección (disyuntores y diferencial), masa, consumo, compresión en los terminales, desgaste del motor ...

8.8 Sistema de extinción de incendios.

Las inspecciones y el mantenimiento de los equipos portátiles contra incendios en la estación deben ser realizados por una empresa certificada.

8.9 Bomba de GNL


Consulte las instrucciones de mantenimiento del proveedor de la bomba de GNL.

8.10 Limpieza y mantenimiento general

La estación, así como los alrededores, deben conservarse en buen estado y limpios de polvo, papeles, escombros y cualquier otro material que no forme parte de la Estación o de sus servicios.

8.11 Libro de mantenimiento

Se recomienda que la Estación tenga un libro de mantenimiento donde se deben anotar todas las intervenciones realizadas en la estación, ya sea de mantenimiento preventivo o correctivo. Este libro estará en posesión de la empresa de mantenimiento.

	VAKUUM MICROFUELER- Estación móvil de repostaje de GNL Especificación técnica	Fecha: Junio 2019 Doc.-Num. MICROFUELER 6947-OMM Rev.: 01 Preparado por: JSC
--	---	---

8.12 Calificación del personal

Todo el personal o el personal involucrado en la operación y / o el mantenimiento de la estación deben estar previamente capacitados para realizar su tarea.

Además deben ser formados en la manipulación de gases y productos criogénicos.

9 Desmantelar la estación

9.1 Instrucciones

Si al final de su vida productiva, la estación es desmantelada, se deben seguir los siguientes pasos:

Todos los recipientes a presión, así como, la tubería y la tubería deben estar vacíos de GNL / GNC. Se debe tener especial cuidado para evitar accidentes relacionados con el GNL vaporizado y / o con una temperatura muy baja de los productos almacenados / transportados.

Todos los recipientes, tuberías, tubos, vaporizadores deben estar inertes con nitrógeno hasta una concentración de GN inferior al 1%. El flujo de nitrógeno debe dirigirse a un lugar seguro ya que puede producir asfixia por desplazamiento de oxígeno. Elimine el vacío de la cámara intermedia del contenedor y la línea de suministro del surtidor. Para ello, se puede utilizar la boquilla de entrada / salida de vacío. Como alternativa, también es posible taladrar un orificio en la cámara de vacío de comunicación exterior de la carcasa / tuberías con el entorno.

9.2 Reciclaje de componentes

Cuando la Estación esté definitivamente fuera de servicio, pueden separarse en diferentes subconjuntos o partes.

La mayoría de ellos podrían / serán reutilizados dentro de otras estaciones o plantas industriales.


Para aquellos que deben eliminarse, se aplicarán las regulaciones europeas y locales.

En términos generales, la estación está compuesta por:

- Acero inoxidable: contenedor ISO, surtidor, tuberías y tubos, instrumentación y algunos recipientes, bombas de GNL y GNC.
- Acero al carbono: principalmente bastidor de semirremolque, ejes y suspensiones, estructuras de soporte y algunos recipientes, bombas de GNL y GNC.
- Aluminio: Vaporizadores.
- Goma: Neumáticos semirremolque.
- Otros materiales menos los ferríticos pero sintéticos: Válvulas e instrumentos.
- Vidrio: Instrumentación de medición.

Los componentes comentados se podrían reciclar de la forma habitual. El personal calificado de las empresas de reciclaje capacitado puede clasificar diferentes materiales y procesarlos de la mejor manera.

Se deben seguir SIEMPRE las regulaciones nacionales / locales, así como, los procedimientos.

	HAM CRIOGÉNICA, S.L. Refuelling Station Technical Specification	Date: Doc.-No. MACROFUELER Rev.: 02 Prepared by: JSC
--	---	---

HAM CRIOGÉNICA, S.L.

MACROFUELER

Mobile LNG Refuelling Station for

REFUELLING INSTRUCTIONS



	HAM CRIOGÉNICA, S.L. UMR08-43 Mobile LNG Refuelling Station Technical Specification	Date: Doc.-No. Rev.: Prepared by:	06 th May 2019 MICROFUELER 6947-OMM 01 JSC
--	--	--	--

Table of Contents

1	INTRODUCTION.	3
2	VEHICLE PREVIOUS CONSIDERATIONS.	3
3	DRIVER AND PERSONAL SAFETY.....	3
4	FILLING OPERATION.	4
5	LNG SAFETY DATA SHEET.	10

	HAM CRIOGÉNICA, S.L. Refuelling Station Technical Specification	Date: Doc.-No. Rev.: Prepared by:	MACROFUELER 02 JSC
--	---	--	--------------------------

1 INTRODUCTION.

This document is intended to describe a procedure and safety instructions to follow during refuelling of a truck with pure LNG or dual LNG/Diesel engines.

Pictures shall slightly differ from definitive ones.

2 VEHICLE PREVIOUS CONSIDERATIONS.

- 2.1 All vehicles should access to the Station, following vertical and horizontal circulation signals.
- 2.2 Truck must be safely stopped at designated areas.
- 2.3 Switch off truck engine, lights and any other electric or electronic elements.

3 DRIVER AND PERSONAL SAFETY.

- 3.1 Invite to non-involved people to move away from refuelling area. 5 metres is the minimum required distance.
- 3.2 Switch off all electric or electronic apparatus as mobile phones, tuners, radio stations...
- 3.3 Do not smoke.
- 3.4 Make sure no ignition sources are close to the place.
- 3.5 Put on all required safety outfits (PPE's) as indicated at Station warning signals, at least:
 -) Safety helmet with front shield (recommended) or just a safety front shield.
 -) Cryogenic gloves (EN 388 / EN 511)
 -) Long sleeve clothes flame resistant (trousers and jacket)
 -) Closed shoes.
 -) Picture A is an example of correct outfit.
- 3.6 Follow any safety signals from Station panels; among others:

-) All people not involved, keep distance.



-) No fires and no ignition source nearby.




-) Switch off all electric & electronic devices.



-) Do not smoke.



	HAM CRIOGÉNICA, S.L. UMR08-43 Mobile LNG Refuelling Station Technical Specification	Date: Doc.-No. Rev.: Prepared by:	06 th May 2019 MICROFUELER 6947-OMM 01 JSC
--	--	--	--

-) Wear flame resistant, long sleeve clothes.
-) Wear front shield (with safety helmet if possible)
-) Wear cryogenic gloves.
-) Wear safety shoes.
-) Do not touch cryogenic devices without cryogenic gloves.
-) Follow safety signals from station panels.



- 3.7 Connect earthing clamp to an unpainted metallic part of truck by pulling the cable from the reel. See picture B.
- 3.8 At dispenser screen it is possible to change language by pushing on country flag icon.



Picture A




Picture B

4 REFUELLING OPERATION.

4.1 good practice to take into consideration

To optimize the consumption of LNG and its refueling, it is important to work properly. Note that having to depressurize the tank before refueling indicates that the good practice has not been followed, or that something is wrong in our dewar, an abnormal situation, and if it is recurrent, the reason why a vehicle tank arrives to the station with such a pressure must be investigated.

	HAM CRIOGÉNICA, S.L. UMR08-43 Mobile LNG Refuelling Station Technical Specification	Date: 06 th May 2019 Doc.-No. MICROFUELER 6947-OMM Rev.: 01 Prepared by: JSC
--	--	--

Accordingly, in order to reduce or eliminate the use of the depressurizing operation, it is important that truck driver:

- must be properly trained, and use the truck regularly, take care not to refuel the dewar and leave on stand-by for extended period without using it, since the tank will become pressurized.
- Ensure the proper cleaning of the nozzles and receptacles, avoiding dust and humidity.
- Carries out appropriate maintenance as recommended by the supplier.


4.2 Nozzle connection

The operating instructions for the nozzle are:

- Remove the nozzle from the dispenser support.
- Fit the nozzle into the receptacle by fitting it into the grooves with the guides, turn clockwise until the stop.
- Push the handles until toward the receptacle as far as they will go.
- The receptacle mounts on the tank of the LNG fueled vehicle. For added safety, both the nozzle and receptacle incorporate independent shut-off valves which prevent LNG flow if forced separation occurs.



Picture J: Detail LNG nozzle

	HAM CRIOGÉNICA, S.L. UMR08-43 Mobile LNG Refuelling Station Technical Specification	Date: Doc.-No. Rev.: Prepared by:	06 th May 2019 MICROFUELER 6947-OMM 01 JSC
--	--	--	--

- When the connection is complete, the fuelling process can start.
- As soon as the fuelling cycle is complete the nozzle should be disconnected.
- When the refueling is finished, pull the handles back, turn counter-clockwise, then remove the nozzle from the receptacle.
- Finally, reattach the nozzle to the dispenser's receptacle.

4.3 Clean up.

It is of main importance to clean dry from dust and humidity hose connectors from dispenser and port connections at truck tank. If there is any dust or humidity, clean it with compressed dry air, nitrogen or absorbent paper. Take care not to damage or scratch any sealing surfaces.

Some station have an installation to put dry air in the nozzle, between different batches. In order to maintain LNG nozzle clean of humidity.

4.4 Payment acceptance.


To start driver shall insert payment card in the payment column. See picture G. Then, follow terminal instructions, choosing product/dispenser to be used. Refuelling will be authorized.

To keep in mind that there is a time limitation to do all the process; if elapsed time is overcome, during refuelling, all process shall be restarted from zero.

Therefore it is important to insert card when driver is ready to start refuelling procedure.



Picture C

	HAM CRIOGÉNICA, S.L. UMR08-43 Mobile LNG Refuelling Station Technical Specification	Date: 06 th May 2019 Doc.-No. MICROFUELER 6947-OMM Rev.: 01 Prepared by: JSC
--	--	--

4.5 Refuelling.

First, it is necessary to select in control box that we have to use the unit as a dispenser.

On the dispenser box, we must select the type of vehicle that we are going to refill, by switch V indicated on picture D.

On the screen the question will appear to confirm if the vehicle type is the previously selected one, in case of confirming, the refueling process starts. All the steps to follow are indicated on the screen.


It is necessary to connect the LNG nozzle to truck tank as it is stated on paragraph 4.2 and push “start” on the dispenser box.

An automatic routine will start to cool down mass counter, if required, before the actual refuelling starts. At anytime, screen will display information concerning ongoing process. See Picture D.

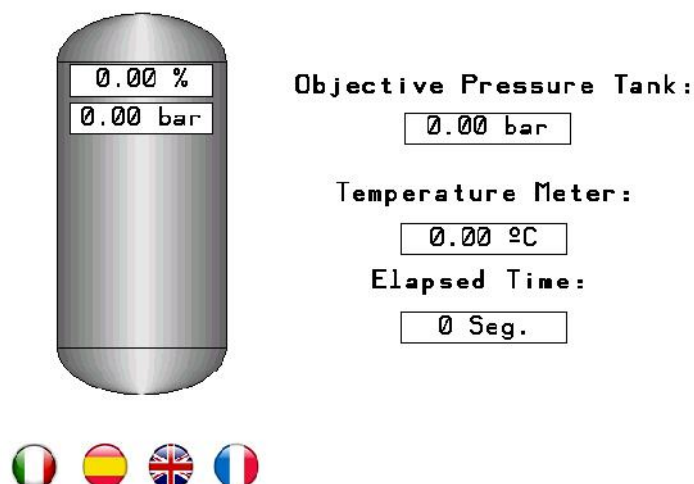
During refuelling a screen will pop up indicating refuelling data. See picture E.



Picture D

	HAM CRIOGÉNICA, S.L. UMR08-43 Mobile LNG Refuelling Station Technical Specification	Date: 06 th May 2019 Doc.-No. MICROFUELER 6947-OMM Rev.: 01 Prepared by: JSC
--	--	--

Pressurization



Picture E

4.6 Boil-off recovery.

This operation will be only required when truck tank pressure is over 10 bar.

It is required to decrease pressure inside truck tank to make refuel easy and efficient.

Information is displayed at right hand screen at the control box. See picture D.


In case the vehicle to refuel is VOLVO, it isn't necessary to do an additional step, depressurization will be done automatically and screen inform you of this process

In case you won't refuel VOLVO vehicle, refuel will not start and picture F will popup.

Proceed as indicated here after:

- ⌋ Open gas valve from truck tank.
- ⌋ Connect depressurization hose to gas outlet port.
- ⌋ Push "start" button at dispenser head. See picture D.
- ⌋ Displayed at dispenser screen message confirming depressurization is ongoing. See picture G.
- ⌋ Once finished another screen message will inform of next steps: Disconnect gas hose and connect LNG supply hose. See picture H

To restart refuelling procedure go back to 4.3 step.

	HAM CRIOGÉNICA, S.L. UMR08-43 Mobile LNG Refuelling Station Technical Specification	Date: 06 th May 2019 Doc.-No. MICROFUELER 6947-OMM Rev.: 01 Prepared by: JSC
--	--	--



Depressurization

PLEASE
Hang the LNG hose and
go to the
Depressurisation
Dispenser THANK YOU



We are Depresurizing your truck.
Thank you

The Pressure of your truck is

0.00 bar



Picture F

Picture G



END DEPRESSURIZATION
Hang the
despresuritization
hose
THANK YOU

Picture H

4.7 Dead man / Emergency stop buttons.

At each dispenser top door, there are two buttons:

) Emergency Stop button: Can be pushed at anytime and will close all valves involved in the LNG supply. To restart procedure (from zero) it will require acceptance and reset of alarm message.


This button is intended to be used only if an emergency situation is declared.

) Dead Man (start button): Following current legislation, driver shall remain during all refuelling process close to dispenser. To assure that this regulation is fulfilled, driver should press the start button, at least once every 30 seconds. After 15" without pushing, an acoustic signal will advise driver to push again. If 30" are elapsed without pushing, refuel will stop and to restart operation it will be necessary go back to step 4.2 "Payment acceptance".

4.8 End of refuelling.

There are four ways to stop refuelling:

) Automatically, when truck tank pressure equals to LNG supply pressure.

	HAM CRIOGÉNICA, S.L. UMR08-43 Mobile LNG Refuelling Station Technical Specification	Date: Doc.-No. Rev.: Prepared by:	06 th May 2019 MICROFUELER 6947-OMM 01 JSC
--	--	--	--

-) By pushing “Stop” button at anytime. Do not confuse this button with “Emergency Stop” one.
-) By not pushing start button (dead man) after 30”.
-) By pushing “Emergency Stop” button at any time there is an emergency situation. Independently of chosen method, an “End of Refuelling” message will be displayed. See picture I.



Picture I

4.9 Before leaving the Station.

-) Disconnect LNG supply hose nozzle from truck reservoir and put it back to its holding place.
-) Put back tank caps to inlet/outlet ports.
-) Close gas outlet valve.
-) Detach earthing clamp and hung it back.
-) Check for absence of leaks, and leave Station following circulation signals.

5 LNG SAFETY DATA SHEET.

Please see annex in following pages.



HAMSA GRUP EMPRESARIAL S.L.

Pol. Ind. Sant Emengol, parcela 11
08630 Abrera (Barcelona)

ANÁLISIS CUANTITATIVO DE RIESGOS

De una estación modelo de suministro de
GNL/GNC para vehículos

Referencia: 2019033
Fecha: Junio 2019
Revisión: 1.0

Asistencia técnica:

Trámites, Informes y Proyectos, S.L.
Llenguadoc, 10
Tel. 93.274.42.80 – Fax. 93.274.46.43
08030 - Barcelona

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	3
2	NORMATIVA DE REFERENCIA.....	4
3	DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES	7
4	IDENTIFICACIÓN DE LOS SUCESOS INICIADORES.....	8
4.1	RELACIÓN DE SUSTANCIAS PELIGROSAS PRESENTES EN LAS OPERACIONES DE BUNKERING.....	9
4.2	DEFINICIÓN DE LOS SUCESOS INICIADORES.....	11
4.3	NOMENCLATURA DE ACCIDENTES Y SUCESOS INICIADORES ...	13
5	DETERMINACIÓN DE LAS FRECUENCIAS DE LOS SUCESOS INICIADORES.....	14
5.1	SUCESOS INICIADORES GENÉRICOS.....	16
5.2	SUCESOS INICIADORES ESPECÍFICOS	19
6	DETERMINACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LOS SUCESOS INICIADORES HASTA LOS ACCIDENTES FINALES	20
6.1	DESARROLLO DEL CÁLCULO DE FRECUENCIAS PARA BLEVE ...	21
6.2	DESARROLLO DEL ÁRBOL DE FALLOS PARA ESCENARIOS ESPECÍFICOS.....	23
6.2.1	ESCENARIO DE SOBRELLENADO POR FALLO DE NIVEL	23
6.2.2	ESCENARIO DE ROTURA DE BOTELLAS POR FRAGILIZACIÓN	23
7	DETERMINACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS LETALES DE LOS ACCIDENTES FINALES	25
7.1	CONDICIONES METEOROLÓGICAS	25
7.2	CRITERIOS DE CÁLCULO.....	28
7.2.1	ROTURA DE TUBERÍAS.....	28
7.2.2	ROTURA DE BOMBAS, COMPRESORES, EVAPORADORES ..	28
7.2.3	DURACIÓN DEL ESCAPE	29
7.2.4	BOLAS DE FUEGO (FBALL)/BLEVE	29
7.3	MODELOS DE CÁLCULO	30
7.4	PARÁMETROS DE CÁLCULO CONSIDERADOS PARA LOS CÁLCULOS DE CONSECUENCIAS.....	31
7.5	CÁLCULOS DE VULNERABILIDAD	42
7.5.1	CRITERIOS PARA EL CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD	42
7.5.2	VULNERABILIDAD DERIVADA DE LA RADIACIÓN TÉRMICA...	42
8	DETERMINACIÓN DEL RIESGO	43
8.1	METODOLOGÍA UTILIZADA	43
8.2	CUANTIFICACIÓN MATEMÁTICA DEL RIESGO	45
8.3	CURVAS DE RIESGO INDIVIDUAL RESULTANTES	45
9	COMPARACIÓN DEL RIESGO CON LOS CRITERIOS DE ACEPTABILIDAD	47
10	CONCLUSIONES.....	48

1 INTRODUCCIÓN

La empresa HAMSA GRUP EMPRESARIAL S.L. desarrolla como actividad el diseño, construcción y explotación de estaciones de servicio de GNL/GNC a nivel internacional.

El almacenamiento y operación de una sustancia inflamable licuada como es el GNL en zonas con ocupación y urbanas implica la generación de un riesgo sobre las personas que debe ser evaluado y controlado.

Esta evaluación se utilizará como condicionante para la planificación territorial asegurando, en función de los criterios propios de cada administración, que no se superan niveles de vulnerabilidad inaceptables relativos a la presencia de edificios o establecimientos vecinos con una ocupación máxima superior a 10 personas. Por este motivo, la empresa HAMSA GRUP EMPRESARIAL S.L. propone realizar un análisis de riesgo para una instalación tipo que pueda establecer unos criterios genéricos sobre el riesgo generado al entorno.

El presente Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR en adelante) desarrolla un cálculo probabilístico como criterio complementario para la posible definición de la zona de seguridad de las operaciones

El análisis cualitativo de riesgos (ACR) se lleva a cabo siguiendo la metodología general definida en el BEVI. En este sentido el estudio se divide en las siguientes fases:

- Identificación de los sucesos iniciadores
- Determinación de las causas y frecuencias de los sucesos iniciadores
- Determinación de la evolución de los accidentes hacia el accidente final
- Determinación de las consecuencias letales de los accidentes finales
- Determinación del riesgo
- Comparación con los criterios de aceptabilidad

2 NORMATIVA DE REFERENCIA

En relación con el desarrollo de aspectos específicos del presente documento, en el presente ACR han sido consideradas las siguientes disposiciones legales:

NORMATIVA INTERNACIONAL ESPECÍFICA:

- **ISO 16924:2018** Estaciones de servicio de gas natural. Estaciones GNL para el repostaje de vehículos.
- **ISO 16923:2018** Estaciones de servicio de gas natural. Estaciones GNC para el repostaje de vehículos.

NORMATIVA INTERNACIONAL SOBRE EVALUACIÓN DE RIESGOS:

- **ISO 12100:2010** Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo. 2010.
- **ISO 31000:2018** Gestión del riesgo – Principios y directrices, 2009.
- **ISO 31010:2011** Gestión del riesgo – Técnicas de apreciación del riesgo, 2011.

En referencia al Sistema de suministro GNL se ha consultado la siguiente bibliografía:

- **SGMF (2017)** Bunkering 2.0, Gas as a marine fuel safety guidelines.

De manera específica, gran parte del estudio se basa en los métodos de cálculo y modelos descritos en las guías:

- CPR 14E. Methods for the calculation of physical effects. "Yellow Book"
- CPR 16E. Methods for the determination of possible damage. "Green Book"
- CPR 18E. Guidelines for quantitative risk assessment. "Purple Book". Committee for the Prevention of Disasters. Edición de 1999.
- BEVI. Reference Manual Bevi Risk Assessments version 3.2, National Institute of Public Health and the Environment (RIVM), Centre for External Safety, Bilthoven, the Netherlands, 2009. Es la reedición de Enero de 2009 del CPR18E, "Purple Book".
- LNG-tankstations, Rekenmethodiek LNG-tankstations, RIVM (National Institute of public health and the environment), Ministry of Health, Welfare, and Sport, Versie 1.0.2, 25 April 2017.
- RMP Guidance for offsite consequence analysis. Risk Management Programme. 1999. EPA.

Adicionalmente, los contenidos técnicos del estudio se adaptan a los contenidos de los siguientes manuales y guías técnicas sobre accidentes graves, editados por la *Dirección General de Protección Civil*:

- Metodologías para el análisis de riesgos. Visión general.
- Métodos cualitativos para el análisis de riesgos.
- Métodos cuantitativos para el análisis de riesgos.
- Guía técnica. Zonas de planificación para accidentes graves de tipo térmico.
- Guía técnica. Zonas de planificación para accidentes graves de tipo tóxico.
- Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental

NORMATIVA AUTONÓMICA¹:

Referente a Accidentes Graves:

Decret 174/2001, de 26 de juny, pel qual es regula l'aplicació a Catalunya del Reial Decret 1254/1999, de 16 de juliol, de mesures de control dels riscos inherents als accidents greus en els quals intervinguin substàncies perilloses.

Instrucció 11/2010 SIE. Criteris per a l'elaboració i l'avaluació de l'Informe de Seguretat a presentar pels establiments afectats en nivell alt per la legislació vigent en matèria d'Accidents Greus. Subdirecció General de Seguretat Industrial. Secretaria d'Indústria i Empresa. Departament d'Innovació, Universitats i Empresa. Generalitat de Catalunya.

Llei 9/2014, del 31 de juliol, de la seguretat industrial dels establiments, les instal·lacions i els productes.

Instrucciones emitidas por la Generalitat de Catalunya:

- **Instrucció 8/2007 SIE** Creixements urbans als voltants d'establiments afectats per la Legislació d'accidents greus existents.
- **Instrucció 9/2007 SIE** Criteris per a l'elaboració de l'informe o decisió vinculant previstos als articles 7 i 10 del Decret 174/2001 per la sol·licitud de l'autorització ambiental per establiments afectats per la legislació vigent en matèria d'accidents greus nous o canvis substancials en els existents.
- **Instrucció 14/2008 SIE** Criteris per la realització de les Anàlisis Quantitatives de Risc a Catalunya (Purple Book i criteris complementaris).
- **Instrucció 7/2009 SIE** Requeriment de les Anàlisis Quantitatives de Risc als establiments afectats per la legislació d'Accidents Greus a Catalunya.

¹ Las siguientes referencias se han utilizado como guía del estudio cuantitativo de riesgo, pero no son un requerimiento ya que la instalación no se encuentra afectada.

También se ha tenido presente al abordar los cálculos, un conjunto de publicaciones nacionales de evidente interés técnico en relación con la temática tratada en un análisis cuantitativo del riesgo:

Notas Técnicas de Prevención del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo:

Sobre técnicas de identificación de peligros:

NTP-238	HAZOP
NTP-679	AMFE

Sobre efectos y vulnerabilidad:

NTP-291.	Modelos de vulnerabilidad de las personas por accidentes mayores – método PROBIT.
NTP-293/294	Explosiones BLEVE
NTP-321	Explosiones UVCE
NTP-326	Incendio de charco
NTP-329.	Modelos de dispersión de gases y/o vapores en la atmósfera: fuentes puntuales continuas.
NTP-362.	Fugas en recipientes y conducciones: emisión en fase líquida.
NTP-385.	Fugas en recipientes: emisión en fase gaseosa.
NTP-430	Evaporación de fugas y derrames
NTP-475	Modelos de dispersión de gases y/o vapores en la atmósfera: fuentes puntuales instantáneas.

Sobre fiabilidad:

NTP-328	Árboles de sucesos
NTP-333	Árbol de fallos
NTP-417	Fiabilidad de componentes
NTP-446	Tasas de fallo en válvulas

- Santamaría J.M., Braña P.A., "Análisis y reducción de riesgos en la industria química", Editorial MAPFRE, Madrid (1994).
- Casal J., Vílchez J.A. et. al. "Análisis del riesgo en instalaciones industriales". Ediciones UPC, Barcelona (1999).
- Storch de Gracia J.M., "Seguridad industrial en plantas químicas y energéticas", McGraw-Hill, Madrid (2008).

3 DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES

La operativa de las instalaciones GNL/GNC se llevará a cabo tanto por descarga de cisternas como por suministro a vehículos.

La descarga de cisterna se realizará con un caudal de suministro limitado a 30 m³/h).

Las operaciones se llevarán a cabo siguiendo las directrices básicas descritas en la normas ISO 16924, ISO 16923.

La descarga de GNL desde camiones cisterna incluye las siguientes etapas:

1. Llegada y posicionamiento de las cisternas.
2. Coordinación de la operación con responsable de la estación.
3. Conexión del sistema de transferencia:
 - Conexión de manguera a cisterna
 - Conexión de manguera a depósito GNL
4. Prueba de estanqueidad.
5. Cumplimentación y firma de los "check-list" necesarios para realizar la operación.
6. Puesta en frío del circuito de trasiego.
7. Operación de trasiego
8. Fin de operación y drenaje de manguera hacia cisterna con barrido de nitrógeno.
9. Desconexión de la manguera y retirada de las cisternas.

La operación estará controlada por al menos un operario en tierra, que estará cerca de la cisterna, pudiendo actuar sobre el ESD de esta última de manera independiente. El diseño de la operativa está pensado para garantizar que en caso de detección de una fuga, la activación del sistema de ESD se lleve a cabo en el menor tiempo posible.

El suministro de GNL/GNC a vehículos se realiza en los surtidores respectivos. En el caso de suministro de GNL se dispone de un sistema de calentamiento de la manguera que evita la posible fragilización de ésta en caso de pequeñas fugas del líquido criogénico.

4 IDENTIFICACIÓN DE LOS SUCESOS INICIADORES

Siguiendo la metodología BEVI/Generalitat para realizar el Análisis Cuantitativo del Riesgo (ACR) de la instalación, el primer paso consiste en identificar los posibles sucesos iniciadores que, a partir de su evolución, puedan dar lugar a posibles escenarios accidentales finales.

De manera que en fases posteriores se analizarán las posibles causas que puedan dar lugar a estos sucesos iniciadores (véase apartado 5), la posible evolución de las situaciones hasta los escenarios accidentales finales (véase apartado 6) y finalmente los alcances letales de los posibles escenarios accidentales finales (véase apartado 0). La integración de estos alcances letales junto con las frecuencias de ocurrencia de cada escenario accidental permitirá obtener el cálculo final del riesgo recogido en el apartado 0 del presente documento.

La selección de los sucesos iniciadores se ha realizado de acuerdo con la metodología propuesta por el RIVM en el manual BEVI *Reference Manual Bevi Risk Assessments rev 3.3* y en la guía específica para instalaciones de estaciones de GNL *2017 Rekenmethodiek LNG tankstations*.

Para estos sucesos diferenciamos entre aquellos que se consideran genéricos y los específicos modelados para la instalación en concreto:

- Sucesos genéricos: sucesos generalistas propuestos por manuales y guías que se asimilan como típicos e inherentes a las instalaciones analizadas.
- Sucesos específicos: sucesos no generalistas propios del equipo, de la operación y de las condiciones de trabajo consideradas. En este caso los sucesos específicos se obtienen del análisis de riesgo previo, en este caso el estudio HAZID.



4.1 RELACIÓN DE SUSTANCIAS PELIGROSAS PRESENTES EN LAS OPERACIONES DE BUNKERING

En las operaciones de almacenamiento y suministro de GNL solo se manipulan dos sustancias: GNL y nitrógeno, este último utilizado en la inertización y purgado de las tuberías de suministro.

La única sustancia peligrosa presente en las operaciones es el GNL. El GNL está constituido básicamente por metano, con pequeñas cantidades de otros hidrocarburos más pesados y trazas de otros gases (etano, propano, butanos, pentanos, hexanos, nitrógeno y dióxido de carbono).

A continuación, se resumen en forma de tabla las propiedades del GNL en cuanto a su peligrosidad.

Tabla 1: Características del GNL

Sustancia (CAS)	CE Nº 1272/2008			Características
	Pictogramas	Palabras de advertencia	Frases de riesgo	
Gas natural	 	Peligro	H220: Gases inflamables – Categoría 1 H280: Gases a presión – Gases comprimidos	<p><u>Identificación de riesgos</u></p> Flam. Gas 1 (H220): Gas extremadamente inflamable. Press. Gas (H280): Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento
				<p><u>Descripción general</u></p> Gas incoloro e inodoro. Inflamable. Gas comprimido Gas más ligero que el aire. El fuego puede iniciarse a cierta distancia de la fuga. Insoluble en agua. Flota. Puede acumular carga electrostática. Daño por inhalación y contacto. Gas asfixiante. Desplaza el oxígeno. Incompatible con agentes oxidantes y halógenos.
				<p><u>Propiedades físicas y químicas</u></p> Temperatura de inflamación: -188°C Temperatura de ebullición: -162°C Temperatura de auto ignición: 540°C Densidad relativa del gas a Tª ambiente (aire=1) = 0,555



En resumen, el GNL presenta las siguientes características de peligro y riesgo que hay que considerar:

- Por sus propiedades de inflamabilidad. Se trata de un producto **extremadamente inflamable**, con riesgo de incendio originado por fuentes de ignición convencionales (según UNE-EN 1127-1, capítulo 5).

- Dado que se almacena a baja temperatura es capaz de generar importantes cantidades de vapor inflamable en caso de escape accidental (evaporación masiva) que se desplazarían a ras de tierra.
- Por tratarse de un líquido criogénico puede ocasionar daños a las personas (quemaduras por frío) y a estructuras y equipos por fragilización de estructuras de acero al carbono convencionales.
- El GNL no es tóxico, pero puede causar asfixia por desplazamiento del aire.
- El vapor de GNL es un gas frío más pesado que el aire que se puede dispersar por gravedad y acumularse en zonas bajas (cubetos, pozos, drenajes, sumideros).
- Si se derrama GNL en agua, flota y se vaporiza violentamente.

Por otro lado, en la instalación se opera con otra sustancia peligrosa que, aunque se encuentra en cantidades muy bajas (inferiores a 20 litros), es **muy inflamable** y se contempla en el análisis de riesgo.

Tabla 2. Características del THT

Sustancia (CAS)	CE Nº 1272/2008			Características
	Pictogramas	Palabras de advertencia	Frases de riesgo	
THT	 	Peligro	H225: Líquidos y vapores muy inflamables H302, H312, H315, H319, H332: Nocivo en caso de ingestión, inhalación o contacto con la piel, irritación cutánea, irritación ocular grave.	<u>Descripción general</u> Líquido incoloro e inodoro, olor picante. Inflamable. Los vapores son más pesados que el aire y pueden expandirse a lo largo del suelo El fuego puede provocar emanaciones de: Óxidos de azufre Insoluble en agua. Flota. Dañino por inhalación y contacto. <u>Propiedades físicas y químicas</u> Temperatura de Inflamación: 19°C Temperatura de ebullición: 121°C

4.2 DEFINICIÓN DE LOS SUCESOS INICIADORES

La definición de los diferentes sucesos iniciadores se ha realizado considerando, para los diferentes equipos presentes en las zonas seleccionadas, las modalidades de sucesos iniciadores especificados en las guías, y los sucesos específicos obtenidos del HAZID.

A continuación, se adjuntan las tablas en que se relacionan los diferentes equipos y los sucesos iniciadores a considerar.

Tabla 3: Relación de equipos e iniciadores

EQUIPO	SUCESOS INICIADORES GENÉRICOS	SUCESOS INICIADORES ESPECÍFICOS
Cisterna de descarga GNL	- Fuga instantánea de todo el contenido	- BLEVE
	- Fuga continua de todo el contenido 10 min	
Bomba de cisterna GNL	- Rotura total, ESD	N.A.
	- Rotura total, falla ESD	
	- Rotura parcial	
Manguera GNL DESCARGA	- Rotura parcial	N.A.
	- Rotura total, fallo detección automática	
Línea de descarga GNL	- Rotura línea	N.A.
	- Fuga 10% Ø	
Evaporador de descarga GNL	- Rotura total	N.A.
Depósito de GNL	- Fuga instantánea de todo el contenido	- Sobrellenado del depósito. Sobrepresión y descarga de líquido GNL por PSV ² .
	- Fuga continua de todo el contenido 10 min	
	- Fuga continua 10mm	- Fuego en cubeto o externo. BLEVE
Evaporador de presurización PBU	- Rotura total	N.A.
Línea de presurización GNL PBU	- Rotura línea	N.A.
	- Fuga 10% Ø	
Línea de suministro GNL	- Rotura línea	N.A.
	- Fuga 10% Ø	

² Ver HAZID, tabla, escenario 18.2

EQUIPO	SUCESOS INICIADORES GENÉRICOS	SUCESOS INICIADORES ESPECÍFICOS
Línea de BOG GNL	- Rotura línea	N.A.
	- Fuga 10% Ø	
Línea de suministro GNL enterrada	- Rotura línea	N.A.
	- Fuga 10% Ø	
Manguera GNL SUMINISTRO	- Rotura total. ESD	N.A.
	- Rotura total. ESD manual falla	
	- Rotura total. ESD automático falla	
	- Rotura parcial	
Depósito de BOG GNL	- Rotura Catastrófica	N.A.
	- Fuga 10 minutos	
	- Fuga continua 10mm	
Compresor de BOG	- Rotura total	N.A.
	- Rotura parcial	
Línea de BOG a GNC	- Rotura línea	N.A.
	- Fuga 10% Ø	
Bomba de suministro GNC	- Rotura total. Bomba no encapsulada.	N.A.
	- Rotura parcial. Bomba no encapsulada.	
Evaporador de suministro GNC	- Rotura Catastrófica	N.A.
	- Rotura parcial	
Línea de suministro GNC	- Rotura línea	N.A.
	- Fuga 10% Ø	
Manguera GNC SUMINISTRO	- Rotura total. ESD	N.A.
	- Rotura total. ESD manual falla	
	- Rotura total. ESD automático falla	
	- Rotura parcial	
Botellas GNC	- Fuga instantánea	- Fragilización por frío excesivo y rotura de botellas ³
	- Fuga continua	

Se ha descartado el escenario de derrame de THT debido que se encuentra presente en muy baja cantidad (<50 Kg) y no contribuye al riesgo de la instalación.

³ Ver HAZID, tabla, escenario 106.1

4.3 NOMENCLATURA DE ACCIDENTES Y SUCESOS INICIADORES

En el presente ACR los sucesos iniciadores se indican mediante el siguiente esquema:

AAA/CCC/DD

Dónde:

- AAA: Se corresponde con el **tipo de equipo o componente** en el que se plantea el suceso iniciador.
- CCC: Se corresponde con el **tipo de sustancia** asimilada en el suceso iniciador. En todos los casos será LNG
- DD: Se corresponde con la tipología del iniciador considerado, según la codificación de *LNG tankstations/BEVI*

5 DETERMINACIÓN DE LAS FRECUENCIAS DE LOS SUCESOS INICIADORES

Se adjunta a continuación las frecuencias de ocurrencia para cada uno de los sucesos iniciadores considerados, adaptada al periodo de utilización de los equipos considerados. Las frecuencias utilizadas se corresponden con la suma de las frecuencias de las diferentes causas que pueden dar lugar a los sucesos iniciadores.

Las frecuencias de los sucesos indicadores obtenidas del BEVI se modifican en función del tiempo de la operación o del factor de uso.

Para esta instalación, los tiempos de uso significativos a considerar son:

Tabla 4. Tiempos de operación de equipos

Operación	Detalle	Horas/año	Equipos sujetos
Descarga de cisterna	1 descarga/semana 1,5h/ descarga	72	- Cisterna, manguera descarga, evaporador de descarga
Suministro GNL	85% del volumen total (18 l/min para 4000 Kg/día)	2700	- Manguera suministro GNL
Suministro GNC	15% del volumen total (25 l/min, aprox. 600 Nm ³ /h para 700 Kg/día)	360	- Manguera suministro GNC - Bomba suministro GNC - Evaporador suministro GNC
Retorno BOG	-	900	- Compresor BOG

En la siguiente tabla se presentan los factores de uso obtenidos, según la fracción anual de horas respecto el total de horas anuales (8760h).

Tabla 5. Factores de uso de los equipos

Equipo	Horas/año	Factor de uso
Cisterna GNL (operación)	72	0,01
Mangueras descarga GNL		
Evaporador de descarga		
Línea de descarga		

Equipo	Horas/año	Factor de uso
Cisterna GNL (presencia)	108	0,01
Manguera suministro GNL	2700	0,31
Manguera suministro GNC	360	0,04
Bomba suministro GNC		
Evaporador suministro GNC		
Compresor BOG	900	0,1

Las frecuencias de iniciadores de camiones cisternas se corresponden con las de indicadores para camiones cisternas presurizadas (BEVI).

- De manera conservadora, y en concordancia con los criterios establecidos en *LNG-tankstations*, se ha incluido el suceso iniciador de bola de fuego (BLEVE/fireball) causado por fuego externo a la cisterna. Dado que se utilizan cisternas de doble-casco, en el cálculo de la frecuencia del iniciador se ha incluido un factor de mitigación de 0,05, que se corresponde con la reducción provista por una capa de protección independiente (el 95% de las veces la doble pared mitiga el escenario). Para este escenario de BLEVE se ha diferenciado la operación de la cisterna de la ocupación, siendo la presencia un mayor tiempo del orden de 45 minutos respecto cada 30 de operación.
- Para las tuberías se ha considerado una longitud de 5 m para cada tramo planteado.

5.1 SUCECOS INICIADORES GENÉRICOS

SUCESO INICIADOR	TIPO DE ESCAPE	INSTALACIÓN	FRECUENCIA BASE (a ⁻¹)	FRECUENCIA INICIADOR (a ⁻¹)
CIST/GNL/T1	Rotura catastrófica. Fuga instantánea de todo el contenido	Cisterna de descarga GNL	5.00E-07	4.11E-09
CIST/GNL/T2	Fuga continua de todo el contenido 10 min	Cisterna de descarga GNL	5.00E-07	4.11E-09
BOMCIST/GNL/P1	Rotura total. Bomba no encapsulada. ESD manual	Bomba de cisterna de descarga GNL	9.00E-05	7.40E-07
BOMCIST/GNL/P2	Rotura total. Bomba no encapsulada. Falla intervención.	Bomba de cisterna de descarga GNL	1.00E-05	8.22E-08
BOMCIST/GNL/P3	Rotura parcial. Bomba no encapsulada.	Bomba de cisterna de descarga GNL	5.00E-05	4.11E-07
BOM/GNL/HP1	Rotura total. Bomba encapsulada.	Bomba y evaporador de suministro GNC	9.99E-06	4.11E-07
BOM/GNL/HP2	Rotura total. Falla intervención (0,1%) Bomba encapsulada.	Bomba y evaporador de suministro GNC	1.00E-08	4.11E-10
BOM/GNL/HP3	Rotura parcial. Bomba no encapsulada.	Bomba y evaporador de suministro GNC	5.00E-05	2.05E-06
COMP/GNL/P3.1	Rotura total	Compresor de BOG	1.10E-04	1.13E-05
COMP/GNL/P3.3	Fuga 10% Ø	Compresor de BOG	4.40E-03	4.52E-04
VAPDES/GNL/W9.1	Rotura total	Evaporador de descarga GNL	1.00E-05	8.22E-08
VAPPBU/GNL/W9.1	Rotura total	Evaporador de presurización PBU	9.90E-06	4.13E-07
DEP/GNL/O1	Rotura catastrófica. Fuga instantánea de todo el contenido	Depósito de GNL	5.00E-07	5.00E-07
DEP/GNL/O2	Fuga continua de todo el contenido 10 min	Depósito de GNL	5.00E-07	5.00E-07
DEP/GNL/O3	Fuga continua Ø 10mm	Depósito de GNL	1.00E-05	1.00E-05
DEPBOG/GN/D 9.1	Rotura catastrófica. Fuga instantánea de todo el contenido	Depósito de BOG GNL	5.00E-07	5.00E-07
DEPBOG/GN/D 9.2	Fuga continua de todo el contenido 10 min	Depósito de BOG GNL	5.00E-07	5.00E-07
DEPBOG/GN/D 9.3	Fuga continua Ø 10mm	Depósito de BOG GNL	1.00E-05	1.00E-05

SUCESO INICIADOR	TIPO DE ESCAPE	INSTALACIÓN	FRECUENCIA BASE (a ⁻¹)	FRECUENCIA INICIADOR (a ⁻¹)
MAN.DES/GNL/L1	Rotura total, ESD	Manguera GNL DESCARGA	3.50E-03	2.88E-05
MAN.DES/GNL/L2	Rotura total, ESD falla	Manguera GNL DESCARGA	3.50E-06	2.88E-08
MAN.DES/GNL/L3	Fuga 10% Ø	Manguera GNL DESCARGA	3.50E-01	2.88E-03
MAN.SUM/GNL/LD.1	Rotura total. ESD	Manguera GNL SUMINISTRO	3.47E-03	1.07E-03
MAN.SUM/GNL/LD.2	Rotura total. ESD manual falla	Manguera GNL SUMINISTRO	3.15E-05	9.73E-06
MAN.SUM/GNL/LD.3	Rotura total. ESD automático falla	Manguera GNL SUMINISTRO	3.50E-06	1.08E-06
MAN.SUM/GNL/LD.4	Fuga 10% Ø	Manguera GNL SUMINISTRO	3.50E-01	1.08E-01
MAN.SUM/GNC/LD.1	Rotura total. ESD	Manguera GNC SUMINISTRO	3.47E-03	1.43E-04
MAN.SUM/GNC/LD.2	Rotura total. ESD falla	Manguera GNC SUMINISTRO	3.15E-05	1.30E-06
MAN.SUM/GNC/LD.3	Rotura total. ESD automático falla	Manguera GNC SUMINISTRO	3.50E-06	1.44E-07
MAN.SUM/GNC/LD.4	Fuga 10% Ø	Manguera GNC SUMINISTRO	3.50E-01	1.44E-02
LINSI1.1/GNL/L4	Rotura total línea	Línea de descarga GNL	4.50E-06	3.70E-08
LINSI1.1/GNL/L5	Rotura total línea	Línea de descarga GNL	5.00E-07	4.11E-09
LINSI1.1/GNL/L6	Fuga 10% Ø	Línea de descarga GNL	2.50E-05	2.05E-07
LINSI1.2/GNL/L OB9.1b	Rotura total línea	Línea de presurización GNL PBU	5.00E-06	1.50E-07
LINSI1.2/GNL/L OB9.3b	Fuga 10% Ø	Línea de presurización GNL PBU	2.50E-05	7.50E-07
LINSI2.1/GNL/L OB9.1b	Rotura total línea	Línea de suministro GNL	5.00E-06	5.00E-06
LINSI2.1/GNL/L OB9.3b	Fuga 10% Ø	Línea de suministro GNL	2.50E-05	2.50E-05
LINSI2.2/GNL/L OB9.1b	Rotura total línea	Línea de suministro GNL enterrada	5.00E-06	5.00E-06
LINSI2.2/GNL/L OB9.3b	Fuga 10% Ø	Línea de suministro GNL enterrada	7.50E-06	7.50E-06



SUCESO INICIADOR	TIPO DE ESCAPE	INSTALACIÓN	FRECUENCIA BASE (a ⁻¹)	FRECUENCIA INICIADOR (a ⁻¹)
LINSI2.3/GNL/L OB9.1b	Rotura total línea	Línea de BOG GNL	5.00E-06	5.00E-06
LINSI2.3/GNL/L OB9.3b	Fuga 10% Ø	Línea de BOG GNL	2.50E-05	2.50E-05
LINSI3.1/GNC/L OB9.1b	Rotura total línea	Línea de suministro GNC	5.00E-06	5.00E-06
LINSI3.1/GNC/L OB9.3b	Fuga 10% Ø	Línea de suministro GNC	2.50E-05	2.50E-05
LINSI3.2/GN/LO B9.1b	Rotura total línea	Línea de BOG GNC	5.00E-06	5.00E-06
LINSI3.2/GN/LO B9.3b	Fuga 10% Ø	Línea de BOG GNC	2.50E-05	2.50E-05
BOT16/GNC/G1	Rotura catastrófica. Fuga instantánea de todo el contenido	Botellas GNC	8.00E-06	8.00E-06
BOT16/GNC/G2	Fuga continua	Botellas GNC	8.00E-06	8.00E-06
BOT4/GNC/G1	Rotura catastrófica. Fuga instantánea de todo el contenido	Botellas GNC	2.00E-06	2.00E-06
BOT4/GNC/G2	Fuga continua	Botellas GNC	2.00E-06	2.00E-06

5.2 SUCESOS INICIADORES ESPECÍFICOS

SUCESO INICIADOR	TIPO DE ESCAPE	INSTALACIÓN	FRECUENCIA BASE (a ⁻¹)	FRECUENCIA INICIADOR (a ⁻¹)
CIST/GNL/B1	<u>Fuga e ignición + BLEVE</u> . Tabla 2. RIVM - GNL 2017 $5,8E-10 \text{ h}^{-1} \times 108 \text{ h/a} \times 0,05 = 3,13E-09 \text{ a}^{-1}$	Botellas	-	$3,13E-09 \text{ a}^{-1}$
CIST/GNL/B2	<u>Fuego externo + BLEVE</u> . Tabla 4 y 5. RIVM - GNL 2017 $1,2-10 \text{ h}^{-8} \times 108 \text{ h/a} \times 0,05 \times 0,19 = 1,23E-08 \text{ a}^{-1}$	Cisterna de descarga GNL	-	$1,23E-08 \text{ a}^{-1}$
CIST/GNL/B3	<u>Colisión + BLEVE</u> $5E-11 \text{ h}^{-1} \times 108 \text{ h/a} = 5.40E-09 \text{ a}^{-1}$	Cisterna de descarga GNL	-	$5.40E-09 \text{ a}^{-1}$
DEP/GNL/S1	Fuego externo sobre depósito de GNL. BLEVE $5 \cdot 10^{-7} \times 0,09 \times 0,7 = 3,15E-08 \text{ a}^{-1}$	Cisterna de descarga GNL	-	$3,15E-08$
DEP/GNL/S2	Sobrellenado y fuga en depósito de GNL. Escape continuo.	Depósito de GNL	$8.35E-05$	$6.86E-07$
BOT/GNL/S1	Rotura de botellas por fragilización. Escape instantáneo	Depósito de GNL	$3.28E-08$	$1.35E-09$

Para los casos de calentamiento exterior del depósito, se han considerado un BLEVE caliente con un flash completo (fracción de vapor = 1). Por otro lado, en el caso de la cisterna también se ha considerado un BLEVE provocado por colisión ya que se produciría una fuga a presión < 1,36 barg, por lo que tendríamos un denominado BLEVE frío (solamente se contempla una fracción vapor de 0,24), de unas consecuencias muy inferiores.

6 DETERMINACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LOS SUCESOS INICIADORES HASTA LOS ACCIDENTES FINALES

Para la determinación de la evolución de los diferentes sucesos iniciadores hasta las frecuencias de los accidentes finales, se ha optado por la utilización del método de los árboles de sucesos tal y como se especifica en la Directriz Básica.

De manera aproximada, dichos árboles de sucesos pueden generalizarse atendiendo a las características de peligro de las sustancias peligrosas más representativas, así como las condiciones en las que se produce el suceso iniciador. Las diferentes probabilidades que marcan la evolución de los sucesos iniciadores hasta el escenario accidental final se han extraído de bibliografía especializada.

A modo conservador, en los árboles de sucesos no se ha considerado la actuación de sistemas de mitigación diferentes a los enclavamientos de corte de válvulas y equipos que puedan, de forma inmediata, evitar la ocurrencia del accidente. La consideración de estas salvaguardas tendría como resultado la obtención de frecuencias menores para algunos de los accidentes finales considerados.

Siendo que el GNL presenta baja reactividad se considera que las nubes de vapor no confinadas de GNL (al aire libre) no son capaces de acelerar el frente de llama hasta producir una explosión de nube de gas (VCE). De este modo, la ignición retardada se simula como llamarada (FLASHF), por lo que P_E se ha tomado igual a cero.

Suceso iniciador (accidente o TOP EVENT)	Ignición Inmediata	Ignición Retardada	Explosión	Escenario Final
--	--------------------	--------------------	-----------	-----------------

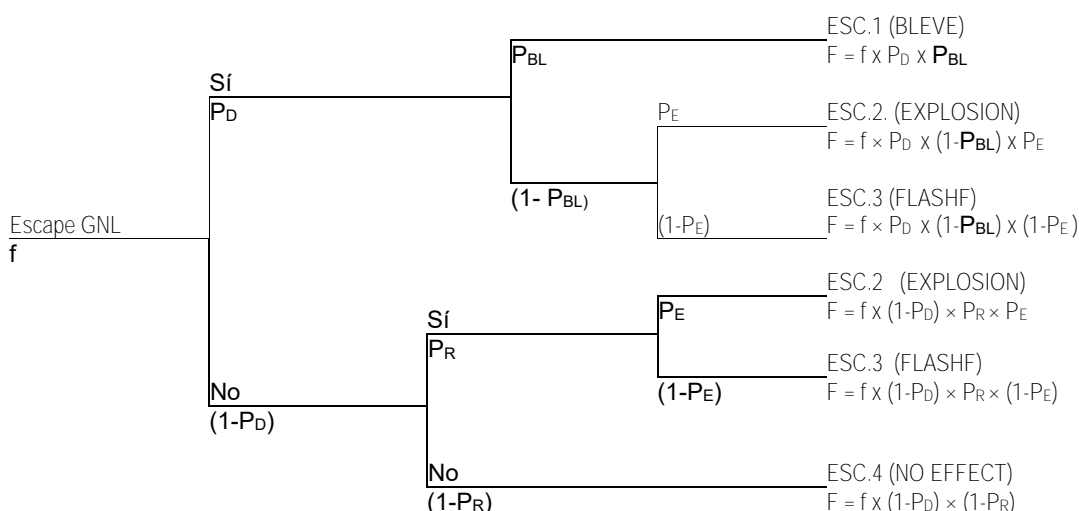


Figura 1: Árbol de sucesos genérico para fuga de GNL

Tabla 6. Escenarios considerados para fugas y escapes instantáneo de GNL de BEVI

Escenario Final	Escape instantáneo de GNL
ESC.1	BLEVE
ESC.2	Explosión de gas no confinada (VCLOUD) Incendio de charco (PFIRE)
ESC.3	Llamarada (FLASHF) Incendio de charco (PFIRE)
ESC.4	Sin consecuencias

Tabla 7. Probabilidades de ignición para GNL de BEVI

Continuo (kg/s)	Instantáneo (kg)	Tipo de Probabilidad	Valor
< 10	< 1.000	P _D	0.02
		P _R	0.02
		P _{BL}	0.7
		P _E	0.4
10 – 100	1.000 – 10.000	P _D	0.04
		P _R	0.04
		P _{BL}	0.7
		P _E	0.4
> 100	> 10.000	P _D	0.09
		P _R	0.09
		P _{BL}	0.7
		P _E	0.4

6.1 DESARROLLO DEL CÁLCULO DE FRECUENCIAS PARA BLEVE

BLEVE depósito

Tomando los siguientes datos de escape:

- Escape instantáneo de todo el contenido: $5 \cdot 10^{-7} \text{ a}^{-1}$
- Masa total: 16 t >> 1t
- P_D = 0,09; P_{BL} = 0,7

$$P_{\text{BLEVE}} = 5 \cdot 10^{-7} \times 0,09 \times 0,7 = 3,15 \cdot 10^{-8} \text{ a}^{-1}$$

- Se considera una masa en cisterna promediada, dado que el factor de uso incluye todo el rango de volumen del depósito. Considerando los 40m³ útiles, asimilamos un volumen de 20m³.

BLEVE cisterna. Calentamiento por fuga e ignición

- 0,05 factor de reducción por doble casco

$$P_{BLEVE} = 5,8E-10 \text{ h}^{-1} \times 108 \text{ h/a} \times 0,05 = 3,13E-09 \text{ h}^{-1}$$

- *Para los 3 escenarios de BLEVE, se considera una masa promediada, dado que el factor de uso incluye todo el rango de volumen del depósito. Considerando que siempre permanece un 10% de la masa, **asimilamos una cantidad de 14400 Kg.***

BLEVE cisterna. Calentamiento por fuego externo

- 0,05 factor de reducción por doble casco
- 0,19, factor de reducción por refrigeración de líquido (90% casos, reduce hasta un 10%: $0,19 = 0,9 \times 0,1 + 0,1 \times 1$)
- Frecuencia base: $1,2E-8 \text{ h}^{-1}$ considerando únicamente presencia de Instalación GLP/GNL <17,5m (según tabla 3 y 4, RIVM - GNL 2017)

$$P_{BLEVE} = 1,2E-8 \text{ h}^{-1} \times 108 \text{ h} \times 0,05 \times 0,19 = 1,23E-08 \text{ h}^{-1}$$

BLEVE cisterna. Colisión

- Al tratarse de una colisión, no se consideran factores de reducción de paredes o enfriamiento.
- Frecuencia base: $2,5E-9 \text{ h}^{-1}$ considerando instalación con protecciones, velocidad reducida y baja probabilidad de colisión (según tabla 6, RIVM - GNL 2017)

$$P_{BLEVE} = 2,5E-9 \text{ h}^{-1} \times 108 \text{ h} = 2,70E-07 \text{ h}^{-1}$$

6.2 DESARROLLO DEL ÁRBOL DE FALLOS PARA ESCENARIOS ESPECÍFICOS

Para los escenarios específicos obtenidos del análisis PHA-HAZID, se ha requerido la realización de Árboles de Fallos con el fin de obtener la frecuencia de los sucesos iniciadores.

A continuación se facilita el resultado de estos árboles:

6.2.1 ESCENARIO DE SOBRELLENADO POR FALLO DE NIVEL

Elementos:

- Transmisores de nivel (1oo2)
- Válvula de corte

Probabilidades:

- Fallo a demanda de un LT: $3600E-09 \text{ h}^{-1} \times (8760/2) = 1,48E-02$
- Fallo a demanda del sistema LT (considerando fallo común): $8,25E-02$
- Fallo de válvula de corte: $6,48E-03$ (*guía exida*)
- Fallo humano: $1E-02$ (*WASH 1400, Instrucció 11/2010 SIE*)
- Fallo humano resultante para provocar sobrellenado: $1,01E-02$
- Probabilidad final de fallo: **$8,35E-05$**

6.2.2 ESCENARIO DE ROTURA DE BOTELLAS POR FRAGILIZACIÓN

Elementos:

- Transmisores de temperatura (1oo2)
- Válvula de corte
- Enclavamiento de paro de bomba

Probabilidades:

- Fallo a demanda de un TT: $2,90E-07$ (*guía exida*)
- Fallo a demanda del sistema LT (considerando fallo común): $3,22E-08$
- Fallo de válvula de corte: $6,48E-03$ (*guía exida*)
- Fallo de Paro de bomba: $1E-07$ (*guía OREDA*)
- Fallo humano: $1E-02$ (*WASH 1400, Instrucció 11/2010 SIE*)
- Probabilidad final de fallo: **$3,28E-08$**



7 DETERMINACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS LETALES DE LOS ACCIDENTES FINALES

7.1 CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Para la determinación de las consecuencias letales de los diferentes accidentes finales considerados es necesario definir las condiciones meteorológicas propias del entorno donde se llevan a cabo las operaciones.

Como el objeto del estudio es obtener una zonificación genérica del riesgo para la instalación en cualquier ubicación, se realizará el análisis según la instalación referencia, y se estimarán unos valores genéricos desfavorables como límite, que permitirán obtener el riesgo con geometría radial.

En la siguiente tabla se muestra la distribución de las estabilidades según las condiciones:

Adicionalmente se considera una rugosidad media representativa de la zona que en este caso se ha considerado de 25 cm. Además, se considera la radiación solar media de 0,5 kW/m².

En la siguiente tabla se resumen los valores promedios de los principales parámetros ambientales considerados.

Tabla 8: Valores ambientales promedios

PARÁMETRO METEOROLÓGICO	VALOR CONSIDERADO
Temperatura ambiente(media anual)	15,3°C
Humedad relativa (media anual)	71%
Viento – Velocidad media	5,84 m/s
Radiación Solar	0,5 kW/m ²
Rugosidad	25 cm

Para determinar las distribuciones de velocidades de viento y estabilidades atmosféricas que se deben utilizar para determinar las consecuencias de los escenarios, se siguen los criterios del apartado F3-5 de Instrucción 11/2010 SIE. De este modo se ha tomado como referencia la información que se refleja en la Figura 2 y Figura 3 .

Horari diürn				
Classe	Punts		Velocitat mitjana	
A	1075	4,0%	1,98	m·s ⁻¹
B	7993	29,9%	1,74	m·s ⁻¹
C	2680	10,0%	3,20	m·s ⁻¹
D	11705	43,8%	5,09	m·s ⁻¹
E	224	0,8%	3,73	m·s ⁻¹
F	1017	3,8%	1,28	m·s ⁻¹
Calma	2000	7,5%	0,00	m·s ⁻¹
Total	26694	100,0%	3,27	m·s ⁻¹
Total-Calma	24694			

Classe Pasquill més probable:	D	43,8%	v =	5,09	m·s ⁻¹
-------------------------------	---	-------	-----	------	-------------------

Figura 2: Velocidades de viento y distribución de estabilidades diurnas para la estación de Cabanes (Generalitat de Catalunya)

Horari nocturn				
Classe	Punts		Velocitat mitjana	
A	0	0,0%	0,00	m·s ⁻¹
B	1	0,0%	1,78	m·s ⁻¹
C	0	0,0%	0,00	m·s ⁻¹
D	5493	21,3%	7,46	m·s ⁻¹
E	2157	8,4%	3,74	m·s ⁻¹
F	11887	46,0%	1,31	m·s ⁻¹
Calma	6283	24,3%	0,00	m·s ⁻¹
Total	25821	100,0%	2,61	m·s ⁻¹
Total-Calma	19538			

Classe Pasquill més probable:	F	46,0%	v =	1,31	m·s ⁻¹
-------------------------------	---	-------	-----	------	-------------------

Figura 3. Velocidades de viento y distribución de estabilidades nocturnas para la estación de Cabanes (Generalitat de Catalunya)

A efectos de cálculo, y de acuerdo a los criterios establecidos en la Instrucción 11/2010, se agrupan las estabilidades en dos categorías con las siguientes probabilidades de ocurrencia:

- Probabilidad de la categoría D: Suma de las probabilidades de las categorías A, B, C, y D.
- Probabilidad de la categoría F: Suma de las probabilidades de las categorías E, F y calma.

De este modo, en este estudio se ha considerado el siguiente reparto de probabilidades y velocidades de viento promedios.

Tabla 9: Distribución de estabildades y velocidades de viento consideradas en el estudio

	Estabilidad	A	B	C	D	E	F	Calma
	Nomenclatura	--	--	--	5D	--	2F	--
DIA	Probabilidad Día (%)	--	--	--	87,8	--	12,2	--
	Velocidad media (m/s)	--	--	--	5,09	--	1,28	--
NOCHE	Probabilidad Noche (%)	--	--	--	21,3	--	78,7	--
	Velocidad media (m/s)	--	--	--	7,46	--	1,31	--

A continuación se presentan las distribuciones de direcciones de viento para ambas condiciones de estabilidad.

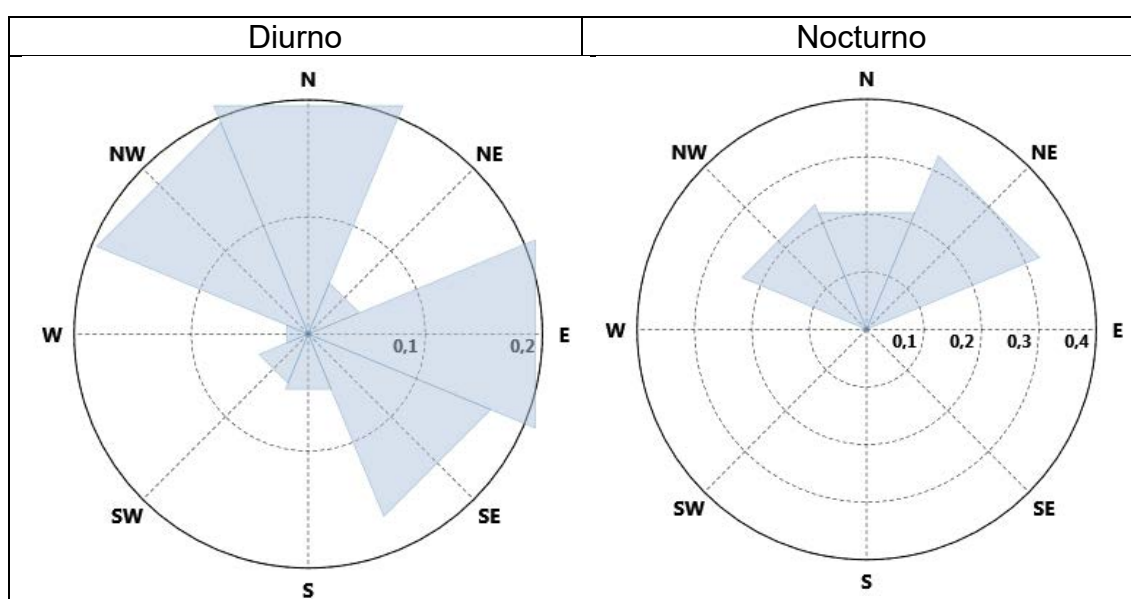


Figura 4. Rosa de los vientos con ocho direcciones

Tabla 10. Distribución de los vientos por las estabildades

	DIA		NOCHE	
	5D día	2F día	5D noche	2F noche
N	19,5%	2,1%	20,3%	3,0%
NE	4,4%	1,3%	30,2%	0,4%
E	19,4%	1,6%	0,2%	0,4%
SE	15,6%	1,2%	0,0%	0,3%
S	4,7%	0,9%	0,0%	0,3%
SO	4,2%	1,3%	0,5%	0,6%
O	1,9%	0,9%	0,8%	1,2%
NO	18,1%	2,9%	21,7%	6,0%

7.2 CRITERIOS DE CÁLCULO

7.2.1 ROTURA DE TUBERÍAS

Siguiendo los criterios de la guía BEVI, se han considerado los siguientes sucesos accidentales para mangueras y tuberías:

- Roturas totales: rotura igual al diámetro de la tubería. En las roturas totales, si ésta se produce aguas abajo de una bomba, se considera que el caudal de fuga es igual al caudal nominal multiplicado por 1,5 (incremento del 50% por pérdidas de presión), siguiendo las recomendaciones establecidas de la guía BEVI. De otro modo, cuando no se utiliza bomba en el trasiego, se determina el caudal mediante cálculo hidráulico.
- Roturas parciales: rotura equivalente al 10% del diámetro de la manguera siguiendo los criterios de la guía BEVI.

Se han considerado las longitudes siguientes:

- 5 m para líneas de proceso

Se supone un coeficiente de contracción de la vena fluida de 0,60 para fugas líquidas y el método de Bragg (1960)⁴ se utiliza para fugas gaseosas. Además, cuando aplique se considera una rugosidad de 45µm, de acuerdo a lo especificado en la guía BEVI. Aplicando los criterios de la guía BEVI, se han considerado roturas totales y parciales de las bombas. En los escenarios accidentales planteados se asume que el escape ocurre en la línea de aspiración de la bomba y que el caudal de escape se determina realizando el correspondiente cálculo hidráulico, que depende de la presión hidrostática del líquido en el tanque o recipiente de suministro y la longitud de la tubería.

Las fugas se consideran horizontales en todos los casos.

Para los escenarios de fuga en la cisterna y en la bomba de la cisterna se desprecia la pérdida de carga de la tubería.

7.2.2 ROTURA DE BOMBAS, COMPRESORES, EVAPORADORES

Se considera que estos equipos rompen en la aspiración o línea de entrada, siendo el escenario asimilable a una rotura total de una tubería.

⁴ Bragg, S. L., 1960, Effect of compressibility on the discharge coefficient of orifices and convergent nozzles, Journal of Mechanical Engineering Science Volume 2 (1960) pp35-44.

Para la bomba criogénica y evaporador de GNC se asimila a un único equipo con una frecuencia propia, según lo dispuesto en la guía *LNG tankstations*

7.2.3 DURACIÓN DEL ESCAPE

La duración del escape depende del tiempo que tarde el sistema de corte o bloqueo a parar el caudal de la línea evitando por tanto el escape de líquido al exterior.

En las instalaciones de GNL se cuenta con un sistema de paro de emergencia (ESD) que puede ser activado tanto por el operador como por otras señales automáticas (detectores de gases inflamables, detección de fuga por baja temperatura, alto nivel o alta presión, etc.).

- Intervención inmediata: 5'': En los casos de descarga y suministro se ha podido considerar un tiempo de 5'' cuando existe "pulsador de hombre muerto" y el operario presente.
- Intervención: 120'': En el resto de casos en que actúa un operador o sistema automático –incluyendo cuando falla la intervención inmediata– se han considerado 2 minutos.
- Fallo de intervención: 1800'': En los casos donde fallan las posibles intervenciones, se consideran 30 minutos.

7.2.4 BOLAS DE FUEGO (FBALL)/BLEVE

El cálculo de bola de fuego (fireball) se realiza utilizando las correlaciones recomendadas por DNV, basadas en el modelo *Martinsen time varying*. Siguiendo el criterio establecido en el BEVI, se asume que la presión de rotura del tanque es 1,21 veces la presión de disparo de la válvula de seguridad o, si no hubiera válvula, la presión de prueba del tanque.

7.3 MODELOS DE CÁLCULO

El "Análisis de Consecuencias" de los escenarios incidentales descritos, es decir, el cálculo del alcance de las magnitudes físicas representativas del accidente, se ha realizado utilizando modelos de reconocido prestigio que han sido desarrollados por entidades de solvencia (DNV).

El software utilizado implementa el modelo UDM (*Unified Dispersión Model*), un modelo de dispersión integral sobre terrenos llanos, adaptado a cualquier tipo de escape. El modelo permite calcular la dispersión bifásica originada tanto en escapes a nivel del suelo como elevados. El modelo UDM consta de los siguientes módulos vinculados: dispersión de chorros turbulentos, lluvias de gotas y evaporación del charco formado, aspersión y vaporización de charcos, dispersión de gas pesado y dispersión pasiva.

Además, SAFETI incorpora varios modelos para determinar las consecuencias de dardos de fuego (modelos API y de cono truncado), bolas de fuego (modelos HSE and TNO) e incendios de charco. Para el cálculo de explosiones se puede optar entre los modelos TNT, TNO Multi-Energy y Baker Strehlow.

El programa permite el modelado de mezclas bifásicas multicomponentes utilizando un método riguroso o uno simplificado, como pseudo-componente, donde se asume que la mezcla se comporta como un componente puro, cuyas propiedades se promedian en función de la composición de la mezcla. En el modelo riguroso, las propiedades de la mezcla varían con la concentración y estado de la sustancia.

El análisis de consecuencias e integración de los resultados para la obtención de los valores de riesgo se ha realizado mediante el software SAFETI versión 8.11 desarrollado por DNV.

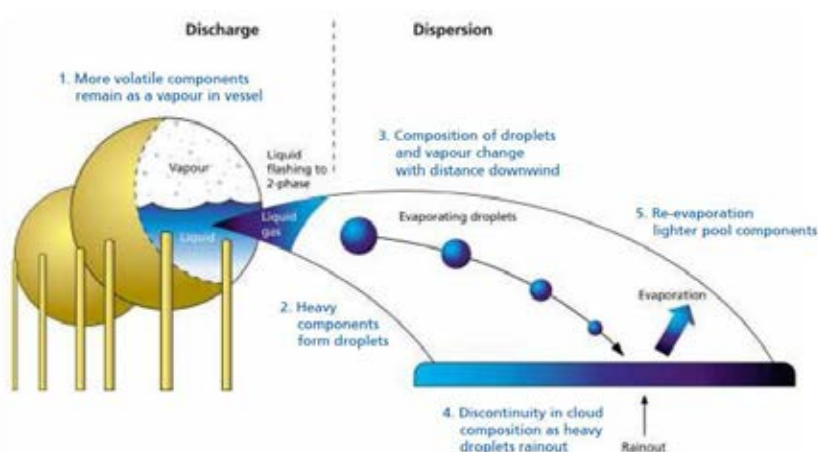


Figura 5: Dispersión en SAFETI, incluyendo deposición de gotas y evaporación del charco⁵.

⁵ Witlox, Henk & Harper, Mike & Topalis, Panos & Wilkinson, Stuart. (2019). Modelling the Consequence of Hazardous Multicomponent Two-Phase Releases to The Atmosphere.

7.4 PARÁMETROS DE CÁLCULO CONSIDERADOS PARA LOS CÁLCULOS DE CONSECUENCIAS

Para los parámetros de cálculo se han tomado las siguientes condiciones de proceso operativas de referencia:

Tabla 11. Condiciones de proceso referencia

Sección/Equipo	P (barg)	T (°C)	V (m3)	Q
Cisterna	7	-160	40	30 m ³ /h
Depósito GNL	14	-160	76	-
Depósito BOG	8	-125	3	-
Bomba GNC	275	-160	-	1,5 m ³ /h
Suministro GNC	275	10	-	25 l/min (11 Kg/min)
Suministro GNL	8	-125	-	18 l/min (9 Kg/min)

Los datos se han recogido de la memoria del proyecto PETREM TRUCKS facilitada por HAM.

Para el suministro de GNC:

- Se facilita el dato de capacidad de suministro máxima de 50 Kg/min. Esta capacidad se asimila a la posibilidad de aumentar el suministro mediante las botellas de GNC.
- El dato de proceso es el limitado por la bomba criogénica y el evaporador, de 25 l/min (aprox. 600 Nm³/h), que son 11 Kg/min.
- Este dato es coherente con el factor de uso de GNC, de aproximadamente 1h/día para un suministro de 700 Kg (*factor = 0,04*).

Para el suministro de GNL:

- Se facilita el dato de capacidad de suministro de 18 l/min con bomba criogénica.
- Este dato se ha utilizado para calcular el factor de uso de GNL, contando un suministro de 4000 Kg/día (*factor de 0,31*).

Para las líneas de llenado se han asumido condiciones de líquido subenfriado.

Para las líneas de suministro, se han asumido condiciones de líquido saturado. Es un aspecto relevante en el cálculo ya que asumir un líquido subenfriado nos conduciría a un escenario con más derrame líquido, menos dispersión y una creación de mayor nube inflamable.

Para los recipientes de almacenamiento, cisterna y depósito, se ha considerado una masa promedio según la justificación del apartado 6.1.

A continuación se recoge para cada uno de los iniciadores considerados los diferentes parámetros de cálculo utilizados para determinar las condiciones de los escapes y las consecuencias de los accidentales finales (aplicando los criterios de cálculo anteriormente presentados). En la tabla también se presenta a modo de resumen la sustancia asimilada, la frecuencia de cada iniciador y las probabilidades utilizadas para determinar las frecuencias de los escenarios finales.

Tabla 12: Parámetros de cálculo

INICIADOR	SUST.	FRECUENCIA INICIADOR (a ⁻¹)	CONDICIONES DE PROCESO	PARÁMETROS DE CÁLCULO
CIST/GNL/T1	GNL	4.11E-09	Rotura catastrófica. Fuga instantánea de todo el contenido -V= 20 m3 -P= 7 barg -T= -160 °C	- Tescape = 0 s - Mescape = 8418.54 Kg - PD instantánea = 0.04 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
CIST/GNL/T2	GNL	4.11E-09	Fuga continua de todo el contenido 10 min -V= 20 m3 -P= 7 barg -T= -160 °C	- Qescape = 14.03Kg/s - Tescape = 600 s - Mescape = 8418.54 Kg - PD instantánea = 0.04 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
BOMCIST/GNL/P 1	GNL	7.40E-07	Rotura total. Bomba no encapsulada. ESD manual -V= 20 m3 -P= 7 barg -T= -160 °C	- Ø línea =65 mm - Ø escape = 65.00 mm - Qescape = 45.65Kg/s - Tescape = 5 s - Mescape = 228.23 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
BOMCIST/GNL/P 2	GNL	8.22E-08	Rotura total. Bomba no encapsulada. Falla intervención. -V= 20 m3 -P= 7 barg -T= -160 °C	- Ø línea =65 mm - Ø escape = 65.00 mm - Qescape = 45.65Kg/s - Tescape = 120 s - Mescape = 5477.63 Kg - PD instantánea = 0.04 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4

INICIADOR	SUST.	FRECUENCIA INICIADOR (a ⁻¹)	CONDICIONES DE PROCESO	PARÁMETROS DE CÁLCULO
BOMCIST/GNL/P3	GNL	4.11E-07	Rotura parcial. Bomba no encapsulada. -V= 20 m3 -P= 7 barg -T= -160 °C	- Ø línea =65 mm - Ø escape = 6.50 mm - Qescape = 0.48Kg/s - Tescape = 1800 s - Mescape = 871.06 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
BOM/GNL/HP1	GNL	4.11E-07	Rotura total. Bomba encapsulada. -V= 34.2 m3 -P= 8 barg -T= -160 °C	- Ø línea =25 mm - Ø escape = 25.00 mm - Qescape = 4.73Kg/s - Tescape = 120 s - Mescape = 568.13 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
BOM/GNL/HP2	GNL	4.11E-10	Rotura total. Falla intervención (0,1%) Bomba encapsulada. -V= 34.2 m3 -P= 8 barg -T= -160 °C	- Ø línea =25 mm - Ø escape = 25.00 mm - Qescape = 4.73Kg/s - Tescape = 120 s - Mescape = 568.13 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
BOM/GNL/HP3	GNL	2.05E-06	Rotura parcial. Bomba no encapsulada. -V= 34.2 m3 -P= 8 barg -T= -160 °C	- Ø línea =25 mm - Ø escape = 2.50 mm - Qescape = 0.08Kg/s - Tescape = 1800 s - Mescape = 135.60 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
COMP/GNL/P3.1	GNL	1.13E-05	Rotura total -V= 3 m3 -P= 8 barg -T= 20 °C	- Ø línea =25 mm - Ø escape = 25.00 mm - Qescape = 0.42Kg/s - Tescape = 120 s - Mescape = 50.33 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
COMP/GNL/P3.3	GNL	4.52E-04	Fuga 10% Ø -V= 3 m3 -P= 8 barg -T= 20 °C	- Ø línea =25 mm - Ø escape = 2.50 mm - Qescape = 0.01Kg/s - Tescape = 1800 s - Mescape = 11.86 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4

INICIADOR	SUST.	FRECUENCIA INICIADOR (a ⁻¹)	CONDICIONES DE PROCESO	PARÁMETROS DE CÁLCULO
VAPDES/GNL/W 9.1	GNL	8.22E-08	Rotura total -V= 34.2 m3 -P= 14 barg -T= -150 °C	- Ø línea =50 mm - Ø escape = 50.00 mm - Qescape = 13.57Kg/s - Tescape = 120 s - Mescape = 1627.82 Kg - PD instantánea = 0.04 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
VAPPBU/GNL/W 9.1	GNL	4.13E-07	Rotura total -V= 34.2 m3 -P= 14 barg -T= -114.6 °C	- Ø línea =25 mm - Ø escape = 25.00 mm - Qescape = 2.73Kg/s - Tescape = 120 s - Mescape = 327.81 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
DEP/GNL/O1	GNL	5.00E-07	Rotura catastrófica. Fuga instantánea de todo el contenido -V= 34.2 m3 -P= 14 barg -T= -150 °C	- Tescape = 0 s - Mescape = 13846.55 Kg - PD instantánea = 0.09 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
DEP/GNL/O2	GNL	5.00E-07	Fuga continua de todo el contenido 10 min -V= 34.2 m3 -P= 14 barg -T= -150 °C	- Qescape = 9.97Kg/s - Tescape = 600 s - Mescape = 13846.55 Kg - PD instantánea = 0.04 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
DEP/GNL/O3	GNL	1.00E-05	Fuga continua Ø 10mm -V= 34.2 m3 -P= 14 barg -T= -150 °C	- Qescape = 1.59Kg/s - Tescape = 1800 s - Mescape = 2870.17 Kg - PD instantánea = 0.04 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
DEPBOG/GN/D9 .1	GN	5.00E-07	Rotura catastrófica. Fuga instantánea de todo el contenido -V= 3 m3 -P= 8 barg -T= -150 °C	- Tescape = 0 s - Mescape = 1214.61 Kg - PD instantánea = 0.04 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
DEPBOG/GN/D9 .2	GN	5.00E-07	Fuga continua de todo el contenido 10 min -V= 3 m3 -P= 8 barg -T= -160 °C	- Qescape = 0.07Kg/s - Tescape = 600 s - Mescape = 43.55 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4

INICIADOR	SUST.	FRECUENCIA INICIADOR (a ⁻¹)	CONDICIONES DE PROCESO	PARÁMETROS DE CÁLCULO
DEPBOG/GN/D9.3	GN	1.00E-05	Fuga continua Ø 10mm -V= 3 m3 -P= 8 barg -T= -160 °C	- Qescape = 1.16Kg/s - Tescape = 1800 s - Mescape = 2090.21 Kg - PD instantánea = 0.04 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
MAN.DES/GNL/L1	GNL	2.88E-05	Rotura total, ESD -V= 20 m3 -P= 8 barg -T= -126.3 °C	- Ø línea =40 mm - Ø escape = 40.00 mm - Qescape = 4.54Kg/s - Tescape = 5 s - Mescape = 22.71 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
MAN.DES/GNL/L2	GNL	2.88E-08	Rotura total, ESD falla -V= 20 m3 -P= 8 barg -T= -126.3 °C	- Ø línea =40 mm - Ø escape = 40.00 mm - Qescape = 4.54Kg/s - Tescape = 120 s - Mescape = 545.00 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
MAN.DES/GNL/L3	GNL	2.88E-03	Fuga 10% Ø -V= 20 m3 -P= 8 barg -T= -126.3 °C	- Ø línea =40 mm - Ø escape = 4.00 mm - Qescape = 0.19Kg/s - Tescape = 1800 s - Mescape = 334.43 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
MAN.SUM/GNL/LD.1	GNL	1.07E-03	Rotura total. ESD -V= 34.2 m3 -P= 8 barg -T= -126.3 °C	- Ø línea =25 mm - Ø escape = 25.00 mm - Qescape = 2.00Kg/s - Tescape = 5 s - Mescape = 10.02 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
MAN.SUM/GNL/LD.2	GNL	9.73E-06	Rotura total. ESD manual falla -V= 34.2 m3 -P= 8 barg -T= -126.3 °C	- Ø línea =25 mm - Ø escape = 25.00 mm - Qescape = 2.00Kg/s - Tescape = 120 s - Mescape = 240.45 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4

INICIADOR	SUST.	FRECUENCIA INICIADOR (a ⁻¹)	CONDICIONES DE PROCESO	PARÁMETROS DE CÁLCULO
MAN.SUM/GNL/LD.3	GNL	1.08E-06	Rotura total. ESD automático falla -V= 34.2 m3 -P= 8 barg -T= -126.3 °C	- Ø línea =25 mm - Ø escape = 25.00 mm - Qescape = 2.00Kg/s - Tescape = 1800 s - Mescape = 3606.82 Kg - PD instantánea = 0.04 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
MAN.SUM/GNL/LD.4	GNL	1.08E-01	Fuga 10% Ø -V= 34.2 m3 -P= 8 barg -T= -126.3 °C	- Ø línea =25 mm - Ø escape = 2.50 mm - Qescape = 0.07Kg/s - Tescape = 1800 s - Mescape = 130.64 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
MAN.SUM/GNC/LD.1	GNC	1.43E-04	Rotura total. ESD -V= 34.2 m3 -P= 275 barg -T= 20 °C	- Ø línea =15 mm - Ø escape = 15.00 mm - Qescape = 0.12Kg/s - Tescape = 5 s - Mescape = 0.62 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
MAN.SUM/GNC/LD.2	GNC	1.30E-06	Rotura total. ESD falla -V= 34.2 m3 -P= 275 barg -T= 20 °C	- Ø línea =15 mm - Ø escape = 15.00 mm - Qescape = 0.12Kg/s - Tescape = 120 s - Mescape = 14.89 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
MAN.SUM/GNC/LD.3	GNC	1.44E-07	Rotura total. ESD automático falla -V= 34.2 m3 -P= 275 barg -T= 20 °C	- Ø línea =15 mm - Ø escape = 15.00 mm - Qescape = 0.12Kg/s - Tescape = 1800 s - Mescape = 223.30 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
MAN.SUM/GNC/LD.4	GNC	1.44E-02	Fuga 10% Ø -V= 34.2 m3 -P= 275 barg -T= 20 °C	- Ø línea =15 mm - Ø escape = 1.50 mm - Qescape = 0.09Kg/s - Tescape = 1800 s - Mescape = 158.83 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4

INICIADOR	SUST.	FRECUENCIA INICIADOR (a ⁻¹)	CONDICIONES DE PROCESO	PARÁMETROS DE CÁLCULO
LINSI1.1/GNL/L4	GNL	3.70E-08	Rotura total línea -V= 20 m3 -P= 8 barg -T= -160 °C	- Ø línea =50 mm - Ø escape = 50.00 mm - Qescape = 5.26Kg/s - Tescape = 5 s - Mescape = 26.31 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
LINSI1.1/GNL/L5	GNL	4.11E-09	Rotura total línea -V= 20 m3 -P= 8 barg -T= -160 °C	- Ø línea =50 mm - Ø escape = 50.00 mm - Qescape = 5.26Kg/s - Tescape = 120 s - Mescape = 631.39 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
LINSI1.1/GNL/L6	GNL	2.05E-07	Fuga 10% Ø -V= 20 m3 -P= 8 barg -T= -150 °C	- Ø línea =50 mm - Ø escape = 5.00 mm - Qescape = 0.31Kg/s - Tescape = 1800 s - Mescape = 551.01 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
LINSI1.2/GNL/L OB9.1b	GNL	1.50E-07	Rotura total línea -V= 34.2 m3 -P= 14 barg -T= -114.6 °C	- Ø línea =25 mm - Ø escape = 25.00 mm - Qescape = 2.73Kg/s - Tescape = 120 s - Mescape = 327.81 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
LINSI1.2/GNL/L OB9.3b	GNL	7.50E-07	Fuga 10% Ø -V= 34.2 m3 -P= 14 barg -T= -150 °C	- Ø línea =25 mm - Ø escape = 2.50 mm - Qescape = 0.09Kg/s - Tescape = 1800 s - Mescape = 170.31 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
LINSI2.1/GNL/L OB9.1b	GNL	5.00E-06	Rotura total línea -V= 34.2 m3 -P= 8 barg -T= -126.3 °C	- Ø línea =40 mm - Ø escape = 40.00 mm - Qescape = 5.95Kg/s - Tescape = 120 s - Mescape = 714.40 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4

INICIADOR	SUST.	FRECUENCIA INICIADOR (a ⁻¹)	CONDICIONES DE PROCESO	PARÁMETROS DE CÁLCULO
LINSI2.1/GNL/L OB9.3b	GNL	2.50E-05	Fuga 10% Ø -V= 34.2 m3 -P= 8 barg -T= -126.3 °C	- Ø línea =40 mm - Ø escape = 4.00 mm - Qescape = 0.19Kg/s - Tescape = 1800 s - Mescape = 334.43 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
LINSI2.2/GNL/L OB9.1b	GNL	5.00E-06	Rotura total línea -V= 34.2 m3 -P= 8 barg -T= -126.3 °C	- Ø línea =40 mm - Ø escape = 40.00 mm - Qescape = 5.95Kg/s - Tescape = 120 s - Mescape = 714.40 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
LINSI2.2/GNL/L OB9.3b	GNL	7.50E-06	Fuga 10% Ø -V= 34.2 m3 -P= 8 barg -T= -160 °C	- Ø línea =40 mm - Ø escape = 4.00 mm - Qescape = 0.19Kg/s - Tescape = 1800 s - Mescape = 334.43 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
LINSI2.3/GNL/L OB9.1b	GNL	5.00E-06	Rotura total línea -V= 34.2 m3 -P= 8 barg -T= -126.3 °C	- Ø línea =40 mm - Ø escape = 40.00 mm - Qescape = 5.95Kg/s - Tescape = 120 s - Mescape = 714.40 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
LINSI2.3/GNL/L OB9.3b	GNL	2.50E-05	Fuga 10% Ø -V= 34.2 m3 -P= 8 barg -T= -160 °C	- Ø línea =40 mm - Ø escape = 4.00 mm - Qescape = 0.19Kg/s - Tescape = 1800 s - Mescape = 334.43 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
LINSI3.1/GNC/L OB9.1b	GNC	5.00E-06	Rotura total línea -V= 34.2 m3 -P= 275 barg -T= 20 °C	- Ø línea =20 mm - Ø escape = 20.00 mm - Qescape = 8.58Kg/s - Tescape = 120 s - Mescape = 1029.33 Kg - PD instantánea = 0.04 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4

INICIADOR	SUST.	FRECUENCIA INICIADOR (a ⁻¹)	CONDICIONES DE PROCESO	PARÁMETROS DE CÁLCULO
LINSI3.1/GNC/L OB9.3b	GNC	2.50E-05	Fuga 10% Ø -V= 34.2 m3 -P= 275 barg -T= 20 °C	- Ø línea =20 mm - Ø escape = 2.00 mm - Qescape = 0.16Kg/s - Tescape = 1800 s - Mescape = 282.37 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
LINSI3.2/GN/LO B9.1b	GN	5.00E-06	Rotura total línea -V= 0.5 m3 -P= 8 barg -T= -126.3 °C	- Ø línea =15 mm - Ø escape = 15.00 mm - Qescape = 0.59Kg/s - Tescape = 120 s - Mescape = 70.87 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
LINSI3.2/GN/LO B9.3b	GN	2.50E-05	Fuga 10% Ø -V= 0.5 m3 -P= 8 barg -T= -160 °C	- Ø línea =15 mm - Ø escape = 1.50 mm - Qescape = 0.03Kg/s - Tescape = 1800 s - Mescape = 47.03 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
BOT16/GNC/G1	GNC	8.00E-06	Rotura catastrófica. Fuga instantánea de todo el contenido -V= 0.185 m3 -P= 275 barg -T= 20 °C	- Tescape = 0 s - Mescape = 36.72 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
BOT16/GNC/G2	GNC	8.00E-06	Fuga continua -V= 2.775 m3 -P= 275 barg -T= 20 °C	- Ø línea =5 mm - Ø escape = 5.00 mm - Qescape = 0.98Kg/s - Tescape = 120 s - Mescape = 117.65 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
BOT4/GNC/G1	GNC	2.00E-06	Rotura catastrófica. Fuga instantánea de todo el contenido -V= 0.185 m3 -P= 275 barg -T= 20 °C	- Tescape = 0 s - Mescape = 36.72 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4

INICIADOR	SUST.	FRECUENCIA INICIADOR (a ⁻¹)	CONDICIONES DE PROCESO	PARÁMETROS DE CÁLCULO
BOT4/GNC/G2	GNC	2.00E-06	Fuga continua -V= 0.555 m3 -P= 275 barg -T= 20 °C	- Ø línea =5 mm - Ø escape = 5.00 mm - Qescape = 0.98Kg/s - Tescape = 1800 s - Mescape = 1764.81 Kg - PD instantánea = 0.04 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
BOT/GNC/S1	GNC	1.35E-09	Rotura por fragilización -V= 3.7 m3 -P= 275 barg -T= 20 °C	- Tescape = 0 s - Mescape = 734.41 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
CIST/GNL/B1	GNL	3.13E-09	BLEVE -V= 20 m3 -P= 8 barg -T= -160 °C	- Tescape = 0 s - Mescape = 8418.54 Kg - PD instantánea = 0.04 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
CIST/GNL/B2	GNL	1.23E-08	BLEVE -V= 20 m3 -P= 8 barg -T= -160 °C	- Tescape = 0 s - Mescape = 8418.54 Kg - PD instantánea = 0.04 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
CIST/GNL/B3	GNL	5.40E-09	BLEVE -V= 20 m3 -P= 8 barg -T= -160 °C	- Tescape = 0 s - Mescape = 8418.54 Kg - PD instantánea = 0.04 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
DEP/GNL/S1	GNL	3.15E-08	BLEVE -V= 34.2 m3 -P= 14 barg -T= -150 °C	- Tescape = 0 s - Mescape = 13846.55 Kg - PD instantánea = 0.09 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4
DEP/GNL/S2	GNL	6.86E-07	Fuga por sobrellenado -V= 34.2 m3 -P= 14 barg -T= -150 °C	- Qescape = Kg/s - Tescape = 1800 s - Mescape = 6.29 Kg - PD instantánea = 0.02 - PR retardada = 0.7 - PE explosión = 0.4

La probabilidad de ignición directa considerada se obtiene de la tabla anteriormente presentada, Tabla 7. Probabilidades de ignición para GNL de BEVI, en función de los caudales de fuga continua o instantánea.

La probabilidad de ignición retardada se obtiene de la *Instrucció 14/2008 SIE Criteris per la realització de les Anàlisis Quantitatives de Risc a Catalunya*, que



en su punto F3-11, que estipula que por defecto en “Áreas de proceso” se estima un valor de **0,7**. Se ha asumido que la estación de GNL, por su operatividad, se debe asimilar como área de proceso.

Por último, para el modelo de explosión utilizado *Multi-Energy*, se estima una probabilidad de explosión de 0,4, tal y como se indica en el *BEVI*, 3.4.6.9 - *Explosion fraction*. En el cálculo se asume un rendimiento de la explosión del 8%, con la curva nº6, tal y como se indica en la *Instrucció 14/2008*, F4-18.

7.5 CÁLCULOS DE VULNERABILIDAD

7.5.1 CRITERIOS PARA EL CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD

Una vez realizado el cálculo de consecuencias, se obtiene, para cada escenario, el alcance de la variable física peligrosa (concentración de una determinada sustancia, radiación térmica, onda de presión, etc.).

Para obtener los diferentes alcances letales a partir de las variables físicas obtenidas es necesario realizar el cálculo de la vulnerabilidad, que consiste en el uso de las diferentes ecuaciones PROBIT para cada sustancia o fenómeno peligroso considerado. A continuación se detalla para cada tipo de sustancia, el cálculo de la vulnerabilidad realizado así como la ecuación PROBIT utilizada en cada caso.

7.5.2 VULNERABILIDAD DERIVADA DE LA RADIACIÓN TÉRMICA

A efectos de cálculo de la vulnerabilidad derivada de la radiación térmica procedente de incendios, ha sido considerada la ecuación Probit recomendada por el CPR en su guía *Methods for determination of possible damage, CPR 16E*.

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3})$$

donde:

t: tiempo de exposición (20 segundos⁶)
q: energía que llega por radiación

Este cálculo se ha aplicado en las bolas de fuego, incendios de charco y dardos de fuego.

En el caso de llamaradas, debido a la corta duración del fenómeno y según se indica en la guía BEVI, se ha considerado una vulnerabilidad del 100% de letalidad en toda el área con concentraciones iguales o superiores al límite inferior de inflamabilidad de la correspondiente dispersión inflamable.

⁶ Guidelines for quantitative risk assessment, CPR 18E

8 DETERMINACIÓN DEL RIESGO

8.1 METODOLOGÍA UTILIZADA

La metodología utilizada para estimar el riesgo individual viene recogida en la bibliografía especializada⁷.

De forma genérica, el riesgo puede definirse como el producto de dos factores:

- Un factor que mide la frecuencia de ocurrencia de un hipotético Accidente Grave (f).
- Un factor que mide la magnitud de las consecuencias, es decir, los daños en caso de accidente, sean materiales o humanos (fracción de respuesta RF , que disminuye con la distancia).

Ambos factores, f y RF , deberán ser promediados, teniendo en cuenta las diferentes probabilidades consideradas para la dirección del viento y la estabilidad atmosférica.

Desde un punto de vista conceptual, el riesgo en una determinada dirección vendría dado por el producto de los siguientes factores:

El riesgo R en un punto (i,j) podría expresarse matemáticamente a partir de la siguiente expresión:

$$R_{ij} = \sum_{k=1}^6 f \cdot RF_{ik} \cdot pwth_k \cdot pwin_j$$

siendo:

i	Punto de interés en la dirección radial donde se evalúa el riesgo en	coordenadas polares
j	Dirección seleccionada	
k	Clase de estabilidad (A,B,C,D,E,F)	
F_{ik}	Frecuencia iniciador	
$pwth_k$	Probabilidad de estabilidad	
$pwin_j$	Probabilidad del viento (viento se asimila a dirección del viento)	

De la ponderación de todos estos factores resulta el riesgo global de una instalación.

⁷ Pietersen *et.al*, 'Risk assessment and risk contour mapping', *J. Loss Prev. Process Ind.* (1992).

La superposición de todos los valores de R_{ij} en cada punto de la instalación da como resultado curvas de riesgo individual incluidas en el ACR. De forma explicativa, para cada escenario se calcula con qué consecuencias afecta a todos los puntos contenidos dentro de su área de influencia. Estas consecuencias se transforman a riesgo una vez se les aplica la frecuencia del suceso final. Posteriormente, para cada punto se agrupan los riesgos generados que le afectan, obteniendo el riesgo final del punto. Para trazar las curvas se unen los puntos con el mismo valor de riesgo que define cada curva (p.e: curva $1 \cdot 10^{-4}$ agrupa todos los puntos con este riesgo). Para una mejor interpretación de estos resultados, se aconseja consultar las Guías Técnicas editadas por la DGPC⁸ o bibliografía especializada⁹.

Las cifras de fiabilidad consideradas representarían en muchos casos las frecuencias más desfavorables de accidente, dado que las probabilidades asignadas a cada rama de árbol de suceso han sido tomadas en la condición más pesimista.

En cuanto a la magnitud de un hipotético accidente, la legislación vigente establece, a través de la *Directriz Básica*, un claro procedimiento para la elaboración de Análisis del Riesgo, donde se hace énfasis en la evaluación de las consecuencias. Este procedimiento ha sido respetado en el presente estudio. Así, han sido empleados modelos de cálculo de reconocido prestigio, considerando la tipología de accidentes que establece el glosario de términos de la *Directriz Básica*, y se han adoptado los umbrales de afectación específicos para cada tipo de fenómeno peligroso. En el Análisis del Riesgo, se expresan de forma clara y tabulada las zonas de intervención y alerta. En el Análisis Cuantitativo del Riesgo, se evalúan los daños en función de la distancia, teniendo en cuenta las zonas afectadas por las nubes inflamables y dispersiones tóxicas para condiciones de estabilidad 7D y 2F respectivamente.

Cabe destacar que debido a las limitaciones y objetivos propios de las metodologías para la elaboración de Análisis Cuantitativos del Riesgo, en el presente estudio no han sido cuantificados los siguientes aspectos:

- El *riesgo medioambiental*, de modo que el daño cuantificado viene referido sólo a la afectación de personas por fenómenos peligrosos de naturaleza térmica (incendios), o tóxica (dispersiones tóxicas).
- La *influencia de la topografía*, de modo que el alcance de las consecuencias se refiere a derrames de geometría radial acumulados en las inmediaciones del punto de escape. El posible desplazamiento del riesgo debido a desniveles o pendientes que puedan favorecer el drenaje de producto hacia otros puntos del complejo industrial, no ha sido analizado. Debido a la

⁸ Dirección General de Protección Civil (DGPC), 'Métodos cuantitativos para el análisis de riesgos', Dirección General de Protección Civil, Ministerio de Justicia e Interior (1994).

⁹ Casal J., Vilchez J.A. *et al.*, 'Anàlisi del risc en instal·lacions industrials', Edicions UPC, Barcelona (1996)

configuración de la zona donde se ubican los equipos y al recorrido de las tuberías, puede darse el caso de derrames hacia cubetos de retención u otras áreas confinadas. En estos casos, se considerará siempre que el charco formado es no confinado, centrado en el punto de escape y de geometría radial, dada la dificultad de establecer con precisión el recorrido del producto.

8.2 CUANTIFICACIÓN MATEMÁTICA DEL RIESGO

La superposición de todos los valores de riesgo $R_{i,j}$ mencionada en el apartado anterior y necesaria para la obtención del resultado final, se ha realizado utilizando el siguiente paquete de cálculo:

- SAFETI 8.11, desarrollado por DNV.

Tanto las frecuencias de ocurrencia como los alcances de los diferentes cálculos de vulnerabilidad se han obtenido a partir de las consideraciones realizadas por personal especializado, las diferentes guías y metodologías mencionadas en el presente documento y la supervisión final del mismo por el titular de la instalación, de forma que la concordancia del presente estudio con las condiciones reales de proceso queda suficientemente contrastada.

8.3 CURVAS DE RIESGO INDIVIDUAL RESULTANTES

A continuación, se presenta las curvas de riesgo individual para la estación de GNL/GNC:

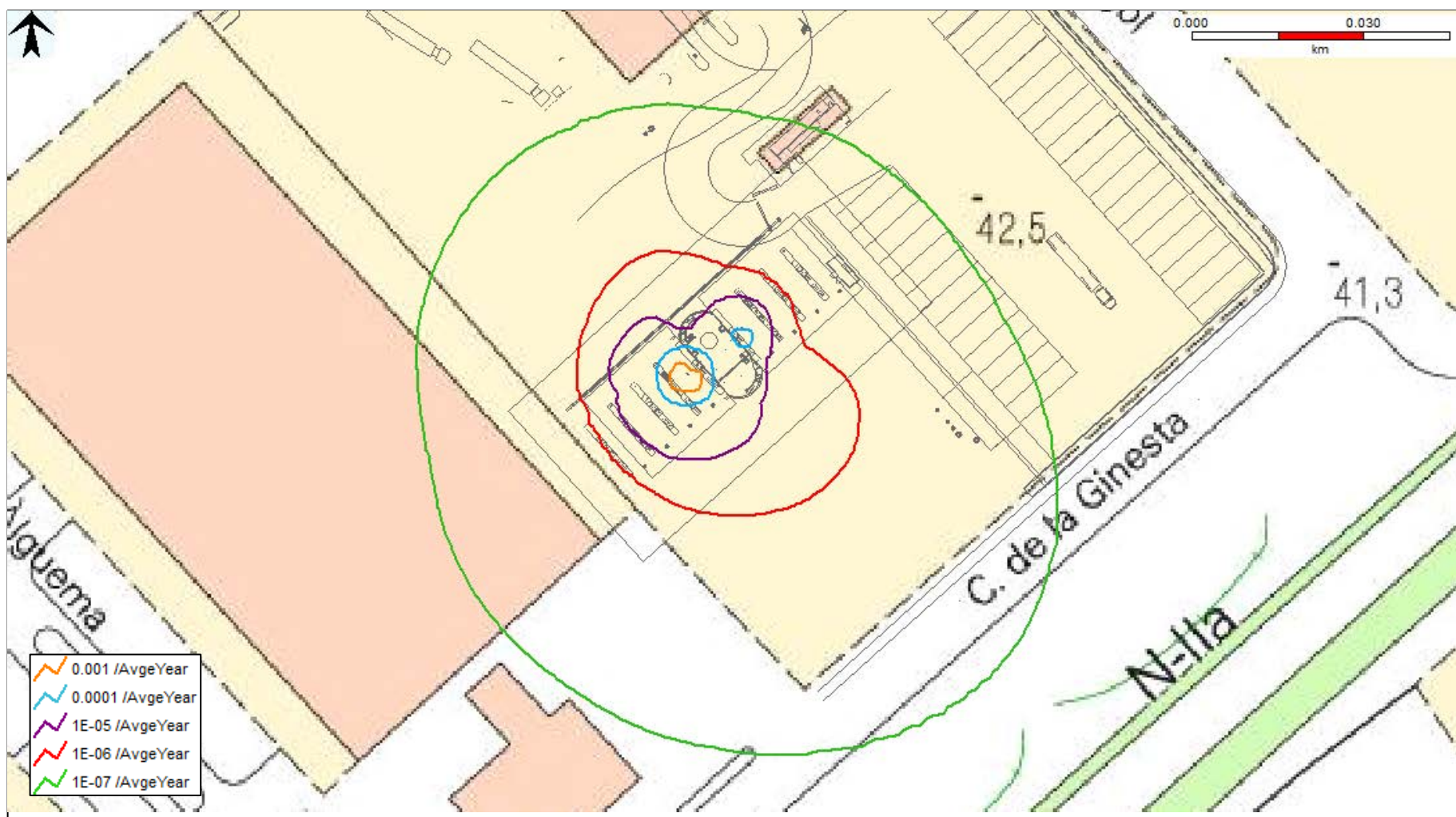


Figura 6: Curvas de riesgo individual de la estación de GNL/GNC situada en Santa Llogaia d'Àiguema.

9 COMPARACIÓN DEL RIESGO CON LOS CRITERIOS DE ACEPTABILIDAD

La norma ISO 16924 establece que los criterios de aceptabilidad deben adecuarse a las distancias de la Tabla B.1 – Anexo B, o a los resultados de la evaluación cuantitativa de riesgos QRA 10^{-6} .

La distancia propuesta por esta norma establece:

- Desde conexión de descarga GNL: 50 m para edificios con una ocupación mayor que 100 personas.
- Desde conexión de descarga GNL: 30 m para edificios con una ocupación entre 10 y 100 personas.
- Desde depósito GNL: 30 m para edificios con una ocupación mayor que 10 personas.

Aunque nos encontremos con dos puntos de referencia, según el diseño de las instalaciones **se considera la referencia a la conexión de descarga** como la referencia marcada, ya que es la más desfavorable y siempre se encontrará lo más cerca posible del depósito.

El resultado del análisis ACR realizado nos indica que para la estación analizada se requieren las siguientes distancias a edificios, asumidas radialmente, para situarse a un nivel inferior de riesgo $1 \cdot 10^{-6} \text{ a}^{-1}$:

- Distancia desde punto de descarga de cisterna: **28 m**
- Distancia desde depósito GNL: **32 m**

Debe considerarse que estas distancias son válidas para todas aquellas ubicaciones que donde la meteorología se adecue a las condiciones límite más desfavorables:

- Día: Probabilidad 2F < 15% y velocidad $\geq 1,2 \text{ m/s}$
- Noche: Probabilidad 2F < 80% y velocidad $\geq 1,2 \text{ m/s}$



10 CONCLUSIONES

Se ha llevado a cabo el Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR) asociado a la operación de suministro de GNL desde camiones cisterna.

Los resultados del estudio representan los riesgos de la operativa de suministro de la estación.

El estudio se lleva a cabo siguiendo la metodología general definida en el BEVI y LNG tankstations, y en concordancia con la metodología establecida por la autoridad competente en Accidentes Graves en Cataluña.

Los resultados indican un alcance máximo del **riesgo individual de 10^{-6} a⁻¹ de 32 metros.**

En relación a las distancias establecidas en la ISO 16924, se determina que la distancia máxima para los edificios vecinos con ocupación superior a 100 personas se reduce en 18 metros respecto los 50 metros establecidos por la ISO 16924, siempre y cuando se cumplan las condiciones utilizadas para este análisis.





Annex 7

Deliverable 4.1: Engine conversion design for a straddle carrier at APMT

Engine conversion design for a straddle carrier at APMT

Deliverable 4.1

EPM3 – LNG STRADDLE CARRIERS

Applus IDIADA



CORE LNGas
hive

Applus⁺
IDIADA



Core Network Corridors and Liquefied Natural Gas

2014-EU-TM-0732-S

EPM3 – LNG STRADDLE CARRIERS

Deliverable 4.1 – Engine conversion design for a straddle carrier at APMT

Due date of deliverable: 03/09/2019

Start of project: 01 January 2016

Duration: 48 Months

Lead Contractor for this deliverable: IDIADA

Revision: First version

 Co-financed by the European Union Connecting Europe Facility		
Dissemination level		
PU	Public	X
CO	Confidential, only for members of the consortium (including the Commission Services)	

Revision History

Deliverable Administration and summary		
Project Acronym: CORE LNGas Hive		INEA/CEF/TRAN/M2014/1026196
Document Identifier: Engine conversion design for a straddle carrier at APMT		
Leading partner: Applus IDIADA		
Report version: First version		
Report preparation date: 2019		
Classification: CO		
Nature: Technical report		
Author(s) and contributors: Applus IDIADA (idiada@idiada.com)		
Status		Plan
		Draft
		Working
	x	Final
		Submitted
		Approved

The Core LNGas Hive consortium has addressed all comments received, making changes as necessary. Changes to the document are detailed in the change log table below.

Date	Edited by	Status	Changes made

Copyright

This report is © CORE LNGas Hive Consortium 2015. Its duplication is allowed only in the integral form for personal use or for the purposes of research and education.

Acknowledgements

The work presented in this document has been conducted in the context of the action INEA/CEF/TRAN/M2014/1026196 CORE LNGas Hive. CORE LNGas HIVE is a 60 months project started on January 1st, 2014.

The project consortium is composed of: Enagás Transporte, S.A.U. (Enagás), Sociedad de Salvamento y Seguridad Marítima (SASEMAR), Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Universidade de Santiago de Compostela (USC), ENTE VASCO DE LA ENERGÍA (EVE), Autoridad Portuaria de Barcelona - Port de Barcelona (APB), Port Authority of Cartagena (PAC), AUTORIDAD PORTUARIA DE FERROL-SAN CIBRAO (APF), Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras (APBA), Port Authority of Huelva (PAH), COMPAÑÍA ESPAÑOLA DE PETRÓLEOS S.A.U. (CEPSA), Regasificadora del Noroeste, S.A. (RdN), HAM CRIOGENICA, S.L. (HAM), BUREAU VERITAS IBERIA SLU (BVI), GUASCOR POWER SA (GP), IDIADA AUTOMOTIVE TECHNOLOGY S.A (IAT), FLOTA SUARDIAZ, S.L. (Suardiaz), ITSAS GAS BUNKER SUPPLY SL (ITSAS), COMPAÑIA DE REMOLCADORES IBAIZABAL, S.A. (IBAI), TERMINAL DE CONTENIDORS DE BARCELONA, S.L. (TCB), Terminal Catalunya, S.A. (TC), UTE REMOLCADORES DE BARCELONA-SAR, UNION TEMPORAL DE EMPRESAS, LEY 18/1982 (URB), ASTILLEROS ARMON, S.A. (AA), GAS NATURAL SDG, S.A. (GN), INSTITUTO ENERXÉTICO DE GALICIA (IEG), Fundación de la Comunidad Valenciana para la Investigación, Promoción y Estudios Comerciales de Valenciaport (Fundación Valenciaport) (FV), Planta de Regasificación de Sagunto, S.A. (PRS), MOLGAS ENERGÍA, SAU (ME), Autoridad Portuaria de Valencia (APV), SEAPLACE SL (Seaplace), BOLUDA CORPORACION MARITIMA S.L. (BCM), Autoridad Portuaria de Bilbao (APBi), RENFE MERANCÍAS S.A. (Renfe), Puertos del Estado (PdE), Dirección General de la Marina Mercante (DGMM), PORT AUTHORITY OF GIJON (PAG), Port Authority of Melilla (PAM), Santander Port Authority (SPA), Port Authority of Tarragona (PAT), Port Authority of Vigo (PAV), Port Authority of Santa Cruz de Tenerife (PASCT) and REN Gasoductos, S.A. (RENG).

More Information

Public CORE LNGas HIVE reports and additional information related with the project execution and results are available through CORE LNGas Hive public website at www.corelngashive.eu

Table of contents

List of figures	6
List of tables	6
1. Introduction.....	7
2. Technical data of the original engine	8
3. Overview of natural gas engines.....	9
3.1. Definition of lean-burn combustion	10
4. Modification strategy.....	11
4.1. Initial overview.....	11
4.2. Mechanical modifications for compression ratio reduction.....	13
4.3. Installation of ignition device.....	13
4.4. New intake manifold	14
4.5. Natural gas injection	15
4.6. Load control	16
4.7. Turbocharged engine.....	16
4.8. Inlet air routing	16
4.9. After-treatment system	17
5. Electronic modifications.....	18
5.1. ECU calibration	18
6. Maintenance tasks.....	18
7. Engine calibration.....	21
8. Conclusions	22
9. List of Acronyms and Abbreviations	23

List of figures

Figure 1: Engines location at APMT straddle carrier	8
Figure 2: Pressure-volume diagram for Diesel and Otto cycles.....	9
Figure 3: Compression ratio parameters	10
Figure 4: Engine location at the Straddle Carrier	11
Figure 5: APMT original engine	12
Figure 6: 3D scanning results.....	12
Figure 7: Engine installed in the Straddle Carrier	13
Figure 8: Spark plug and ignition coil assembly	14
Figure 9: Original intake manifold	14
Figure 10: Intake manifold system	15
Figure 11: Natural gas injection system mounted on the new intake manifold	15
Figure 12: Turbocharger assembly and designed spacer to adapt different turbochargers	16
Figure 13: Inlet air routing assembly (in green)	17
Figure 14: After-treatment system: MOC catalyst	18
Figure 15: Deterioration of the original intake manifold and V-belt.....	19
Figure 16: Head gasket set	19
Figure 17: Original engine	20
Figure 18: Comparison between the original engine and after cleaning process	20
Figure 19: APMT engine after cleaning process	20
Figure 20: First converted engine installed in test bench.....	21
Figure 21: Engine installation in the test bench with instrumentation.	22

List of tables

Table 1: Valmet 612 DS technical data according to the Operator's manual	8
--	---

1. Introduction

As part of CORE LNGas HIVE, a pilot activity is being developed to demonstrate the use of liquefied natural gas (LNG) as fuel for straddle carriers inside the Barcelona Port terminals, the sub-activity called EPM-3.

Initially, BEST and APMT were the two terminals of the Barcelona Port that participated in the project by providing one straddle carrier to convert. But BEST terminal did not allow the conversion for the following reasons: the machine was still covered by guarantee and Kalmar, the manufacturer of the machine, indicated that a new CE marking is necessary if the conversion activity requires substantial changes. The approval of the CE marking means that the engine must comply with the current emission standard Tier IV, among other requirements. This requirement was not assured before the design of the conversion and could involve solutions not included in the scope of the project. Finally, the transformation and the pilot phase cannot take place in the BEST Terminal due to the lack of legal security. The preliminary design study of the BEST engine conversion can be found in deliverable 2.1 in the technical feasibility study.

The following report describes the technical modifications that will be made to the engines of APMT terminal in order to convert them into natural gas engines. This activity, which includes the design of the conversion and the physical conversion, is carried out by IDIADA.

This document composes the public version of the report 4.1. The entire version with the all content has already been submitted to the European Commission and to the project coordinator.

In this regard, certain technical content has been classified as confidential and therefore duly removed. In case readers want to contrast or even obtain more info, the document author might be consulted who has the responsibility of its public dissemination.

2. Technical data of the original engine

The APMT straddle carrier is equipped with two Valmet 612 DS turbocharged, four stroke, direct-injection in-line diesel engines. The engines are located at the bottom of the machine, one at each end of the U-shaped structure as marked in Figure 1.

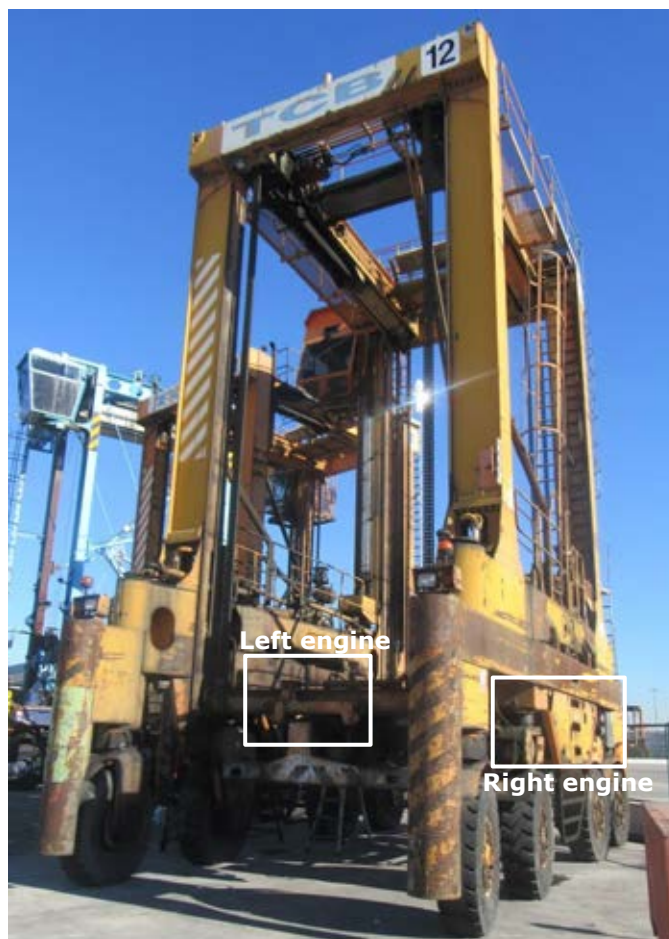


Figure 1: Engines location at APMT straddle carrier

According to the **Operator's manual**, the main features of the original engines are summarized in Table 1.

Table 1: Valmet 612 DS technical data according to the Operator's manual

Technical data	
Number of cylinders	6
Engine displacement	7.4 dm ³
Cylinder bore	108 mm
Stroke	134 mm
Aspiration	Turbocharged
Cooling	By liquid
Combustion	Direct injection
Compression ratio	15: 1
Idle speed	650 rpm
Fuel	Diesel

3. Overview of natural gas engines

The conversion of the Valmet 612 engine is based on the modification of some of its parts and the replacement or implementation of new systems to work with natural gas fuel. In this project, different approaches and technologies are studied to convert the diesel engine into a natural gas engine according to its performance characteristics. The most feasible solution will be adopted afterwards.

Natural gas engines follow the Otto cycle rather than a Diesel cycle. The main difference is how heat is supplied to initiate combustion; an Otto cycle takes place when combustion is started using a spark plug while for a Diesel cycle there is an auto-ignition of the air-fuel mixture due to compression. Theoretically, in Otto engines, the heat addition occurs at constant volume, while in Diesel engines, the heat addition occurs at constant pressure, as shown in Figure 2.

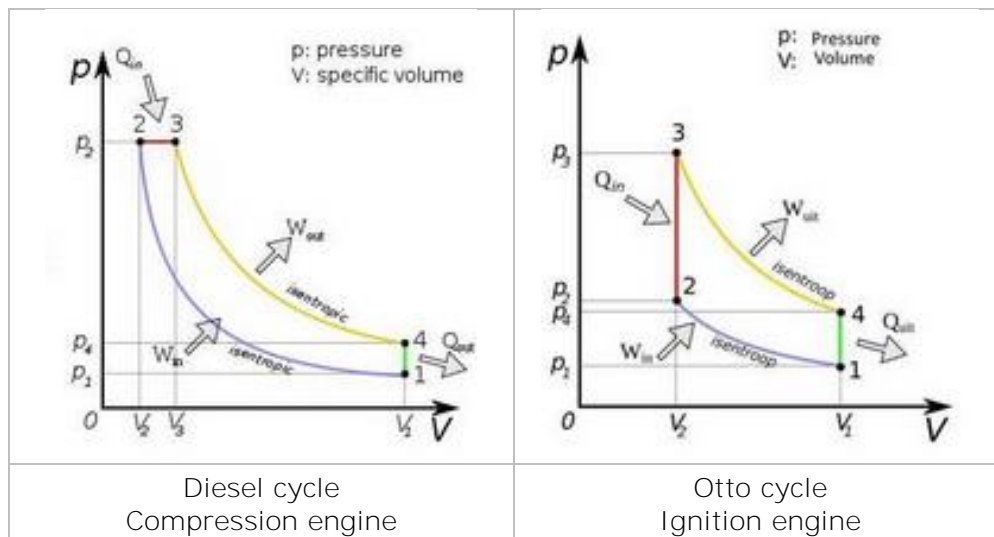


Figure 2: Pressure-volume diagram for Diesel and Otto cycles

Another important factor that must be taken into account when a diesel engine is converted into a gas engine is the compression ratio (CR). The compression ratio is the ratio between the combustion chamber volume (V_{cc}) and the total piston volume when the piston is located at its lowest position or at the bottom dead centre (BDC).

$$CR = \frac{\left(\frac{\pi}{4} b^2 s\right) + V_{cc}}{V_{cc}}$$

Where b is bore and s is stroke. Moreover, the higher the compression ratio is, the higher the engine efficiency becomes.

In diesel engines, the compression ratio is approximately between 15:1 and 20:1, which creates high combustion temperatures ensuring the fuel self-ignition, while spark ignition engines customarily present a value between 10:1 and 12:1 to prevent engine knocking.

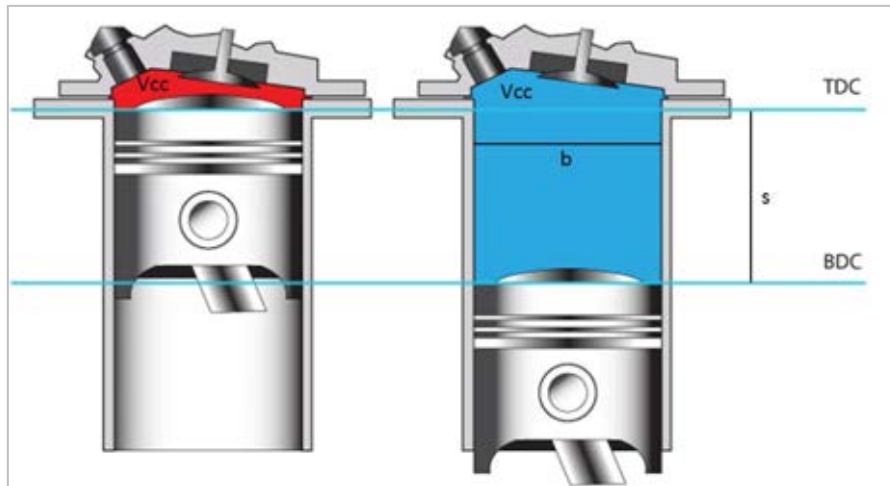


Figure 3: Compression ratio parameters

3.1. Definition of lean-burn combustion

Natural gas engines produce high temperatures during the combustion process, whose values are greater than diesel combustion. In order to avoid damage to the original parts of the engine, in particular the combustion chamber and the exhaust manifold, the strategy is to operate the engine in lean-burn combustion instead of stoichiometric combustion. A stoichiometric combustion occurs when only the necessary air is provided to completely burn all of the fuel.

Lean-burn refers to the burning of fuel with excess of air and leads to lower combustion temperatures. Lambda (λ) is the parameter that represents the mixture of air and fuel; concretely it is the ratio between the amount of air actually present in a combustion chamber compared to the stoichiometric mixture. In the case of lean mixtures, which contain too much oxygen for the amount of fuel, the lambda values are greater than 1.

$$\text{Air – Fuel ratio (AFR)} = \frac{m_{\text{air}}}{m_{\text{fuel}}}$$

$$\lambda = \frac{AFR}{AFR_{\text{stoich}}}$$

Speaking about exhaust emissions, the excess of air reduces the temperature of the combustion and this results in a reduction of the emitted nitrogen oxides (NOx). However, very lean mixture may not combust entirely, resulting in an increase of the hydrocarbons (HC) emissions. At this point, and in terms of emission optimization, the capabilities of the different after-treatment technologies shall be studied.

With regard to the engine conversion, this concept will allow a more similar behaviour in terms of combustion temperatures to the original engine and will be used during the calibration of the ECU in order not to harm the material of the diesel engine.

4. Modification strategy

The main modifications required by the engine to become a natural gas engine are based on the adaptation of heat addition. Mainly, this consists of the installation of the natural gas supply and the reduction of the compression ratio, whose studies have been carried out in first place. To continue, other components or systems that must be modified have been taken into consideration.

Some of the important points to be considered as input for the project are the dimensions of the engine and, especially, the available space in the straddle carrier. The straddle carrier engines are as thin as possible, due to the fact that the width of the machine should be minimized and the internal dimensions are limited by the width of the container.

The new components and systems have been studied in accordance with the original engine dimensions. Although these parts exceed the original width, they will not touch the straddle carrier walls.



Figure 4: Engine location at the Straddle Carrier

4.1. Initial overview

The first step is to study the mechanics of the entire engine. A 3D scanning obtains the three-dimensional data of the different parts and systems of the engine.



Figure 5: APMT original engine

At the beginning of the project, the entire engine and its different parts such as the intake and exhaust manifold have been scanned.

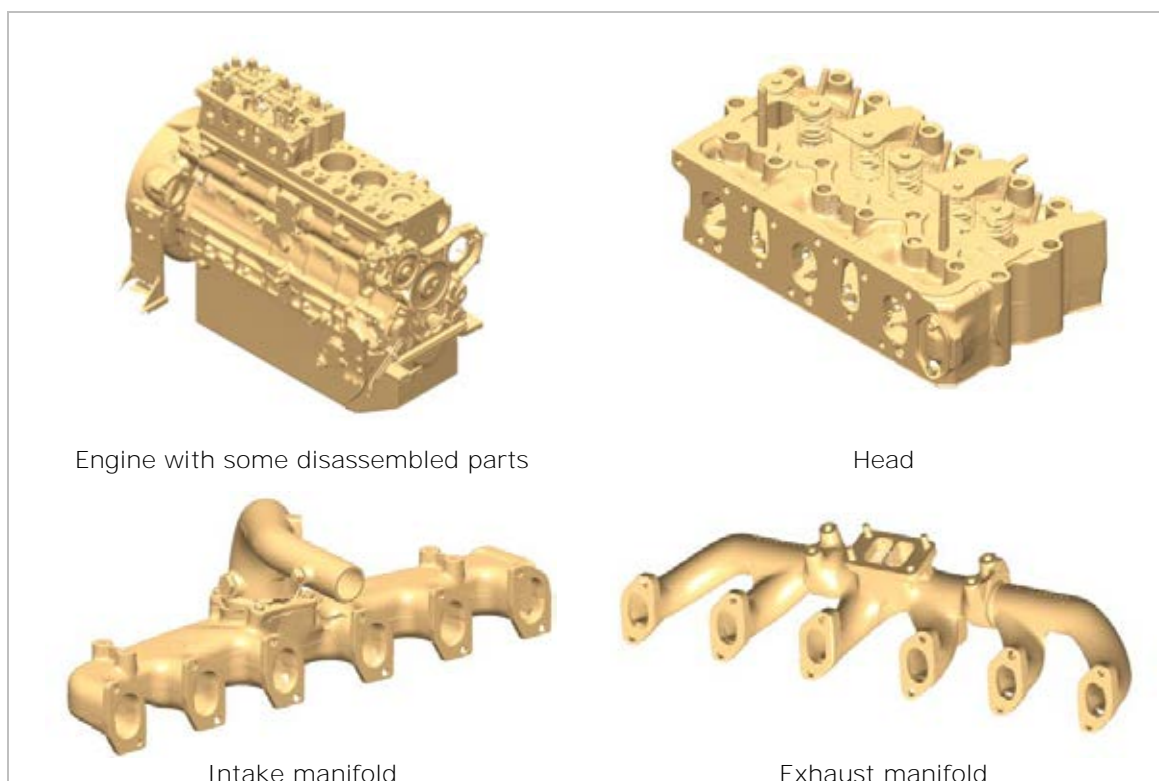


Figure 6: 3D scanning results

In addition, the operator's manual has been thoroughly studied to understand the operation of the engine and the systems that are directly or indirectly involved in the conversion.

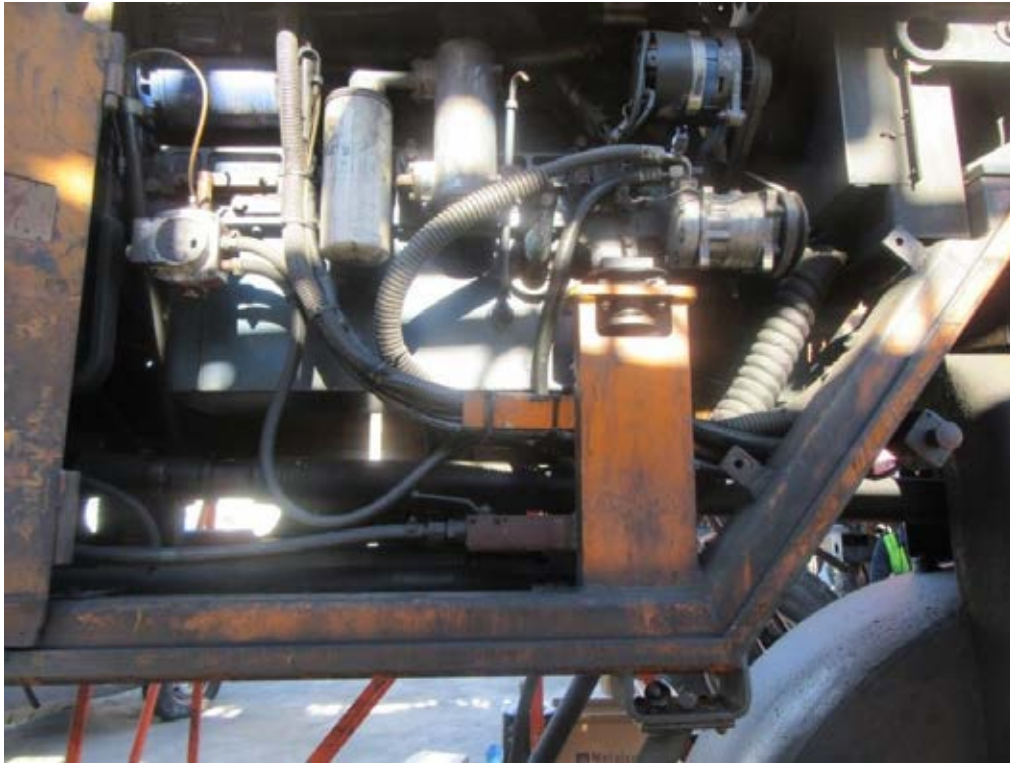


Figure 7: Engine installed in the Straddle Carrier

4.2. Mechanical modifications for compression ratio reduction

In diesel engines, the combustion chamber is located in the piston crown, and it is delimited by a flat cylinder head. The air inlet of these engines generally generates a highly swirling gas motion to enhance the diesel combustion process. For this reason, the inlet and outlet ports are also re-designed with this purpose.

More detailed info may be found in the original version of this document. Likewise, IDIADA, as modification author, can be openly consulted.

4.3. Installation of ignition device

To burn the natural gas and air mixture, a spark plug and an ignition coil are required. The proposed solution is to remove the diesel injectors, which will not be used in the engine conversion, and take advantage of this space.

An adaptive coil extension is easily mounted connecting the ignition plug, mounted above the head top, with the spark plug installed inside the original injector hole.

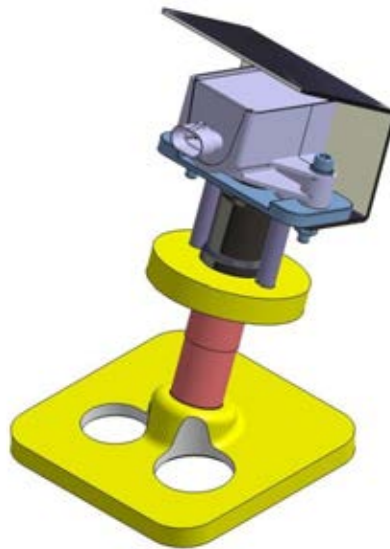


Figure 8: Spark plug and ignition coil assembly

4.4. New intake manifold

The status of the original intake manifold and the installation of the natural gas rail require the design and construction of a new intake manifold. Moreover, the original intake manifold cannot be reused due to the lack of space to install the gas injectors and its damage.



Figure 9: Original intake manifold

This new model, shown in Figure 10, is designed to allow a better distribution of the intake air between the six cylinders and also less turbulence throughout the domain.

The new intake manifold is also designed to join the different components of the injection and intake system, as can be seen in Figure 10. On the flat side of the piece, the gas rail is installed with the natural gas injectors and the pressure regulator. The throttle valve is located at the inlet of the intake manifold whose function is to regulate the air flow.

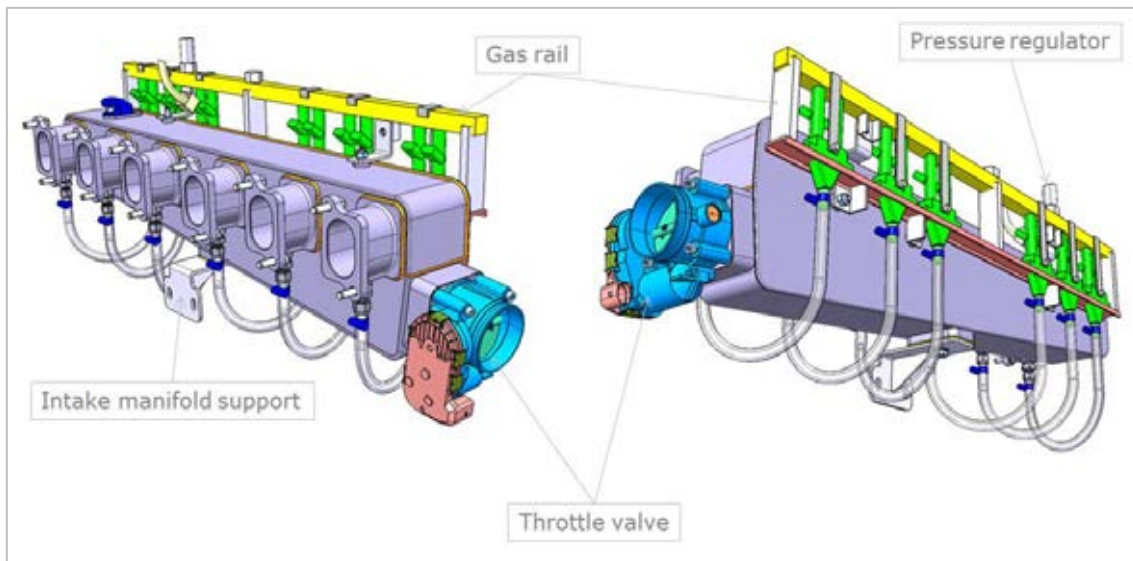


Figure 10: Intake manifold system

4.5. Natural gas injection

Natural gas is supplied into the intake manifold by a multipoint fuel injection system, so-called MPFI system, that injects fuel within the intake port just before the intake valves, so that each cylinder has its own injector located inside the intake ports, as shown in Figure 11.

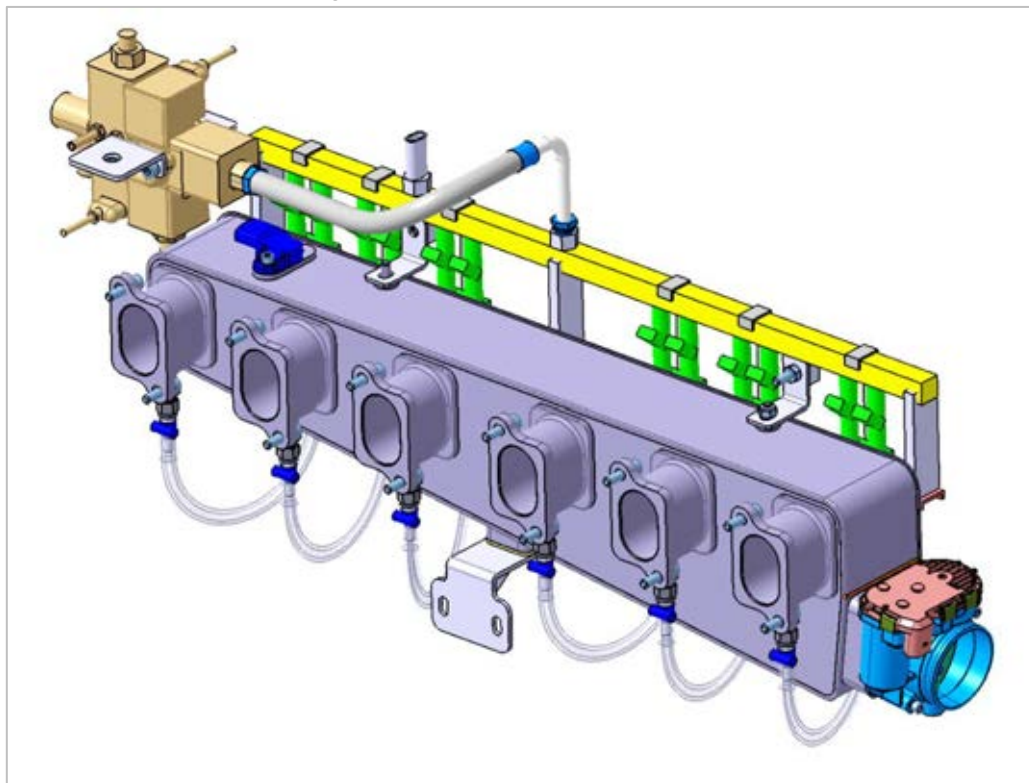


Figure 11: Natural gas injection system mounted on the new intake manifold

4.6. Load control

In diesel engines, the load is regulated by injecting only the amount of fuel needed for the desired power keeping the air mass flow. This type of load control is more natural since it does not strangle the intake of air. However, in ignition engines, it is necessary to change the quantity of injected fuel mass and intake air mass to modify the engine power. The only way to achieve this is by using a strangulation or restrictor valve before the intake manifold: a throttle valve.

As the original engine does not have this device, a throttle valve in line with the needs of the engine is chosen and installed at the inlet of the intake manifold.

4.7. Turbocharged engine

Turbocharged engines use a compressor to increase the engine intake pressure above the atmospheric pressure. This compressor is driven by a turbine which extracts part of the remaining energy from the hot exhaust gases. The main objective is to raise the air density in the intake manifold in order to be able to burn more fuel in better conditions and hence increase the output power and efficiency of the internal combustion engine.

The original operating points of the turbocharger obtained during the maximum power test have been compared to the values of several new turbochargers to select a model.

Moreover, a spacer has been designed and manufactured to adapt, if necessary, different turbochargers and test them in order to select the best option according to the needs of the natural gas combustion. This component is also useful to place the turbocharger in a higher position and thus avoid the overlap of the turbocharger with other components.

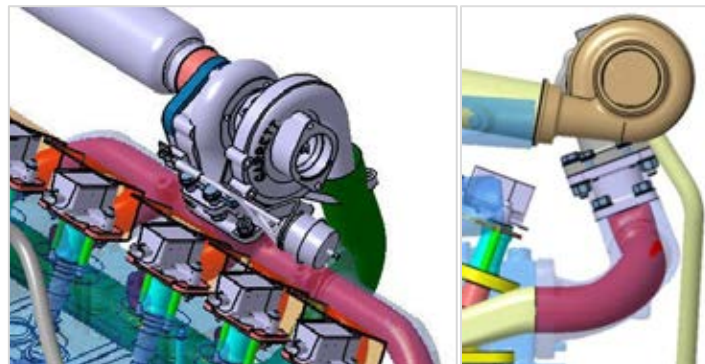


Figure 12: Turbocharger assembly and designed spacer to adapt different turbochargers

4.8. Inlet air routing

Once the air is compressed thanks to the turbocharger, it is directed towards the throttle valve and the intake manifold. Since the intake manifold entrance and the position of the turbine outlet have been changed, the inlet air routing must also be modified. The routing is designed according to the available space of the machine.

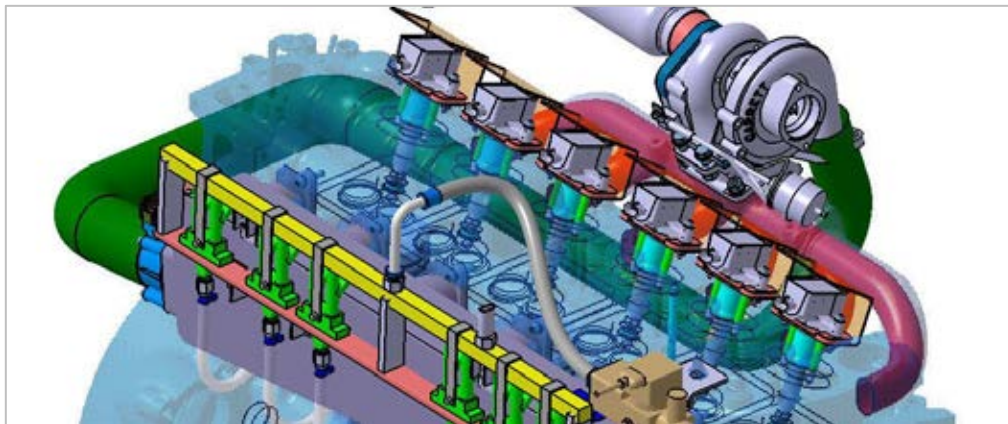


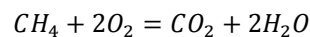
Figure 13: Inlet air routing assembly (in green)

The predesigned routing length is approximately 1380 mm and includes flexible sections, fixation points, pipe fittings and elbows.

4.9. After-treatment system

One of the main objectives of the project is to analyse and assess the reduction of exhaust emissions that the converted engine can achieve. The after-treatment system, among other approaches, contributes to the reduction of these emissions.

In this case, a methane oxidation catalyst (MOC) has been chosen because it reduces CH_4 emissions if it operates in exhaust temperatures of around 500°C . The operation of this device is based on the oxidation of methane, explained by the following chemical reaction



The MOC catalyst is installed at the engine outlet, just after the flexible pipe. The flexible pipe absorbs the engine vibrations and, therefore, actuates as a safety component, as shown in Figure 14.

During engine calibration, the performance of different MOC catalysts will be tested in order to reduce as much as possible the exhaust emissions; in particular this system will provide a reduction of CH_4 , CO and HC.

The NO_x emitted from the natural gas engine will be reduced by applying different calibration strategies and the implementation of a lean-burn combustion. Regarding the particulate matter (PM), particles emitted by a natural gas engine are typically lower than diesel engines due to the use of a gaseous fuel.

Extensible to other from-diesel-to-gas engine conversions, for road (vans, buses and trucks) and off-road vehicles, conversions realisation must be accompanied, in all cases, by an after-treatment modification, by changing the original diesel after-treatment catalysts or adding some specific catalyst.

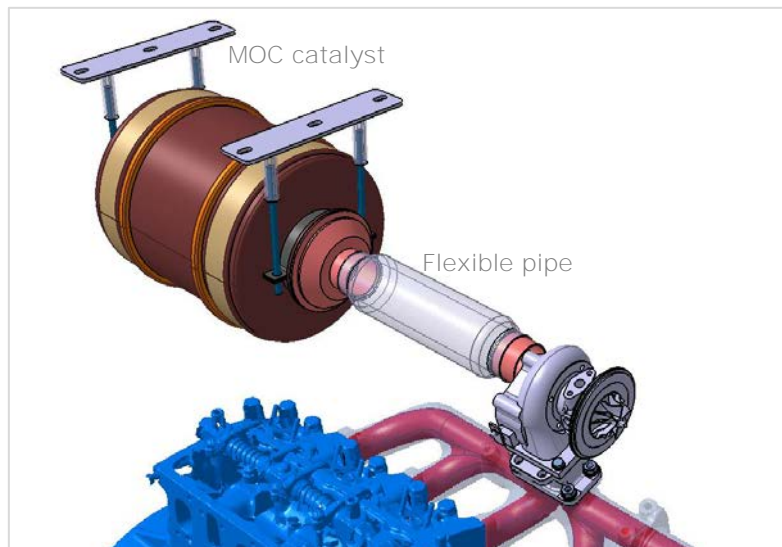


Figure 14: After-treatment system: MOC catalyst

5. Electronic modifications

The diesel engine of the project is an old motor with a modest electronic control managed mechanically and so, in order to electronically manage the engine, as machines and vehicles are managed nowadays, an ECU (Electronic Control Unit) is required and some sensors and actuators must be implemented.

Additionally, a new wiring harness is designed to follow the current electrical network and is housed around the engine.

5.1. ECU calibration

Once the engine is completely converted, it will be installed on the test bench to define the engine control strategies and optimize both the performance and the exhaust emissions. The main approach is to get the same torque and power as the original engine and, when this statement is complete, the calibration of the ECU will focus on the reduction of exhaust emissions.

The HDS ECU (ECU for Heavy Duty Systems) is the device used for controlling the lean-mixture combustion engine supplied with natural gas. The engine calibration is based on an internal model, in other words, the control system determines the commands to the actuators through internal models.

6. Maintenance tasks

In addition to the mechanical modifications of the engine and the adaptation to an electronically controlled engine, some other activities were carried out, such as maintenance, as due to its long-time in use the engine presented deterioration of some parts that had to be changed. On the one hand, the most damaged part was the intake manifold since it was broken and, as explained before, a new intake manifold adapted to a gas engine has been designed and machined.



Figure 15: Deterioration of the original intake manifold and V-belt.

On the other hand, there were some parts or components that needed to be changed due to wear in order to guarantee the proper operation of the engine. As an example, the complete gasket set is replaced.



Figure 16: Head gasket set

Due to its regular use and to assemble the new parts in the best conditions, all areas of the engine have been cleaned, especially the engine head and pistons to guarantee easy machining.



Figure 17: Original engine



Figure 18: Comparison between the original engine and after cleaning process



Figure 19: APMT engine after cleaning process

In Figure 20, the converted engine installed in the test bench is shown. The parts of the original engine that have not been removed are painted in blue permitting to see the new components and systems effortlessly.

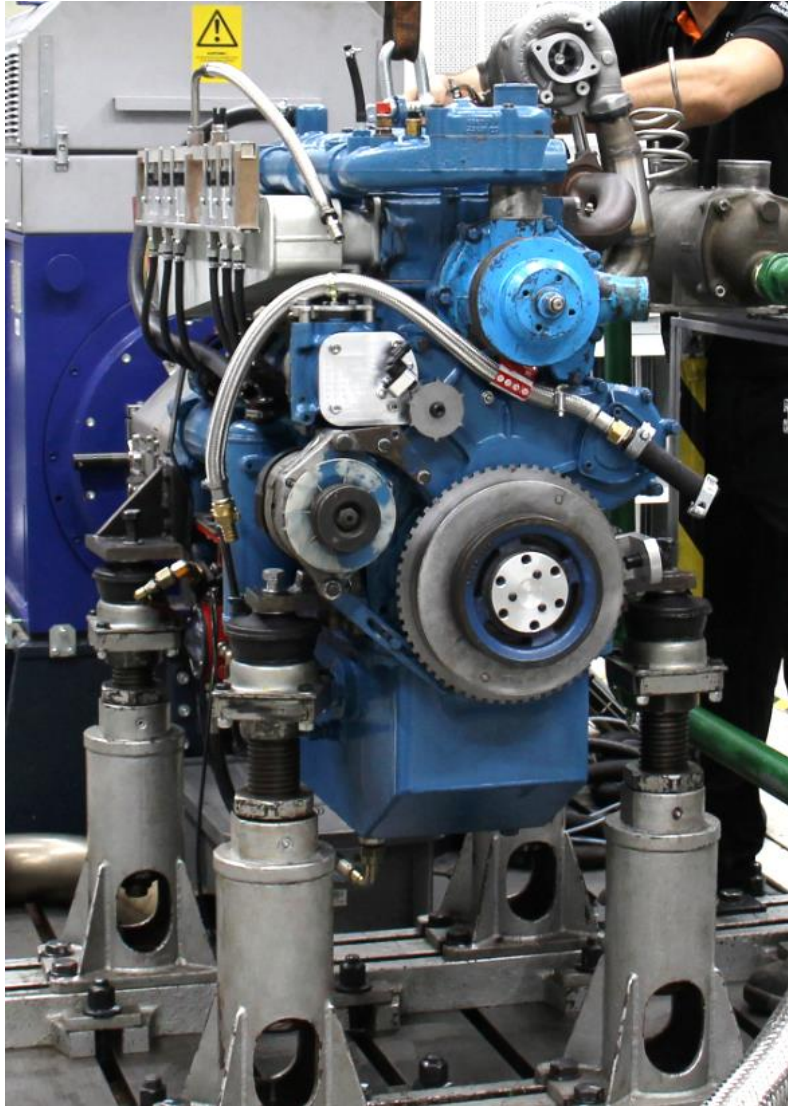


Figure 20: First converted engine installed in test bench

7. Engine calibration

During the calibration activity, the engine is instrumented with a set of sensors to optimize as much as possible its main characteristics; performance, emissions and fuel consumption among others. Moreover, the test bench is equipped with some devices that allow the measurement of other parameters, such the gas exhaust emissions or the torque.

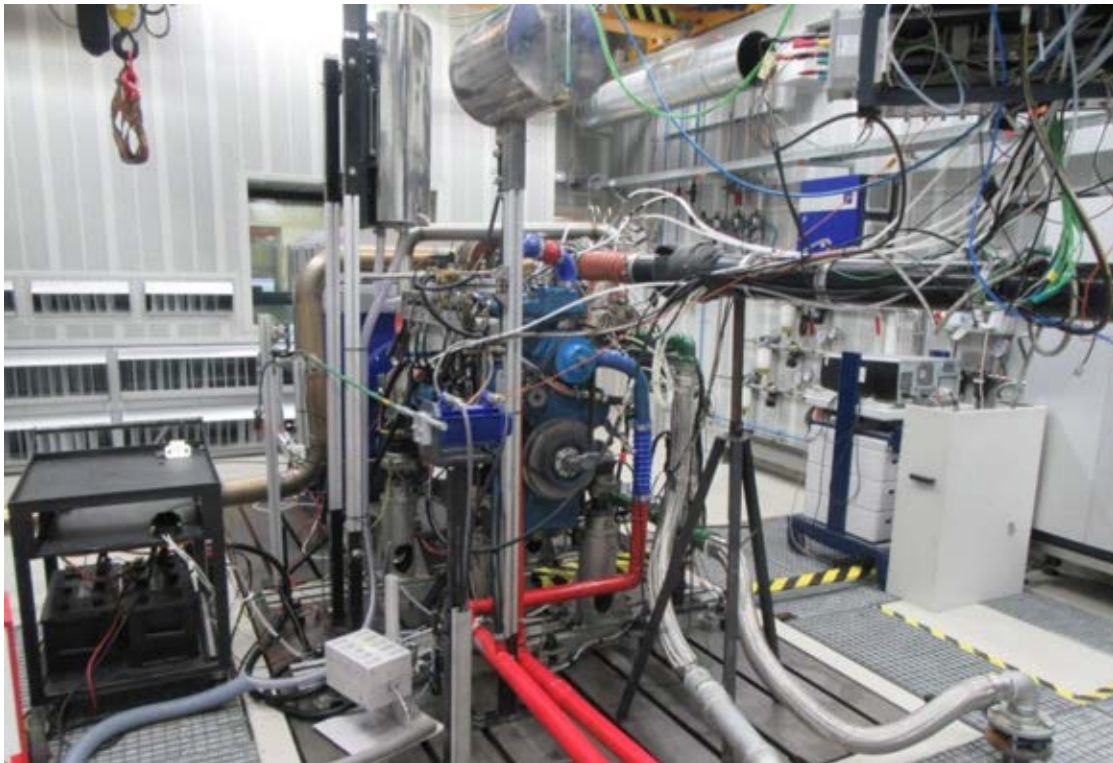


Figure 21: Engine installation in the test bench with instrumentation.

The first step consists of going point by point of the engine mapping by modifying the values of lambda and fuel injection, in other words, a swept test from rich to lean mixtures is performed in order to see the engine behaviour both at stoichiometric and at lean-burn mixture. After that, the engine performance is adjusted in lean-burn conditions and the different actuators mappings are optimized to achieve the lowest level of emissions considering the installation of a methane oxidation catalyst (MOC).

8. Conclusions

The study of the engine conversion began with a 3D scan of the whole engine and its parts that allowed a complete perspective of the dimensions and location of the components.

One of the main changes is the achievement of a compression ratio typical of a natural gas engine by machining the piston bowl and the head. The injection of the gaseous fuel is performed through a cannula installed in a new intake manifold and the combustion of the air-fuel mixture is achieved by replacing the diesel injectors of the original engine with a spark plug. The regulation of the load is enabled by a device that throttles the intake of air: the throttle valve. Other parts or components were changed in order to adapt the main systems, such as the inlet air routing. Due to its operation and use, the substitution of some components is needed, like the head gaskets or the piston rings.

An essential issue to control electronically the engine, in addition to the ECU, is the synchronization of the engine. The signal of the piston position is given thanks to a

device that monitors the crankshaft and camshaft signals. For the engine control, a group of sensors will measure the main parameters of the engine and the desired output is delivered through the various actuators.

Regarding the treatment of the exhaust emissions, a lean-burn gas engine requires a methane oxidation catalyst (MOC) and also the calibration of the engine will be used to optimize the emission of pollutants.

The next step, once the engine is converted, is the calibration of the ECU. To do so, the converted engine is installed in the test bench with the suitable instrumentation and measurement devices that are used as inputs for the integrated model and calibrations-based approach.

9. List of Acronyms and Abbreviations

AFR	Air-fuel ratio
APMT	APMT Terminals
b	Bore
BDC	Bottom dead centre
CO	Carbon monoxide
CR	Compression ratio
ECU	Electronic Control Unit
HC	Hydrocarbons
HDS	Heavy Duty System
LNG	Liquefied natural gas
MOC	Methane oxidation catalyst
MPFI	Multipoint fuel injection
NOx	Nitrogen oxides
s	Stroke
TDC	Top Dead Centre
V _{cc}	Combustion chamber volume
V _d	Dead volume
λ	Lambda

Annex 8

CONFIDENTIAL

Annex 9

CONFIDENTIAL

Annex 10

CONFIDENTIAL

