

Proyecto Fin de Grado

Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

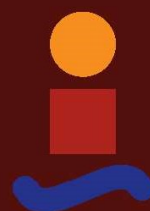
Estudio y prediseño de obra civil e instalaciones de una planta de almacenamiento y suministro de gas natural licuado en el Puerto de Huelva.

Autor: Enrique Sánchez Almagro

Tutor: Rafael Valenzuela García

Dep. de Ingeniería de Construcción y Proyectos
de Ingeniería
Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Sevilla, 2018



Departamento de
Ingeniería de la Construcción
y Proyectos de Ingeniería

Proyecto Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Estudio y prediseño de obra civil e instalaciones de una planta de almacenamiento y suministro de gas natural licuado en el Puerto de Huelva.

Enrique Sánchez Almagro

Tutor:
Rafael Valenzuela García
Profesor asociado

Dep. de Ingeniería de Construcción y Proyectos de Ingeniería
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2018

Proyecto Fin de Carrera: Instalación de almacenamiento y suministro de GNL

Autor: Enrique Sánchez Almagro

Tutor: Rafael Valenzuela García

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2018

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis compañeros

A mis maestros

Agradecimientos

A todos aquellos que me han acompañado en esta etapa hombro con hombro hacia un objetivo común o como profesores. El camino ha sido largo y duro, pero con el apoyo incondicional de todos ellos siempre he encontrado las fuerzas para seguir avanzando.

Mención especial para mi familia. Jamás han escatimado un esfuerzo en estar a mi lado cuando más lo he necesitado ni en celebrar conmigo mis éxitos. Gracias, sin vosotros esto no hubiera sido posible.

Enrique Sánchez Almagro

Sevilla, 2018

Resumen

Vivimos en una época de permanente cambio en la que diseñadores e ingenieros se emplean en encontrar soluciones donde la eficiencia, el precio y el medio ambiente tienen que ser óptimos si se quiere ser competitivo. El GNL es un combustible que está ganando posiciones en el sector naval y de transporte por sus beneficios en forma de pocas emisiones y su precio de mercado inferior a gasolinas y gasoils.

Este proyecto pretende definir y sentar las bases constructivas y a nivel de instalaciones de una planta de almacenamiento y suministro de GNL. El producto llega mediante tuberías procedentes de cisternas o buques a un cubeto donde se encuentran los cinco tanques que representan la zona más importante de la planta. La planta tiene como objetivo el servir de distribuidora a la par que de zona de reserva y almacenaje.

El proyecto se lleva a cabo en el Puerto de Huelva, zona estratégica por situarse cerca del estrecho para buques procedentes del Mediterráneo y Oriente Medio. Además, es el primer Puerto europeo para los buques que vienen de América y África y se dirigen al norte de Europa.

We live in a time of permanent change in which designers and engineers are dedicated on finding solutions where efficiency, price and environment have to be optimal if you want to be competitive. LNG is a fuel that is gaining positions in the naval and transport sector due to its benefits in the form of low emissions and its lower market price than gasoline and gasoils.

This project aims to define and lay the constructive principles and level of facilities of a LNG storage and supply plant. The product arrives by means of pipes from tanks or ships to a tank where the five reservoirs that represent the most important area of the plant are located. The purpose of the plant is to serve as a distributor along with a reserve and storage area.

The project is carried out in the Port of Huelva, strategic area to be located near the Strait of Gibraltar and being the first European port for ships coming from America and Africa.

Índice

Agradecimientos	vii
Resumen	viii
Abstract.....	ix
Índice	x
Índice de Tablas	xiii
Índice de Figuras	xiv
Notación.....	xvii
1 Objetivos.....	1
1.1. Descripción técnica de una planta de GNL	1
1.1.1 Módulo de carga y descarga de buques y camiones	2
1.1.2 Unidad de almacenamiento de GNL.....	2
1.1.3 Módulo de relicuefacción de GNL.....	3
1.1.4 Instalación mecánica.....	3
1.1.5 Instalación eléctrica.....	3
1.1.6 Obra civil	4
1.1.7 Instalaciones de seguridad	4
2 Localización. Parcela	5
3 Situación Actual. Antecedentes	7
3.1. Evolución de la fuente energética de propulsión	7
3.2. GNL en España y Portugal	8
3.3. Buques y camiones que utilizan GNL	11
3.3.1 Buques.....	11
3.3.2 Camiones	12
3.4. Logística de Bunkering	13
3.5. Rutas marítimas	14
4 Layout.....	17
4.1 Vista general.....	17
4.2 Cargadero de camiones	20
4.3 Cubeto	22
4.4 Rack de tuberías	24
4.5 Puesto de control.....	25
5 Características constructivas. Obra civil	27
5.1. Movimiento de tierra	27
5.2. Cubetos de retención y tanques de almacenamiento.....	30
5.2.1 Tanques de almacenamiento.....	30
5.2.2 Cubetos de retención.....	35
5.3. Cargadero de camiones	38
5.3.1 Marquesina	39
5.3.1.1 Cargas.....	40
5.3.2 Pilares	43

5.4.	<i>Puesto de control</i>	45
5.4.1	Detalles constructivos	45
5.4.2	Funcionalidad	45
5.5.	<i>Cimentaciones</i>	46
5.5.1	Cimentación del cubeto	47
5.5.2	Cimentación del cargadero	48
5.6.	<i>Urbanización</i>	49
5.6.1	Cerramiento perimetral	49
5.6.2	Firmes	50
5.6.3	Puertas de acceso	51
5.6.4	Acerado	52
6	Instalaciones	53
6.1.	<i>Rack de tuberías</i>	53
6.1.1	Tuberías criogénicas	54
6.1.1.1	Tuberías muelle – tanques	55
6.1.1.2	Tuberías tanques – cargadero	57
6.1.2	Rack de tuberías	58
6.1.3	Valvulería criogénica	59
6.1.4	Grupos de bombeo	63
6.2.	<i>Módulo de relieves</i>	67
6.3.	<i>Instalación eléctrica de media tensión</i>	69
6.3.1	Estimación de la potencia útil	69
6.3.2	Transformador	70
6.3.2.1	Potencia aparente	70
6.3.2.2	Número de transformadores necesarios	70
6.3.2.3	Grupo de conexión	70
6.3.2.4	Esquema unifilar	71
6.3.3	Centro de transformación	74
6.3.4	Red de puesta a tierra	74
6.4.	<i>Instalación eléctrica de Baja Tensión</i>	76
6.5.	<i>Instalaciones de seguridad. Protección contra incendios</i>	77
6.5.1	Protección con agua	78
6.5.1.1	Agua pulverizada	78
6.5.1.2	Red de hidrantes	82
6.5.2	Sistema de espuma de alta expansión	83
6.5.2.1	Componentes	84
6.5.2.2	Sistema de bombeo	86
6.5.2.3	Tipos de espumógeno y efectos:	88
7	Pliego de Condiciones	89
7.1.	<i>Objeto</i>	89
7.2.	<i>Ubicación</i>	89
7.3.	<i>Normativa</i>	89
7.4.	<i>Descripción de la instalación</i>	90
7.4.1.	Almacenaje y aprovisionamiento de GNL	90
7.4.1.1.	Sistema de bombeo	90
7.4.1.2.	Compresión	90
7.4.1.3.	Buffer de gas	90
7.4.1.4.	Sistema de odorización	90
7.4.1.5.	Surtidor de GNL	91
7.4.2.	Tuberías y válvulas	91
7.4.3.	Suministro eléctrico	91
7.5.	<i>Tramitación y legalización</i>	91
7.6.	<i>Mantenimiento</i>	91

7.7.	<i>Plazo de ejecución</i>	91
8	Mediciones y Presupuesto	93
8.1.	<i>Movimiento de tierras</i>	93
8.2.	<i>Cubeto de retención y tanques de almacenamiento</i>	96
8.3.	<i>Cargadero de camiones</i>	100
8.4.	<i>Puesto de Control</i>	103
8.5.	<i>Cimentaciones</i>	110
8.6.	<i>Urbanización</i>	113
8.7.	<i>Rack de tuberías</i>	118
8.8.	<i>Instalación eléctrica</i>	120
8.9.	<i>Protección contra incendios</i>	132
9	Modelo 3D	139
9.1.	<i>Parcela</i>	139
9.2.	<i>Cubeto y tanques</i>	140
9.3.	<i>Cargadero: marquesina y pilares</i>	144
9.4.	<i>Puesto de Control</i>	146
9.5.	<i>Urbanización</i>	147
9.6.	<i>Rack de tuberías</i>	148
	Bibliografía	149

Índice de Tablas

Índice de Figuras

Figura 2-1. Zona del puerto elegida.	5
Figura 2-2. Parcela elegida.	6
Figura 3-1. Evolución de fuentes de energía en buques.	8
Figura 3-2. Regasificadoras españolas.	9
Figura 3-3. Situación estratégica de España en el comercio marino.	9
Figura 3-4. Situación actual de instalaciones suministradoras.	10
Figura 3-5. Coral Methaner.	11
Figura 3-6. Castillo Villalba.	11
Figura 3-7. Bit King.	12
Figura 3-8. Volvo FH GNL.	12
Figura 3-9. Mercedes ECONIC-NGT 1830 LL.	13
Figura 3-10. Filosofía del bunkering con GNL.	14
Figura 3-11. Rutas marítimas.	14
Figura 3-12. Principales puertos mundiales.	15
Figura 3-13. Red europea principal de transporte (EU CORE NETWORK).	16
Figura 4-1. Vista de pájaro 1	18
Figura 4-2. Vista de pájaro 2	18
Figura 4-3. Vista de pájaro 3	19
Figura 4-4. Vista en planta	19
Figura 4-5. Vista de perfil 1	20
Figura 4-6. Vista de perfil 2	20
Figura 4-7. Cargadero 1	20
Figura 4-8. Cargadero 2	21
Figura 4-9. Cargadero 3	21
Figura 4-10. Cubeto 1	22
Figura 4-11. Cubeto 2	22
Figura 4-12. Cubeto 3	23
Figura 4-13. Cubeto 4	23
Figura 4-14. Rack de tuberías 1	24
Figura 4-15. Rack de tuberías 2	24
Figura 4-16. Rack de tuberías 3	24
Figura 4-17. Puesto de control	25
Figura 5-1. Parcela	27
Figura 5-2. Zahorra natural	28
Figura 5-3. Bulldozer	29

Figura 5-4. Pala cargadora	29
Figura 5-5. Tanque criogénico del catálogo de LAPESA	31
Figura 5-6. Dimensiones y características de tanques	32
Figura 5-7. Plano frontal de tanques y valvulería	33
Figura 5-8. Plano en planta de tanques y valvulería	33
Figura 5-9. Esquema de tanques y valvulería	34
Figura 5-10. Cuadro de distancias entre tanques	35
Figura 5-11. Medidas del cubeto 1	36
Figura 5-12. Medidas del cubeto 2	36
Figura 5-13. Medidas del cubeto 3	37
Figura 5-14. Viga biapoyada con carga distribuida	38
Figura 5-15. Valores característicos de sobrecargas de uso	40
Figura 5-16. Valores del coeficiente eólico	40
Figura 5-17. Prontuario de perfiles metálicos	41
Figura 5-18. Gráfica para pilares de sección cuadrada de 40x40 cm	43
Figura 5-19. Puesto de control	44
Figura 5-20. Tipos de suelo.	45
Figura 5-21. Losa de hormigón	47
Figura 5-22. Zapata corrida	47
Figura 5-23. Cerramiento perimetral	48
Figura 5-24. Postes de perfil hueco del cerramiento perimetral	48
Figura 5-25. Categoría de tráfico pesado	49
Figura 5-26. Tipos de firme	49
Figura 5-27. Puertas de acceso	50
Figura 5-28. Acerado	51
Figura 6-1. Tabla de caudales	55
Figura 6-2. Normativa de tuberías	56
Figura 6-3. Composición química de tuberías	56
Figura 6-4. Catálogo de tuberías 1	57
Figura 6-5. Catálogo de tuberías 2	58
Figura 6-6. Rack de tuberías	58
Figura 6-7. Perfiles IPE	59
Figura 6-8. Válvula de globo	60
Figura 6-9. Válvula en ángulo	60
Figura 6-10. Válvula de compuerta	61
Figura 6-11. Válvula con actuador neumático	61
Figura 6-12. Regulador de presión	62
Figura 6-13. Filtro	62
Figura 6-14. Válvula de seguridad	62

Figura 6-15. Catálogo de grupos de presión	64
Figura 6-16. Bombas criogénicas Nikkiso G-80/24	66
Figura 6-17. Gráfica de Bombas criogénicas Nikkiso	66
Figura 6-18. Esquema termodinámico del Turbo – Brayton	67
Figura 6-19. Turbo – Brayton cryogenic system	69
Figura 6-20. Consumo de potencias	70
Figura 6-21. Centro de transformación de la gama CLIPPER M	74
Figura 6-22. Pica de puesta a tierra	75
Figura 6-23. Tetraedro del fuego	77
Figura 6 24. Boquilla de alta velocidad	79
Figura 6-25. Boquilla de baja velocidad	79
Figuras 6-26 y 27. Esquemas de agua pulverizada	80
Figura 6-28. Válvula de diluvio	81
Figura 6-29. Alarma de detección	82
Figura 6-30. Hidrante	83
Figura 6-31. Formación de espuma	83
Figura 6-32. Efecto Venturi	85
Figura 6-33. Proporcionador Venturi	85
Figura 6-34. Tanque de membrana	86
Figura 6-35. Diagrama de flujo del sistema de bombeo	87
Figura 6-36. Vertedera de espuma	87
Figura 6-37. Efecto refrigerante	88

A^*	Conjugado
c.t.p.	En casi todos los puntos
c.q.d.	Como queríamos demostrar
c.q.d.	Como queríamos demostrar
e.o.c.	En cualquier otro caso
e	número e
Re	Parte real
Im	Parte imaginaria
sen	Función seno
tg	Función tangente
arctg	Función arco tangente
sen	Función seno
$\sin^x y$	Función seno de x elevado a y
$\cos^x y$	Función coseno de x elevado a y
Sa	Función sampling
sgn	Función signo
rect	Función rectángulo
Sinc	Función sinc
$\partial y \partial x$	Derivada parcial de y respecto
x°	Notación de grado, x grados.
$\text{Pr}(A)$	Probabilidad del suceso A
SNR	Signal-to-noise ratio
MSE	Minimum square error
:	Tal que
$<$	Menor o igual
$>$	Mayor o igual
$\backslash$	Backslash
$\Leftrightarrow$	Si y sólo si

1 OBJETIVOS

El objetivo del presente proyecto es realizar un estudio de viabilidad para la construcción de una planta de almacenamiento y suministro de gas natural licuado, en adelante GNL. La planta está compuesta por un conjunto de instalaciones que permiten suministrar combustible tanto para camiones cisterna como para barcos nodriza que alimenten a su vez a buques que utilizan este combustible como medio de propulsión. El GNL es la forma líquida del gas natural, y se produce enfriándolo a -161°C (a presión atmosférica) mediante licuefacción. De esta forma se reduce sensiblemente su volumen, permitiendo un almacenamiento y transporte manejable y económico. En capítulos posteriores se detallan con mayor rigor las características y propiedades de este material combustible.

1.1. Descripción técnica de una planta de GNL

Se describen a continuación las especificaciones técnicas que deben cumplir las instalaciones de Plantas de Gas Natural Licuado.

El dimensionado de las plantas de GNL se realiza en función de los consumos del cliente potencial, y en concreto se necesitan los siguientes datos:

- Horario de funcionamiento anual.
- Volumen de los depósitos de los camiones y barcos a suministrar.
- Estimación de clientes por día

Con estos datos se calcula la capacidad del tanque de la planta de GNL y se elige el más adecuado, en función de la autonomía y del coste del transporte.

La construcción de instalaciones de Plantas de Gas Natural Licuado, (GNL), se puede desglosar en los siguientes apartados:

- Módulo de carga y descarga de cisternas.
- Módulo de carga y descarga de buques.
- Unidad de almacenamiento de GNL.
- Módulo de relicuefacción de GNL.
- Instalación eléctrica.
- Obra civil.
- Ingeniería de detalle.
- Seguridad contra incendios.

Este proyecto se encarga de definir la instalación completa incluyendo en su precio todos los materiales necesarios, mano de obra, desplazamiento de personal, medios auxiliares, transporte de equipos hasta la obra, ingeniería de detalle, tramitación de las instalaciones, tasas e impuestos, y puesta en marcha, dentro de los límites de suministro que se detallan en esquemas de principios que se adjuntan.

1.1.1 Módulo de carga y descarga de buques y camiones

Está compuesta por dos puestos que sirven tanto para cargar los depósitos de los camiones cisternas que vengan a repostar como para llenar los tanques de la instalación. Este sistema contiene un cargadero de camiones, un grupo de presión y un puesto de control desde el que se contabiliza el material suministrado o recibido.

El trasvase y carga de GNL se realiza mediante un sistema de bombas criogénicas que generan un diferencial de presiones.

La conexión entre la instalación de descarga y la cisterna se lleva a cabo con mangueras flexibles criogénicas permanentemente conectadas a la instalación fija. Los enlaces de las bocas de interconexión con las cisternas están específicamente diseñados para GNL.

Las líneas de conexión de camiones y depósitos de almacenamiento disponen de válvulas criogénicas necesarias para las maniobras de presurización y descarga. También disponen de válvulas criogénicas de purga para la despresurización de las mangueras previa a su desconexión.

Se instala una válvula de retención en la tubería común de descarga de GNL al depósito o depósitos, y válvulas de seguridad entre dos válvulas de interceptación consecutivas que puedan retener GNL entre ambas.

Para la carga y descarga de buques se implementa un sistema análogo que va desde los depósitos de la planta hasta el buque nodriza que suministra a barcos de mayor envergadura que usan GNL como combustible. Se incluye un rack de tuberías con valvulería y un sistema de bombeo capaz de mover la cantidad deseada de combustible.

1.1.2 Unidad de almacenamiento de GNL

La unidad de almacenamiento de GNL está compuesta por varios tanques, de volúmenes estándares. Los tanques están diseñados según el Reglamento de Aparatos a Presión, RD 2060/2008, y constan generalmente de:

- Doble envolvente metálica, la interior de acero inoxidable y la exterior de acero al carbono.
- El aislamiento térmico se realiza con relleno de la cámara entre los dos depósitos con material aislante y un alto vacío. Incluye material absorbente para mayor estabilidad del vacío. El eficaz aislamiento térmico minimiza las pérdidas de producto y permite un largo almacenamiento a baja temperatura de gases licuados.

Los tanques pueden ser verticales u horizontales. Los tanques se instalan con su valvulería, (llenado, vaciado, equilibrado), venteos, sistema de seguridad, instrumentación, indicadores de presión y nivel, vaporizador de puesta en presión con sus válvulas correspondientes y unidad de recuperación, (formado por gasificador atmosférico, tuberías y valvulería asociada).

La unidad de almacenamiento de la planta incluye un cubeto de retención de hormigón donde se encuentran los tanques y que, en caso de ruptura de uno de ellos, es el encargado de contener el líquido derramado localizado evitando que éste fluya por todo el suelo de la instalación.

El encargo para la fabricación y montaje de los tanques de almacenamiento de la instalación se realiza a una empresa especialista en la materia, LAPESA.

1.1.3 Módulo de relicuefacción de GNL

Debido a la elevada volatilidad del GNL, es inevitable que se produzcan vaporizaciones del material. El gas natural se hace líquido a -160 grados y el choque térmico en los tanques produce las vaporizaciones.

Para recuperar el combustible transformado en gas mediante relicuefacción se proyecta en la planta enfriador de aire Turbo-Brayton.

1.1.4 Instalación mecánica

Se incluye en este apartado el suministro y montaje de los sistemas de tuberías y valvulería de la planta de GNL.

En el diseño de las instalaciones mecánicas se toman las medidas necesarias para evitar cualquier contracción diferencial suficiente para causar la deformación, el atasco de las piezas móviles, defectos de alineación, etc, y la formación de hielo de los componentes en contacto con la atmósfera. Se toman medidas especiales con el fin de tener en cuenta las variaciones dimensionales de los tubos relacionados con los cambios de temperatura.

Todos los componentes situados aguas arriba de la ubicación de la válvula automática de interrupción por mínima temperatura serán adecuados para operar a -196 °C. Asimismo, los materiales de los elementos situados aguas abajo de la válvula de seguridad por mínima temperatura deberán ser adecuados para la temperatura más baja que se pueda producir, antes de que la válvula de seguridad por mínima temperatura se pueda cerrar.

Deben tomarse precauciones especiales para aquellos materiales en contacto accidental con GNL, debido a una fuga o derrame. En caso de emergencia estas tuberías están protegidas con aislamiento u otros medios para evitar su deterioro debido a las temperaturas extremas a que pueden verse sometidas hasta que se lleven a cabo las acciones correctivas pertinentes.

Los soportes de las tuberías y las fijaciones de las mismas sobre ellos deben evitar la creación de corrosión galvánica y permitir el movimiento de la tubería debido a la contracción o dilatación térmica sin rebasar las tensiones permitidas. El diseño de los soportes es adecuado para esta función e impide cualquier puente frío entre el tubo y la estructura sobre la cual descansa o de la cual este suspendido.

Se incluye finalmente un dispositivo de seguridad. Los tramos de tubería comprendidos entre dos válvulas de cierre deben estar protegidos por un sistema de alivio de presión que evite daños a la misma en caso de que quede líquido criogénico o gas frío atrapado entre ambas válvulas.

1.1.5 Instalación eléctrica

En el presente proyecto se ejecuta la instalación eléctrica de la planta de GNL, de acuerdo a lo indicado en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión y el RD 400/1996 (Directiva ATEX). La instalación eléctrica está compuesta por los siguientes capítulos:

- Cuadro de potencia.
- Instalaciones eléctricas de fuerza y control.
- Instalaciones eléctricas varias: alumbrado normal de la planta de GNL y tomas de corriente.
- Red de tierras: Todas las partes metálicas de la planta de GNL, así como la cisterna en operación de descarga, se hallan conectadas a tierra de modo que la resistencia a tierra sea como mínimo de 20 Ω .

Se incluyen en el proyecto las características técnicas detalladas de todos los componentes de la instalación eléctrica de BT. El alcance incluye desde el cuadro de fuerza y maniobra de la planta de GNL hasta la alimentación a todos los receptores.

1.1.6 Obra civil

La instalación de la planta de GNL se realiza siguiendo las especificaciones técnicas de la norma UNE 60210, y requiere de los siguientes trabajos de obra civil:

- Sistemas de apoyo de tanques.
- Cubeto de protección contra derrames.
- Valla de protección de la instalación. (Impide que personas ajenas al servicio puedan manipular la instalación).
- Zanjas para canalizaciones.

El emplazamiento de la planta de GNL en las instalaciones del cliente final, se elige teniendo en cuenta las distancias de seguridad exigidas en la normativa, y además permite el fácil acceso de los vehículos de descarga y del personal autorizado.

1.1.7 Instalaciones de seguridad

Constituye una de las instalaciones más importantes de este proyecto, sin la que no se puede entender el funcionamiento en seguridad de la planta de GNL.

La instalación de protección contra incendios de una planta de gas natural licuado incluye los siguientes componentes:

- Tanques de almacenamiento de agua.
- Grupo de bombeo de agua.
- Sistema de valvulería.
- Rack de tuberías.
- Bocas de incendio equipadas.
- Rociadores.
- Hidrantes.

Adicionalmente, se proyecta una instalación de odorización. En esta instalación se mide la cantidad de GNL puesta en red y se le añade al gas natural un componente (tetrahidrotiofeno, es decir, THT) para que las fugas de gas sean detectables por el olfato humano.

Por último, el cubeto de retención se protege contra incendios con una instalación de espuma de alta expansión que consta de dos tanques (uno a cada lado del cubeto) y una red de vertido que discurre por el perímetro del mismo.

2 LOCALIZACIÓN. PARCELA

Una de las decisiones más importantes a la hora de abordar un proyecto de ingeniería es la elección del lugar donde va a realizarse. La importancia de éste hecho reside en que su impacto tanto económico como de logística de funcionamiento de la planta va a ser total. El hecho de contemplar varias posibilidades y una visión a largo plazo son factores cruciales a la hora de tomar ésta decisión, ya que, una vez elegido el lugar y empezada la obra no hay marcha atrás.

Hay varios métodos para elegir el emplazamiento de una planta industrial, algunos de ellos son:

- Métodos de los factores ponderados.
- Método del centro de gravedad.
- Método del análisis del punto muerto
- Etc.

Todos estos métodos tienen en cuenta factores como el precio de la parcela, la cercanía de las materias primas, la accesibilidad para trabajadores y distribuidores, la calidad del terreno para construir, las infraestructuras y servicios disponibles en la zona (electricidad, saneamiento, etc).

Teniendo en cuenta todo lo anterior se propone como emplazamiento para nuestra planta de GNL el puerto de Huelva, concretamente una parcela situada en Plaza Autoridad Puerto Huelva, 19D, 21810 Palos de la Frontera.

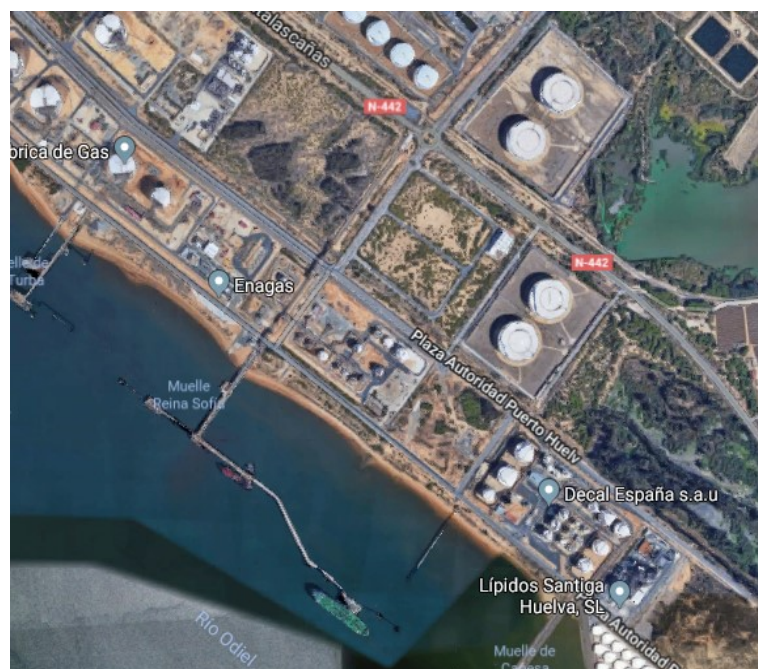


Figura 2-1. Zona del puerto elegida.

Dado que el producto a suministrar procede fundamentalmente de Oriente Medio y Rusia, el método de transporte y distribución más común es en barcos de grandes dimensiones denominados metaneros. Este hecho hace que un puerto en el sur de Andalucía sea un lugar idóneo para proyectar una planta de gas natural licuado, agilizando tanto su llegada por mar como su salida por tierra y viceversa.

En la actualidad el puerto de Huelva se sitúa como uno de los puertos españoles de mayor actividad, competitividad y crecimiento sobre todo por su situación estratégica para el comercio con África y el Mediterráneo; concretamente es el quinto a nivel nacional y el segundo de Andalucía. Una de las principales actividades industriales que se desarrollan en el puerto son la siderurgia y la refinería y tratamientos de combustibles. Además en la actualidad está llevando a cabo un ambicioso proyecto de ampliación por lo que parece un lugar óptimo para proyectar una planta de almacenamiento y suministro de gas natural licuado.



Figura 2-2. Parcela elegida.

3 SITUACIÓN ACTUAL. ANTECEDENTES

3.1. Evolución de la fuente energética de propulsión

A lo largo de la historia el hombre ha buscado incesantemente fuentes de energía para su provecho; desde la Prehistoria, cuando la humanidad descubrió el fuego para calentarse, alumbrarse y cocinar los alimentos, pasando por la Edad Media en la que se introdujeron molinos de viento para moler cereales, hasta la Edad Contemporánea en la que se ha llegado a obtener energía fisionando el átomo y producir los sofisticados combustibles que permiten la propulsión aeroespacial.

Los combustibles fósiles protagonizaron las revoluciones industriales: desde la Primera Revolución Industrial el carbón con el que se alimentaron las calderas de las máquinas de vapor aplicadas inicialmente al bombeo del agua de las minas, luego al telar mecánico y sucesivamente a la práctica totalidad de los procesos industriales mecanizables y al transporte (ferrocarril, barco de vapor), así como a los procesos metalúrgicos (en siderurgia, los altos hornos) y químicos, y a la calefacción y cocinas domésticas; desde la Segunda Revolución Industrial, el petróleo y sus derivados aplicados tanto a la industria como al transporte (motor de combustión aplicado al automóvil y a la aviación). Siempre convivieron con aprovechamientos a menor escala de las energías tradicionales de la economía preindustrial: la eólica de la navegación a vela o los molinos de viento, la hidráulica de norias y molinos hidráulicos, y los aprovechamientos tradicionales de la biomasa, fundamentalmente la utilización de la madera y el carbón vegetal como combustible.

El modelo de desarrollo propio de la sociedad industrial aboca al agotamiento de los recursos fósiles, sin posible reposición, pues son necesarios períodos de millones de años para su formación. La búsqueda de fuentes de energía inagotables y el intento de los países industrializados de fortalecer sus economías nacionales reduciendo su dependencia de los combustibles fósiles, concentrados en territorios extranjeros tras la explotación y casi agotamiento de los recursos propios, les llevó a la adopción de la energía nuclear y, en aquellos con suficientes recursos hídricos, al aprovechamiento hidráulico intensivo de sus cursos de agua. A finales del siglo XX y comienzos del siglo XXI se comenzó a cuestionar el modelo energético imperante por dos motivos: los problemas medioambientales suscitados por la combustión de combustibles fósiles, que ya no se limitaban a episodios de smog en las grandes urbes como Londres o Los Ángeles, sino que se generalizaban con impactos globales (cambio climático antropogénico); y los riesgos del uso de la energía nuclear, puestos de manifiesto en accidentes como el de Three Mile Island (Estados Unidos), el de Chernóbil (Unión Soviética) o el de Fukushima (Japón).

Unos de los combustibles que más crecen en uso es el GNL por sus características de baja emisión respecto a hidrocarburos y por su menor precio. Cada vez son más los metaneros que distribuyen y consumen gas natural licuado.

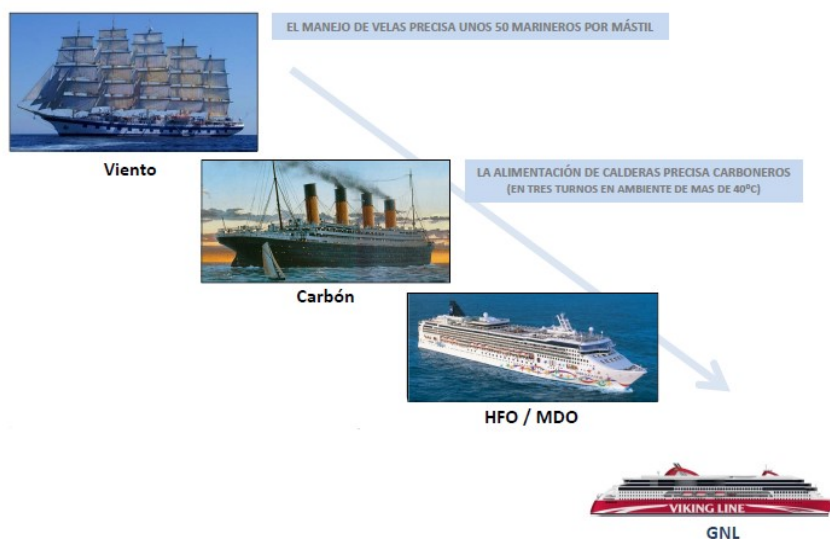


Figura 3-1. Evolución de fuentes de energía en buques.

El gas natural es un combustible alternativo que procede de pozos y de estratos. Su composición es mayoritariamente metano (CH_4). El biogás, también mayoritariamente metano, se produce por la fermentación de la biomasa de distintos orígenes y es por tanto un combustible renovable. Una vez refinado, ya como biometano, se inyecta en la red de gas natural.

Como referencia:

- La gasolina contiene un 13,5% de H y un 86,5% de C.
- El gasóleo contiene un 13,5% de H y un 86,5% de C.
- El GLP (Propano, C_3H_8 + Butano, C_4H_{10}) contiene un 17,4% de H y un 82,6% de C.
- El CH_4 contiene un 25% de H y un 75% de C.

Debido a su ventaja molecular, las emisiones reguladas y de CO_2 resultan particularmente favorables en los motores de gas natural, por lo que es un combustible que aumenta su uso en los últimos años.

3.2. GNL en España y Portugal

Históricamente la Península Ibérica es un territorio con tradiciones marinas por su situación estratégica. Dadas las rutas de metaneros existentes entre Oriente Medio y la Europa septentrional, España y Portugal suponen lugares de paso obligado. Así, el desarrollo de instalaciones de GNL en éstos países se ha visto beneficiado hasta el punto de que en España cuenta con un amplio conocimiento de manipulación de GNL (6 regasificadoras en funcionamiento de un total de 17 existentes en Europa).

Planta regasificación	Almacenamiento GNL		Capacidad carga cisternas GWh/día	Atraques	
	Nº tanques	m³ GNL		Nº atraques	m³ GNL
Barcelona	8	840.000	15	2	80.000 y 266.000
Huelva	5	619.500	15	1	140.000
Cartagena	5	587.000	15	2	40.000 y 266.000
Bilbao *	2	300.000	-	1	270.000
Sagunto	4	600.000	11	1	260.000
Mugardos	2	300.000	7	1	216.000
Total Sistema	26	3.246.500	63	8	Entre 40.000 y 270.000

* Cargadero de cisternas inhabilitado por las obras de ejecución del tercer tanque de almacenamiento de GNL.

Figura 3-2. Regasificadoras españolas.

Además, somos líderes europeos en terminales y carga de cisternas de GNL con 45.000 cargas al año. Ningún otro país europeo se acerca a esta cifra de operaciones.



Figura 3-3. Situación estratégica de España en el comercio marítimo.

Hoy en día existe en España la asociación GASNAM, que constituye una Asociación Ibérica del gas natural comprimido (GNC) y gas natural licuado (GNL) como combustibles alternativos para transporte por carretera, ferrocarril y marítimo.

Esta asociación tiene como objetivo fomentar el uso del gas natural en la movilidad, tanto terrestre como marítima, en todos los sectores de actividad económica de la península Ibérica.

Sus actividades fundamentales son:

- Ser la plataforma de desarrollo de actividades tendentes a fomentar el uso del gas natural en la movilidad en general y particularmente en el transporte terrestre por carretera y ferrocarril y en el transporte marítimo, promocionando el empleo del GN en todos los sectores productivos del país, para obtener:

1. Una importante reducción de costes de operación
 2. Una notable mejora de las condiciones ambientales, adecuándose a las más estrictas normativas de emisiones
 3. Una modernización de sus instalaciones.
- Hacer presentes las ventajas y aportaciones al PIB, empleo, exportación e industria nacionales de todas las actividades relativas al gas natural como combustible, aprovechando la posición de privilegio que tiene la península ibérica en el sector, que la pone en primera línea europea en cuanto a las infraestructuras y disponibilidad de GNL, así como de la gran experiencia en la logística e industria asociadas.
 - Establecer criterios homogéneos en el marco legislativo, particularmente en temas de seguridad de uso e instalaciones, así como el desarrollo de estructuras fiscales, financieras o de ayuda para dar un impulso en la implantación del gas natural en el transporte.
 - Crear un estado de opinión favorable en los organismos oficiales, administración del Estado, clientes potenciales y en la opinión pública, que reconozca el GN como el combustible alternativo para un transporte rentable y medioambientalmente sostenible. GASNAM promueve el GNC como combustible urbano recomendado y el GNL como el futuro combustible profesional.
 - Poner a disposición de los asociados y otras entidades, la amplia capacidad de GASNAM para organizar e impartir cursos de formación y capacitación profesional en todo lo referente al gas natural como combustible terrestre y marítimo.

Actualmente contamos con 57 estaciones de gas natural operativas en España y 10 en Portugal.

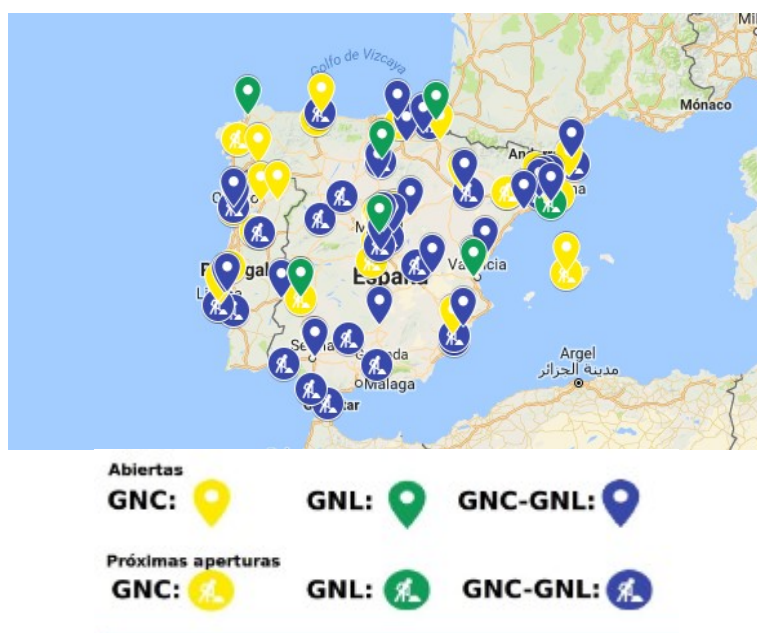


Figura 3-4. Situación actual de instalaciones suministradoras.

3.3. Buques y camiones que utilizan GNL

A continuación se presentan algunos de los buques y camiones que utilizan GNL como combustible de propulsión.

3.3.1 Buques

1. Coral Methaner:



Figura 3-5. Coral Methaner.

2. Castillo Villalba



Figura 3-6. Castillo Villalba.

3. Bit King:



Figura 3-7. Bit King.

3.3.2 Camiones

1. Volvo FH GNL,



Figura 3-8. Volvo FH GNL.

Un camión para operaciones de transporte pesado regionales y de largo recorrido, que se conduce y rinde igual que el Volvo FH. Pero con un menor impacto medioambiental y la posibilidad de reducir los costes de combustible, sin que la facilidad de conducción o la productividad se vean afectadas.

Los nuevos camiones Volvo que funcionan con gas ofrecen el mismo ahorro de combustible que los vehículos diésel equivalentes. Sin embargo, dado que el GNL suele ser más barato, supone una buena oportunidad para reducir sus costes de combustible.

Realiza las mismas operaciones de transporte a la misma velocidad pero con un 20 % menos de emisiones de CO₂.

El gas natural tiene un gran potencial como sustituto del diésel en los camiones. Existe un buen suministro a nivel global y, en comparación con el diésel, las emisiones de CO₂ son considerablemente inferiores. Cuando

el gas se enfría y alcanza bajas temperaturas, se licua y se reduce su volumen. Esto significa que podrá tener suficiente combustible a bordo para las operaciones de transporte pesado regionales y de largo recorrido.

2. Mercedes ECONIC-NGT 1830 LL



Figura 3-9. Mercedes ECONIC-NGT 1830 LL.

3.4. Logística de Búnkering

Si se tuviera que realizar una cadena logística de búnkering con GNL, una posibilidad sería la siguiente:

- Carga de buques feeder de GNL desde la planta principal de almacenamiento.
- Transporte por mar hasta el muelle dedicado a búnkering.
- Transporte por tubería a depósitos de almacenamiento de la instalación de búnkering.
- Carga de camiones de transporte de GNL en la planta principal de almacenamiento y transporte por carretera.
- Descarga de camiones de transporte de GNL en los depósitos de almacenamiento de la instalación de búnkering.
- Carga de gabarra (con brazo fijo o tubería flexible).
- Suministro desde depósito de la instalación de búnkering. TPS (Terminal to Ship via Pipeline).
- Ship to Ship en navegación (con o sin defensas Yokohama).
- Carga de camiones en los depósitos de almacenamiento de la instalación de búnkering.
- Búnkering TTS (Truck to Ship).
- Carga de gabarras en la instalación de búnkering.
- Búnkering STS (Ship to Ship) desde gabarra motorizada o no.
- Carga del GNL a contenedores.
- Búnkering CTS (Container to Ship).

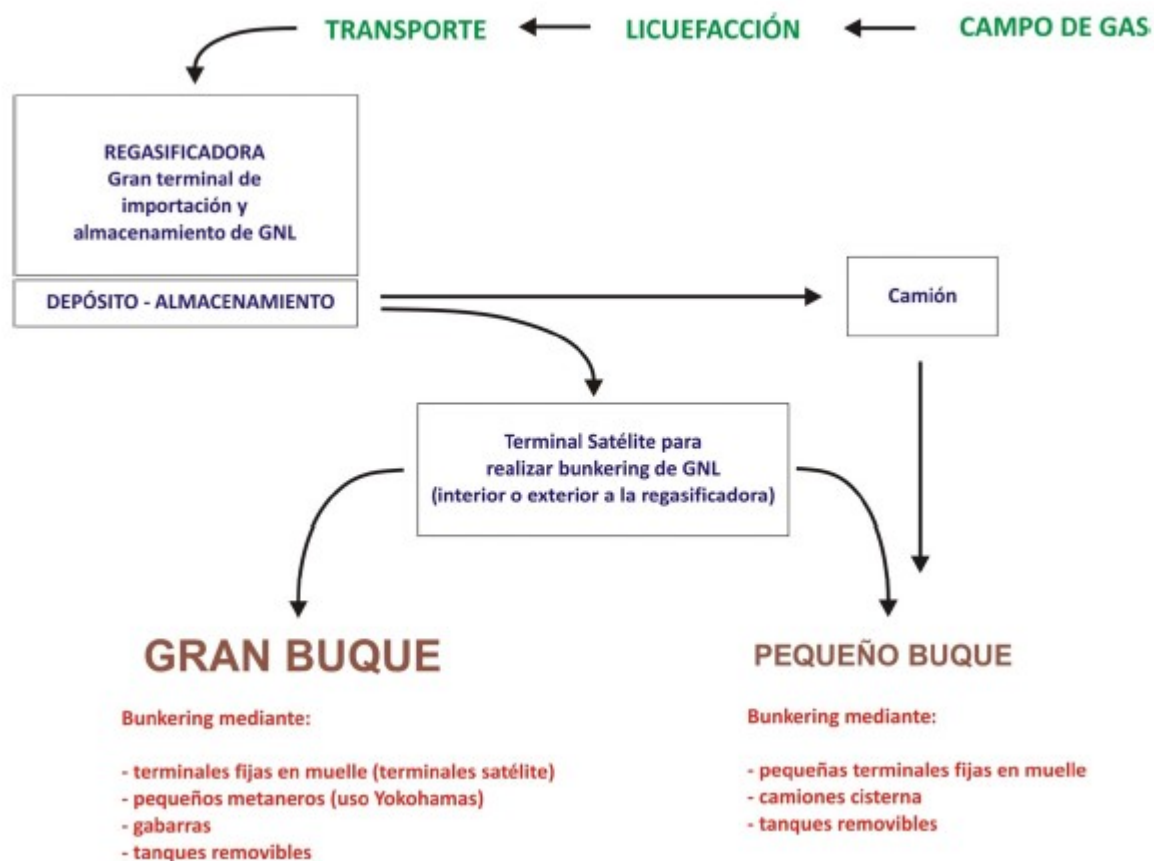


Figura 3-10. Filosofía del bunkering con GNL.

3.5. Rutas marítimas

El sector transporte es responsable aproximadamente del 20% de la energía consumida en el mundo. La siguiente imagen muestra los principales focos mundiales que permiten los intercambios del comercio de mercaderías.

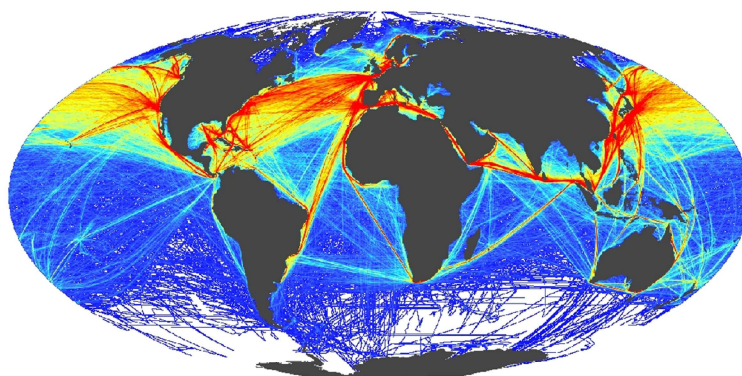


Figura 3-11. Rutas marítimas.

Los principales puertos de bunkering a nivel mundial son:

- Singapur, 43 millones de toneladas en 2011.

- Rotterdam (Amberes), 17 (+7) millones de toneladas en 2009 (Rotterdam a muchos efectos portuarios puede considerarse conjuntamente con Amberes, que en bunkering movió 7 mill. ton. en 2009).
- Fujairah, 19 millones de toneladas en 2009.
- Busan y Hong-Kong, 5 millones de toneladas en 2007.
- Gibraltar, 4 millones de toneladas en 2007 (que a efectos de Bunkering debería considerarse junto con Algeciras, 2.3 mill. ton. en 2007).
- Los Ángeles (Long Beach) y Nueva York, 3.5 millones de toneladas en 2007.

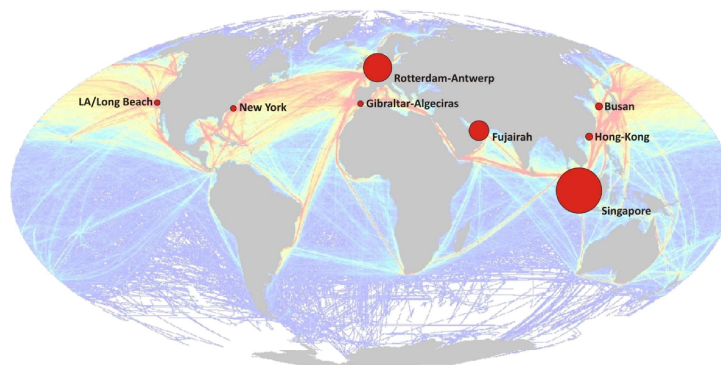


Figura 3-12. Principales puertos mundiales.

El Consejo de Europa considera que el crecimiento económico depende de la movilidad sostenible, y por tanto el desarrollo de una red logística europea de transporte es vital para el futuro de la Unión Europea. La saturación de las redes europeas de transporte terrestre obstaculiza el desarrollo de la UE. Por ello es de principal importancia política optimizar el uso de los diferentes modos de transporte (aéreo, marítimo y terrestre -carretera, FFCC y vías navegables interiores-). Actualmente no se ha alcanzado aún el uso óptimo en el sistema logístico europeo de transporte del transporte marítimo de corta distancia, ni del uso de la navegación fluvial en las vías navegables interiores. El desarrollo en Europa del uso del transporte marítimo requiere la mejora de conectividad con los medios terrestres de transporte (vías navegables, FFCC, carretera, tubería y cable), debiendo estimularse la co-modalidad del transporte.

Las Autopistas del Mar (MoS) constituyen la dimensión marítima de la Red Europea Principal de Transporte y enlace entre la core network y la comprehensive network.



Figura 3-13. Red europea principal de transporte (EU CORE NETWORK).

4 LAYOUT

Una vez elegida la parcela sobre la que construir la planta de gas natural licuado, se estudia el funcionamiento y la cadena logística de la actividad que se pretende desarrollar en ella. Cuando se ha realizado este estudio, se procede al diseño de la distribución de construcciones e instalaciones para obtener un resultado óptimo entre funcionalidad y costes que permiten que el proyecto sea rentable.

La actividad fundamental de la planta es el suministro de GNL a barcos y a camiones para su transporte y consumo. El gas licuado llega a la planta a través de camiones cisterna desde las instalaciones de la empresa Enagas, situada a escasos metros de nuestra planta. Tras pasar los controles pertinentes y haber recorrido la red de tuberías, llega a los cinco tanques criogénicos con que cuenta la planta donde se mantiene a baja temperatura para su buena conservación. En función de la demanda de cada época del año, se va suministrando a camiones cisternas y éstos son los encargados de distribuirlos a sus diferentes clientes o de utilizarlos como combustible. También se suministra a barcos nodriza situados en el puerto que hacen de gasolineras flotantes para barcos que utilizan el GNL como combustible.

Una vez hecho el análisis de la actividad a realizar se valoran las posibles distribuciones de la planta y finalmente se opta por la que se describe a continuación. Para ofrecer al cliente una imagen real del proyecto, se realiza un modelo en 3D con el programa SketchUp que ayuda a entender mejor la idea del proyectista y que, con toda seguridad, resultará más atractivo para el cliente.

Como descripción genérica, comentar que la entrada y salida de camiones se encuentran orientadas al noroeste de la parcela. A la derecha de la entrada se encuentra el rack de tubería que cruza longitudinalmente la parcela hasta llegar al cubeto donde se encuentran los tanques criogénicos, situados en la zona sureste. Justo en el centro de la parcela se encuentra el cargadero de camiones compuesto por tres pilares de hormigón una marquesina superior. Entre la entrada y la salida y muy cerca del cargadero se encuentra el puesto de control. En el puesto de control se realiza un seguimiento y control del contenido de los tanques, del volumen de combustible que entra y sale de la planta, así como de que todas las instalaciones se encuentren en condiciones de seguridad en todo momento.

En los siguientes apartados se presentan unas imágenes obtenidas de modelo en 3D realizado que aporta claridad a la descripción de la planta realizada anteriormente.

4.1 Vista general

El ciclo de funcionamiento de la planta permite diferenciar dos actividades fundamentales independientes que no se interrumpen entre ellas. La primera es la carga-descarga de GNL a barcos y la segunda es la carga de GNL a camiones cisterna.

Los buques atracan en el muelle y mediante un grupo de bombeo y un rack de tuberías, instalaciones que se salen del perímetro de este proyecto, hacen llegar el GNL a la planta.

Para los camiones se traza un recorrido de entrada y salida que permite que no sea necesario la realización de maniobras por parte de los conductores y que no genera retenciones. Los camiones entran cargan y salen sin necesidad de hacer dos veces el mismo recorrido.

Cabe destacar como uno de los puntos fuertes de la distribución o Layout que se contempla el crecimiento comercial de esta planta en el futuro por que puede proyectarse de forma simétrica otro cubeto que nos permitiría tener el doble de almacenamiento, y por ende el doble de suministro.

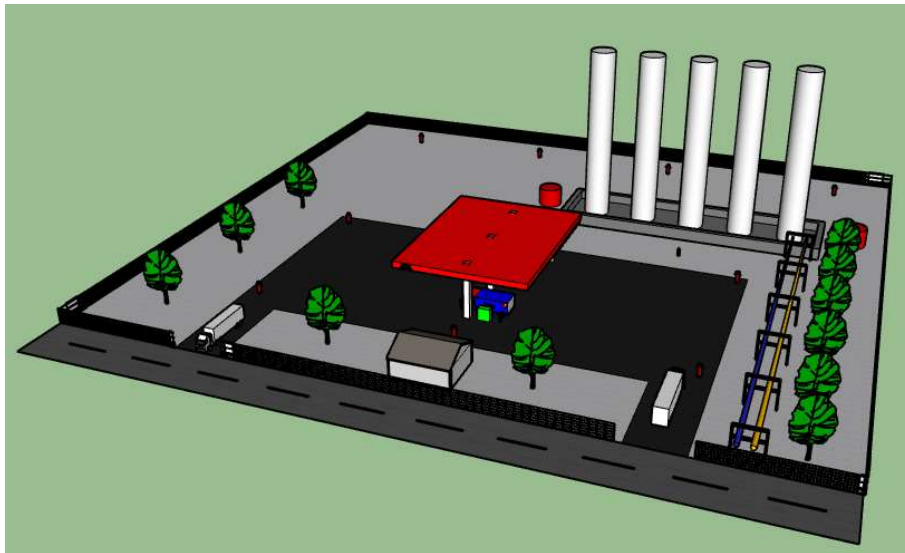


Figura 4-1. Vista de pájaro 1

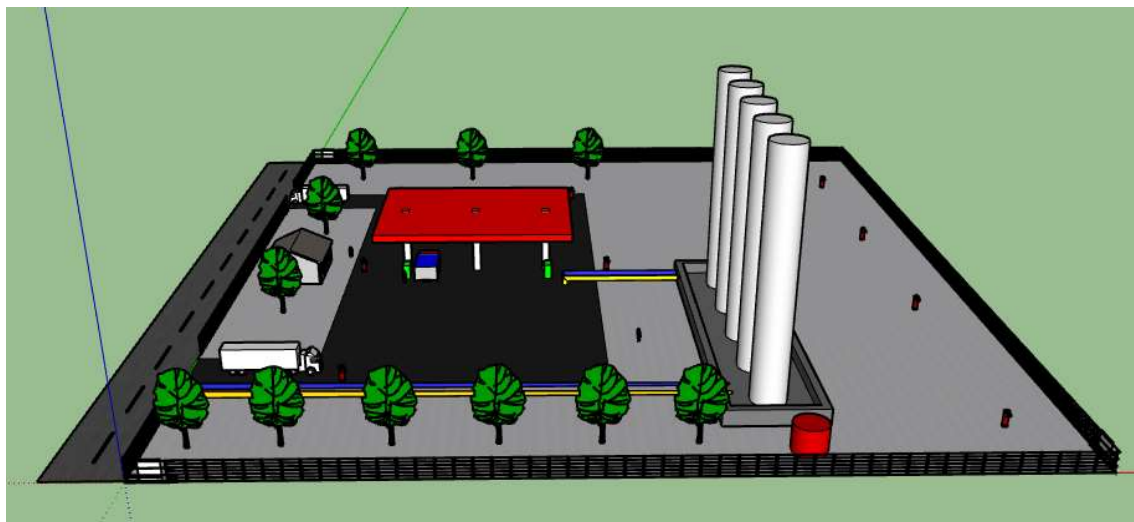


Figura 4-2. Vista de pájaro 2

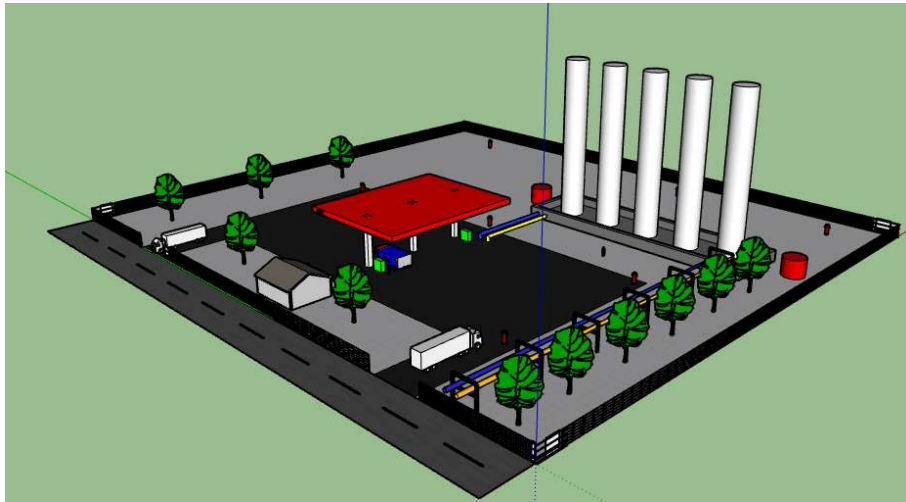


Figura 4-3. Vista de pájaro 3

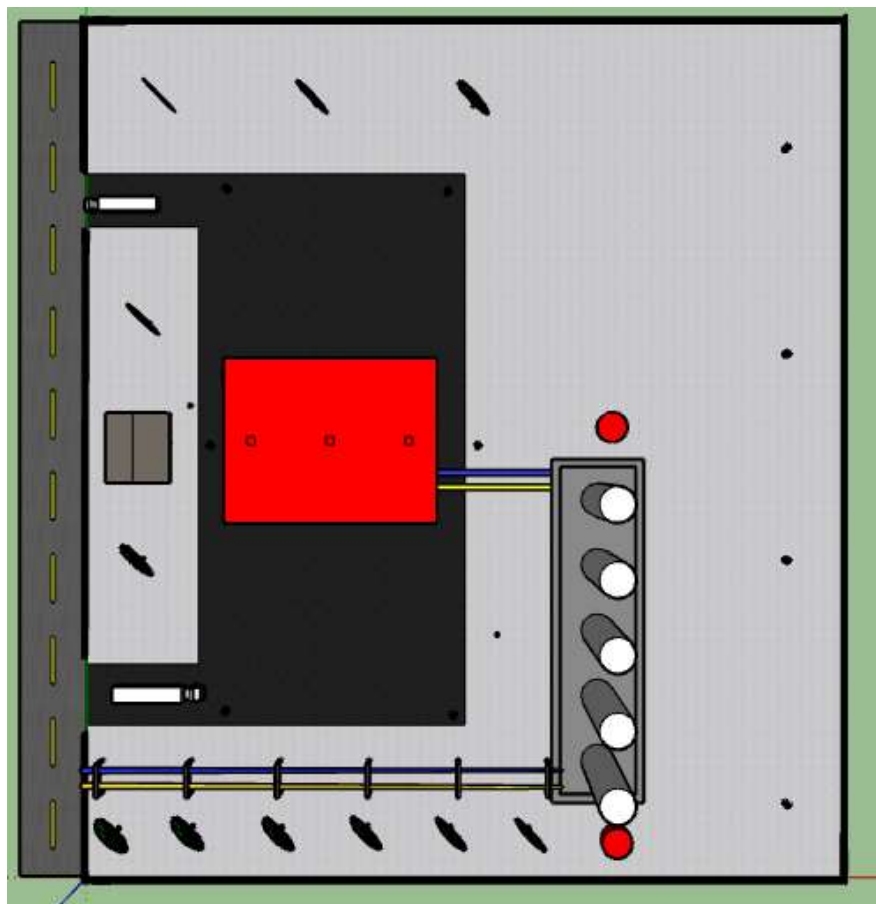


Figura 4-4. Vista en planta

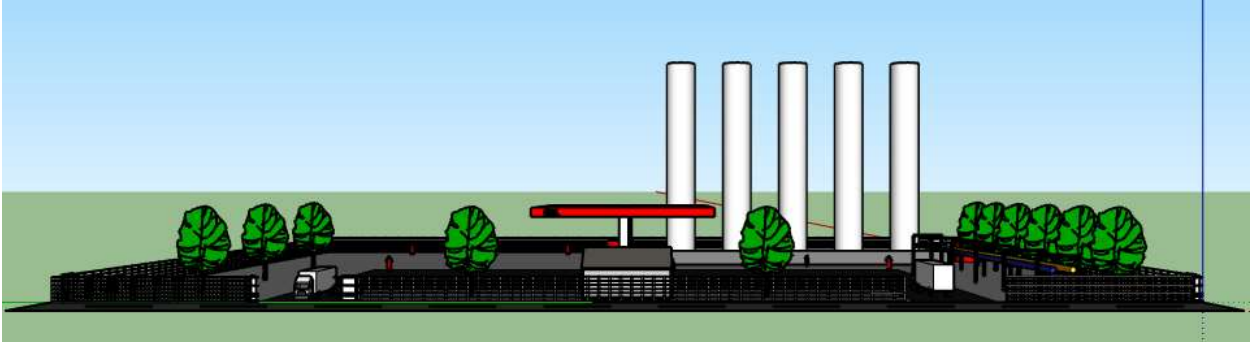


Figura 4-5. Vista en perfil 1

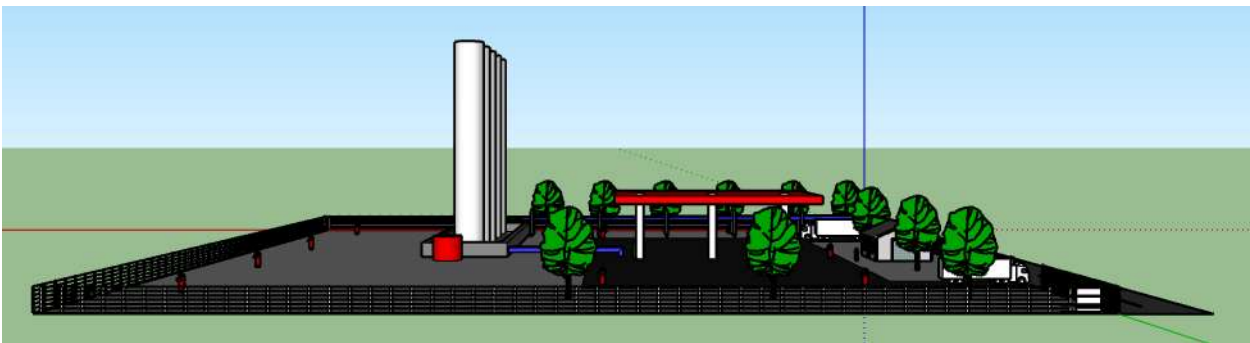


Figura 4-6. Vista en perfil 2

4.2 Cargadero de camiones



Figura 4-7. Cargadero 1

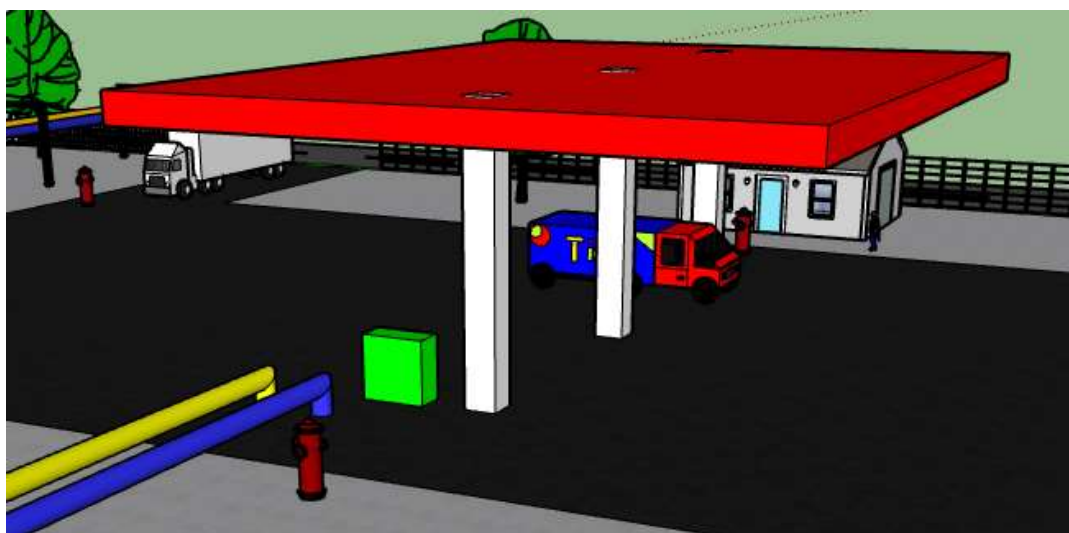


Figura 4-8. Cargadero 2

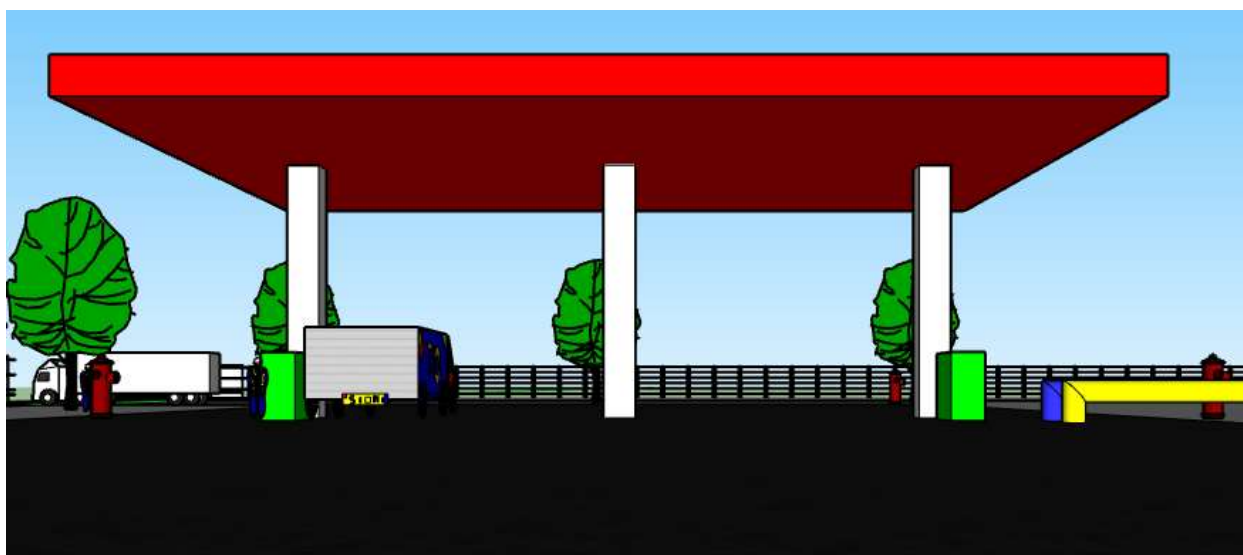


Figura 4-9. Cargadero 3

4.3 Cubeto

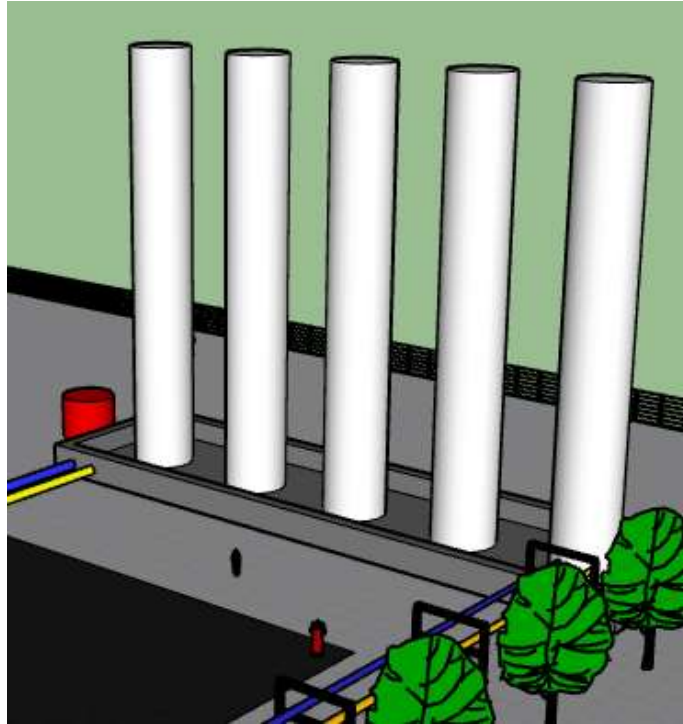


Figura 4-10. Cubeto 1

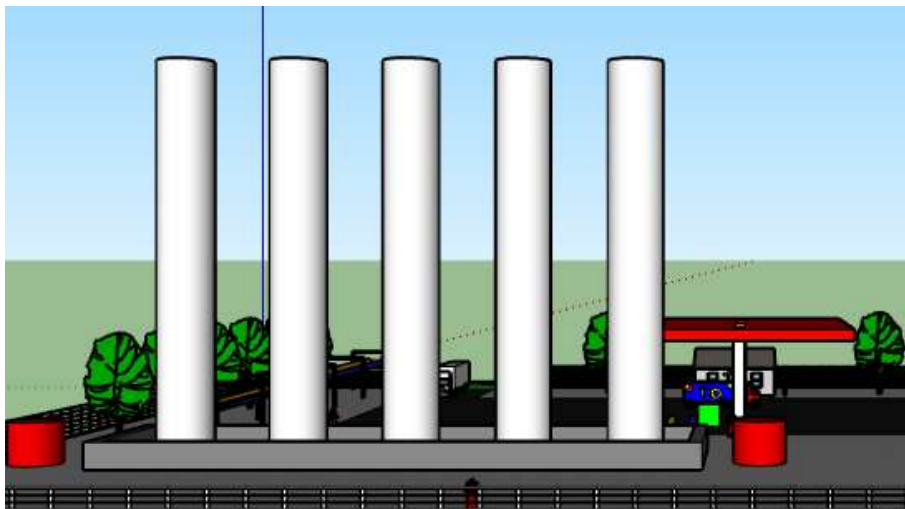


Figura 4-11. Cubeto 2

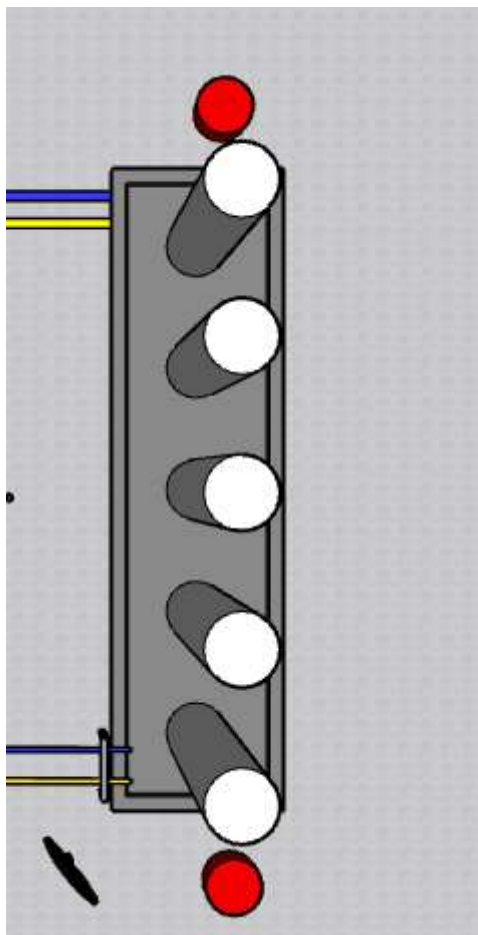


Figura 4-12. Cubeto 3

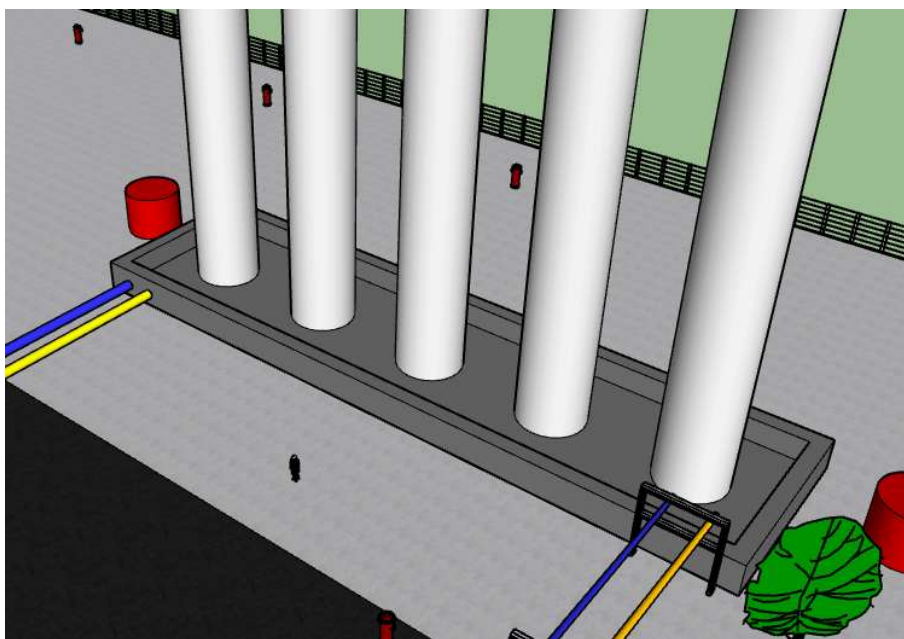


Figura 4-13. Cubeto 4

4.4 Rack de tuberías

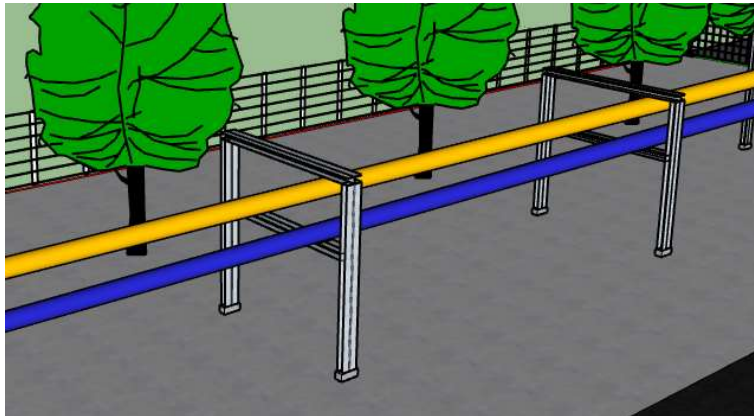


Figura 4-14. Rack de tuberías 1

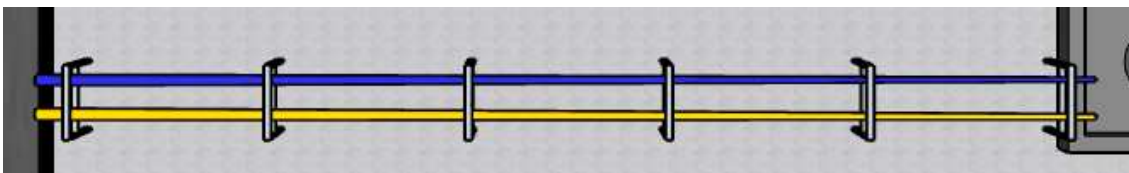


Figura 4-15. Rack de tuberías 2



Figura 4-16. Rack de tuberías 3

4.5 Puesto de control

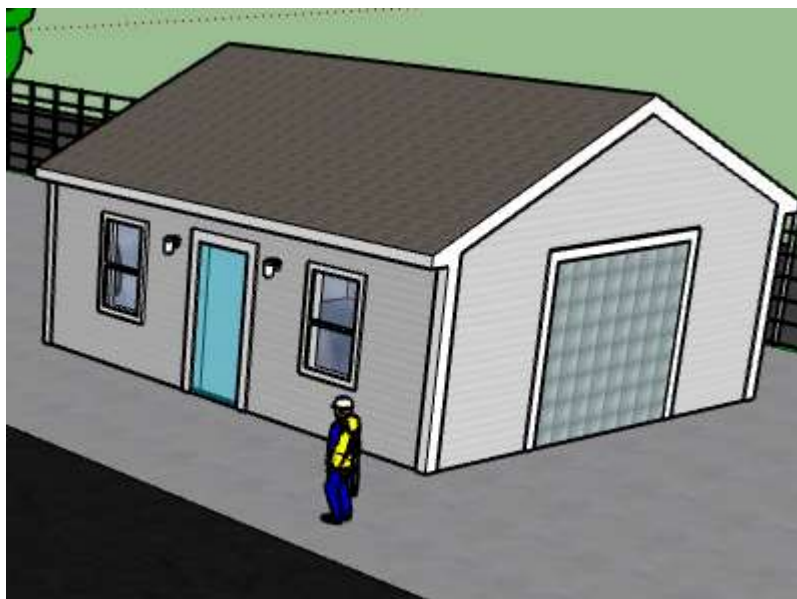


Figura 4-17. Puesto de control

5 CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS. OBRA CIVIL

5.1. Movimiento de tierra

Se entiende por Movimiento de Tierras al conjunto de actuaciones a realizarse en un terreno para la ejecución de una obra. Dicho conjunto de actuaciones puede realizarse de forma manual o mecánica. Previo al inicio de cualquier actuación, se deben efectuar los Trabajos de Replanteo, prever los accesos para maquinaria, camiones, rampas, etc.

Es habitual que antes de comenzar el movimiento de tierras, se realice una actuación a nivel de la superficie del terreno, limpiando de arbustos, plantas, árboles, broza, maleza y basura que pudiera hallarse en el terreno; a esta operación se la llama despeje y desbroce.

El desbroce y limpieza del terreno con arbustos se realiza con medios mecánicos. Comprende los trabajos necesarios para retirar de las zonas previstas para la edificación o urbanización: arbustos, pequeñas plantas, tocones, maleza, broza, maderas caídas, escombros, basuras o cualquier otro material existente, hasta una profundidad de 25 cm; y carga a camión. Para ello se utiliza una motosierra a gasolina y una pala cargadora sobre neumáticos.



Figura 5-1. Parcela

A continuación sabemos a través de un estudio geotécnico de la zona del puerto de Huelva que para encontrar un terreno sobre el que construir de manera segura hemos de sumergirnos a una profundidad de menos tres metros. En este nivel aparece un terreno con resistencia de $0,53 \text{ kg/cm}^2$.

Por tanto se procede a realizar un cajeo de 3 metros de profundidad de toda la superficie sobre la que se proyecta la planta de GNL que es exactamente de $100 \times 100 \text{ m}^2$. En total el volumen de terreno a desalojar es de 30000 m^3 sobre terreno. A la hora de transportar este material a vertedero será necesario conocer el coeficiente de esponjamiento del terreno para realizar un cálculo del número de camiones y trayectos necesarios. En el caso del terreno de la planta el coeficiente es de 0,3.

Este volumen se rellena con un terreno de calidad traído de cantera como es la zahorra natural. La zahorra es el material formado por áridos no triturados, suelos granulares, o una mezcla de ambos, cuya granulometría es de tipo continuo. Los materiales usados para su elaboración son áridos no triturados procedentes de graveras o depósitos naturales, o bien suelos granulares, o una mezcla de ambos. Concretamente se utiliza una zahorra 0/40 del catálogo de Arids Daniel, que presenta la siguiente fisonomía y características.

**PRODUCTO**

AG-0/40-R-C

PETROGRAFÍA

Calcáreo

NORMA CE núm.

UNE EN-13242

DENSIDAD DEL MATERIAL1500 – 1550 kg/m³**CERTIFICADO DE CONTROL DE PRODUCCIÓN**

1035 – CPD – ES033405

USOS

Subcapas, caminos, carreteras, explanadas, parkings.

Figura 5-2. Zahorra natural

Para llevar a cabo el movimiento de tierra se utiliza diferente maquinaria según cada proceso desde la excavación hasta el traslado del material extraído a vertedero. Algunas de las funciones a realizar son, soltar y remover la tierra, elevar y cargar la tierra en vehículos que han de transportarla, distribuir la tierra en tongadas de espesor controlado, y compactar la tierra.

Con el fin de no desperdiciar el material traído de cantera que supone un coste muy importante de este proyecto, el relleno se realiza en diferentes fases. Primero se rellenan dos de los tres metros sobre los que se realiza el cajeo. A continuación, se colocan las cimentaciones superficiales de cubeto, cargadero de camiones y rack de tuberías y finalmente se rellena hasta cota cero. De este modo no hay que volver a excavar sobre el material seleccionado para cimentar como ocurriría en caso de rellenar todo de una vez.

Algunas máquinas pueden efectuar más de una de estas operaciones.

- Excavadora: existen varios tipos: por su forma de locomoción pueden clasificarse en excavadoras sobre orugas o sobre neumáticos. En nuestro caso podemos utilizar cualquiera de ellas.
- Bulldozer: encargada de remover y empujar la tierra con su cuchilla frontal. La eficiencia de estas máquinas se limita a desplazamientos de poco más de 100 m en horizontal, lo cual es ideal para la planta objeto del proyecto. Existen dos tipos: de cuchilla fija y con cuchilla que puede pivotar sobre un eje vertical. Estas máquinas están equipadas con dientes de acero en la parte posterior, que pueden ser hincados en el terreno duro para roturarlo antes de empujar.



Figura 5-3. Bulldozer

- Pala cargadora frontal. Estos equipos se utilizan para remover tierra suelta y cargarla en vehículos de transporte, como camiones o volquetes. Son generalmente articuladas para permitir maniobras en un espacio reducido.



Figura 5-4. Pala cargadora

- Mototrailla o scraper. Estas máquinas se utilizan para cortar capas uniformes de terrenos de una consistencia suave, abriendo la cuchilla que se encuentra en la parte frontal del recipiente. Al avanzar, el material cortado es empujado al interior del recipiente. Cuando éste se llena, se cierra la cuchilla, y

se transporta el material hasta el lugar donde es depositado. Para esto se abre el recipiente por el lado posterior, y el material contenido dentro del recipiente es empujado para que salga formando una tongada uniforme.

- Motoniveladora o grader. Se utiliza para mezclar los terrenos, cuando provienen de canteras diferentes, para darles una granulometría uniforme.
- Volquete: transporta el terreno retirado a vertedero y trae el suelo seleccionado para aportar al cajeo realizado.

5.2. Cubetos de retención y tanques de almacenamiento

Se trata de la zona que da sentido a la planta industrial objeto de este proyecto. Se proyectan cinco tanques de doble capa que contienen el GNL llegado desde el puerto para ser utilizado como combustible y distribuido mediante camiones cisterna.

Para la debida construcción, en seguridad, de la instalación la normativa exige que los recipientes de superficie para almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles deben disponer de un cubeto de retención.

En todos los cubetos los recipientes no deben estar dispuestos en más de dos filas. Es preciso que cada fila de recipientes tenga adyacente una calle o vía de acceso que permita la intervención de la brigada de lucha contra incendios. La distancia en proyección horizontal entre la pared del recipiente y el borde interior inferior del cubeto será, como mínimo, de 1 metro.

El fondo del cubeto tendrá una pendiente de forma que todo el producto derramado escurra rápidamente hacia una zona del cubeto lo más alejada posible de la proyección de los recipientes, de las tuberías y de los órganos de mando de la red de incendios.

Cuando un cubeto contenga un solo recipiente, su capacidad se establece considerando que tal recipiente no existe, es decir, será el volumen de líquido que pueda quedar retenido dentro del cubeto, incluyendo el del recipiente hasta el nivel de líquido en el cubeto.

Cuando un cubeto contenga dos o más recipientes, su capacidad se establece:

- Referido al recipiente mayor, considerando que no existe éste, pero sí los demás, es decir, descontando del volumen total del cubeto vacío el volumen de la parte de cada recipiente que quedaría sumergido bajo el nivel del líquido, excepto el del mayor.
- Referido a la capacidad global de los recipientes: el volumen total del cubeto, considerando que no existe ningún recipiente en su interior.

5.2.1 Tanques de almacenamiento

Los tanques que se disponen en nuestra planta de GNL se escogen del catálogo de LAPESA que es un fabricante de depósitos acumuladores y equipos para agua caliente sanitaria, depósitos y equipos para almacenamiento y transporte de gases, combustibles líquidos, productos químicos y fluidos en general.

Dado que vamos a trabajar a bajas temperaturas, nos fijamos en los tanques criogénicos de su catálogo. El elegido definitivamente responde a las siguientes características:

- Depósito para almacenamiento de gas licuado a presión, a temperaturas criogénicas, para productos GNL (N₂, O₂, Ar...). Está formado por dos recipientes, uno dentro de otro, con un fuerte aislamiento térmico en la cámara entre ambos. Capacidades desde 5 a 320 m³. Se construyen tanto en versión vertical (con patas o faldón) como horizontal (con cunas de apoyo y anclaje al suelo).

En nuestro caso se opta por cinco tanques de 320 m³ verticales con patas y anclaje al suelo especialmente reforzado considerando las posibles fuertes cargas de viento dado que estamos en una zona costera.

- Diseñado para diferentes presiones de trabajo, desde 5 hasta 42 bar, en nuestro caso con 5 bares es suficiente. Homologado de acuerdo con: Directiva Europea de Equipos a Presión 2014/68/UE (marcado CE) y las normas armonizadas para dicha Directiva (por ejemplo: EN 13445).ASME VIII div.1 (marcado ASME).
- Depósito interior fabricado en acero inoxidable austenítico.
- El aislamiento térmico se realiza con relleno de la cámara entre los dos depósitos con material aislante y un alto vacío. Incluye material absorbente para mayor estabilidad del vacío. El eficaz aislamiento térmico minimiza las pérdidas de producto y permite un largo almacenamiento a baja temperatura de gases licuados.
- Superficie exterior decapada por granallado y protegida con dos manos de pintura: imprimación de alto poder anticorrosivo y exterior en poliuretano color blanco reflectante.

El equipamiento con el que vienen estos tanques de serie son:

- Tuberías en inoxidable: incorpora todos los componentes necesarios para la instalación (tuberías y válvulas de corte) en acero inoxidable.
- Regulación de presión : equipado con sistema automático de elevación de presión (PPR), para compensar la disminución de presión que se origina en la extracción de líquido o gas.
- Válvulas de seguridad reguladas para descarga a la presión de trabajo, destinadas al alivio de presión interior. El sistema está dotado de doble grupo de válvulas de seguridad (dos válvulas cada grupo), que permite el aislamiento de uno de ellos mientras se mantiene o repara el otro.

A continuación se presentan planos e imágenes con datos técnicos de los tanques elegidos.



EQUIPOS INCORPORADOS

- Venteo con apagallamas: orientable.
- Sensor para medición de vacío.
- Conexión unificada de llenado: DN50.
- Indicador electrónico de nivel (con transmisor de presión y nivel de líquido): SAMSON.
- Válvulas reguladoras y economizadoras: CASH, SAMSON, HEROSE.
- Elevador de presión (PPR).
- Grupo de seguridad: HEROSE, CAEN.
- Valvulería general: HEROSE, CAEN, BESTOBELL.

EQUIPOS OPCIONALES

- KIT economizador externo con regulador de presión, filtro y llave de corte.
- Economizador interno: DN20.
- Elevador de presión: PPR/ otras capacidades.
- Indicador nivel: mecánico.
- Equipos/válvulas: otras marcas.
- Válvulas con accionamiento neumático.
- Doble válvula de llenado.
- Punto alto: doble.

Figura 5-5. Tanque criogénico del catálogo de LAPESA

SERIE 4200 V

Ejemplo denominación "LC240V42-P20": LC: depósito criogénico lapesa, 240: volumen nominal 240 m³, V: instalación horizontal, 42: diámetro 4.200 mm, P20: presión máxima de trabajo 20 bar

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES		LC195V42-P.*	LC240V42-P.*	LC285V42-P.*	LC307V42-P.*	LC318V42-P.*
VOLUMEN NOMINAL	m³	195,0	240,0	285,0	307,0	318,0
VOLUMEN NETO	m³	195	240	285	307	318
PRESIÓN MÁXIMA DE TRABAJO	bar	*(P) : 05, 10, 12, 15, 20, 24, 27, 30				
TEMPERATURA DE DISEÑO	°C	-196	-196	-196	-196	-196
NORMATIVA		marcado CE: Directiva Europea 2014/68/UE, (opcional) sello ASME: ASME VIII, div.1				
DEPÓSITO INTERIOR	material	acero inoxidable austenítico				
DEPÓSITO EXTERIOR	material	acero al carbono				
AISLAMIENTO		material aislante perlita, vacío < 5*10 ⁻² mbar				
ACABADO INTERIOR		limpio de partículas				
ACABADO EXTERIOR		granallado SA 2 1/2 / imprimación epoxi poliamida 60 micras / acabado poliuretano blanco 60 micras				
DATOS TÉCNICOS		LC195V42-P.*	LC240V42-P.*	LC285V42-P.*	LC307V42-P.*	LC318V42-P.*
CAPACIDAD ÚTIL GNL (95%, 1 bar)	tm	85,2	104,9	124,5	134,2	139,0
CAPACIDAD ELEVADOR DE PRESIÓN PPR (para consumo de GN a 3,5 bar) ¹	Nm³/h	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
DATOS PARA MANIPULACIÓN Y TRANSPORTE		LC195V42-P.*	LC240V42-P.*	LC285V42-P.*	LC307V42-P.*	LC318V42-P.*
Tara aprox. en vacío (depósito con equipo completo)	tm	P05	47,0	55,7	64,3	71,1
		P10	47,0	55,7	64,3	71,1
		P12	50,6	60,0	69,3	76,7
		P15	54,1	64,3	74,3	82,2
		P20	59,1	70,4	81,6	90,3
		P24	64,6	77,0	89,4	98,9
		P27	68,1	81,3	94,4	104,5
		P30	71,6	85,5	99,4	110,1
L: longitud total incluido válvulas	mm	19.580	23.580	27.580	29.580	30.580
D: anchura total	mm	4.210	4.210	4.210	4.210	4.210
H: altura total incluido venteo	mm	4.210	4.210	4.210	4.210	4.210

Figura 5-6. Dimensiones y características de tanques

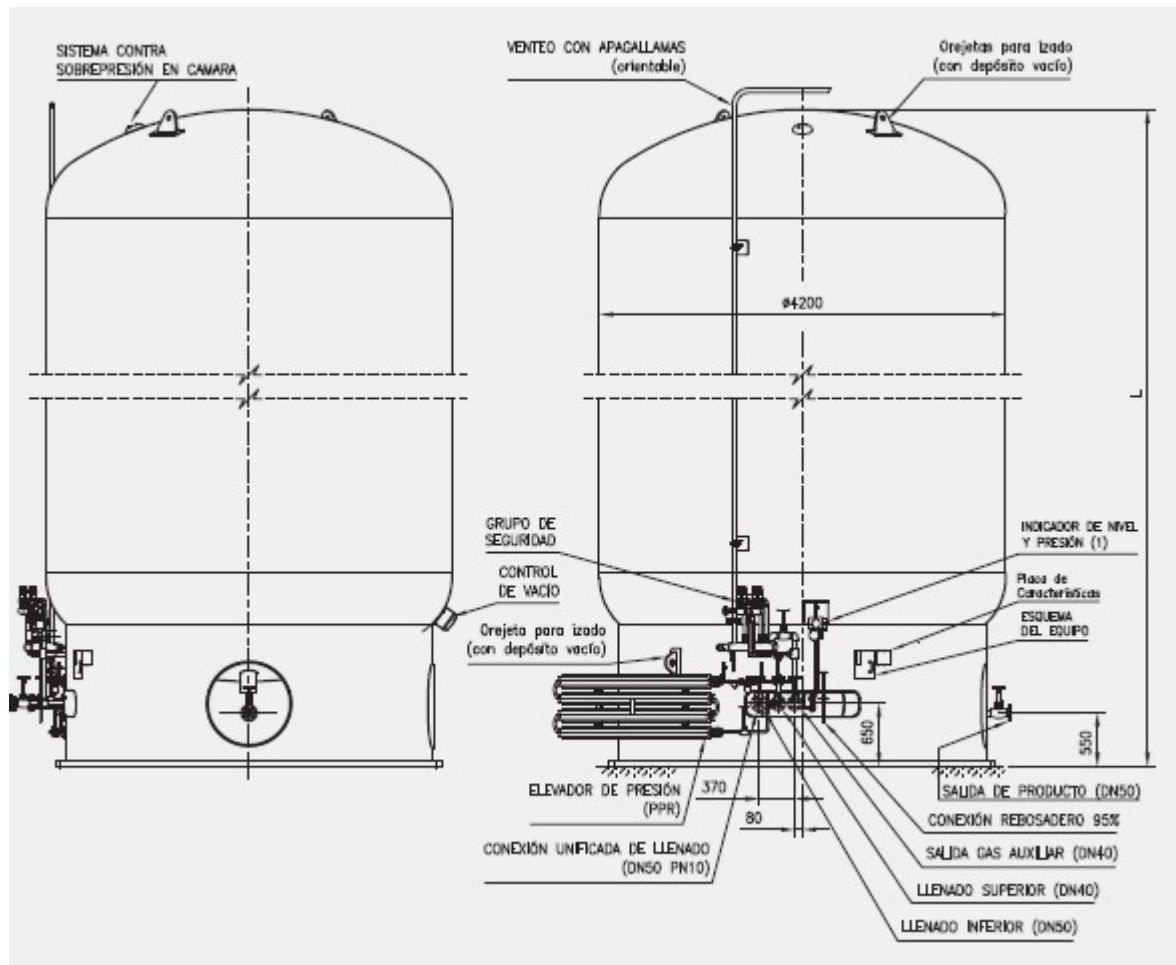


Figura 5-7. Plano frontal de tanques y valvulería

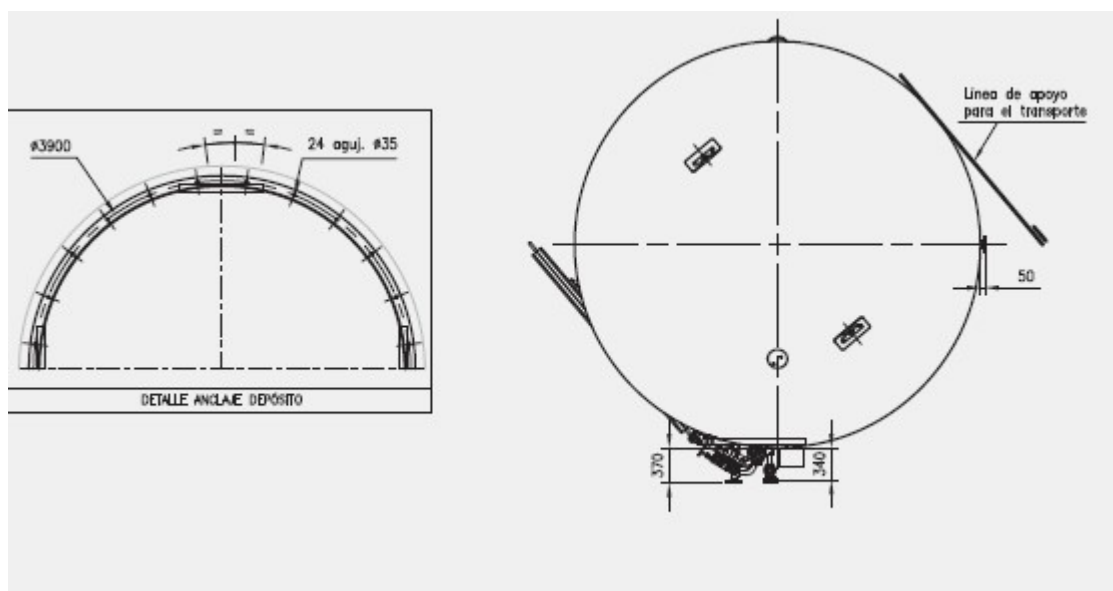


Figura 5-8. Plano en planta de tanques y valvulería

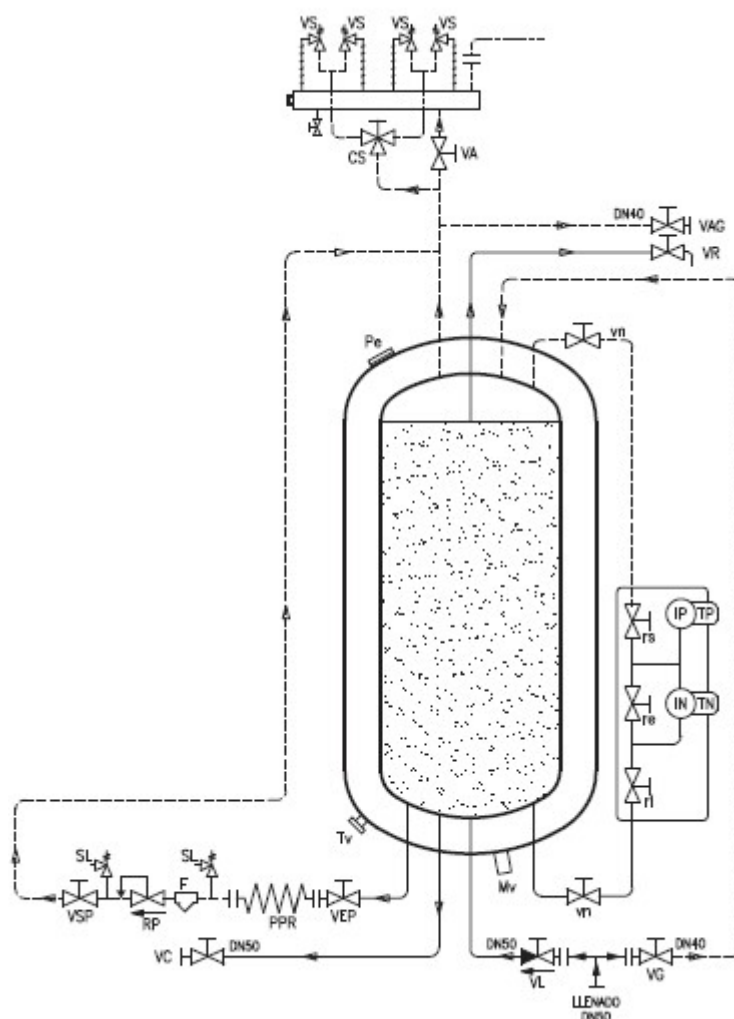


Figura 5-9. Esquema de tanques y valvulería

5.2.2 Cubetos de retención

Un cubeto de retención es un recinto completamente estanco cuyo objetivo es retener de forma controlada posibles derrames de productos líquidos peligrosos por roturas del tanque, en nuestro caso, que lo contiene. El volumen del cubeto debe ser, por normativa, capaz de almacenar el líquido contenido en el mayor de los tanques que haya en su interior teniendo en cuenta la presencia de otros tanques de igual o menor volumen.

Dadas las circunstancias geográficas de la planta de GNL y las características del cubeto se opta por construirlo con un hormigón armado con la siguiente designación: HA-30/P25/IIb. Esto es, hormigón armado de resistencia característica a la compresión a 28 días de 30 MPa, de consistencia plástica, con tamaño máximo del árido 25 mm y exposición tipo de ambiente IIb. El mallazo de la losa inferior se realiza con un acero B-500S, que quiere decir que tiene una resistencia característica de 500MPa.

La geometría del cubeto de hormigón está limitada, además de por el volumen del mayor de los tanques, por la separación mínima que deben tener entre ellos y con respecto a las paredes del propio cubeto. En este sentido

la normativa indica lo que se expone a continuación.

- No está permitido situar un recipiente encima de otro.
- La distancia entre las paredes de los recipientes será la mayor obtenida del cuadro II-5 con la reducción aplicable del cuadro II-6. En ningún caso estas distancias serán inferiores a las mínimas señaladas en el cuadro II-5.

Clase de producto	Tipos de recipiente sobre los que se aplica la distancia	Distancia mínima (D- Dimensión según notas 1 y 6)	Observaciones
A/A1	Entre recipientes de subclase A1.	1/2 de la suma de los diámetros de los recipientes.	Nota 2.
	A recipientes para productos de las clases A2, B, C ó D.	D (mínimo: 15 metros).	Nota 2.
A/A2	Entre recipientes a presión para productos de la subclase A2.	1/4 de la suma de los diámetros de los recipientes con un mínimo de 2 metros.	Nota 2.
	A recipientes para productos de las clases B, C ó D.	D (mínimo: 15 metros).	Nota 2.
B	A recipientes para productos de las clases B, C ó D.	0,5 D (mínimo: 1,5 metros). El valor puede reducirse a 25 metros si es superior.	Nota 5.
C	A recipientes para productos de las clases C ó D.	0,3 D (mínimo: 1,5 metros). El valor puede reducirse a 17 metros si es superior.	Nota 5.
D	A recipientes para productos de clase D.	0,25 D (mínimo: 1,5 metros).	Notas 3, 4 y 5.
Líquidos inestables	A recipientes para productos de cualquier clase.	D (mínimos: Los indicados arriba según su clasificación A1, A2, B, C ó D).	-

Figura 5-10. Cuadro de distancias entre tanques

Por último, influye el estado de carga al que se somete la cimentación que es de 204200 kN. Para que la base del propio cubeto haga las funciones de losa de hormigón de cimentación se necesitan unas dimensiones de aproximadamente 40x10 m², teniendo en cuenta la resistencia del terreno. Éstas medidas nos permiten cumplir con los requisitos de seguridad exigidos por la normativa con holgura. Por un lado se sobredimensiona ligeramente las medidas del cubeto y por otro se ahorra a la hora de colocar una cimentación con una superficie mayor a la del cubeto por lo que parece una solución razonable. A continuación se muestran las dimensiones acotadas del cubeto diseñado.

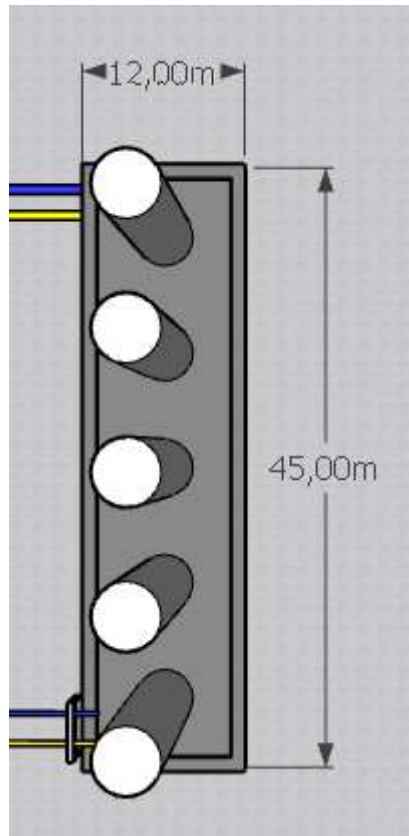


Figura 5-11. Medidas del cubeto 1

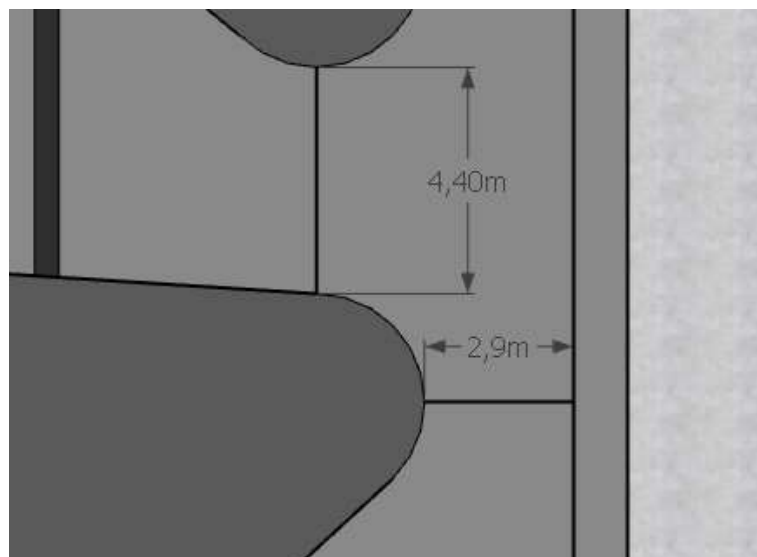


Figura 5-12. Medidas del cubeto 2

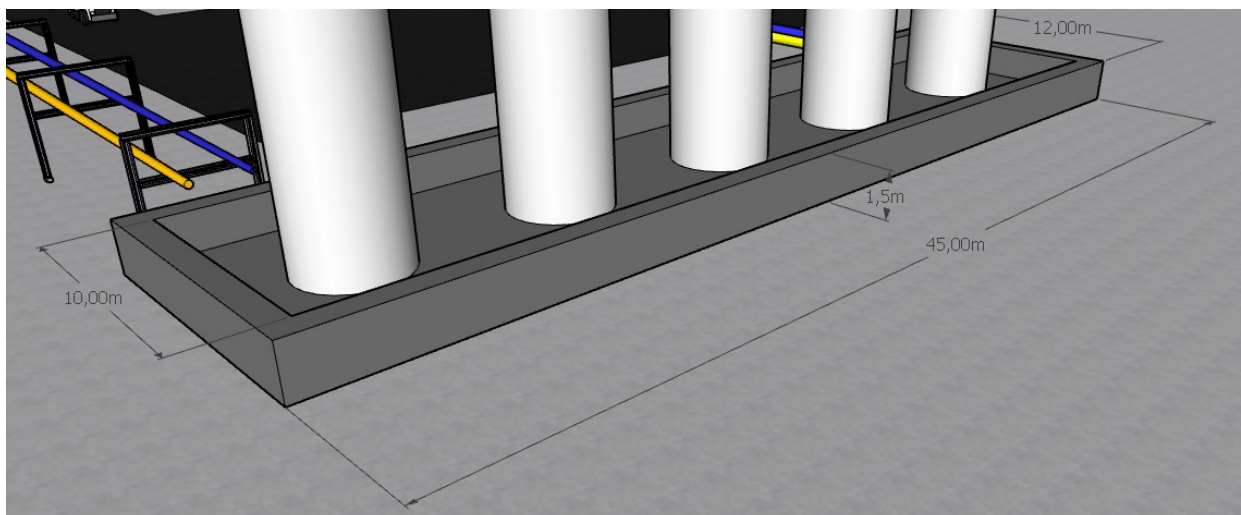


Figura 5-13. Medidas del cubeto 3

5.3. Cargadero de camiones

En las operaciones de carga y descarga se tienen en cuenta las recomendaciones contenidas en el informe UNE 109.100. Las instalaciones de los cargaderos adaptan su diseño y criterios de operación a los requisitos de la reglamentación sobre transporte, carga y descarga de mercancías peligrosas.

Un cargadero puede tener varios puestos de carga o descarga de camiones cisterna, en el caso de esta planta son inicialmente dos. Su disposición es tal que cualquier derrame accidental fluye rápidamente hacia un sumidero, situado fuera de la proyección vertical de los vehículos, en un punto intermedio entre ambos, el cual se conecta con la red de aguas contaminadas.

El cargadero de camiones se sitúa de forma que los camiones que se dirigen a él o que de ellos procedan lo hagan por caminos de libre circulación y sin necesidad de maniobrar. Los accesos son amplios y están bien señalizados.

Los medios de transporte estacionados a la espera pueden situarse de modo que no obstaculizan la salida de los que están cargando o descargando, ni la circulación de los medios para la lucha contra incendios.

La estructura del puesto de carga, las tuberías y el tubo buzo están interconectados eléctricamente entre sí y a una puesta a tierra mediante un conductor permanente, en este caso picas de acero bañadas en cobre formando una red. Junto a cada puesto de carga o descarga existe un conductor flexible permanentemente conectado por un extremo a la citada red de puesta a tierra y por otro a una pieza de conexión de longitud suficiente para conectar la masa de la cisterna del camión o correspondiente con anterioridad y durante las operaciones de carga y descarga, estableciendo una indicación con alarma o enclavamiento que garantice el correcto contacto de la pieza de conexión al vehículo.

El llenado puede hacerse por la parte baja de las cisternas o por la parte superior. Si el llenado se hace por arriba, el brazo de carga está provisto de un tubo buzo de acero, cuyo extremo es de metal blando, que no produce chispas en el acero de la cisterna. En cualquier caso, la extremidad del tubo se hace conductora y está conectada eléctricamente a la tubería fija de carga. El tubo tiene una longitud suficiente para alcanzar el fondo

de la cisterna y esta construido de manera que se limita su posibilidad de elevación en el curso de la operación de llenado. A nivel constructivo el cargadero se compone de una marquesina superior sustentada por tres pilares.

5.3.1 Marquesina

Se proyecta una marquesina rectangular compuesta por una estructura metálica de vigas y correas que posteriormente se cubre con un panel tipo sandwich. Para el cálculo de la estructura nos servimos del CTE DB-AE Seguridad Estructural Acciones en la Edificación así como de la EAE. Soportando a la marquesina, se proyectan tres pilares de hormigón armado cuyo diseño se detalla en el apartado siguiente.

Dada la superficie de la marquesina y que estamos en una zona costera, se presta especial atención a las cargas de viento a las que puede verse sometida.

El DB-SE- A establece las comprobaciones a realizar en vigas de alma llena correspondientes a los Estado Límite Últimos (ELU) y los Estados Límite de Servicio (ELS). En este caso se modelan tanto las vigas principales como las correas como vigas biapoyadas quedando así en el lado de la seguridad frente al cálculo de vigas continuas, donde los esfuerzos son menores ante cargas iguales. Para ello, se realiza un predimensionado previo para que el perfil a comprobar resista el momento sollicitación y cumpla las limitaciones de deformación.

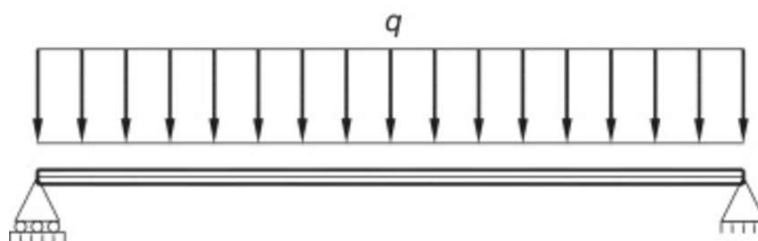


Figura 5-14. Viga biapoyada con carga distribuida

La condición de resistencia a flexión, en ausencia de esfuerzo cortante, es la siguiente:

$$M_{E,Rd} \leq M_{pl,Rd}$$

Donde, el primer término representa el momento que solicita a la sección mientras que el segundo es el momento resistente plástico de la misma.

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Además las vigas deberán cumplir frente a deformaciones teniendo en el centro de sus vanos una flecha inferior a la longitud del mismo dividido entre 300:

$$f_{\max} \leq \frac{L}{300}$$

Con estas condiciones podemos obtener las características de las vigas que se necesitan para que la marquesina de la instalación esté en condiciones de seguridad. Ahora es fundamental saber las cargas a las que se va a ver sometida la estructura para entrar en estas inecuaciones y obtener la información que se necesita.

Una vez diseñado y comprobado cada tipo de elemento de forma individual, se opta por dotar al conjunto de unos arriostramientos en formas de vigas de viento para dotar a la estructura de mayor resistencia frente a agentes externos como puede ser el viento y evitar así un posible comportamiento de mecanismo.

5.3.1.1 Cargas

Para el predimensionamiento de correas y vigas se deben tener en cuenta dos tipos de cargas. El primero de ellas son las cargas permanentes y las acciones variables.

Las cargas permanentes están compuestas principalmente por el peso propio del material, es decir, el peso del panel sandwich así como el de los perfiles de acero que se elijan para correas y vigas inferiores. Por otro lado las acciones variables vienen condicionadas por la sobrecarga de uso y la carga de viento.

De este modo el código establece que el cálculo de cargas es el siguiente:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Para contemplar el caso más desfavorable, se predimensiona suponiendo que todas las cargas actúan simultáneamente sobre la estructura, es decir, peso propio, sobrecarga de uso y viento.

La carga total a la que se ve sometida la marquesina es la siguiente:

$$q = G + Q_1 + Q_2$$

El peso propio del panel sandwich es de 1 kN/m^2 , la sobrecarga de uso viene estipulada para este caso por el código en $0,4 \text{ kN/m}^2$ y la carga de viento se establece en $1,2 \text{ kN/m}^2$. Por tanto,

$$q = 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0,4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 1,2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 2,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

El desglose de la carga de viento es el siguiente:

$$q_v = q_b + C_e + C_v$$

Donde,

- q_b : es la presión dinámica del viento. De forma simplificada, como valor en cualquier punto del territorio español, puede adoptarse 0,5 kN/m².
- C_e es el coeficiente de exposición, variable con la altura del punto considerado, en función del grado de aspereza del entorno donde se encuentra ubicada la construcción.
- C_v : el coeficiente eólico o de presión, dependiente de la forma y orientación de la superficie respecto al viento, y en su caso, de la situación del punto respecto a los bordes de esa superficie; un valor negativo indica succión.

Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m ²]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 ⁽¹⁾
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente ⁽²⁾			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación ⁽³⁾	G1 ⁽⁷⁾	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	2
		G2	Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) ⁽⁵⁾	0,4 ⁽⁴⁾	1
			Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Figura 5-15. Valores característicos de sobrecargas de uso

Tabla 3.4. Valores del coeficiente de exposición c_e

Grado de aspereza del entorno		Altura del punto considerado (m)							
		3	6	9	12	15	18	24	30
I	Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II	Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III	Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,8	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV	Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V	Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

Figura 5-15. Valores del coeficiente de exposición

Tabla 3.5. Coeficiente eólico en edificios de pisos

	Esbeltez en el plano paralelo al viento					
	< 0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	≥ 5,00
Coeficiente eólico de presión, c_p	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
Coeficiente eólico de succión, c_s	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7

Figura 5-16. Valores del coeficiente eólico

Teniendo en cuenta las medidas de la cubierta, que son $30 \times 15 \text{ m}^2$ ya podemos empezar con el predimensionamiento.

Se colocan 3 vigas, una encima de cada pilar y sobre ellas se colocan correas de acero separadas cada tres metros, es decir, un total de diez correas. Con esta información se calcula que cada correa transversal a las vigas oporta una carga de $7,8 \text{ kN/m}$. Teniendo en cuenta una luz entre pilares de 5 metros cada procedemos a dimensionar.

$$M_{Ed} \cdot \frac{\gamma_{M0}}{f_y} = W_{pl}$$

Sabiendo que:

$$M_{Ed} = \frac{q \cdot L^2}{8}$$

Obtenemos un valor de W_{pl} de $84,1 \text{ E3 mm}^3$ por lo que con un perfil **IPE 160** (para tener en cuenta el peso propio de las correas) cumplimos el criterio de resistencia.

PERFILES IPE

PERFIL	i_y mm	i_z mm	A mm ²	$W_{pl,y} \times 10^3$ mm ³	$b_{LT,v}$ $\times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$	$b_{LT,w}$ $\times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}^3$
IPE 80	32,4	10,5	764	23,2	9 994	5 387
IPE 100	40,7	12,4	1030	39,4	17 897	12 918
IPE 120	49,0	14,5	1320	60,8	28 445	27 076
IPE 140	57,4	16,5	1640	88,4	42 974	51 333
IPE 160	65,8	18,4	2010	124	64 248	90 366
IPE 180	74,2	20,5	2390	166	90 121	149 134
IPE 200	82,6	22,4	2850	220	128 995	239 386
IPE 220	91,1	24,8	3340	286	176 678	377 941
IPE 240	99,7	26,9	3910	366	247 810	580 441
IPE 270	112	30,2	4590	484	335 251	968 287
IPE 300	125	33,5	5380	628	451 683	1 538 012
IPE 330	137	35,5	6260	804	610 245	2 224 702
IPE 360	150	37,9	7270	1020	807 215	3 195 858
IPE 400	165	39,5	8450	1310	1 063 933	4 507 677
IPE 450	185	41,2	9880	1700	1 373 321	6 351 658
IPE 500	204	43,1	11600	2200	1 791 060	8 911 695
IPE 550	223	44,5	13400	2780	2 349 973	12 191 912
IPE 600	243	46,6	15600	3520	3 068 100	16 745 269

Figura 5-17. Prontuario de perfiles metálicos

Procediendo de igual forma para el cálculo de vigas añadiendo como carga permanente el peso de las diez correas se obtiene un valor de carga de $4,6 \text{ kN/m}^2$ a repartir en 3 vigas separadas 5 metros por lo que cada una soporta 23 kN/m . Eso se traduce en un valor de W_{pl} de 2230 mm^3 por lo que necesitaremos unos perfiles **IPE 550**.

5.3.2 Pilares

Los pilares son elementos constructivos, generalmente verticales, que transmiten a la cimentación las acciones originadas en ellos mismos y las que reciben de otros elementos estructurales que se apoyan sobre ellos. Estas acciones pueden ser de todo tipo pero, en la práctica de la construcción, predominan las que producen solicitaciones normales sobre la del pilar, esto es, fundamentalmente compresiones y momentos flectores.

Un pilar no puede trabajar a tracción salvo accidente por lo que el hormigón es un material óptimo para su construcción.

Los pilares son elementos críticos de la estructura, en el sentido de que su fallo puede arrastrar a todos los demás y provocar el colapso del conjunto de la estructura. Estas consecuencias se agravan por el hecho de que puede ser repentino, sin previo aviso. Las secciones de los pilares pueden ser diversas, aunque mayoritariamente cuadradas o rectangulares, en nuestro caso, serán cuadradas.

Por tratarse de pilares de hormigón armado, los materiales básicamente empleados son el hormigón y el acero para las armaduras. Para el hormigón se escoge el tipo HA-25, con una resistencia característica a compresión de 25 MPa . Éste es el mínimo valor que admite la norma EHE y el más fácilmente alcanzable en la práctica, habida cuenta de la diferente calidad de los áridos disponibles en unos y otros lugares, así como las variaciones en cuanto a los cuidados en la fabricación, manipulación y puesta en obra del hormigón. En cuanto al acero se escoge el tipo B-400S, de límite elástico igual a 400 MPa . Se trata de un acero de dureza natural y soldable.

Se aplican los coeficientes de seguridad prescritos por la EHE para un control a nivel normal, esto es:

- Coeficiente de ponderación de acciones: $\gamma_f = 1,6$
- Coeficiente de minoración del hormigón: $\gamma_c = 1,5$
- Coeficiente de minoración del acero: $\gamma_s = 1,15$

Para el cálculo de los pilares del cargadero de camiones se consideran compresiones axiales y momento flectores. Para dimensionar tanto la sección como la armadura, se acude a los ábacos que nos proporciona el libro “Cálculo gráfico de cimentaciones y pilares y vigas de hormigón” del Ingeniero Industrial Bernardo Martín Hernández.

En los ábacos para pilares de edificación, se ha supuesto que el momento flector puede actuar en la dirección de cualquiera de los ejes de simetría de la sección y, dentro de cada dirección, en cualquiera de los dos sentidos: en los pilares de sección cuadrada, simétricamente armados, el resultado es el mismo, para cualquiera de las direcciones. En todo lo referido a recubrimientos de armaduras, separación entre éstas, diámetros de cercos, etc se cumple con lo establecido en la EHE. Añadir que, normalmente la magnitud de la carga vertical es tal, que la sección resistente de hormigón adoptada aleja el peligro de pandeo. A partir de

secciones cuyas dimensiones sean superiores a 35 cm, se puede incrementar la altura del pilar sin riesgo de pandeo.

La carga total que soportan los pilares esta compuesta por los $2,6 \text{ kN/m}^2$ que soporta la marquesina más el peso de los perfiles que la componen, es decir:

$$Q_{Total} = qx_A + Q_{160} + Q_{550} = 1288,4 \text{ kN}$$

El peso de los perfiles se obtiene multiplicando su sección por su longitud por el número de vigas y considerando un densidad del acero de 7850 kg/m^3 . Teniendo en cuenta que esta carga es soportada por tres pilares, se obtiene que cada uno soporta un axil de compresión de 430 kN.

Observando las diferentes gráficas para pilares con sección rectangular y armadura simétrica sometidas a la acción de un axil de compresión y a momentos flectores parece lógico tomar unos pilares de $40 \times 40 \text{ cm}^2$ que soportan axiles desde 700 kN y soporta momentos de hasta 180 m.kN. Estos pilares están armados con 8 barras longitudinales de 20 mm de diámetro y cercos de 6 mm separados cada 25 cm.

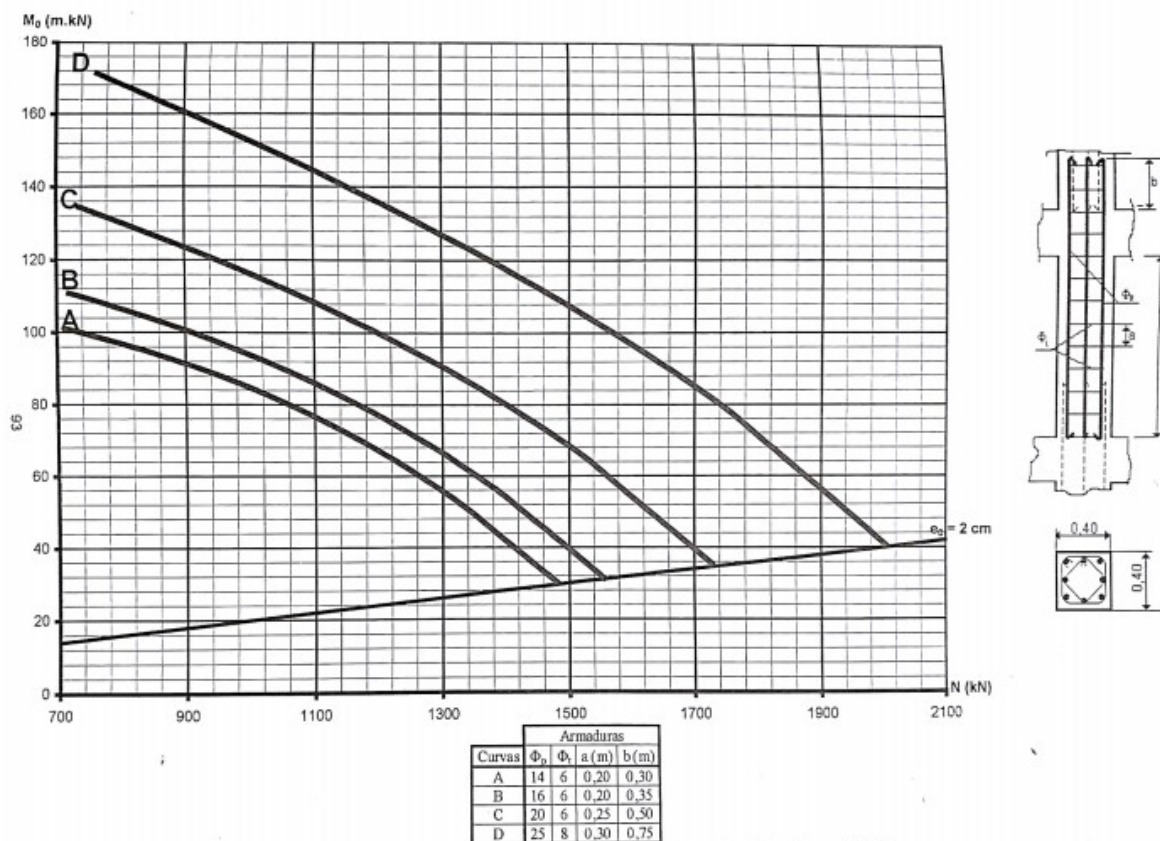


Fig. 2.14. Pilares de edificación de sección cuadrada. Materiales: Hormigón HA-25; Acero B400S.
NOTA: Ábaco preparado para acciones de servicio.

Figura 5-18. Gráfica para pilares de sección cuadrada de 40x40 cm

5.4. Puesto de control

5.4.1 Detalles constructivos

Para llevar a cabo la organización y gestión de la planta se ha proyectado un puesto de control de obra civil. Las dimensiones del puesto vienen descritas a continuación.

El puesto de control se construye sobre zapatas aisladas prefabricadas HA-30 de $(1 \times 1 \times 0.5) \text{ m}^3$, arriostradas con viguetas de 180 cm^2 de sección formando una planta rectangular de $7 \times 9 \text{ m}^2$.

Sobre las zapatas se construirán pilares de hormigón de sección 25×25 alcanzando una altura de 5m.

La solera es una losa de hormigón armado de 20 cm de espesor. El forjado está formado por un conjunto de viguetas de 180 cm^2 de sección, dispuestas de forma unidireccional cada 70 cm. Sobre este el forjado se coloca una solera de material porcelánico.

El cerramiento será de fábrica de ladrillo de $40 \times 20 \times 20 \text{ cm}$ con enfoscado interior y exterior que se cubre con cubierta de panel sándwich de 30 cm de espesor. Este puesto dispondrá de ventanas de PVC ($0.8 \times 0.8 \text{ m}$) para mejorar el aislamiento térmico y la eficiencia energética.

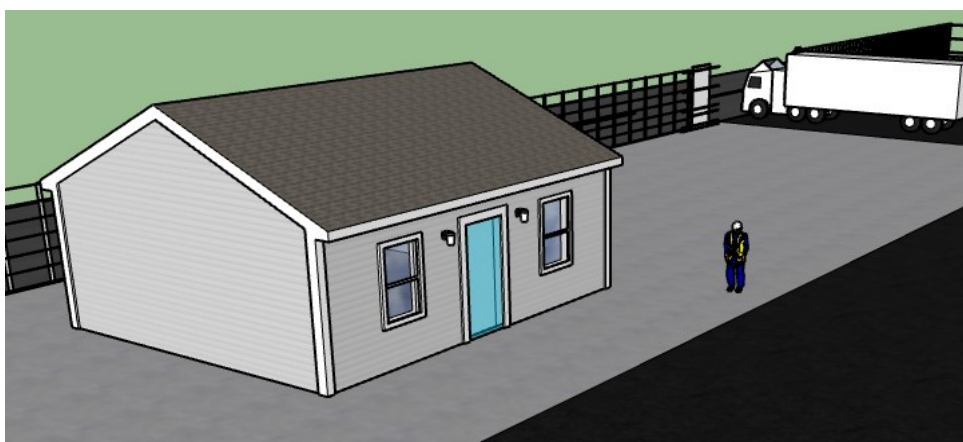


Figura 5-19. Puesto de control

5.4.2 Funcionalidad

El puesto de control desempeña la función de hacer de lugar habitable para realizar trabajos de organización y gestión de la planta. Está dotado de mesas y sistemas informáticos que permiten hacer un seguimiento del nivel de volumen de los tanques criogénicos, así como de la cantidad de GNL que entra y sale de la planta. Además, se lleva un control logístico de los camiones que entran y salen, así como del tiempo de espera.

Desde el puesto se gestiona, además, la coordinación con los buques que traen el combustible. Dado que todo el sistema de valvulería está automatizado, el puesto de control es el lugar desde el cual es posible maniobrar para abrir o cerrar las válvulas que permiten desplazar el GNL de forma controlada según las necesidades del momento y realizar controles de calidad sobre el producto que entra en la planta.

Finalmente, además de la zona de trabajo, el puesto se dota de un cuarto de baño con su red separativa de fecales que va directa a la red de la calle y de un pequeño cuarto almacén de herramientas.

5.5. Cimentaciones

Los pozos excavados para cimentaciones, buscan, en general, un área plana en su fondo, para transmitir al terreno esfuerzos verticales debidos a las cargas axiales y a los momentos flectores que actúan en la base de los apoyos. La mayor parte de los terrenos admiten una cimentación superficial con fiabilidad suficiente para soportar las cargas de las construcciones civiles e industriales. La cimentación superficial se da en forma de losa de hormigón, de zapatas (aisladas, corridas o arriostradas) y de prisma masivo de hormigón. La cimentación superficial es la más corriente por ser la más conveniente en la práctica.

Previamente a la realización de los cálculos para dimensionar la cimentación de una estructura, se ha de conocer las características del suelo sobre el que se va a construir. Para ello se acude a un estudio geotécnico del que extraemos la siguiente información sobre los niveles de suelos y las profundidades a las que se encuentran en esta zona circundante a las marismas del río Odiel.

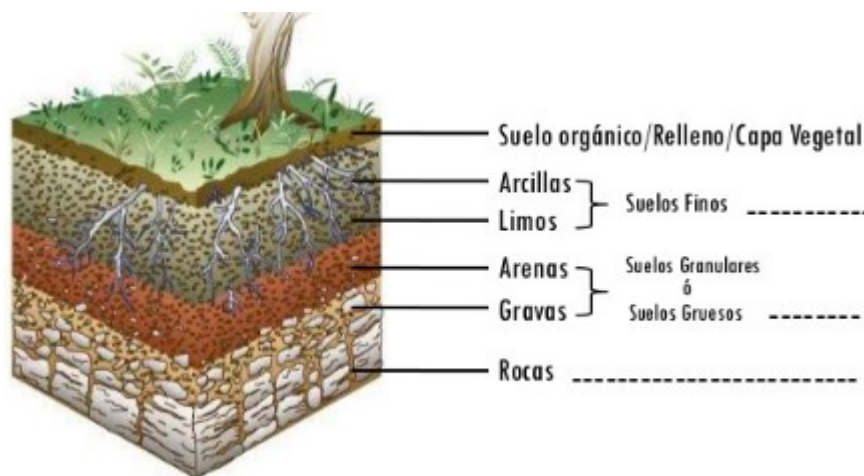


Figura 5-20. Tipos de suelo

Nivel 1. Formado por rellenos antrópicos de espesor variable dependiendo de las circunstancias naturales de partida y los rellenos efectuados en cada punto. Esta capa oscila entre 1,5m y 3m.

Nivel 2. Formada por limos arenosos grises con una profundidad entre 15 y 16 metros. Los ensayos geotécnicos ofrecen un valor medio de resistencia para la compresión simple de 0,53 Kg/cm², plasticidad de media del 8% y humedad media del 34%.

Nivel 3. Formado por limos arcillosos con conchas con una profundidad de 8m. El contenido en finos de este paquete es superior al anterior. La resistencia media a compresión simple es de 0,77 Kg/cm², con una plasticidad entre el 15 y el 33% y una humedad media del 40,75%.

Nivel 4. Bajo la formación anterior aparece una capa constituida por materiales granulares finos a gruesos que proporcionan valores de rechazo a la penetración dinámica.

Nivel 5. Formado por arcillas margosas azuladas del Mioceno. Se trata de un suelo con mayor capacidad portante. La presencia de este nivel aparece por debajo de los 34,5m.

Una vez conocidas estas características se decide construir cavar tres metros de profundidad para alcanzar un suelo con unas tensiones admisibles de $0,53 \text{ Kg/cm}^2$, es decir, estamos en el nivel 2.

Para el cálculo de cimientos deben conocerse dos acciones: el momento y la carga vertical al pie del cimiento. Las cargas de la estructura se incrementa con el peso del propio cimiento, que depende de la geometría del mismo.

Las variables que intervienen en problema son:

- N: cargas verticales.
- P: peso propio del cimiento.
- M: momento flector en el cimiento.
- e: excentricidades de carga.
- t: profundidad del cimiento.
- σ_{adm} : carga unitaria admisible por el terreno a la profundidad t.
- A: superficie de la cimentación.
- W: módulo resistente del cimiento.
- Iz: momento de inercia con respecto a la sección.

La condición que debe cumplirse es que las cargas por unidad de superficie a las que sometemos al suelo no sean mayores que la carga unitaria admisible, en nuestro caso $0,53 \text{ kg/m}^2$.

5.5.1 Cimentación del cubeto

Para soportar el peso de los tanques de GNL y el cubeto que los contiene se ha realizado un estudio de las cargas existentes. El catálogo del proveedor de tanques (LAPESA) nos informa de que cada tanque vacío pesa unos cien mil kilogramos que al llenarse, entre los cinco pesan 1017200 kg . Además hay que añadir el peso propio del cubeto que está construido en un hormigón HA-30P25IIb que por su geometría (explicada en el apartado correspondiente) se ha calculado que pesa 1024800 kg .

De este modo al dividir las cargas totales entre la superficie del cubeto, se obtiene un valor de $0,48 \text{ kg/cm}^2$, con lo que estamos dentro de la condición de las tensiones admisibles.

La solución que se adopta, por tanto, es realizar una excavación de tres metros para encontrar un suelo portante competente y rellenar con zahorra traída desde cantera hasta 2,5 metros. Por tanto el cubeto se construye a una cota de $-0,5$ quedando de esta forma empotrado y en condiciones de seguridad. Se ha conseguido de este modo que la propia base del cubeto que tiene un espesor de un metro, sirva de losa de hormigón de cimentación.



Figura 5-21. Losa de hormigón.

5.5.2 Cimentación del cargadero

Para cimentar el cargadero, se ha pensado como posible solución en una zapata corrida sobre la que se apoyen los tres pilares como se ilustra a continuación.



Figura 5-22. Zapata corrida

Para el cálculo de esta zapata es necesario saber que el peso total que tienes que soportar es de 1288,4 kN más el peso de los pilares que se estima en 54 kN por lo que estamos hablando de un total de 1350 kN aproximadamente.

Teniendo en cuenta que el suelo sobre el que construimos tiene una resistencia de 0,53 kg/cm² y haciendo una relación con la carga a soportar, pues se puede obtener fácilmente la superficie que debe tener la zapata corrida a proyectar.

$$A_{zapata} = \frac{135000 \text{ kg}}{0,53 \text{ kg/m}^2} = 25,5 \text{ m}^2$$

Teniendo en cuenta que la separación máxima entre nuestros pilares es de 20 metros, se coloca una zapata corrida de 25 metros de largo por 1,5 metro de ancho que va armada con un mallazo de acero B-500S.

5.6. Urbanización

5.6.1 Cerramiento perimetral

Siguiendo la Instrucción Técnica Complementaria MI-IP0 (Parques de almacenamiento de líquidos inflamables). Todo parque de almacenamiento debe disponer de un cerramiento de 2.5 metros de altura mínima rodeando el conjunto de sus instalaciones. Y la distancia entre esta valla y cualquier otro elemento debe ser de 7,5 m.

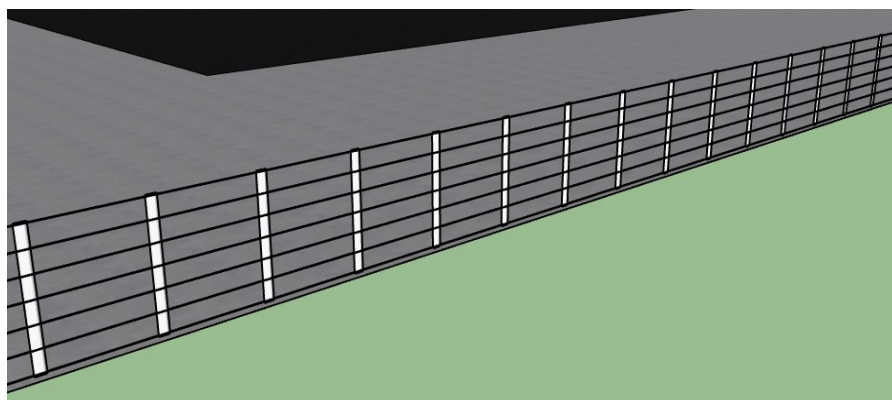


Figura 5-23. Cerramiento perimetral

El vallado de la parcela está formado por panel de malla electrosoldada, de 50x50 mm de paso de malla y 4 mm de diámetro, acabado galvanizado, con bastidor de perfil hueco de acero galvanizado de sección 20x20x1,5 mm y postes de perfil hueco de acero galvanizado, de sección cuadrada 40x40x1,5 mm, separados 2 m entre sí y empotrados en dados de hormigón.

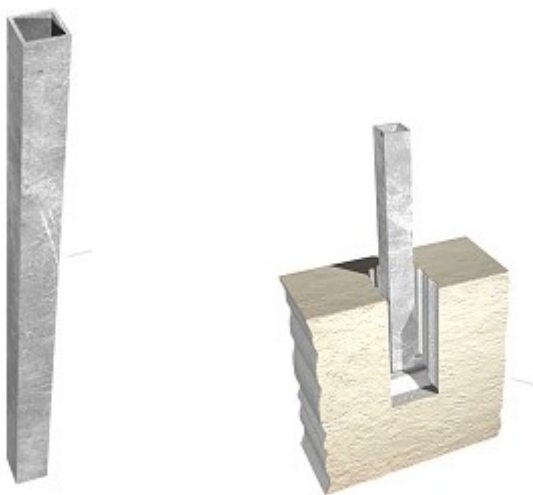


Figura 5-24. Postes de perfil hueco del cerramiento perimetral

Las instalaciones complementarias independientes del funcionamiento de la planta, tales como el puesto de control pueden quedar fuera del recinto mallado. En nuestro caso se va a colocar una malla metálica (permite ventilación y evacuación de aguas pluviales, cumpliendo la normativa) alrededor de toda la parcela sin dejar ningún elemento fuera de este cerramiento, ya que puede resultar un obstáculo a la hora de ir a la zona de los tanques y también para los camiones cuando se dirijan al cargadero.

5.6.2 Firmes

En primer lugar se determina, mediante la norma de la Instrucción de Carreteras, el firme a proyectar en la zona de tránsito de la parcela. Habrá dos tipos de vehículos circulando, camiones o turismos. Se dimensiona según la situación más desfavorable, es decir, dependiendo del número de camiones que pasen al día por estos firmes.

La sección de firme, dependerá de dos parámetros fundamentales: el valor del módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga y la intensidad media diaria de vehículos pesados (IMDp).

TABLA 1.A. CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO T00 A T2

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	T00	T0	T1	T2
IMDp (vehículos pesados/día)	$\geq 4\ 000$	$< 4\ 000$ $\geq 2\ 000$	$< 2\ 000$ ≥ 800	< 800 ≥ 200

TABLA 1.B. CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO T3 Y T4

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	T31	T32	T41	T42
IMDp (vehículos pesados/día)	< 200 ≥ 100	< 100 ≥ 50	< 50 ≥ 25	< 25

Figura 5-25. Categoría de tráfico pesado

Para el caso que se estudia se obtiene una categoría E1 (más desfavorable) atendiendo a módulo de compresibilidad. Por otro lado se estima que el número de vehículos pesados por día será menor de 50 lo que determina una categoría de tráfico pesado T41. Ambos valores permiten seleccionar el tipo de firme de acuerdo a las siguientes figuras.

Se observan la existencia de distintas soluciones, dos de tipo firme flexible y una de firme rígido. Se opta por el firme rígido para la zona de tránsito de vehículos pesados mientras que para el resto se toma la solución flexible de suelo cemento y mezcla bituminosa.

		CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO			
		T31	T32	T41	T42
CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1	3111 MB 20 3112 MB 15 3114 HF 21 ZA 40 SC 30	3211 MB 15 3212 MB 12 3214 HF 21 ZA 40 SC 30	4111 MB 10 4112 MB 8 4114 HF 20 ZA 40 SC 30	4211 MB 8 4212 MB 5 4214 HF 18 ZA 35 SC 25
	E2	3121 MB 18 3122 MB 12 3124 HF 21 ZA 40 SC 30	3221 MB 15 3222 MB 10 3224 HF 21 ZA 35 SC 30	4121 MB 10 4122 MB 8 4124 HF 20 ZA 30 SC 25	4221 MB 8 4222 MB 5 4224 HF 18 ZA 25 SC 20
	E3	3131 MB 16 3132 MB 12 3134 HF 21 ZA 25 SC 22	3231 MB 15 3232 MB 10 3234 HF 21 ZA 20 SC 22	4131 MB 10 4132 MB 8 4134 HF 20 ZA 25 SC 20	4231 MB 8 4232 MB 5 4234 HF 18 ZA 20 SC 20

Figura 5-26. Tipos de firme

En concreto, las soluciones elegidas tienen las siguientes características:

- Firme rígido: Una primera capa de zahorra artificial de 20 cm de espesor. A continuación, se da un riego de imprimación y se vierte una capa de mezcla hormigón de firme de 18 cm de espesor.
- Firme flexible: Una primera capa de zahorra artificial con un espesor de 35 cm. A continuación, se da un riego de imprimación y se vierte una capa de mezcla bituminosa. Dicha capa de mezcla bituminosa tendrá un espesor de 5 cm.

5.6.3 Puertas de acceso

En cuanto a los accesos, se dispondrán de dos puertas correderas metálicas en el propio cerramiento de la parcela, una de ellas para entrada y otra para salida de camiones cisterna y turismos.

La puerta es una cancela metálica de carpintería, de hoja corredera, dimensiones 450x200 cm, perfiles rectangulares en cerco zócalo inferior realizado con chapa grecada de 1,2 mm de espesor a dos caras, para acceso de vehículos. Consta de apertura manual y automática desde puesto de control. Incluye p/p de pórtico lateral de sustentación y tope de cierre, guía inferior con UPN 100 y cuadradillo macizo de 25x25 mm sentados con hormigón HM-25/B/20/I y recibidos a obra; ruedas para deslizamiento, con rodamiento de engrase permanente, elementos de anclaje, herrajes de seguridad y cierre, acabado con imprimación antioxidante y accesorios. Totalmente montada y probada por la empresa instaladora.



Figura 5-27. Puertas de acceso

5.6.4 Acerado

El acerado se realizará alrededor de todo el contorno del edificio de control, respetando los accesos al mismo.

Para la construcción del acerado, en primer lugar, se dispone de una losa compuesta por un forjado estructural sobre la cual se realizará la pavimentación del mismo. La formación de dicha losa de hormigón armado se realiza con hormigón HA-25/B/20/Ila y acero UNE-EN 10080 B 500 S y acabado superficial liso. A continuación se dispondrá el pavimento del acerado que será de losetas de hormigón para uso exterior, de 4 pastillas de formato nominal 20x20x3 cm y color gris. Se dejará entre ellas una junta de separación entre 1,5 y 3 mm, con relleno de las mismas de lechada de cemento de la misma tonalidad.



Figura 5-28. Acerado

6 INSTALACIONES

6.1. Rack de tuberías

El diseño, fabricación, ensamblaje, pruebas e inspecciones de los sistemas de tuberías destinados a contener líquidos inflamables y combustibles debe ser adecuado para la presión y temperatura de trabajo esperadas y para los máximos esfuerzos combinados debido a presiones, dilataciones, etc en las condiciones normales o transitorias de puesta en marcha y/o situaciones anormales de emergencia. En este caso es muy importante las condiciones de temperatura y el aislamiento dadas las características del líquido a transportar. El GNL transportado debe permanecer a -161°C a presión atmosférica.

Las tuberías de transporte de líquidos son parte integral de aparatos e instalaciones de GNL. La selección de tubos y la configuración de tubería dependen del precio de tubos y accesorios. El precio final de bombeo medio por la tubería se determina, en gran parte, por las dimensiones de los tubos (su diámetro y longitud). Para calcular dichas dimensiones se aplican fórmulas especiales, cuyo tipo depende del destino final de la tubería.

Para la fabricación de tubos se utiliza una amplia gama de materiales: acero, hierro fundido, cobre, cemento y plásticos, en particular, ABS, PVC, cloruro de PVC, PB, polietileno, etc. En el caso de esta planta de GNL los tubos son de acero recubiertos con material aislante.

Las dimensiones principales del tubo son: el diámetro (externo, interno, etc.) y el grosor de su pared, que se miden en milímetros o pulgadas. Asimismo se utiliza el llamado diámetro nominal que corresponde al valor nominal del diámetro interno del tubo, que también se mide en milímetros (se marca como Dn) o en pulgadas (se marca como DN). Los diámetros nominales son estandarizados y representan el criterio clave de selección de tubos y accesorios.

Los tubos de sección transversal redonda son los más utilizados en todo tipo de instalaciones, lo que se debe a una serie de razones:

- El círculo se caracteriza por una relación mínima entre el perímetro y la superficie. En el caso de un tubo, eso significa que, siendo la capacidad de tubos de distinta forma igual, la fabricación de los tubos redondos requiere menos material que la de los tubos de otra forma. Asimismo eso permite minimizar los gastos en aislamiento y recubrimiento protector.
- La sección transversal redonda es la más ventajosa desde el punto de vista hidrodinámico para el transporte de medios líquidos o gaseosos. Asimismo, gracias a la minimización de la superficie interna del tubo en relación a su longitud, se alcanza la minimización de la fricción entre el medio transportado y el tubo.
- La forma redonda es la más resistente ante la presión interna y externa.
- La fabricación de los tubos redondos es bastante simple.

Para garantizar la fiabilidad de las tuberías hay que observar las normas de diseño correspondientes. Asimismo, uno de los factores clave para garantizar una larga vida útil de la tubería, su estanqueidad y su fiabilidad es la formación del personal. Para el control continuo o discontinuo de la operación de la tubería se utilizan sistemas de control, inventarización, gestión, regulación y automatización, así como los dispositivos personales de control y los dispositivos de seguridad.

6.1.1 Tuberías criogénicas

El diámetro óptimo de tubería se determina a base de cálculos técnicos y económicos. Las dimensiones de la tubería, incluidas las dimensiones y las funciones de distintos componentes de ésta, así como las condiciones de operación de la tubería determinan la capacidad de transporte del sistema. Los tubos de gran diámetro sirven para un flujo masivo e intenso. Es importante, que los demás componentes del sistema también sean debidamente calculados y seleccionados para este fin. Habitualmente, cuanto mayor es la longitud del tramo de la tubería troncal entre las centrales de bombeo, mayor es la caída de presión en la tubería. El cambio de las características físicas del medio bombeado (su viscosidad, etc.) también puede influir considerablemente en la presión dentro de la tubería. El tamaño óptimo es el mínimo del rango de tamaños válidos y eficiente, desde el punto de vista económico, en el curso de toda la vida útil del sistema.

Para el diseño de tuberías de esta instalación se toman en consideración algunos de los siguientes parámetros de diseño clave:

- El caudal necesario
- Los puntos de entrada y salida de la tubería
- La composición del medio, incluidos su viscosidad y peso específico
- Las condiciones topográficas de la ruta de la tubería
- La presión operativa máxima
- Los cálculos hidráulicos
- El diámetro de la tubería, el grosor de las paredes, el límite de fluencia del material de las paredes en el curso de su tracción
- Las centrales de bombeo, la distancia entre ellas y la potencia consumida

La fórmula de cálculo de la capacidad de tubo es la siguiente:

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \cdot v$$

- Q – es el caudal de líquido bombeado
- d – es el diámetro de la tubería
- v – es la velocidad del flujo

Para calcular el diámetro óptimo de la tubería se suele aprovechar los valores de velocidad óptima de medio bombeado de guías, compuestos a base de datos experimentales:

Medio bombeado		Rango de velocidades óptimas dentro de la tubería en m/s
Líquidos	Flujo por gravedad:	
	Líquidos viscosos	0,1 – 0,5
	Líquidos de viscosidad baja	0,5 – 1
	Bombeo:	
	Lado de aspiración	0,8 – 2
	Lado de compresión	1,5 – 3

Figura 6-1. Tabla de caudales

Para este caso se toma una velocidad de flujo de 2m/s.

6.1.1.1 Tuberías muelle – tanques

De la fórmula anterior se obtiene la fórmula de cálculo del diámetro óptimo del tubo:

$$d_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v_0}}$$

- Q – es el caudal de líquido bombeado
- d_0 – es el diámetro óptimo de la tubería
- v_0 – es la velocidad óptima del flujo

Teniendo en cuenta que cada uno de nuestros cinco tanques tiene un volumen nominal de 240 m^3 , si queremos llenar cada uno de ellos en 3 horas necesitamos un grupo de bombeo que nos garantice $80 \text{ m}^3/\text{h}$. Esta bomba se encuentra fuera del perímetro de la parcela, en el muelle donde atracan los barcos.

De este modo, aplicando la fórmula anterior, para garantizar un caudal de $80 \text{ m}^3/\text{h}$ a una velocidad de líquido de 2m/s, necesitamos unas tuberías principales con el diámetro siguiente:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 80 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{\pi \cdot 2 \text{ m/s} \cdot 3600}} = 0,119 \text{ m} \approx 12 \text{ cm}$$

Con esta distribución se consigue llenar al completo los cinco tanques en un total de siete horas y media.

Dadas las condiciones peculiares de nuestra instalación, no sirven cualquier tipo de tubería ya que debemos conservar el fluido transportado a una temperatura de -161°C . Para ello se acude al catálogo de Tumar SA, una empresa especializada en tubos de acero localizada en el mismo puerto de Huelva y que cuenta con más de treinta años de experiencia en el diseño de el tipo de instalaciones que se necesita para esta planta de GNL.

Para esta temperatura se aplica la norma ASTM A-333 GR.8, donde, como se observa en la tabla siguiente, encontramos aceros que soportan temperaturas de -161°C .

Grade	The lowest temperature for strike test	
	$^{\circ}\text{F}$	$^{\circ}\text{C}$
ASTM A333 Grade 1	-50	-45
ASTM A333 Grade 3	-150	-100
ASTM A333 Grade 4	-150	-100
ASTM A333 Grade 6	-50	-45
ASTM A333 Grade 7	-100	-75
ASTM A333 Grade 8	-320	-195
ASTM A333 Grade 9	-100	-75
ASTM A333 Grade 10	-75	-60

Figura 6-2. Normativa de tuberías

Standard	Grade	Chemical Composition (%)										
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	V	Al
ASTM A333	Grade 1	≤ 0.30		0.40-1.06	≤ 0.025	≤ 0.025						
	Grade 3	≤ 0.19	0.18-0.37	0.31-0.64	≤ 0.025	≤ 0.025		3.18-3.82				
	Grade 4	≤ 0.12	0.18-0.37	0.50-1.05	≤ 0.025	≤ 0.025	0.44-1.01	0.47-0.98	0.40-0.75			0.04-0.30
	Grade 6	≤ 0.30	≥ 0.10	0.29-1.06	≤ 0.025	≤ 0.025						
	Grade 7	≤ 0.19	0.13-0.32	≤ 0.90	≤ 0.025	≤ 0.025		2.03-2.57				
	Grade 8	≤ 0.13	0.13-0.32	≤ 0.90	≤ 0.025	≤ 0.025		8.40-9.60				
	Grade 9	≤ 0.20		0.40-1.06	≤ 0.025	≤ 0.025		1.60-2.24	0.75-1.25			
	Grade 10	≤ 0.20	0.10-0.35	1.15-1.50	≤ 0.03	≤ 0.015	≤ 0.15	≤ 0.25	≤ 0.015	≤ 0.50	≤ 0.12	≤ 0.06
	Grade 11	≤ 0.10	≤ 0.35	≤ 0.6	≤ 0.025	≤ 0.025	≤ 0.50	35.0-37.0		≤ 0.50		

Figura 6-3. Composición química de tuberías

Dado que ya tenemos el tipo de tubería a instalar y el diámetro necesario, vamos al catálogo de TUMARSA y se elige la del diámetro nominal de 141,3 mm.

Schedule	Espesor de pared MM P	Diámetro interior del tubo MM DI	5. Potencia del diámetro interior MM ² x 10 ⁶ DI ²	Superficie exterior del tubo cm ² /cm Se	Superficie interior del tubo cm ² /cm Si	Sección		Flujo L/Mn Q	Peso del tubo Kg/M W (1)	Peso del agua Kg/M Ww	Radio de giro MM Rg	Momento de inercia MM ⁴ x 10 ⁸ I	Módulo de sección MM ³ x 10 ³ Z	Schedule
						Sección del metal cm ² S	Sección del flujo cm ² Sf							

5" DIAMETRO NOMINAL (D = 141,3 mm)

5 S	2,77	135,7	4 612,6	44,37	42,64	11,61	144,5	2 646,4	9,11	14,45	46,97	2,901	41,13	5 S
10 S	3,40	134,5	4 400,1	44,37	42,24	14,77	142,0	2 604,8	11,59	14,20	46,77	3,508	49,65	10 S
40 S	6,55	128,2	3 462,4	44,37	40,26	27,74	129,1	2 367	21,78	12,91	47,70	6,314	89,31	40 S
80 S	9,53	122,2	2 730,8	44,37	38,40	39,42	117,3	2 151,7	30,94	11,73	46,71	8,607	121,76	80 S
160	15,88	109,6	1 577,3	44,37	34,41	62,58	94,2	1 728,2	49,13	9,42	44,70	12,50	176,98	160
XXS	19,05	103,2	1 170,3	44,37	32,43	73,16	83,68	1 534,2	57,43	8,368	43,74	14,00	198,28	XXS

Figura 6-4. Catálogo de tuberías 1

Estas tuberías van acompañadas de elementos de control y válvulas automáticas y mecánicas para llevar a cabo un control de calidad del GNL que entra en la planta y para desviar el producto en caso de rotura de tuberías. Todo ello en acero inoxidable.

6.1.1.2 Tuberías tanques – cargadero

Del mismo modo que las tuberías que llenan los tanques, se calculan las que van de cada uno de los tanques al cargadero de camiones.

Suponiendo que un camión cisterna medio de distribución de GNL es capaz de transportar un volumen de 10m³ y que la velocidad del líquido en las tuberías es de nuevo de m/s podemos realizar un cálculo del diámetro de tubería que se necesita.

Teniendo en cuenta que pretende llenarse la cisterna de un camión en un tiempo de 30 minutos, el caudal que debe soportar la tubería es de 20 m³/h. Así se obtiene que el diámetro de las tuberías que va del cubeto hacia el cargadero es de:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 20 \frac{m^3}{h}}{\pi \cdot 2 \frac{m}{s} \cdot 3600}} = 0,059 \text{ m} \approx 6 \text{ cm}$$

Por tanto se escogen del catálogo de TUMARSA la tubería de 73mm de diámetro nominal. Éste es el tamaño de tubería que sale de cada tanque y confluyen en una capaz de soportar la carga de todas ellas.

2 1/2" DIAMETRO NOMINAL (D = 73 mm)														
5 S	2,11	68,8	154,25	22,95	21,61	4,68	37,10	680,26	3,67	3,710	25,10	0,296	8,111	5 S
10 S	3,05	66,9	134,26	22,95	21,03	6,70	35,16	645,05	5,26	3,516	24,77	0,411	11,25	10 S
40 S	5,16	62,7	97,05	22,95	19,69	10,99	30,90	566,39	8,63	3,090	24,05	0,636	17,43	40 S
80 S	7,01	59	71,46	22,95	18,53	14,54	27,35	501,33	11,41	2,735	23,47	0,801	21,94	80 S
160	9,52	54	45,77	22,95	16,94	19,00	22,90	419,56	14,92	2,290	22,71	0,979	26,82	160
XXS	14	45	18,39	22,95	14,14	25,98	15,87	291,47	20,39	1,587	21,44	1,195	32,74	XXS

Figura 6-5. Catálogo de tuberías 2

6.1.2 Rack de tuberías

Las tuberías que transportan el GNL desde el puerto hasta los tanques de la planta van apoyadas en un rack de tuberías formado por seis estructuras como la que se muestra a continuación.

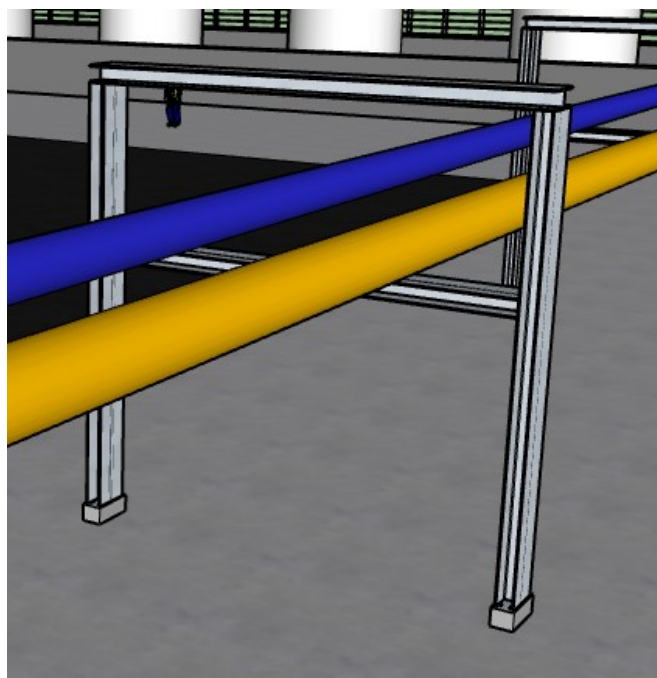


Figura 6-6. Rack de tuberías

Están formadas por cuatro perfiles IPE de acero que soportan el peso de la tubería y del líquido que transportan las mismas. Estos perfiles van apoyados sobre zapatas aisladas prefabricadas HA-30 de $(2 \times 1 \times 0.5) \text{ m}^3$.

El cálculo de los perfiles se realiza como se expone a continuación:

Cada uno de los seis apoyos que conforman el rack de tuberías debe soportar el peso de 12 metros de las dos tuberías existentes llenas de GNL. Teniendo en cuenta la densidad del GNL (431 kg/m^3) y el peso de los tubos (30 kg/m) se obtiene:

$$P_{GNL} = 431 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 12 \text{ m} \times \frac{\pi(0.1413 \text{ m})^2}{4} = 81,1 \text{ kg}$$

$$P_{tubo} = 30 \frac{kg}{m} \times 12 m = 360 kg$$

$$P_{total} = 2(P_{GNL} + P_{tubo}) = 880 kg = 8800 N = 8,8 kN$$

Teniendo en cuenta que el perfil inferior del apoyo puede modelarse como una viga biapoyada se estima que el momento mas desfavorable generado en el mismo es:

$$M = \frac{qL^2}{8} = \frac{\left(\frac{8,8kN}{1,5m}\right) \cdot (1,5m)^2}{8} \approx 2 mkN$$

Para este momento aplicado basta con un perfil que cumpla $W_{pl}=7,3 E3 mm^3$, por lo que el perfil más pequeño del prontuario que es un IPE 80 resulta válido. Se coloca por tanto en cada apoyo cuatro perfiles IPE 80, dos en los apoyos y dos que hacen de dintel.

PERFILES IPE

PERFIL	i_y mm	i_z mm	A mm ²	$W_{ply} \times 10^3$ mm ³	$b_{LT,v}$ $\times 10^6 N \cdot mm^2$	$b_{LT,w}$ $\times 10^9 N \cdot mm^3$
IPE 80	32,4	10,5	764	23,2	9 994	5 387

Figura 6-7. Perfiles IPE

6.1.3 Valvulería criogénica

Para llevar a cabo un control fiable y seguro del líquido que circula por la instalación de tuberías se instala un equipo de valvulería criogénica tanto automática como mecánica. Para ello se acude al catálogo de HEROSE, especialistas en válvulas de globo, válvulas de control, válvulas de retención, válvulas de compuerta, kits de llenado y válvulas de seguridad para servicios criogénicos.

La intención es colocar un sistema valvulería en los siguientes puntos con el objetivo indicado:

- Entrada en la planta, para medir la calidad del GNL.
- En cada apoyo del rack. Permitiendo aislar tramos donde se produzcan averías.
- En la bifurcación de la tubería principal a cada tanque. Se permite así desviar la cantidad de producto deseada a su tanque de destino.
- En la salida de cada tanque
- En el cargadero de camiones.

A continuación se muestra una reacción de los modelos elegidos con sus características.

- Válvula de globo: la válvula de globo, es un tipo de válvula utilizada para regular el flujo en una tubería, que consiste en un elemento de tipo disco móvil y un asiento de anillo estacionario en un cuerpo generalmente esférico



Válvulas de globo

Dimensiones: DN10 a DN200
Presión: hasta 50 bar
Temperaturas: -255°C a +120°C
Conexiones: extremos soldados, manguitos de soldar, roscas, bridas
Materiales: Acero inoxidable, bronce

Figura 6-8. Válvula de globo.

- Válvula en ángulo



Dimensiones: DN15 a DN50
Presión: hasta 50 bar
Temperaturas: -196°C a +120°C
Conexiones: extremos soldados, manguitos de soldar
Materiales: Acero inoxidable

Figura 6-9. Válvula en ángulo.

- Válvula de compuerta: la válvula de compuerta es una válvula que abre mediante el levantamiento de

una compuerta o cuchilla (la cual puede ser redonda o rectangular) permitiendo así el paso del fluido.



Figura 6-10. Válvula de compuerta

- Válvula con actuador neumático:



Figura 11. Válvula con actuador neumático

- Regulador de presión



Dimensiones: DN20
Presión: hasta 38 bar
Temperaturas: -196°C a +200°C
Conexiones: roscadas
Materiales: Acero inoxidable

Figura 6-12. Regulador de presión

- Filtro



Dimensiones: DN10 a DN200
Presión: hasta 50 bar
Temperaturas: -196°C a +120°C
Conexiones: roscadas, extremos soldados, manguitos de soldadura, roscas, bridas
Materiales: Acero inoxidable, bronce

Figura 6-13. Filtro

- Válvula de seguridad



Dimensiones: DN6 a DN50
Presión: 0,2 hasta 250 bar
Temperaturas: -270°C a +400°C
Conexiones: roscas, bridas
Materiales: Acero inoxidable, latón, bronce

Figura 6-14. Válvula de seguridad

6.1.4 Grupos de bombeo

Se realiza el estudio de las bombas necesarias para transportar el GNL desde los tanques de almacenamiento hasta el cargadero de camiones. Existen varios tipos de bombas y en este proyecto se utilizan las denominadas bombas centrífugas. Cuentan con una gran variedad de aplicaciones y están especialmente indicadas para el manejo de productos de baja viscosidad. Este tipo de bomba es el que se utiliza siempre que la aplicación concreta lo permita, ya que es la más barata en cuanto a compra, operación y mantenimiento. También la más adaptable a diferentes condiciones de operación. Se recurre a ella para el bombeo de todo tipo de líquidos de relativamente baja viscosidad y que no requieran un tratamiento particularmente suave como es el caso del GNL.

Los conceptos más importantes a tener en cuenta para el cálculo de bombas son:

- **Altura total de aspiración:** representa la presión a la entrada de la bomba. Es la suma algebraica de la altura estática de aspiración (distancia de la superficie libre del líquido al eje de la bomba), presión existente sobre el líquido y pérdidas de carga por rozamiento de la tubería de aspiración. Los dos primeros sumandos pueden ser positivos o negativos, pero el tercero es siempre negativo.
- **Altura total de impulsión:** Es la suma algebraica de la altura estática de impulsión, pérdida de carga en la impulsión y presión sobre el líquido en el punto de recepción. La diferencia entre las alturas totales de impulsión y de aspiración es la carga de la bomba, es decir, la energía que ha de ser conferida al fluido.
- **Carga neta positiva de aspiración:** Se representa por las siglas NPSH (de la expresión inglesa "Net Positive Suction Head") y es necesario diferenciar entre dos conceptos: la NPSH requerida (NPSH_r) y la NPSH disponible (NPSH_d). La primera depende del diseño de la bomba y representa la energía necesaria para llenar la parte de aspiración de la misma y vencer las pérdidas por rozamientos y aumento de velocidad desde la conexión de aspiración hasta el punto donde se incrementa la energía. Es, por tanto, un valor que depende del diseño constructivo de la bomba y que suministra el fabricante de la misma. La NPSH disponible es la diferencia entre la presión a la entrada de la bomba y la tensión de vapor del fluido a la temperatura de funcionamiento, medidas ambas en metros de columna de líquido. Lógicamente siempre deberá cumplirse que la NPSH disponible sea mayor o igual que la NPSH requerida. Por otro lado la NPSH disponible es positiva y lo mayor posible, ya que de este modo se evita que la presión a la entrada de la bomba descienda por debajo de la presión de vapor del fluido en las condiciones de temperatura existentes en dicho punto, lo que provocaría la aparición de burbujas de vapor, con el consiguiente peligro de que la bomba entre en cavitación lo que reduce su carga y eficacia al tiempo que daña el material de la misma, reduciendo seriamente la vida útil de la bomba.

Para la selección del modelo adecuado de bomba se recurre a las curvas características de la bomba, aportadas por el fabricante de las mismas. Son necesarias tres curvas diferentes:

- Las de caudal y carga de la bomba, llamadas curvas QH
- Las de potencia del motor necesario, kW
- Las de Carga Positiva Neta de Aspiración Requerida (NPSH_r)

Las curvas características se construyen normalmente mediante pruebas realizadas con agua, por lo que sus datos se deben recalcular si se van a bombear líquidos con otras propiedades físicas.

El modo de proceder, en el caso de las bombas centrífugas, para el empleo de estas curvas es el siguiente:

- Conocer el fluido a bombear, la temperatura de bombeo y las propiedades físicas del fluido (densidad y viscosidad) a dicha temperatura.
- Establecer el caudal volumétrico a desarrollar (m³/h).
- Conocer la carga de la bomba, para lo que hay que determinar previamente las alturas totales de impulsión y aspiración.
- Con la carga y el caudal que se precisan se ha de acudir a la curva QH y, fijando estas dos magnitudes, determinar el diámetro del rodete.
- Con el diámetro de rodete determinado y el caudal, en la curva de potencia se determina el consumo de la bomba. El valor leído en la curva se incrementa en un 15% como margen de seguridad.
- Finalmente, en la curva de NPSHr se determina dicho valor, para el caudal desarrollado.

Teniendo en cuenta esta información, se aplica a la particularidad de esta planta de GNL. Se realiza el dimensionamiento de una bomba para el tanque que, por distancia, tiene una posición más desfavorable y se colocarán cinco bombas iguales (una al pie de cada tanque).

Desde el tanque más alejado, situado en la esquina sur de la parcela hasta el puesto de carga de camiones hay una distancia aproximada de 80 metros. Sabiendo que un camión cisterna medio de distribución de GNL es capaz de transportar un volumen de 10 m³ y que la velocidad del líquido en las tuberías es de 2 m/s, se realiza una estimación del tiempo en que quiere llenarse un camión al completo. Para que este proceso se realice en media hora, se necesita un caudal de 20 m³/h, con lo que ya tenemos el primer dato. Atendiendo a la tabla del catálogo del suministrador, en este caso Lewa, hemos de elegir una bomba de la segunda columna, que garantiza un caudal de 24 m³/h.

Catálogo grupos de presión					
		CAUDAL (m3/h)			
		12	24	36	48
ALTURA (mca)	50	G-50/12	G-50/24	G-50/36	G-50/48
	55	G-55/12	G-55/24	G-55/36	G-55/48
	60	G-60/12	G-60/24	G-60/36	G-60/48
	65	G-65/12	G-65/24	G-65/36	G-65/48
	70	G-70/12	G-70/24	G-70/36	G-70/48
	75	G-75/12	G-75/24	G-75/36	G-75/48
	80	G-80/12	G-80/24	G-80/36	G-80/48
	85	G-85/12	G-85/24	G-85/36	G-85/48
	90	G-90/12	G-90/24	G-90/36	G-90/48
	95	G-95/12	G-95/24	G-95/36	G-95/48
	100	G-100/12	G-100/24	G-100/36	G-100/48

Figura 6-15. Catálogo de grupos de presión

Para el cálculo de la altura en mca se ha de tener en cuenta la diferencia de cota entre la bomba y la zona de descarga, así como las pérdidas de carga a lo largo de la tubería por la que circula el GNL. Teniendo en cuenta la distancia entre tanque y cargadero se realizan los siguientes cálculos para la estimación de los mca que debe proporcionar la bomba.

$$\Delta H = P_{man} + \Delta H_g + P_{roz.tub}$$

$$P_{roz.tub} = \frac{6,05 \cdot 10^5}{C^{1,85} \cdot d^{4,87}} \cdot L \cdot Q^{1,85}$$

Se supone una presión en manómetro de entre 2 y 5 bares y que la diferencia entre el punto de suministro y el punto de consumo es aproximadamente la altura de un camión cisterna, es decir, unos 3 m~3 mca. Por último para estimar las pérdidas de presión desde la bomba impulsora hasta el punto de consumo hay que evaluar los diferentes tramos de tuberías, condicionados por el diámetro, con la fórmula de Hazen-Williams.

La distribución que se realiza es la siguiente: del tanque más lejano sale una tubería de 10,3 mm tal y como se ha calculado previamente. A su paso por el siguiente tanque, esta tubería adquiere un tamaño del doble de diámetro. De igual modo ocurre con el tercer, cuarto y quinto tanque, de modo que la última tubería debe ser capaz de soportar la carga de las anteriores suponiendo que todas las bombas estén en funcionamiento, aunque este caso no se espera que sea una posibilidad a priori; al menos antes de un posible crecimiento de la planta industrial. Se supone un coeficiente de rugosidad $C=120$ que es el correspondiente al acero. De este modo se estima que la presión necesaria que debe garantizar la bomba es de unos 8 bares aproximadamente.

Con estos datos, se va al catálogo de Lewa y se elige el modelo de bomba criogénica Nikkiso G-80/24, siendo válido también cualquier modelo superior.

La transferencia de gas natural licuado (GNL) se realiza a temperaturas extremas, de -164 hasta -161 °C. Las bombas criogénicas Nikkiso son una solución fiable para estas aplicaciones.

Un motor criogénico especial y sumergible elimina el peligro de fugas y simplifica el montaje de la bomba. Los cojinetes poseen una gran durabilidad gracias a un diseño de carga mínima. Las bombas están disponibles en diferentes modelos, como los instalados en tanques de almacenamiento, de los que pueden extraerse para el montaje en un depósito de condensado, y para instalación permanente en buques cisterna.

Los componentes de la bomba se seleccionan de forma que se tienen en consideración todas las combinaciones de descarga y presión. El rendimiento óptimo de la bomba se consigue entonces seleccionando rotores de alta eficiencia para los caudales correspondientes y escogiendo el número de etapas que corresponde a los requerimientos de presión.

El diseño ha sido verificado y homologado por la Lloyd's Register of Shipping, BV, DNV, ABS y otras sociedades de homologación. Las fuerzas radiales se equilibran mediante el difusor simétrico y la eliminación de la inestabilidad hidráulica.

6.2. Módulo de relicuefacción

El GNL es un líquido con un alto grado de volatilidad. El GNL se almacena a $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$ a presión atmosférica en tanques criogénicos especiales para baja temperatura. A pesar de que los tanques de GNL tienen doble pared: una externa de hormigón armado, recubierto con acero al carbono, y una pared interna de acero niquelado al 9%, no es posible evitar las pérdidas al 100%. Este hecho, junto con los procesos de carga y descarga, son el causante de que paulatinamente se observen disminuciones en el nivel de los tanques debido a pequeñas vaporizaciones del combustible.

Para resolver este hecho se proyecta una instalación de relicuefacción que permite recuperar el GNL evaporado y optimizar de este modo el rendimiento de la planta. Este proceso se denomina relicuefacción del boil-off.

El módulo de relicuefacción tiene como figura central el “Turbo Brayton cryogenic system”. El sistema de enfriamiento Air Liquide Turbo-Brayton es una solución óptima para la relicuefacción de gas natural.

Combinando rendimiento, fiabilidad y compacidad, puede integrarse instalaciones de GNL de cualquier tamaño para volver a licuar los gases de evaporados. También implementable en las barcazas nodriza, buques metaneros y otras embarcaciones con GNL.

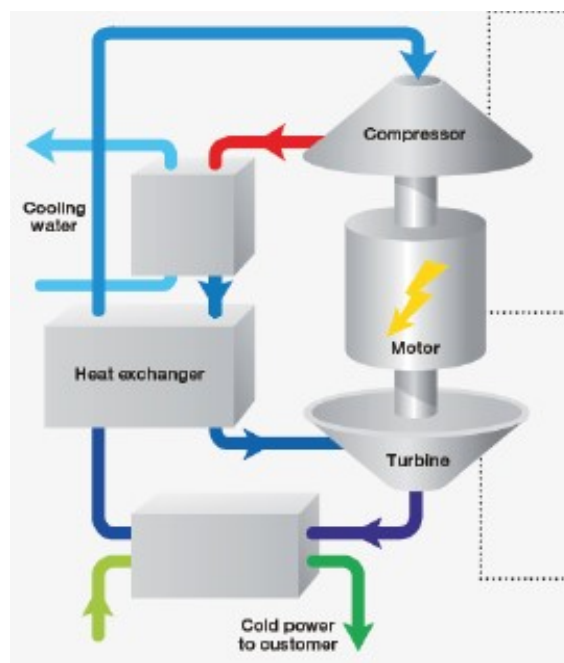


Figura 6-18. Esquema termodinámico del Turbo – Brayton.

Este sistema de criogenización está compuesto principalmente por:

1. Compresor centrífugo de alta eficiencia (oil free).
2. Motor síncrono de alta velocidad y cojinetes magnéticos activos
 - Modo manual y automático.
 - Sin caja de cambios.

- Alta compacticidad.
 - Ausencia de rozamiento.
 - Alto grado de vida útil.
3. Turbina centrífuga de alta eficiencia.

Algunos de los beneficios clave que nos va a ofrecer este sistema Turbo – Brayton son los siguientes:

- **Ahorro máximo de energía:** todos los componentes de los sistemas turbo-Brayton están diseñados para ser flexibles y eficientes desde el punto de vista energético (hasta un 40% de la eficiencia de Carnot). Dispone de un ahorro de energía extra con la tecnología integrada de Variable Speed Drive, que ajusta automáticamente la velocidad del motor a la demanda de energía en frío.
- **Alta fiabilidad:** gracias a los innovadores cojinetes magnéticos, la tecnología turbo de baja vibración y la unidad de velocidad variable integrada, los sistemas Turbo-Brayton proporcionan una fiabilidad y una continuidad de producción excepcionales.
- **Gases de proceso 100% libres de aceite y respetuosos con el medio ambiente:** sin riesgo de daños debido a la contaminación del aceite, sin riesgo de pérdidas por el tiempo de inactividad operacional gracias a la tecnología libre de mantenimiento.
- **Instalación fácil:** el diseño integrado de los sistemas Turbo-Brayton incluye tuberías internas, enfriadores, motor y sistema de control. Todos se suministra como un paquete listo para usar. La instalación está libre de fallas, el tiempo de puesta en marcha es bajo y no se requiere aire para instrumentos externos.
- **Costo de ciclo de vida extremadamente bajo:** las soluciones se desarrollan para establecer los costos en su nivel más bajo, teniendo en cuenta las inversiones y los costos de operación.
- **Bajo consumo eléctrico**



Figura 6-19. Turbo – Brayton cryogenic system

6.3. Instalación eléctrica de media tensión

6.3.1 Estimación de la potencia útil

Para diseñar la instalación eléctrica de media tensión se realiza una estimación de la potencia total consumida en la planta. El diseño tiene en cuenta la demanda máxima de cada uno de los dispositivos y aparatos eléctricos. Se realiza una suma aritmética de las potencias absorbidas. La mayoría de los equipos vienen caracterizados por su potencia nominal. En el caso de las bombas o la luminaria fluorescente, esa potencia es inferior a la absorbida y se aplicarán factores de corrección para tener en cuenta esas pérdidas. A continuación se muestra una tabla con los valores de potencia estimados.

Equipo		Potencia (kW)
Aire acondicionado en puesto de control	110 f/m^2 70 m^2 $1 \text{ kWt} = 860 \text{ f}$ Rendimiento del 50% kWt-kwh	5
Luminaria tipo LED en puesto de control	8 unidades	0,5
Alumbrado exterior		50
Vitrocerámica en PDC		10

Relicador		780
Grupos de bombeo (CI, Saneamiento y tanques)		400
Total: Potencia útil estimada (kW)		1245,5

Figura 6-20. Consumo de potencias

6.3.2 Transformador

Para la instalación eléctrica de media tensión es necesario un transformador reductor de tensión para llevar la potencia suministrada por la compañía eléctrica, hasta los equipos de la planta de GNL. El objetivo es alcanzar niveles de tensión de 420 V.

6.3.2.1 Potencia aparente

Para la alimentación de la red eléctrica, la cantidad significativa es la potencia aparente S (kVA). Para ello, se tiene en cuenta un factor de potencia de 0.85 y un coeficiente de simultaneidad de 1. Además, se supone un rendimiento del transformador del 80%.

- η = rendimiento = 80%
- $\cos \phi$ = el factor de potencia = 0.85
- P_n = potencia útil estimada = 1245,59 kW
- $S_n = P_n / (\eta \times \cos \phi) = 1831$ kVA

6.3.2.2 Número de transformadores necesarios

Sabiendo que la potencia aparente tiene un valor aproximado de 1831 kVA, y teniendo en cuenta las posibles averías, se instalan dos transformadores de 1000 kVA. De esta forma, en caso de que se produzca algún fallo en uno de ellos, podremos suministrar potencia a los equipos con el otro transformador. Así evitamos la necesidad de parar el proceso productivo durante el periodo de reparación.

6.3.2.3 Grupo de conexión

El transformador tiene una conexión triángulo- estrella. Consigue reducir 20000 V de entrada, que nos suministra la red, en 420 V para su uso en el interior de la planta. La conexión triángulo a la entrada del transformador consta de 3 fases. Entre fases hay un voltaje de 20000 V. Por otro lado, a la salida del transformador, en baja tensión, hay 3 fases y el neutro. Entre fases hay un voltaje de 420 V, y entre fase y neutro un voltaje de 240 V. El neutro que se deriva de la conexión estrella del transformador, se conecta a tierra como medida de protección, y además, se utiliza junto con las fases para llevar el voltaje en media tensión hacia el cuadro general. Este grupo de conexión viene indicado en la ficha técnica del transformador con la siguiente simbología: DYN 11.

El transformador seleccionado pertenece a la serie Trihal - 1000 kVA - 25000 V / 420 V - Dyn11. Se trata de un transformador seco encapsulado -Trifásico -Tipo Interior -Sin envolvente. Suministrado por la empresa Schneider.

6.3.2.4 Esquema unifilar

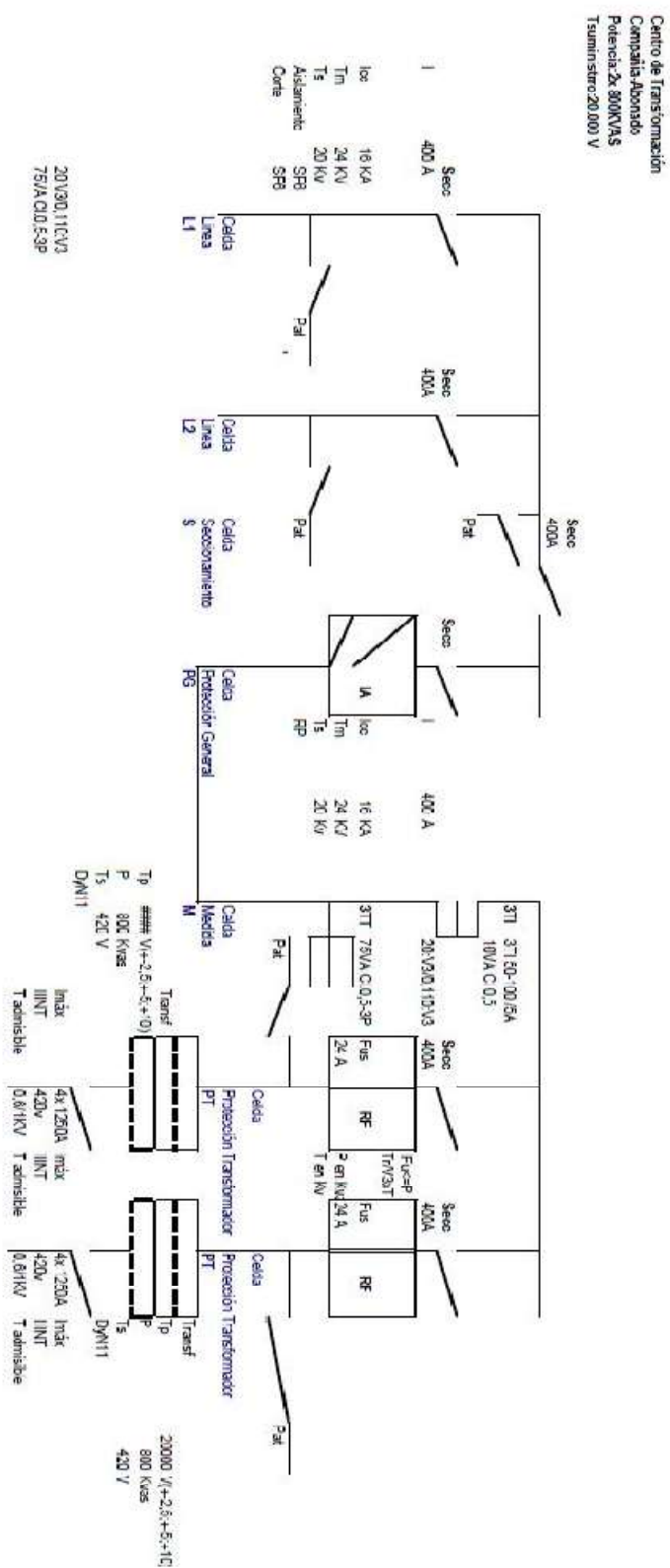
La planta tiene unas necesidades de potencia eléctrica, según el listado de potencias de 1245,5 kw. Se realiza una solicitud de potencia de 1500 kw, a la compañía suministradora con arreglo al esquema unifilar que se muestra más adelante

La compañía comunica la conformidad al suministro con uso condicionado técnico a condiciones básicas, solución de suministro que se incorporan a la solución del suministro en MT y CT:

- Suministro de 1500 KW a 20000 V, desde la subestación Palos de la frontera, situada a escasos 2 km de la planta de GNL.
- El suministro se realizará mediante una línea aérea de media tensión doble circuito, cuyo apoyo fin de línea estará en el exterior de la parcela para que la empresa suministradora pueda maniobrar en él sin necesidad de entrar en ella. El apoyo se equipa con 6 seccionadores unipolares para paso aéreo a subterráneo.
- El paso aéreo a subterráneo se realizará con cable RHZ al 240 mm² por cada fase, y bajo tubo corrugado de 200 mm (doble capa, liso interior), con manguito de unión cada 6 m., y con arqueta de paso a apoyo fin de línea, en cada cambio de dirección y a la entrada del CT (distancia máxima entre arquetas 45 m).
- El CT se realizará en obra civil, como se detalla posteriormente.
- El equipamiento eléctrico se compone de:
 - Línea aérea de MT, doble circuito. Desde la subestación Palos de la Frontera hasta fin de línea.
 - Paso aéreo a subterráneo con cable RHZ Al 240 mm².
 - Conjunto de celdas de MT tipo CGM Ormazábal con aislamiento y corte en SF₆ (Hexafluoruro de Azufre) ,24 kV 400 A con la siguiente composición.
 - Celda de línea L1 conterminaciones en botella.
 - Celda de línea L2 conterminaciones en botella.
 - Celda de protección general de interruptor automática manual
 - Celda de medida equipada con TT y TI, $20000\sqrt{3} / 110\sqrt{3}$ y 200/5 A respectivamente, instalado conforme a la compañía suministradora.
 - Equipo de medida Landis Gyr conectado con secciones y tipo de cable conforme a la compañía.
 - 2 celdas de protección general de transformador.
 - 2 transformadores de potencia de 1000 kVA 20000/440 V con regulación $\pm 5\%$.
 - Batería de condensadores de vasos fijos conectados al neutro de baja tensión decadatransformador, de 60 KVAR, conectados con cable aislado de $I_{adm} > \frac{60000}{\sqrt{3} \cdot 440}$, RZ Cu 35 mm².
 - Red de tierras de neutro de transformador con sección 70 mm², cable

aislado de Cu, y 3 picas de 14 mm de diámetro y 2 m de longitud, enterrado a 6m de longitud de la tierra de herrajes y a 80 cm de profundidad.

- Red de tierras de herrajes del CT perimetrales, colocadas a 80 cm de profundidad con sección de 70 mm² cable desnudo de cobre. Con picas en cada esquina y e el centro de os tramos rectos (14mm de diámetro y 2m de longitud), enterrada a 80 cm de profundidad.
- Instalaciones auxiliares:
- Iluminación Edificio de Transformación: equipo de iluminación. Equipo de alumbrado que permita la suficiente visibilidad para ejecutar las maniobras y revisiones necesarias en los centros. Equipo autónomo de alumbrado de emergencia y señalización de la salida del local.
 - Las rejillas de ventilación natural están formadas por lamas en forma de "V" invertida, diseñadas para formar un laberinto que evita la entrada de agua de lluvia en el Centro de Transformación y se complementa cada rejilla interiormente con una malla mosquitera.
 - Pértiga de comprobación de tensión.
 - Señalización alrededor del CT de la salda aérea del cableado.
 - Vallado de seguridad a ambos lados de la salida aérea del CT a 5m de distancia, con un gálibo de 6m.
 - Soporte en celosía para albergar la salida aérea del cableado.



6.3.3 Centro de transformación

Para albergar los transformadores, la misma empresa suministradora proporciona centros de transformación prefabricados. Se acude al catálogo de Schneider y se elige el modelo de la gama CLIPPER M, que se ajusta los transformadores de 1000 kVA.

La gama CLIPPER M se utiliza para aplicaciones muy diversas en el sector industrial (minería, petróleo y gas...) y el sector de suministro eléctrico. Se caracteriza por ofrecer dimensiones flexibles y configuraciones versátiles, así como disponibilidad de opciones según la utilización (en bastidor estándar, en camión o en remolque). Además es de conformidad con las normas IEC 62271-202.

Se caracteriza por ser de envolvente metálica y garantizar diferentes configuraciones según los intereses del pedido. Se apoya sobre patas metálicas desmontables que a su vez van colocadas en bloques de hormigón. Dispone de un Panel de BT (fusibles o interruptores automáticos) así como de dispositivos de supervisión sencilla, como la unidad terminal remota (RCX-ITI) o el indicador de falta (DAX/DAX-I).



Figura 6-21. Centro de transformación de la gama CLIPPER M

En el interior se establecerán tres zonas distintas. La primera corresponde a la entrada al centro de transformación. A esta zona llegan los cables que transportan la corriente. A continuación se establece la sala de medidas, a la cual se tiene acceso desde el exterior e interior del centro. La separación entre la zona de recepción y la sala de medidas se establece con una malla metálica. A continuación se situarán los transformadores separados entre sí por una puerta cerrada con candado así como de la zona de medidas.

6.3.4 Red de puesta a tierra

El Reglamento sobre Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación establece en la Instrucción MIE-RAT 13 la obligatoriedad de que todas las instalaciones de Media tensión, posean una protección o instalación de tierra diseñada en forma tal que, en cualquier punto accesible del interior o exterior de la misma donde las personas pueden circular o permanecer, no aparezcan tensiones que puedan resultar peligrosas, en el caso de producirse un defecto en la instalación eléctrica.

Para ello, según las características del terreno, con una resistividad media de 8 ohmios, y de la instalación eléctrica, se diseña un sistema de tierras de protección. Está constituido por líneas de tierra y los correspondientes electrodos de puesta a tierra que conexionan directamente a tierra las partes conductoras de

los elementos de la instalación no sometidos normalmente a tensión eléctrica, pero que pudieran ser puestos en tensión por averías o contactos accidentales, a fin de proteger a las personas contra contactos con tensiones peligrosas.

Para la tierra de protección, alrededor del apoyo de fin de línea, se utiliza la disposición tipo 3 según Moreno-Clemente. Con cable de cobre desnudo de 70 mm² de sección, enterrado a lo largo de una zanja de 1,30 m de profundidad y 16m de longitud, auxiliado con cuatro picas de 2 m de longitud.

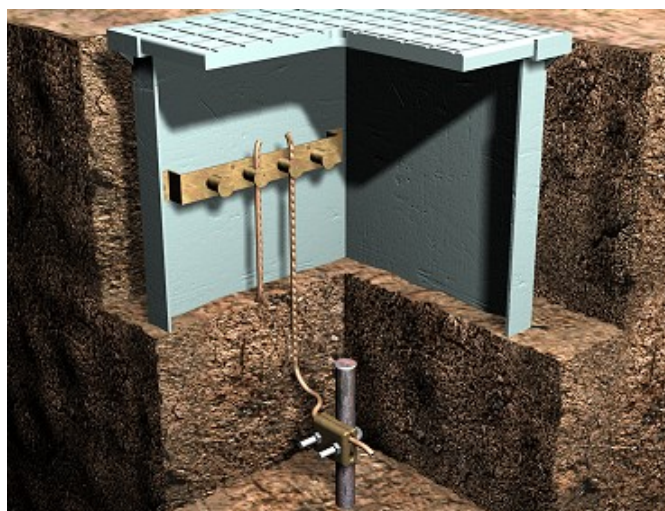


Figura 6-22. Pica de puesta a tierra

La red de tierras para las arquetas será según el sistema tipo n° 2 según Moreno-Clemente. Con cable de cobre desnudo de 70 mm² de sección, enterrado a lo largo de una zanja de 1'30 m, de profundidad y 12m. de longitud, auxiliado con cuatro picas de 2 m de longitud.

Tierra de protección, alrededor del centro de transformación, se utilizará un cable de cobre desnudo de 70 mm² de sección, enterrado a lo largo de una zanja de 1'30 m, de profundidad y 44 m. de longitud, auxiliado con ocho picas de 2 m de longitud.

Con el fin de no transferir tensiones peligrosas a través del neutro a las instalaciones de baja tensión, se dispone toma de tierra separada para el neutro del centro de transformación. Se dispone además de tierras de servicio; por cada transformador se utilizará un cable de cobre aislado durante 6 m y desnudo a continuación, de 70 mm² de sección, enterrado a lo largo de una zanja de 1,30 m de profundidad y 8 m de longitud, auxiliados con tres picas de 2 m. En este caso la picas están dispuestas en hilera.

La red se proyecta con un sistema de picas en rectángulo unidas por un conductor horizontal de cobre desnudo de 70 mm² de sección. Las picas tendrán un diámetro de 14 mm y una longitud de 2 m. Se enterrarán verticalmente a una profundidad de 0.5 m.

6.4. Instalación eléctrica de Baja Tensión

A continuación se desarrolla la instalación eléctrica, su diseño se realiza en función del Reglamento electrotécnico para Baja Tensión (REBT) según el Real Decreto 846/2002 hasta la última actualización en el año 2014.

La acometida es doble e independiente. Cada acometida es subterránea y consta de cuatro conductores, tres fases y un neutro, de cobre (4 x 35 mm² Cu bajo tubo). La primera de ellas es trifásica IIIN 420 V para el Cuadro General de Mando y Protección (CGMP) del Puesto de Control (C1PC). La segunda es trifásica IIIN 420V para el CGMP Principal de la estación de almacenamiento y suministro (C1AS). Cada una cuenta con su caja de protección y su equipo de medida correspondiente.

El Cuadro General de Baja Tensión es el que recibe la corriente procedente del centro de transformación (CT) para alimentar a todos los receptores de la instalación. Para disminuir las pérdidas se sitúan lo más cercano posible al CT y con un recorrido sencillo. Como ya se ha indicado, se instalan dos cuadros generales, C1PC y C1AS (para instalación de almacenamiento y suministro de GNL).

A continuación se define el número de cuadros secundarios que se van a instalar. Estos cuadros se eligen en función de los dispositivos que protegen cada línea que sale del cuadro. Hay que tener en cuenta el tamaño, un dispositivo tetrapolar requiere un espacio de 4 módulos de 18 mm, y los bipolares 2 módulos de 18 mm, dejando un margen del 25 % del espacio total demandado. En este caso se va a instalar un cuadro secundario. Del armario C1AS se deriva una acometida con cable aislado al armario C2AS de alumbrado de la planta. Ambos CGBT se instalan en la oficinas oficinas del Puesto de Control, conformando un local de riesgo bajo según el DB-SI.

Las instalaciones de enlace comprenden la previsión de cargas para suministros de baja tensión desde el Centro de Transformación (CT), las cuales se han definido, cajas generales de protección, línea general de alimentación, derivaciones individuales, contadores, dispositivos generales e individuales de mando y protección e interruptor de control de potencia.

En lo relativo a contactos, los contactos directos son los que se producen entre una persona y un elemento en tensión, los contactos indirectos se producen entre una persona y un elemento que no debería estar en tensión. Para los contactos directos el nivel de protección por envoltentes viene definido por el grado mínimo exigido por la UNE 20.324 es IPXXB. La primera cifra se refiere a la penetración de sólidos, en una escala de 0 a 6, la segunda cifra a la penetración de líquidos en una escala de 0 a 8. Se elige una protección de IP65.

Para los contactos indirectos se emplea el corte de alimentación al detectarse una tensión superior al límite establecido, como medida de protección. Este corte se hace a través de un interruptor diferencial. Con un solo interruptor a la entrada de la instalación sería suficiente para cumplir la normativa, por seguridad se dispondrá de varios.

Por último, para la protección frente a sobrecargas y frente a cortocircuitos. Estas protecciones actúan cuando circule una corriente superior a la de funcionamiento. Estas protecciones evitan daños y averías en la instalación, sobre todo, en los conductores. Para ello se van a emplear fusibles, interruptores automáticos (IA) o pequeños interruptores automáticos (PIA).

En cuanto a los conductores, los circuitos de alimentación y tomas de corriente se van a ejecutar con cables de cobre de 750 V, como aislante se emplea XLPE.

Ambas instalaciones dispondrán de un cuadro panel con envoltente IP68, con instalación de PAT, y en su interior, un interruptor general automático de cabecera, embarrado aislado de Cu IIIN, aparamenta para circuitos con protección diferencial (regulable en tiempo y sensibilidad), y protección magnetotérmica trifásica y monofásica IIINT y FNT.

Los armarios dispondrán de estructura, paneles envoltentes, ventilación forzada con termostato, protección frente a contactos indirectos mediante metacrilato, puertas con mecanismo con cerradura y llave, aisladores para soporte, embarrado, aparamenta, bandejas, cableado con terminales identificados, bancada e iluminación.

6.5. Instalaciones de seguridad. Protección contra incendios

El tetraedro del fuego representa a los 4 elementos necesarios para que el fuego pueda originarse:

- Calor
- Combustible
- Oxígeno
- Reacción química entre ellos

El oxígeno y el combustible se encargan de mantener la combustión, el calor lleva al combustible a su estado de ignición y la reacción entre los elementos permite que el fuego se origine. La privación de cualquiera de estos 4 elementos hará que el fuego no pueda generarse y en esto se basa el concepto de prevención del fuego.

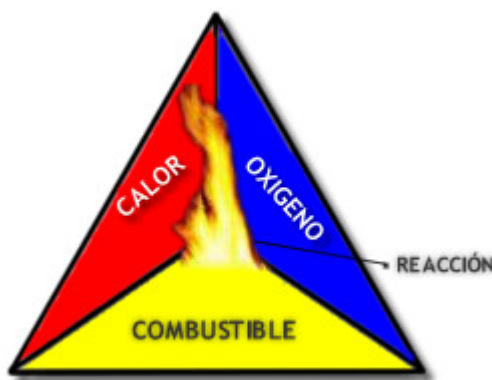


Figura 6-23. Tetraedro del fuego.

La protección contra incendios en una planta de almacenamiento de líquidos inflamables y/o combustibles y sus instalaciones conexas está determinada por el tipo de líquido, la forma de almacenamiento, su situación y/o la distancia a otros almacenamientos; por lo que, en cada caso, deberá seleccionarse el sistema y agente extintor que más convenga, siempre que cumpla con los requisitos mínimos que, de forma general, se establecen en el ITC MIE-APQ 1: «Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles».

Los sistemas de protección deberán mantenerse en condiciones de funcionamiento en todo momento mediante las inspecciones, pruebas, reparaciones y/o reposiciones oportunas. Se deberá tener en cuenta el rebosamiento por ebullición (“boilover”) a la hora de diseñar la protección con agua de los recipientes.

Una protección efectiva para instalaciones de GNL se centra en tres áreas: la prevención, el control y la extinción. Se requiere de una amplia gama de agentes y equipos para actuar sobre cada uno de estos objetivos. Dichos agentes y equipos han sido diseñados para prevenir incendios por GNL en cada una de las etapas de suministro, entre las que se incluyen las zonas de carga, almacenamiento y descarga.

Dadas las condiciones de la planta objeto del proyecto, se equipa al complejo de sistemas de protección de agua y de espuma.

6.5.1 Protección con agua

Deberán disponer de una red de agua contra incendios los almacenamientos de superficie con capacidades globales superiores a las siguientes:

- a. 60 metros cúbicos para los productos de la clase A
- b. 100 metros cúbicos para los productos de la subclase B 1.
- c. 200 metros cúbicos para los productos de la subclase B2.
- d. 1.000 metros cúbicos para los productos de la clase C.

El GNL se engloba dentro de la clase B1, por lo que se ciñe el diseño de la instalación a la normativa correspondiente a este tipo de líquidos.

Atendiendo a la normativa de aplicación, esta planta de almacenamientos debe disponer de una red de agua contra incendios con abastecimiento y acometida exclusiva para este fin. Los diámetros de tuberías se calculan de modo que garanticen los caudales requeridos con una presión manométrica mínima, en cualquier punto de la red, de 7 bar. La red de agua debe tener varias tomas para incendios que aseguren de forma inmediata y continua el caudal de agua requerido en la tabla de caudales durante una hora, como mínimo.

6.5.1.1 Agua pulverizada

Son sistemas que usan el agua proyectada por toberas según patrones de descarga, tamaño de partículas, velocidad de las gotas y densidades predeterminadas para lograr el control de un incendio, su extinción, prevención o protección a la exposición.

El riesgo se cubre mediante agua que llega desde el abastecimiento, es decir un depósito de almacenamiento exclusivo para alimentar esta red, con un equipo de bombeo hasta las boquillas de descarga mediante un red de tuberías. El agua es retenida en la red gracias a la Válvula de Control del Sistema. La cual se abre automáticamente gracias a la orden recibida por el Sistema de Detección.

Además cuando esta Válvula de Control se dispare o tenga problemas el sistema se debe dar la alarma. Después de la abertura de la Válvula de Control el agua fluye por toda la red de tuberías hasta que salga proyectada sobre el riesgo en forma pulverizada a través de las boquillas.

Los componentes de que dispone esta red se detallan a continuación:

- Toberas/boquillas/dispositivos de descarga: existen tres tipos:
 - Monitores: la boquilla del monitor genera el efecto de descarga.

- Mangueras de triple efecto: la boquilla de la manguera genera el efecto de descarga, el cual lo utilizan los bomberos para acercarse a los incendios evitando el calor por radiación.
- Boquillas: son elementos de descarga que provocan una descarga fija de agua en forma pulverizada. Se puede distinguir dos tipos de boquillas (ver figuras), cuyas características son:
 1. Boquilla de alta velocidad: rompen el chorro internamente, producen gotas en su mayoría medianas, se usan principalmente para extinción, tienen un ángulo de pulverización pequeño (apertura del paraguas que forma el agua al salir) y tienen mayor alcance.

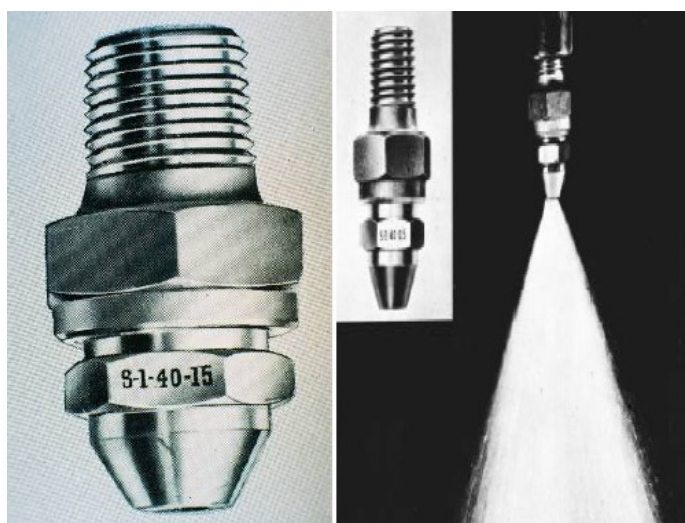


Figura 6-24. Boquilla de alta velocidad

2. Boquilla de baja velocidad: rompen el chorro externamente, producen gotas en su mayoría pequeñas, se usan principalmente para enfriamiento, tienen un ángulo de pulverización grande y un alcance relativamente limitado.

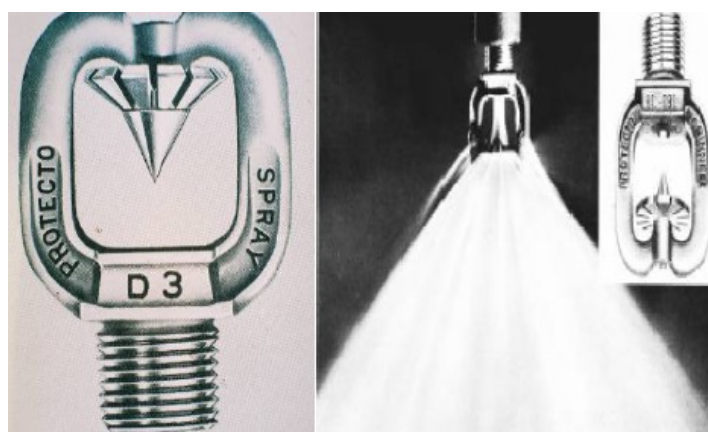
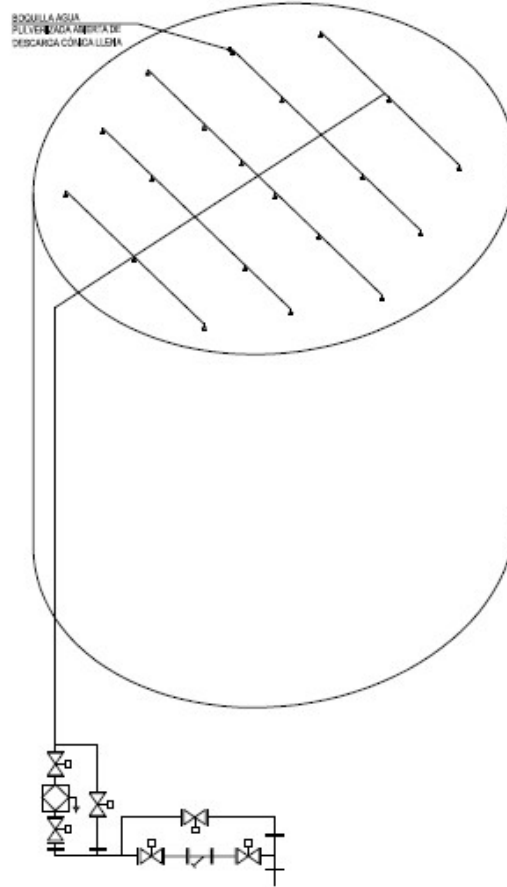
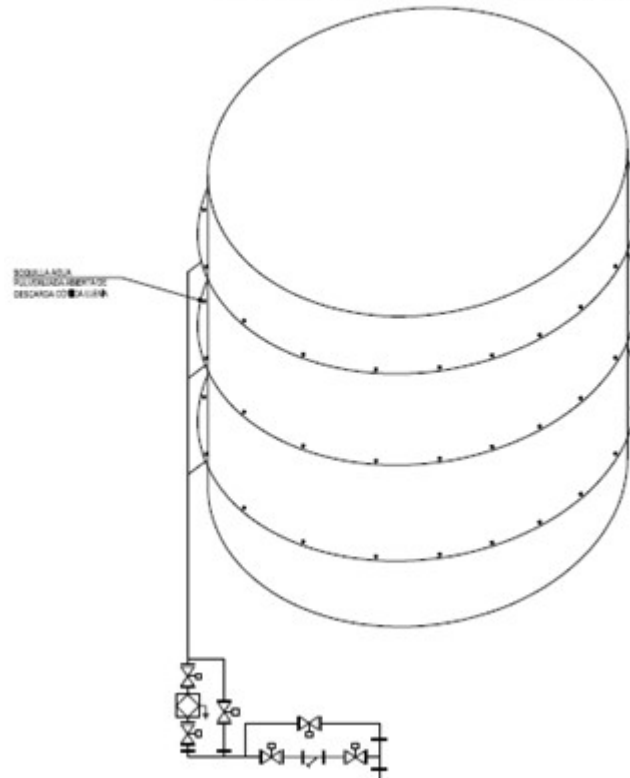


Figura 6-25. Boquilla de baja velocidad

ESQUEMA AGUA PULVERIZADA, CUBIERTA DEPÓSITOS ATMOSFÉRICOS



ESQUEMA AGUA PULVERIZADA, ENVOLVENTE DEPÓSITOS ATMOSFÉRICOS



Figuras 6-26 y 27. Esquemas de agua pulverizada

- Válvulas de control del sistema

- Válvula de diluvio: de activación automática o manual, constan de manómetro, alarma, drena, etc. Son axiales, de regulación hidráulica. Su principal ventaja es la reducción del golpe de ariete ya que la abertura de la válvula se realiza de una manera suave.



Figura 6-28. Válvula de diluvio

- Válvula de clapeta oscilante: pueden ser de rearme interior o exterior. La apertura del sistema depende de una clapeta y un trinquete que la mantiene cerrada. Un gran inconveniente es que una vez abiertas, si el sistema sigue funcionando, la válvula no se puede cerrar automáticamente y es necesario cortar la línea mediante una válvula de corte y rearmar la válvula de clapeta. Además tienen problemas con el golpe de ariete en la instalación. La clapeta permanece cerrada gracias a la presión del agua. Para poder abrirlas es necesario disminuir esa presión y para ello es necesario desalojar el agua, lo cual se hará de distintas maneras, de ahí, sus distintos sistemas de activación (eléctrico, hidráulico, neumático y manual).

- Tuberías

- Materiales según NFPA 15: de acero galvanizado. ASTM A53, A135, A795. Pueden ir con o sin costura
 - Materiales según la norma UNE 23-502-86: tuberías de acero soldada y sin soldadura para uso general, galvanizadas y que soporten una presión mínima de trabajo alrededor de 12 bar.
- Filtros: necesarios si el orificio de las boquillas es inferior a 3mm. Tienen la capacidad de remover partículas iguales o mayores de 1/8 pulgadas (3,2 mm). Trabajan en continuo.

- Alarmas para detección de incendios: en sistemas automáticamente controlados se requiere una alarma independiente del flujo de agua para indicar la operación del sistema de detección. Pueden ser detectores de incendio de distintos tipos: ópticos, de llamas, térmicos, termovelocimétricos, de gases inflamables, cables térmicos, haz de láser, etc. Conectados a una central eléctrica para recoger el estado y dar las órdenes a los sistemas de disparo de la válvula de control del sistema. En zonas ATEX (atmósferas explosivas), necesitamos que los equipos sean antideflagrantes y la instalación deberá ser realizada para evitar explosiones o incendios, lo que implica un elevado coste de la instalación. Este sistema de detección está asociado a una electroválvula como sistema de disparo/accionamiento de la Válvula de Control del sistema.



Figura 6-29. Alarma de detección

6.5.1.2 Red de hidrantes

La red se dispone en anillo alrededor de la parcela y cuenta con válvulas de corte en número suficiente para aislar cualquier sección que sea afectada por una rotura, manteniendo el resto de la red a la presión de trabajo. Las tuberías son enterradas protegiéndose de este modo contra cualquier tipo de daños mecánicos, así como contra la corrosión.

Los suministros de agua para la red exclusiva contra incendios podrán proceder de:

- Fuentes inagotables naturales (río, lago, mar) o artificiales (canal, embalse, pozo), siempre que sean capaces de garantizar, en cualquier época del año, el caudal y tiempo de autonomía requeridos y dotados del correspondiente equipo de bombeo.
- Recipientes a presión o almacenamientos elevados.
- Recipientes para alimentación de un equipo de bombeo. En nuestro caso hay un depósito de agua contra incendios que abastece a las redes de hidrantes, agua pulverizada y sistema de espuma de alta expansión.

Deberá disponerse de un volumen de agua suficiente para los máximos caudales requeridos para la completa protección de la zona afectada por el incendio y sus alrededores durante un período mínimo de tres horas capacidades de almacenamiento superiores 500 metros cúbicos para líquidos de la clase B, lo

cual es el caso de esta instalación. Para los almacenamientos de superficie con capacidad superior 500 metros cúbicos para líquidos de la clase B el mínimo caudal es de 100 m³/h.



Figura 6-30. Hidrante

Para mitigar los posibles incendios, se opta por colocar hidrantes alrededor de toda la parcela cada 40 metros para que el fuego pueda ser atacado desde diferentes ángulos sin necesidad de tener que acceder a la planta por parte del personal de extinción. Estos hidrantes irán conectados a la red anillada que rodea a la planta.

6.5.2 Sistema de espuma de alta expansión

La espuma es un agregado estable de pequeñas burbujas de pequeño tamaño con una densidad inferior a la del agua o el aceite. Se difunde sobre la superficie del cubeto creando una manta que sella los vapores impidiendo su contacto con el aire. Resiste el ataque del viento, el calor y las llamas, permitiendo un sellado continuo en caso de rupturas de la manta de espuma.

La espuma está formada por tres componentes: agua, espumógeno y aire. El espumógeno es un producto concentrado tal y como se suministra por el fabricante. El agua se mezcla con el espumógeno en el proporcionador dando lugar al espumante, el cual se mezcla con aire en el mezclador formándose finalmente la espuma.

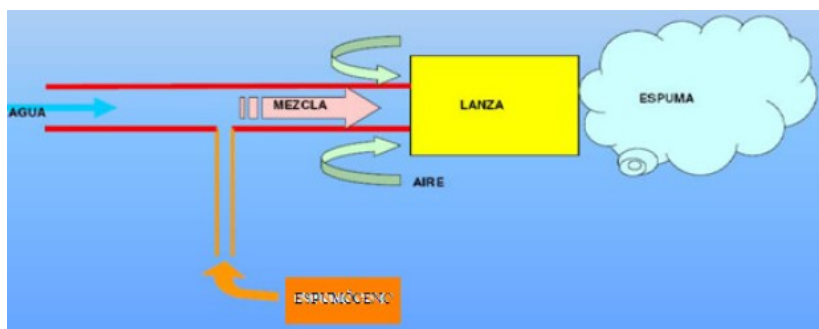


Figura 6-31. Formación de espuma

La espuma es utilizada como agente extintor contra incendios. Los productos combustibles para los que se utiliza son:

- Líquidos combustibles e inflamables
- Sólidos

Su uso más extendido es para líquidos combustibles e inflamables, no obstante gracias a su capacidad como agente extintor se utiliza cada vez más para fuegos de Clase A, prueba de ello es que cada vez más se ven extintores de espuma AFFF (espuma de base sintética formadora de película). Los sistemas de espuma se emplean de manera habitual en Productos Clase B. En los de la Clase D, NO se puede aplicar ya que en los fuegos de metales puede ser peligroso. Es por tanto un agente muy propicio para una instalación de GNL como la que se diseña en este proyecto.

Lo que le da el carácter de alta expansión es el coeficiente que lleva este mismo nombre y se define como se expone a continuación.

Se denomina coeficiente de expansión a la relación entre el volumen final de la espuma y el inicial de la mezcla antes de añadir el aire.

$$C_E = \frac{\text{Volumen del recipiente}}{\text{Masa de lleno} - \text{Masa vacío}}$$

Según el valor de C_E , NFPA 11 clasifica la espuma en:

- $C_E < 20$; espuma de baja expansión
- $C_E = 20$; espuma de media expansión
- $C_E > 20$; espuma de alta expansión

6.5.2.1 Componentes

El sistema de espuma consta de:

- Suministro de agua y espumógeno
- Proporcionador: equipo encargado de mezclar en las concentraciones deseadas el agua y el espumógeno, inyectando la cantidad adecuada de espumógeno. Se debe de suministrar la cantidad precisa, ya que si el porcentaje es menor al de diseño disminuye el tiempo de drenaje, las burbujas rompen antes, menor resistencia al calor, puede no apagar el fuego...o, si por el contrario el porcentaje suministrado es mayor, la espuma es más rígida, mayor consumo de espumógeno, menor tiempo de reserva.

Existen diversos tipos de proporcionadores siendo el más utilizado y el que se proyecta en esta instalación el proporcionador Venturi. El agua procedente de la red general de PCI, pasa a través del proporcionador imprimiéndole una mayor velocidad debido al efecto Venturi. La aceleración del agua produce una depresión que a su vez se traduce en presión de aspiración para el líquido espumógeno. El espumógeno que asciende por la línea de aspiración se mezcla con el agua procedente de la red en el mismo proporcionador, produciéndose de esta forma la mezcla espumante que más tarde, con la adición de aire, se transforma en espuma. Las conexiones de estos proporcionadores a la línea de agua son mediante bridas DIN PN-10, o bien por bridas ANSI 150 lbs. La construcción es en bronce para el cuerpo y las válvulas, y el resto de accesorios son de acero. El porcentaje de mezcla en este tipo de proporcionadores es de 3%, su presión de trabajo es recomendable que se encuentre entre 7 y 10 bar.

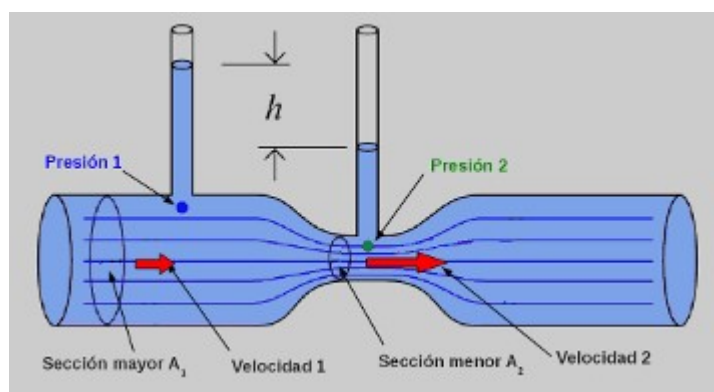


Figura 6-32. Efecto Venturi

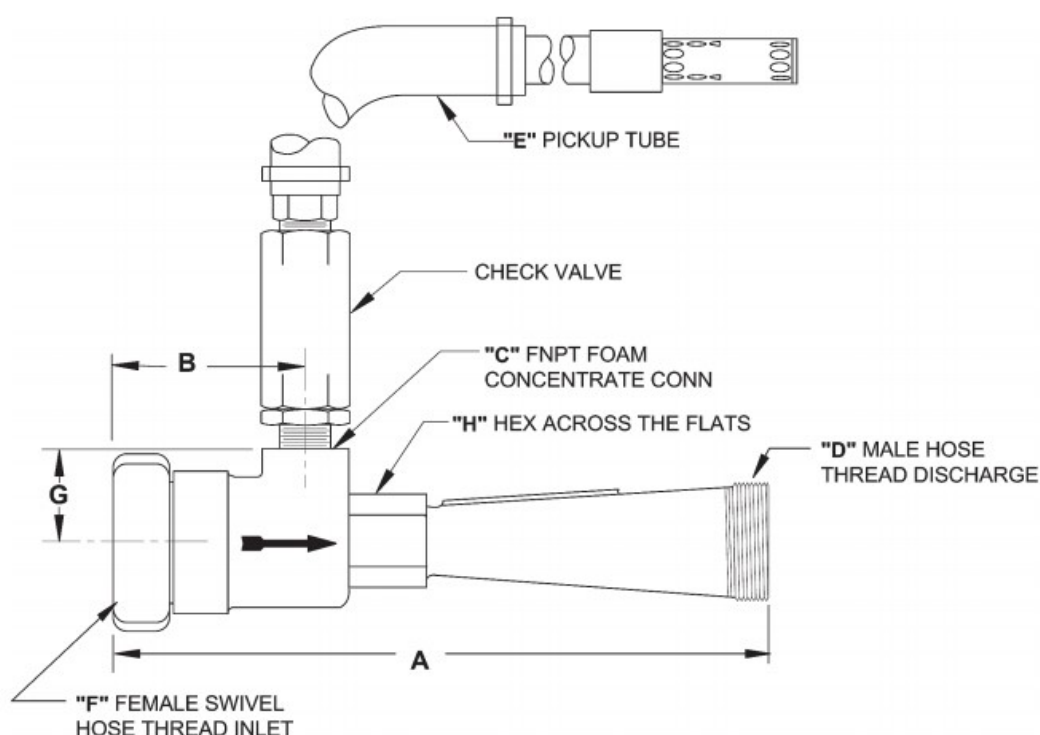


Figura 6-33. Proporcionador Venturi

- Tanque de membrana: Se trata de un sistema compuesto por un depósito el cual posee en su interior una membrana llena de espumígeno. Para completar el sistema tenemos un proporcionador Venturi, como se ha explicado anteriormente. El funcionamiento es el siguiente, el agua a presión entra en el proporcionador y una parte se dirige al depósito donde el agua presiona a la membrana provocando la expulsión del espumígeno. La otra parte de agua atraviesa el proporcionador y por efecto Venturi absorbe el espumígeno que ha salido de la membrana. En la planta de GNL se colocan dos, uno en cada extremo del cubeto de retención.

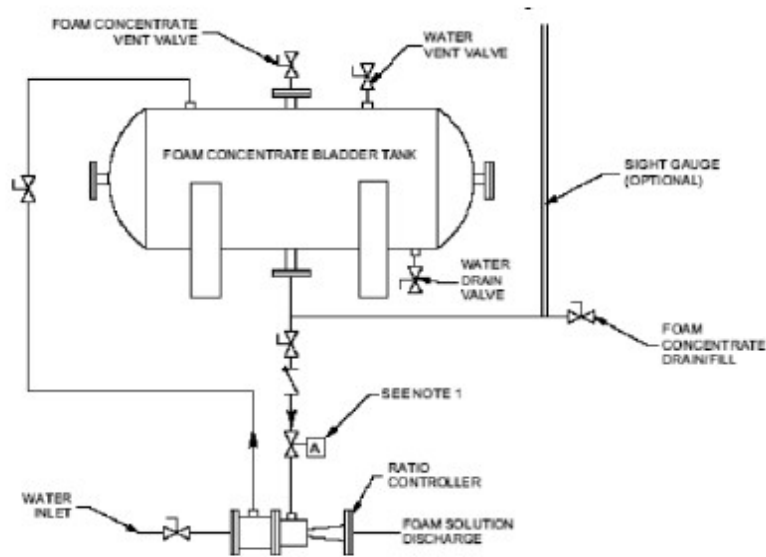


Figura 6-34. Tanque de membrana

6.5.2.2 Sistema de bombeo

Este sistema es más complejo y está compuesto por los siguientes elementos:

- Depósito de espumógeno.
- Bombas para la impulsión del espumógeno.
- Controlador de las bombas.
- Proporcionador.
- Sondas de presión.
- Manómetros.
- Válvulas de by-pass.

Se hacen mediciones de presión tanto en la línea del suministro de agua como en la línea de suministro de espumógeno y en función de la demanda, suministra más o menos caudal de espumógeno y además el espumógeno sobrante el sistema lo devuelve al depósito.

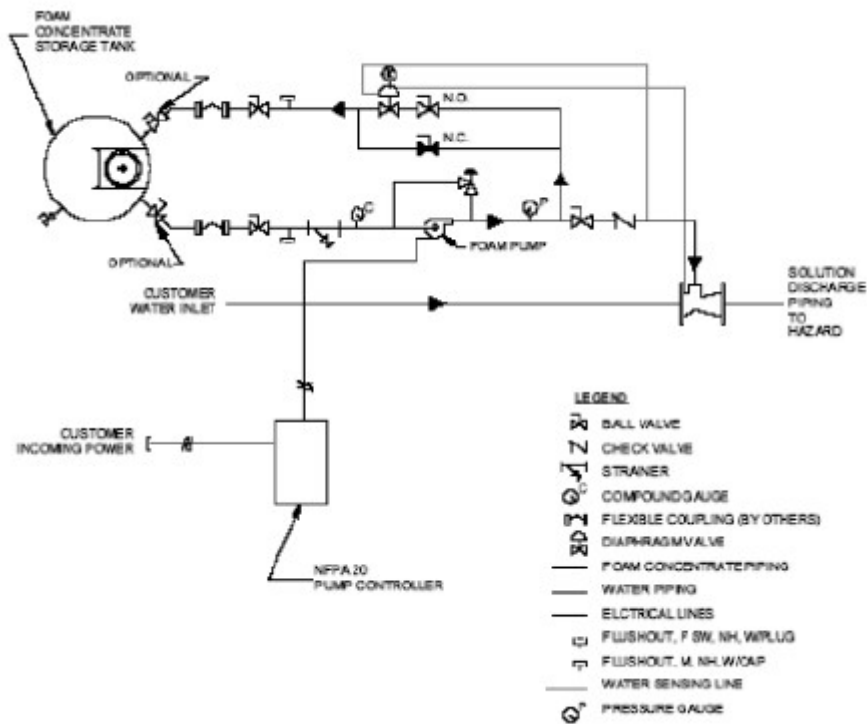


Figura 6-35. Diagrama de flujo del sistema de bombeo

- Mezcladores de aire: son los equipos que reciben la mezcla de agua más espumógeno desde el proporcionador y toman el aire necesario para aumentar el volumen de la mezcla (agua + espumógeno).
- Sistemas de distribución, aplicadores de espuma: son equipos fijos para la aplicación de espuma expandida, existen diversos tipos como la cámara de espuma, la vertedera, los generadores o los monitores.



Figura 6-36. Vertedera de espuma

6.5.2.3 Tipos de espumógeno y efectos:

Los espumógenos utilizados en la actualidad pueden ser químicos o mecánicos. Los espumógenos químicos fueron los primeros, se basan en reacciones químicas de productos como sulfato de aluminio o bicarbonato sódico. Cada vez son menos usados. Por otro lado, el espumógeno mecánico consiste en mezcla de agentes con agua. La espuma se produce por aireación y agitación de la mezcla. Existen dos tipos de espumógenos mecánicos:

- De base proteínica: es el que decide utilizarse en nuestra planta ya que su uso principal es para fuegos de Hidrocarburos.
- De base sintética: su gran utilidad se basa en que es compatible con casi todos los líquidos combustibles e inflamables, excepto los disolventes polares, no obstante, el sellado es menor que para los Espumógenos de Base Proteínica.

Cuando se trata de efectos, la espuma de alta expansión trabaja como refrigerante, elemento sofocador y elemento de inanición.

- Refrigerante: el agua contenida en la espuma absorbe calor del combustible y de las paredes del recipiente. A continuación se puede ver que la espuma al tener una menor tensión superficial que el agua es capaz de cubrir un mayor área para su refrigeración.

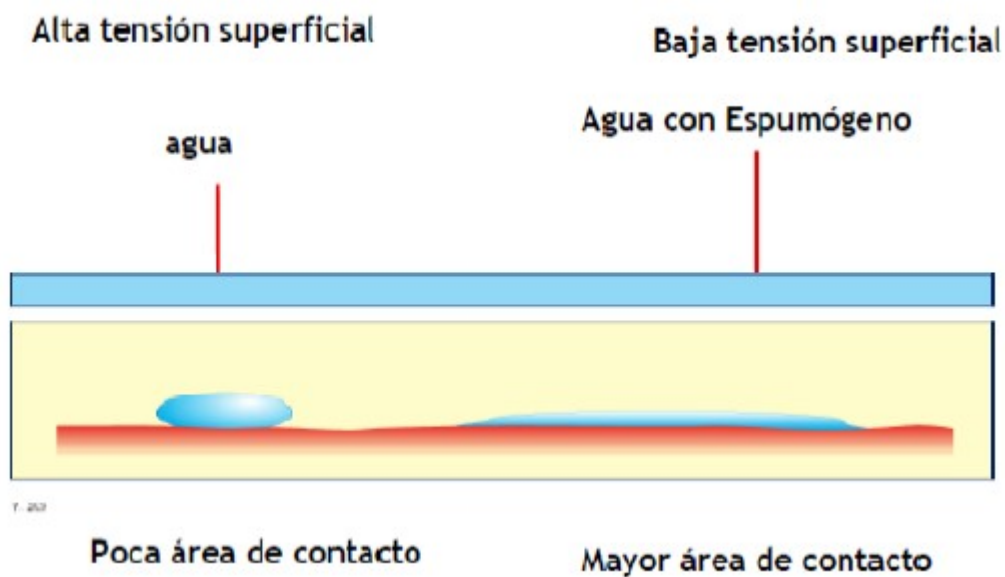


Figura 6-37. Efecto refrigerante

- Sofocación: la espuma impide el contacto con el oxígeno del aire con la superficie de evaporación del líquido inflamado.
- Inanición: impidiendo que los vapores inflamables sean liberados al sellar la superficie del equipo.

7 PLIEGO DE CONDICIONES

7.1. Objeto

Este pliego de condiciones técnicas indica de forma general, o específica cuando proceda, las características técnicas para la construcción de una estación de almacenaje y suministro de gas natural licuado (GNL). Se diseña con capacidad de suministro con dicho combustible a camiones cisterna y a buques nodriza que desembarquen en el puerto de Huelva.

Inexcusablemente, el licitante dispondrá de un punto de abastecimiento de GNL, el cual deberá estar operativo en un plazo máximo de 180 días desde la firma del contrato, con la finalidad de garantizar el suministro de los clientes en cualquier momento (24 horas, 365 días). Igualmente contemplará en su proyecto, solución para el repostaje de buques, previendo la instalación de dos puntos adicionales de abastecimiento, que se instalarían en posterior fase.

Las características especificadas en este Pliego deben entenderse como mínimas, observando el licitante las variaciones y mejoras que considere oportunas.

7.2. Ubicación

La planta estará ubicada en los terrenos municipales, sitios en Plaza Autoridad Puerto Huelva, 19D, 21810 Palos de la Frontera., donde el promotor cuenta con sus instalaciones. En documento anexo se especifica espacio previsto por la promotora para almacenaje y repostaje del combustible, entendiéndose dicho espacio como lugar preferente, y admitiéndose otras posibilidades que pudieran proponer los licitantes.

7.3. Normativa

El licitante diseñará la instalación atendiendo las demandas del propietario, cumpliendo en todo momento las disposiciones legales publicadas al respecto y, si fuera necesario, realizará las modificaciones necesarias para dar cumplimiento a aquellas que fueran publicadas durante la vigencia del contrato en caso de resultar adjudicatario. En este sentido, tendrá como referencia las siguientes normas:

- Real Decreto 919/2006, ITC-ICG 04/05 Plantas satélite de gas.
- Real Decreto 2060/2008, ITC-EP-4: Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias
- Reglamento de baja tensión

El sistema de tuberías estará sujeto a las exigencias del código ASME B31.3 – Plantas de proceso.

7.4. Descripción de la instalación

La planta se dimensiona para que tenga capacidad de repostaje diario, a repostar habitualmente desde las 20:00 horas hasta las 04:00 horas, a razón de llenado por unidad de 100 Kg. aproximadamente en 8 minutos. Con independencia del horario habitual de repostaje, la estación debe estar a disposición del cliente en cualquier momento.

Las ofertas comprenderán los sistemas con el equipamiento descrito específicamente, además de todos aquellos que, aun no habiendo sido relacionados, fueran considerados como imprescindibles por normativa o mejora del servicio según criterio del licitante y, en todo caso, fueran detallados en el proyecto, como pudieran ser: sistema de aire comprimido, sistema contraincendios para plantas desatendidas, muros y vallados perimetrales, etc. Por tanto, los elementos y actuaciones relacionadas a continuación y las características expresadas deben ser consideradas como condiciones mínimas de instalación.

7.4.1. Almacenaje y aprovisionamiento de GNL

Se instalan cinco depósitos criogénicos con capacidad de 318 m³, dispuestos en formato vertical, con una presión máxima de operación inferior o igual a 9 bar, con doble salida de gas y con termosifón.

En todo momento, el adjudicatario mantendrá el nivel de llenado en cantidad superior a un tercio de su máxima capacidad. Las cargas del depósito se realizarán mediante el trasvase de GNL desde un camión cisterna provisto de sistema autónomo, con bomba accionada por motor hidráulico.

7.4.1.1. Sistema de bombeo

Cada línea de explotación contará con una bomba criogénica de pistón para un caudal superior a 25 l/min y 250 bares de presión. Dichas bombas contarán con los accesorios y válvulas de seguridad necesarios, y serán montadas sobre skid.

7.4.1.2. Compresión

El sistema incorporará dos vaporizadores de alta presión (400 bar) para un suministro de 1000 Nm³/h a temperatura ambiente superior a 5° C.

7.4.1.3. Buffer de gas

La instalación contará con 2 buffers de gas para mantenimiento de presión constante de 1140 litros y 250 bar de presión.

7.4.1.4. Sistema de odorización

Se dispondrá de un depósito de almacenamiento de THT de 200 litros con indicación visual y válvula de seguridad. Este agente se mezclará con el gas mediante el uso de un odorizador de gas de alta presión mediante bomba.

7.4.1.5. Surtidor de GNL

Para consumo, se instalan dos surtidores de GNL provistos de manguera con boca de llenado con capacidad de flujo elevado de gas, acorde a los requerimientos de repostaje descritos con antelación (NGV2). Se ubica dentro de la parcela, en lugar lo más cercano posible, según normativa al puesto de control.

El repostaje se realiza sin mayor intervención del operario que el de sujeción de la boca de llenado de la manguera al depósito del vehículo. En ese momento el vehículo debe quedar identificado para el sistema y al finalizar el repostaje, de forma autónoma, se transmitirá al sistema informático del puesto de control (IBM-MAXIMO), un registro que detalle: fecha, hora, número de vehículo y kilogramos repostados.

7.4.2. Tuberías y válvulas

Los tuberías y válvulas necesarias para el funcionamiento de la planta serán de calidad contrastada y, en todo caso, sujetos a la normativa vigente en todos los aspectos, especialmente la relacionada con seguridad industrial y prevención de riesgos laborales.

7.4.3. Suministro eléctrico

El adjudicatario realizará la instalación eléctrica necesaria para el suministro, incluyendo: acometida eléctrica; centro de transformación, si fuese necesario; cuadro de distribución y derivados a receptores; panel de control y compresor. El adjudicatario asumirá los costes de electricidad asociados a la instalación.

7.5. Tramitación y legalización

El adjudicatario realizará los proyectos de ingeniería y efectuará los trámites y legalización de las instalaciones de gas y electricidad ante la Consejería de Industria. Se aportará copia de los proyectos y certificados al propietario para incorporación al expediente.

7.6. Mantenimiento

El adjudicatario efectuará un mantenimiento integral, preventivo y correctivo, en condiciones de operación y manipulación, de todo el equipamiento de la estación de carga.

Será el responsable del cumplimiento de la legislación vigente aplicable de las instalaciones (gas, electricidad, extinción de incendios, etc.) y de las inspecciones reglamentarias que con carácter periódico sean exigibles por las Consejerías de Industria y Medio Ambiente.

7.7. Plazo de ejecución

El plazo máximo para la ejecución y puesta en servicio de la estación de carga de GNL será de DOCE meses, contados desde el día siguiente a la adjudicación.

8 MEDICIONES Y PRESUPUESTO

8.1. Movimiento de tierras

ADL010	m²	Desbroce, destoconado y limpieza del terreno con arbustos.				
Desbroce y limpieza del terreno con arbustos, con medios mecánicos . Comprende los trabajos necesarios para retirar de las zonas previstas para la edificación o urbanización: arbustos, pequeñas plantas, tocones, maleza, broza, maderas caídas, escombros, basuras o cualquier otro material existente, hasta una profundidad no menor que el espesor de la capa de tierra vegetal, considerando como mínima 25 cm ; y carga a camión . El precio incluye la tala de árboles y el transporte de los materiales retirados.						
Código	Ud	Descripción	Rto	Precio unitario	Ipte	
1		Equipo y maquinaria				
m09sie010	h	Motosierra a gasolina, de 50 cm de espada y 2 kW de potencia.	0,020	3,00	0,06	
m01pan010a	h	Pala cargadora sobre neumáticos de 120 kW/1,9 m³.	0,015	40,13	0,60	
			Subtotal equipo y maquinaria:		0,66	
2		Mano de obra				
mo113	h	Peón ordinario construcción.	0,060	16,16	0,97	
			Subtotal mano de obra:		0,97	
3		Costes directos complementarios				
	%	Costes directos complementarios	2,000	1,63	0,03	
			Costes directos (1+2+3):		1,66	

Total: $1,66 * 100 * 100 = 16600 \text{ €}$

ADD010	m³	Excavación y desmonte.				
Desmonte en tierra , para dar al terreno la rasante de explanación prevista, con empleo de medios mecánicos , y carga a camión. El precio incluye el transporte y canon de los materiales excavados.						
Código	Ud	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Ipte	
1		Equipo y maquinaria				
mq01pan010a	h	Pala cargadora sobre neumáticos de 120 kW/1,9 m³.	0,042	40,13	1,69	
			Subtotal equipo y maquinaria:		1,69	
2		Mano de obra				
mo113	h	Peón ordinario construcción.	0,008	16,16	0,13	
			Subtotal mano de obra:		0,13	
3		Costes directos complementarios				
	%	Costes directos complementarios	2,000	1,82	0,04	
			Costes directos (1+2+3):		1,86	

Total: $1,86 * 3m * 100m * 100m = 49800 \text{ €}$

ADR03 0	m³	Relleno para base de pavimento.				
Base de pavimento realizada mediante relleno a cielo abierto, con zahorra natural caliza , y compactación en tongadas sucesivas de 30 cm de espesor máximo con bandeja vibrante de guiado manual , hasta alcanzar una densidad seca no inferior al 95% de la máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado, realizado según UNE 103501. El precio no incluye la realización del ensayo Proctor Modificado.						
Código	Ud	Descripción	Rto	Precio unit.	Ipte	
1		Materiales				
mt01zah010 a	t	Zahorra natural caliza.	2,200	8,66	19,05	
			Subtotal materiales:		19,05	
2		Equipo y maquinaria				
mq04dua020 b	h	Dumper de descarga frontal de 2 t de carga útil.	0,101	9,25	0,93	
mq02rod010 d	h	Bandeja vibrante de guiado manual, de 300 kg, anchura de trabajo 70 cm, reversible.	0,151	6,38	0,96	
mq02cia020j	h	Camión cisterna de 8 m³ de capacidad.	0,010	40,02	0,40	
			Subtotal equipo y maquinaria:		2,29	
3		Mano de obra				
mo113	h	Peón ordinario construcción.	0,062	16,16	1,00	
			Subtotal mano de obra:		1,00	
4		Costes directos complementarios				
	%	Costes directos complementarios	2,000	22,34	0,45	
			Costes directos (1+2+3+4):		22,8	

Total: 22,9 * 3m * 100m * 100m = **687000 €**

Total Movimiento de tierras: 753400 €

8.2. Cubeto de retención y tanques de almacenamiento

CSL010	m ³	Losa de cimentación y muretes del cubeto.			
Losa de cimentación y muretes de hormigón armado, realizado con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central, y vertido con bomba , y acero UNE-EN 10080 B 500 S , con una cuantía aproximada de 85 kg/m³ ; acabado superficial liso mediante regla vibrante . Incluso armaduras para formación de foso de ascensor, refuerzos, pliegues, encuentros, arranques y esperas en muros, escaleras y rampas, cambios de nivel, alambre de atar, y separadores . El precio incluye la elaboración y el montaje de la ferralla en el lugar definitivo de su colocación en obra, pero no incluye el encofrado.					
Código	Ud	Descripción	Rto	Precio unit	Ipte
1		Materiales			
mt07aco020a	Ud	Separador homologado para cimentaciones.	5,000	0,13	0,65
mt07aco010g	kg	Acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, suministrado en obra en barras sin elaborar, de varios diámetros.	86,700	0,62	53,75
mt08var050	kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0,425	1,10	0,47
mt10haf010nga	m ³	Hormigón HA-25/B/20/IIa, fabricado en central.	1,050	76,88	80,72
			Subtotal materiales:		135,6
2		Equipo y maquinaria			
mq06vib020	h	Regla vibrante de 3 m.	0,335	4,66	1,56
mq06bhe010	h	Camión bomba estacionado en obra, para bombeo de hormigón. Incluso p/p de desplazamiento.	0,042	169,73	7,13
			Subtotal equipo y maquinaria:		8,69
3		Mano de obra			
mo043	h	Oficial 1ª ferrallista.	0,550	18,42	10,13

mo090	h	Ayudante ferrallista.	0,825	17,25	14,23
mo045	h	Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,009	18,42	0,17
mo092	h	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,121	17,25	2,09
			Subtotal mano de obra:		26,62
4		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2,000	170,90	3,42
Coste de mantenimiento decenal: 5,23€ en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3+4):		174,3

Total: $174,3 * 40m * 12m * 1m = 83664 \text{ €}$

IGD120	ud	Depósito de gas natural licuado (GNL), de superficie.				
Depósito homologado de gas natural licuado (GNL), de superficie, de chapa de acero, "LAPESA", de 2200 mm de diámetro y 16390 mm de longitud, con una capacidad de 59400 litros. Incluso boca de inspección, boca de carga, indicador de nivel, tubo buzo para toma de gas en fase líquida, valvulería, manómetro, tapón de drenaje, accesorios de conexión, borne de toma de tierra y elementos de protección según normativa. El precio no incluye la obra civil ni la toma de tierra.						
Código	Ud	Descripción	Rto	Precio unitario	Importe	
1		Materiales				
mt43dep020bqjb	Ud	Depósito homologado de gases licuados del petróleo (GLP), de superficie, de chapa de acero, "REPSOL", de 2200 mm de diámetro y 16390 mm de longitud, con una capacidad de 59400 litros. Tratamiento exterior: granallado SA 2 1/2, imprimación antioxidante y acabado con esmalte de poliuretano color blanco. Incluso boca de inspección, boca de carga, indicador de nivel magnético, tubo buzo para toma de gas en fase líquida, valvulería, manómetro, tapón de drenaje, accesorios de conexión, borne de toma de tierra y elementos de protección según normativa.	1,000	44749,00	44749,00	
			Subtotal materiales:		44749,00	
2		Equipo y maquinaria				
mq07gte010c	h	Grúa autopropulsada de brazo telescópico con una capacidad de elevación de 30 t y 27 m de altura máxima de trabajo.	1,513	66,84	101,13	
			Subtotal equipo y maquinaria:		101,13	
3		Mano de obra				
mo010	h	Oficial 1ª instalador de gas.	41,700	18,13	756,02	
mo109	h	Ayudante instalador de gas.	41,700	16,40	683,88	
			Subtotal mano de		1439,90	

			obra:		
4		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2,000	46290,03	925,80
Coste de mantenimiento decenal: 10.859,64€ en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3+4):		94431,66

Total: 5 * 94431,66 ~ **500000 €**

Total cubeto + tanques: 583664 €

8.3. Cargadero de camiones

EHS0 10	m³	Pilar rectangular o cuadrado de hormigón armado.				
Pilar de sección rectangular o cuadrada de hormigón armado, de 40x40 cm de sección media, realizado con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central, y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 120 kg/m³; montaje y desmontaje de sistema de encofrado, con acabado tipo industrial para revestir, en planta de hasta 3 m de altura libre, formado por: superficie encofrante de chapas metálicas, amortizables en 50 usos y estructura soporte vertical de puntales metálicos, amortizables en 150 usos. Incluso berenjenos, alambre de atar, separadores y líquido desencofrante para evitar la adherencia del hormigón al encofrado. El precio incluye la elaboración de la ferralla (corte, doblado y conformado de elementos) en taller industrial y el montaje en el lugar definitivo de su colocación en obra.						
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe	
1		Materiales				
mt07sep010ac	Ud	Separador homologado de plástico para armaduras de pilares de varios diámetros.	12,000	0,07	0,84	
mt07aco010c	kg	Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, de varios diámetros.	120,000	0,81	97,20	
mt08var050	kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0,600	1,10	0,66	
mt08eup010a	m²	Chapa metálica de 50x50 cm, para encofrado de pilares de hormigón armado de sección rectangular o cuadrada, de hasta 3 m de altura, incluso accesorios de montaje.	0,240	48,00	11,52	
mt50spa081a	Ud	Puntal metálico telescópico, de hasta 3 m de altura.	0,074	13,37	0,99	
mt08var040a	Ud	Berenjeno de PVC, de varias dimensiones y 2500 mm de longitud.	10,000	0,35	3,50	
mt08dba010b	l	Agente desmoldeante, a base de aceites especiales, emulsionable en agua para encofrados metálicos, fenólicos o de madera.	0,300	1,98	0,59	
mt10haf010nga	m³	Hormigón HA-25/B/20/IIa, fabricado en central.	1,050	76,88	80,72	
			Subtotal materiales:		196,02	

2		Mano de obra			
mo044	h	Oficial 1ª encofrador.	3,613	18,42	66,55
mo091	h	Ayudante encofrador.	4,129	17,25	71,23
mo043	h	Oficial 1ª ferrallista.	0,680	18,42	12,53
mo090	h	Ayudante ferrallista.	0,680	17,25	11,73
mo045	h	Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,364	18,42	6,70
mo092	h	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	1,467	17,25	25,31
			Subtotal mano de obra:		194,05
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2,000	390,07	7,80
			Costes directos (1+2+3):		397,87

Total: $3 * 0,4m * 0,4m * 8m = 1536 \text{ €}$

EAT030	kg	Acero en correas metálicas.			
Acero S275JR en correas metálicas, con piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, HEB, HEA, HEM o UPN, acabado con imprimación antioxidante y colocado en obra con soldadura .					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		Materiales			
mt07ala245a	kg	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, para correa formada por pieza simple, de perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, HEB, HEA, HEM y UPN, acabado con imprimación antioxidante, trabajado en taller, para colocar en obra mediante soldadura.	1,000	0,84	0,84
			Subtotal materiales:		0,84
2		Equipo y maquinaria			
mq08sol10	h	Equipo de oxicorte, con acetileno como combustible y oxígeno como comburente.	0,045	7,36	0,33
			Subtotal equipo y maquinaria:		0,33
3		Mano de obra			
mo047	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0,030	18,42	0,55
mo094	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,030	17,25	0,52
			Subtotal mano de obra:		1,07
4		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2,000	2,24	0,04
Coste de mantenimiento decenal: 0,11€ en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3+4):		2,28

Total: (2400 kg + 9500 kg)*2,28 = **27132 €**

Total Cargadero: 28668 €

8.4. Puesto de Control

EHS010	m³	Pilar rectangular o cuadrado de hormigón armado.				
Pilar de sección rectangular o cuadrada de hormigón armado, de 25x30 cm de sección media, realizado con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central, y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 120 kg/m³; montaje y desmontaje de sistema de encofrado, con acabado tipo industrial para revestir, en planta de hasta 3 m de altura libre, formado por: superficie encofrante de chapas metálicas, amortizables en 50 usos y estructura soporte vertical de puntales metálicos, amortizables en 150 usos. Incluso berenjenos, alambre de atar, separadores y líquido desencofrante para evitar la adherencia del hormigón al encofrado. El precio incluye la elaboración de la ferralla (corte, doblado y conformado de elementos) en taller industrial y el montaje en el lugar definitivo de su colocación en obra.						
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe	
1		Materiales				
mt07sep010ac	Ud	Separador homologado de plástico para armaduras de pilares de varios diámetros.	12,000	0,07	0,84	
mt07aco010c	kg	Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, de varios diámetros.	120,000	0,81	97,20	
mt08var050	kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0,600	1,10	0,66	
mt08eup010a	m²	Chapa metálica de 50x50 cm, para encofrado de pilares de hormigón armado de sección rectangular o cuadrada, de hasta 3 m de altura, incluso accesorios de montaje.	0,352	48,00	16,90	
mt50spa081a	Ud	Puntal metálico telescópico, de hasta 3 m de altura.	0,109	13,37	1,46	
mt08var040a	Ud	Berenjeno de PVC, de varias dimensiones y 2500 mm de longitud.	21,300	0,35	7,46	
mt08dba010b	l	Agente desmoldeante, a base de aceites especiales, emulsionable en agua para encofrados metálicos, fenólicos o de madera.	0,440	1,98	0,87	
mt10haf010nga	m³	Hormigón HA-25/B/20/IIa, fabricado en central.	1,050	76,88	80,72	
			Subtotal materiales:		206,11	

2		Mano de obra			
mo044	h	Oficial 1ª encofrador.	5,299	18,42	97,61
mo091	h	Ayudante encofrador.	6,056	17,25	104,47
mo043	h	Oficial 1ª ferrallista.	0,680	18,42	12,53
mo090	h	Ayudante ferrallista.	0,680	17,25	11,73
mo045	h	Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,364	18,42	6,70
mo092	h	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	1,467	17,25	25,31
			Subtotal mano de obra:		258,35
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2,000	464,46	9,29
			Costes directos (1+2+3):		473,75

Total: $4 * 0,25\text{m} * 0,25\text{ m} * 3\text{m} * 473,75 = 355,32 \text{ €}$

FEF01	m²	Muro de carga de fábrica de ladrillo cerámico.				
Muro de carga de 11,5 cm de espesor de fábrica de ladrillo cerámico perforado (panal) , para revestir, 24x11,5x9 cm , resistencia a compresión 5 N/mm² , recibida con mortero de cemento industrial, color gris, M-5 , suministrado a granel. El precio no incluye los zunchos horizontales ni la formación de los dinteles de los huecos del paramento.						
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe	
1		Materiales				
mt04lpv010b	Ud	Ladrillo cerámico perforado (panal), para revestir, 24x11,5x9 cm, resistencia a compresión 5 N/mm², según UNE-EN 771-1.	43,050	0,17	7,32	
mt08aaa010	m³	Agua.	0,006	1,50	0,01	
mt09mif010cb	t	Mortero industrial para albañilería, de cemento, color gris, categoría M-5 (resistencia a compresión 5 N/mm²), suministrado a granel, según UNE-EN 998-2.	0,034	29,50	1,00	
			Subtotal materiales:		8,33	
2		Equipo y maquinaria				
mq06mms010	h	Mezclador continuo con silo, para mortero industrial en seco, suministrado a granel.	0,128	1,73	0,22	
			Subtotal equipo y maquinaria:		0,22	
3		Mano de obra				
mo021	h	Oficial 1ª construcción en trabajos de albañilería.	0,495	17,54	8,68	
mo114	h	Peón ordinario construcción en trabajos de albañilería.	0,495	16,16	8,00	
			Subtotal mano de obra:		16,68	
4		Costes directos complementarios				
	%	Costes directos complementarios	2,000	25,23	0,50	
Coste de mantenimiento decenal: 1,29€ en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3+4):		25,73	

Total: 25,73 * 2 * (7+9) * 0,115 = **100 €**

CSL010	m³	Losa de cimentación.			
Losa de cimentación de hormigón armado, realizada con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central, y vertido con bomba , y acero UNE-EN 10080 B 500 S , con una cuantía aproximada de 85 kg/m³ ; acabado superficial liso mediante regla vibrante . Incluso armaduras para formación de foso de ascensor, refuerzos, pliegues, encuentros, arranques y esperas en muros, escaleras y rampas, cambios de nivel, alambre de atar, y separadores . El precio incluye la elaboración y el montaje de la ferralla en el lugar definitivo de su colocación en obra, pero no incluye el encofrado.					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		Materiales			
mt07aco020a	Ud	Separador homologado para cimentaciones.	5,000	0,13	0,65
mt07aco010g	kg	Acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, suministrado en obra en barras sin elaborar, de varios diámetros.	86,700	0,62	53,75
mt08var050	kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0,425	1,10	0,47
mt10haf010nga	m³	Hormigón HA-25/B/20/IIa, fabricado en central.	1,050	76,88	80,72
			Subtotal materiales:		135,59
2		Equipo y maquinaria			
mq06vib020	h	Regla vibrante de 3 m.	0,335	4,66	1,56
mq06bhe010	h	Camión bomba estacionado en obra, para bombeo de hormigón. Incluso p/p de desplazamiento.	0,042	169,73	7,13
			Subtotal equipo y maquinaria:		8,69
3		Mano de obra			
mo043	h	Oficial 1ª ferrallista.	0,550	18,42	10,13
mo090	h	Ayudante ferrallista.	0,825	17,25	14,23
mo045	h	Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,009	18,42	0,17
mo092	h	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta	0,121	17,25	2,09

		en obra del hormigón.			
			Subtotal mano de obra:		26,62
4		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2,000	170,90	3,42
Coste de mantenimiento decenal: 5,23€ en los primeros 10 años.			Costes (1+2+3+4):	directos	174,32

Total: $174,32 * 7m * 9m * 0,2m = 2200€$

RSP01 1	m²	Solado de piedra natural con mortero de cemento como material de agarre.				
Solado de baldosas de mármol Crema Levante , para interiores, 60x30x2 cm, acabado pulido , recibidas con mortero de cemento M-5 y rejuntadas con mortero de juntas cementoso, CG1 , para junta mínima (entre 1,5 y 3 mm) , con la misma tonalidad de las piezas.						
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe	
1		Materiales				
mt09mor010c	m³	Mortero de cemento CEM II/B-P 32,5 N tipo M-5, confeccionado en obra con 250 kg/m³ de cemento y una proporción en volumen 1/6.	0,032	115,30	3,69	
mt18bmn010nha	m²	Baldosa de mármol nacional, Crema Levante pulido, 60x30x2 cm, según UNE-EN 12058.	1,050	20,07	21,07	
mt09mcr060c	kg	Mortero de juntas cementoso, CG1, para junta mínima entre 1,5 y 3 mm, según UNE-EN 13888.	0,150	0,70	0,11	
			Subtotal materiales:		24,87	
2		Mano de obra				
mo023	h	Oficial 1ª solador.	0,314	17,54	5,51	
mo061	h	Ayudante	0,314	16,43	5,16	

		solador.			
			Subtotal mano de obra:		10,67
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2,000	35,54	0,71
Coste de mantenimiento decenal: 3,26€ en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3):		36,25

Total: $36,25 * 7m * 9m = 2283,8 \text{ €}$

Total Puesto de Control: 5000 €

8.5. Cimentaciones

CSV010	m³	Zapata corrida de cimentación de hormigón armado (cargadero).				
Zapata corrida de cimentación , de hormigón armado, realizada en excavación previa, con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central, y vertido desde camión , y acero UNE-EN 10080 B 500 S , con una cuantía aproximada de 100 kg/m³ . Incluso armaduras de espera de los pilares u otros elementos, alambre de atar, y separadores . El precio incluye la elaboración de la ferralla (corte, doblado y conformado de elementos) en taller industrial y el montaje en el lugar definitivo de su colocación en obra, pero no incluye el encofrado.						
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe	
1		Materiales				
mt07aco020a	Ud	Separador homologado para cimentaciones.	7,000	0,13	0,91	
mt07aco010c	kg	Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, de varios diámetros.	100,000	0,81	81,00	
mt08var050	kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0,400	1,10	0,44	
mt10haf010nga	m³	Hormigón HA-25/B/20/IIa, fabricado en central.	1,100	76,88	84,57	
			Subtotal materiales:		166,92	
2		Mano de obra				
mo043	h	Oficial 1ª ferrallista.	0,162	18,42	2,98	
mo090	h	Ayudante ferrallista.	0,162	17,25	2,79	
mo045	h	Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,051	18,42	0,94	
mo092	h	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,253	17,25	4,36	
			Subtotal mano de obra:		11,07	
3		Costes directos complementarios				
	%	Costes directos complementarios	2,000	177,99	3,56	

Coste de mantenimiento decenal: 5,45€ en los primeros 10 años.	Costes directos (1+2+3):	181,55
--	------------------------------------	--------

Total: $25\text{m} * 1,5\text{m} * 0,5\text{m} * 181,55 = 3405 \text{ €}$

CSZ01 5	m³	Zapata de cimentación de hormigón en masa.			
Zapata de cimentación de hormigón en masa, realizada con hormigón HM-20/B/20/I fabricado en central y vertido desde camión . El precio no incluye el encofrado.					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		Materiales			
mt10hmf010Mm	m³	Hormigón HM-20/B/20/I, fabricado en central.	1,100	73,13	80,44
			Subtotal materiales:		80,44
2		Mano de obra			
mo045	h	Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,051	18,42	0,94
mo092	h	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,253	17,25	4,36
			Subtotal mano de obra:		5,30
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2,000	85,74	1,71
Coste de mantenimiento decenal: 2,62€ en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3):		87,45

Total: $87,45 * 6 * 2m * 1m * 0,5m = 524,7 \text{ €}$

Total Cimentaciones: 4000 €

8.6. Urbanización

UVT020	m	Vallado de parcela, de malla electrosoldada.			
Vallado de parcela formado por panel de malla electrosoldada, de 50x50 mm de paso de malla y 4 mm de diámetro, acabado galvanizado , con bastidor de perfil hueco de acero galvanizado de sección 20x20x1,5 mm y postes de perfil hueco de acero galvanizado, de sección cuadrada 40x40x1,5 mm, separados 2 m entre sí y empotrados en dados de hormigón o muretes de fábrica u hormigón . Incluye los zunchos.					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		Materiales			
mt52vse010a	m²	Panel de malla electrosoldada, de 50x50 mm de paso de malla y 4 mm de diámetro, acabado galvanizado.	1,000	6,25	6,25
mt52vpm020a	Ud	Poste de perfil hueco de acero galvanizado, de sección cuadrada 40x40x1,5 mm y 1 m de altura.	0,550	3,52	1,94
mt52vpm010a	m	Perfil hueco de acero galvanizado, de sección cuadrada 20x20x1,5 mm.	3,000	1,65	4,95
mt10hmf010Mm	m³	Hormigón HM-20/B/20/I, fabricado en central.	0,015	73,13	1,10
			Subtotal materiales:		14,24
2		Mano de obra			
mo087	h	Ayudante construcción de obra civil.	0,101	16,43	1,66
mo018	h	Oficial 1ª cerrajero.	0,303	17,82	5,40
mo059	h	Ayudante cerrajero.	0,303	16,49	5,00
			Subtotal mano de obra:		12,06
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	3,000	26,30	0,79
Coste de mantenimiento decenal: 4,61€ en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3):		27,09

Total: 27,09 * 400m = **10836 €**

UVP010	Ud	Puerta cancela en vallado de parcela.					
Puerta cancela metálica de carpintería metálica, de una hoja abatible, dimensiones 300x200 cm, para acceso de vehículos, apertura manual.							
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe		
1		Materiales					
mt10hmf010Nm	m³	Hormigón HM-25/B/20/I, fabricado en central.	0,090	74,87	6,74		
mt08aaa010a	m³	Agua.	0,020	1,50	0,03		
mt09mif010ca	t	Mortero industrial para albañilería, de cemento, color gris, categoría M-5 (resistencia a compresión 5 N/mm²), suministrado en sacos, según UNE-EN 998-2.	0,113	32,25	3,64		
mt26vpc010a	m²	Puerta cancela metálica en valla exterior, para acceso de vehículos, una hoja abatible, carpintería metálica con bisagras o anclajes metálicos laterales de los bastidores, armadura portante de la cancela, elementos de anclaje, herrajes de seguridad y cierre, acabado con imprimación antioxidante y accesorios. Según UNE-EN 13241-1.	6,000	358,51	2151,06		
			Subtotal materiales:		2161,47		
2		Mano de obra					
mo041	h	Oficial 1ª construcción de obra civil.	3,328	17,54	58,37		
mo087	h	Ayudante construcción de obra civil.	3,630	16,43	59,64		
mo018	h	Oficial 1ª cerrajero.	1,089	17,82	19,41		
mo059	h	Ayudante cerrajero.	1,089	16,49	17,96		
			Subtotal mano obra:		155,38		
3	%	Costes directos complementarios	2,000	2316,8	46,34		
Coste de mantenimiento decenal: 330,85€ en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3):		2363,19		

Total: 2 * 2363,2 = **4726,4 €**

UJP010	Ud	Árbol.				
Mimosa plateada (Acacia dealbata), suministrado en contenedor.						
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe	
1		Materiales				
mt48cap010a	Ud	Mimosa plateada (Acacia dealbata) de 12 a 14 cm de perímetro de tronco a 1 m del suelo, suministrado en contenedor de 50 litros, D=50 cm.	1,000	128,00	128,00	
mt48tie030a	m³	Tierra vegetal cribada, suministrada a granel.	0,100	23,70	2,37	
mt48tie020	kg	Abono mineral complejo NPK 15-15-15.	0,010	0,75	0,01	
mt08aaa010a	m³	Agua.	0,040	1,50	0,06	
			Subtotal materiales:		130,44	
2		Equipo y maquinaria				
mq01exn020a	h	Retroexcavadora hidráulica sobre neumáticos, de 105 kW.	0,050	46,24	2,31	
mq04dua020b	h	Dumper de descarga frontal de 2 t de carga útil.	0,050	9,25	0,46	
			Subtotal equipo y maquinaria:		2,77	
3		Mano de obra				
mo040	h	Oficial 1ª jardinero.	0,151	17,54	2,65	
mo115	h	Peón jardinero.	0,302	16,16	4,88	
			Subtotal mano de obra:		7,53	
4		Costes directos complementarios				
	%	Costes directos complementarios	2,000	140,74	2,81	
Coste de mantenimiento decenal: 134,94€ en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3+4):		143,55	

Total: 143,55 * 11 = **1600 €**

UXC010	m²	Pavimento continuo de hormigón impreso, para exteriores.				
Pavimento continuo de hormigón impreso, con juntas, de 10 cm de espesor, realizado con hormigón HM-20/P/20/I fabricado en central y vertido desde camión, extendido y vibrado manual ; acabado impreso en relieve y tratado superficialmente con mortero decorativo de rodadura para pavimento de hormigón color blanco , rendimiento 4,5 kg/m² ; desmoldeante en polvo color burdeos y capa de sellado final con resina impermeabilizante .						
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe	
1		Materiales				
mt10hmf010 Mp	m³	Hormigón HM-20/P/20/I, fabricado en central.	0,105	69,13	7,26	
mt09wnc011 ca	kg	Mortero decorativo de rodadura para pavimento de hormigón color blanco, compuesto de cemento, áridos de sílice, aditivos orgánicos y pigmentos.	4,500	0,45	2,03	
mt09wnc020f	kg	Desmoldeante en polvo color burdeos, aplicado en pavimentos continuos de hormigón impreso, compuesto de cargas, pigmentos y aditivos orgánicos.	0,200	3,71	0,74	
mt09wnc030 a	kg	Resina impermeabilizante, para el curado y sellado de pavimentos continuos de hormigón impreso, compuesta de resina sintética en dispersión acuosa y aditivos específicos.	0,250	4,28	1,07	
			Subtotal materiales:		11,10	
2		Equipo y maquinaria				
mq06vib020	h	Regla vibrante de 3 m.	0,016	4,66	0,07	
mq08lch040	h	Hidrolimpiadora a presión.	0,151	4,59	0,69	
			Subtotal equipo y maquinaria:		0,76	
3		Mano de obra				
mo041	h	Oficial 1ª construcción de obra civil.	0,262	17,54	4,60	
mo087	h	Ayudante construcción de obra civil.	0,417	16,43	6,85	
			Subtotal mano de obra:		11,45	
4		Costes directos complementarios				

	%	Costes directos complementarios	2,000	23,31	0,47
Coste de mantenimiento decenal: 2,62€ en los primeros 10 años.			Costes (1+2+3+4):	directos	23,78

Total: $23,78 * 100 * 100 = 237800 \text{ €}$

Total Urbanización: 254962,4 €

8.7. Rack de tuberías

EAV010	kg	Acero en vigas.				
Acero S275JR en vigas, con piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, UPN, HEA, HEB o HEM con uniones soldadas.						
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe	
1		Materiales				
mt07ala010h	kg	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales.	1,050	0,99	1,04	
mt27pfi010	l	Imprimación de secado rápido, formulada con resinas alquídicas modificadas y fosfato de zinc.	0,050	4,80	0,24	
			Subtotal materiales:		1,28	
2		Equipo y maquinaria				
mq08sol020	h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	0,015	3,09	0,05	
			Subtotal equipo y maquinaria:		0,05	
3		Mano de obra				
mo047	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0,020	18,42	0,37	
mo094	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,020	17,25	0,35	
			Subtotal mano de obra:		0,72	
4		Costes directos complementarios				
	%	Costes directos complementarios	2,000	2,05	0,04	
Coste de mantenimiento decenal: 0,06€ en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3+4):		2,09	

Total: $2,09 * 6 * 54\text{kg} = 677,2 \text{ €}$

IGM005	m	Tubería para instalación común de gas.			
Tubería para instalación común de gas, colocada superficialmente , formada por tubo de acero inoxidable con soldadura, de 12 mm de diámetro .					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		Materiales			
mt08tai400a	Ud	Material auxiliar para montaje y sujeción a la obra de las tuberías de acero inoxidable con soldadura, de 12 mm de diámetro.	1,000	0,09	0,09
mt08tai010ad	m	Tubo de acero inoxidable con soldadura, de 12 mm de diámetro y 0,6 mm de espesor (12x0,6), según UNE 19049-1, con el precio incrementado el 15% en concepto de accesorios y piezas especiales.	1,000	2,07	2,07
			Subtotal materiales:		2,16
2		Mano de obra			
mo010	h	Oficial 1ª instalador de gas.	0,151	18,13	2,74
mo109	h	Ayudante instalador de gas.	0,151	16,40	2,48
			Subtotal mano de obra:		5,22
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2,000	7,38	0,15
Coste de mantenimiento decenal: 0,68€ en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3):		7,53

Total: $(7,53 * 60 * 2) * 1,5 = 1350 \text{ €}$

Total Rack de tuberías: 2030 €

8.8. Instalación eléctrica

IEP010	Ud	Red de toma de tierra para estructura de cargadero de camiones y cubeto.				
Red de toma de tierra para estructura de hormigón del edificio con 90 m de conductor de cobre desnudo de 35 mm² y 2 picas.						
Código	Ud	Descripción	Rto	Precio unitario	Importe	
1		Materiales				
mt35tc010b	m	Conductor de cobre desnudo, de 35 mm².	90,000	2,81	252,90	
mt35te010b	Ud	Electrodo para red de toma de tierra cobreado con 300 µm, fabricado en acero, de 15 mm de diámetro y 2 m de longitud.	2,000	18,00	36,00	
mt35ts010b	Ud	Soldadura aluminotérmica del cable conductor a redondo.	6,000	4,13	24,78	
mt35ta020	Ud	Punto de separación pica-cable formado por cruceta en la cabeza del electrodo de la pica y pletina de 50x30x7 mm, para facilitar la soldadura aluminotérmica.	2,000	15,46	30,92	
mt35www020	Ud	Material auxiliar para instalaciones de toma de tierra.	1,000	1,15	1,15	
			Subtotal materiales:		345,75	
2		Mano de obra				
mo003	h	Oficial 1ª electricista.	3,412	18,13	61,86	
mo102	h	Ayudante electricista.	3,412	16,40	55,96	
			Subtotal mano de obra:		117,82	
3		Costes directos complementarios				
	%	Costes directos complementarios	2,000	463,57	9,27	
Coste de mantenimiento decenal: 9,46€ en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3):		472,84	

Total: 2*472,84 = **945,68 €**

IEP02 1	Ud	Toma de tierra con pica para centro de transformación y puesto de control.			
Toma de tierra con una pica de acero cobreado de 2 m de longitud . El precio no incluye la excavación ni el relleno del trasdós.					
Código	Ud	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		Materiales			
mt35tte010b	Ud	Electrodo para red de toma de tierra cobreado con 300 µm, fabricado en acero, de 15 mm de diámetro y 2 m de longitud.	1,0 00	18,00	18,00
mt35tte010b	m	Conductor de cobre desnudo, de 35 mm².	0,2 50	2,81	0,70
mt35tta040	Ud	Grapa abarcón para conexión de pica.	1,0 00	1,00	1,00
mt35tta010	Ud	Arqueta de polipropileno para toma de tierra, de 300x300 mm, con tapa de registro.	1,0 00	74,00	74,00
mt35tta030	Ud	Puente para comprobación de puesta a tierra de la instalación eléctrica.	1,0 00	46,00	46,00
mt35tta060	Ud	Saco de 5 kg de sales minerales para la mejora de la conductividad de puestas a tierra.	0,3 33	3,50	1,17
mt35www020	Ud	Material auxiliar para instalaciones de toma de tierra.	1,0 00	1,15	1,15
			Subtotal materiales:		142,02
2		Mano de obra			
mo003	h	Oficial 1ª electricista.	0,251	18,13	4,55
mo102	h	Ayudante electricista.	0,251	16,40	4,12
mo113	h	Peón ordinario construcción.	0,001	16,16	0,02
			Subtotal mano de obra:		8,69
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2,000	150,71	3,01

Coste de mantenimiento decenal: 3,07€ en los primeros 10 años.	Costes directos (1+2+3):	153,72
--	------------------------------------	--------

Total: $2 \times 153,72 = 307,44$ €

IEO010	m	Canalización.			
Suministro e instalación fija en superficie de canalización de tubo de PVC, serie B, de 32 mm de diámetro y 3 mm de espesor. Incluso accesorios y piezas especiales.					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		Materiales			
mt36tie010ac	m	Tubo de PVC, serie B, de 32 mm de diámetro y 3 mm de espesor, con extremo abocardado, según UNE-EN 1329-1, con el precio incrementado el 10% en concepto de accesorios y piezas especiales.	1,000	1,49	1,49
			Subtotal materiales:		1,49
2		Mano de obra			
mo003	h	Oficial 1ª electricista.	0,047	18,13	0,85
mo102	h	Ayudante electricista.	0,050	16,40	0,82
			Subtotal mano de obra:		1,67
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2,000	3,16	0,06
Coste de mantenimiento decenal: 0,16€ en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3):		3,22

Total: 50 * 3,22 = 161 €

IEH01 5	m	Cable eléctrico para baja tensión "PRYSMIAN GROUP".			
Cable eléctrico multiconductor, Afumex Class Expo (AS) "PRYSMIAN", para servicios móviles, tipo H07ZZ-F (AS), tensión nominal 450/750 V, de alta seguridad en caso de incendio (AS), reacción al fuego clase Cca-s1b,d1,a1, con conductores de cobre recocido, flexible (clase 5), de 3G1,5 mm ² de sección, aislamiento de elastómero reticulado, cubierta de poliolefina reticulada, de tipo Afumex, de color gris con banda verde.					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		Materiales			
mt35pry016e	m	Cable eléctrico multiconductor, Afumex Class Expo (AS) "PRYSMIAN", para servicios móviles, tipo H07ZZ-F (AS), tensión nominal 450/750 V, de alta seguridad en caso de incendio (AS), reacción al fuego clase Cca-s1b,d1,a1, con conductores de cobre recocido, flexible (clase 5), de 3G1,5 mm ² de sección, aislamiento de elastómero reticulado, cubierta de poliolefina reticulada, de tipo Afumex, de color gris con banda verde, de alta seguridad, para servicios móviles. Según UNE-EN 50525-3-21.	1,000	2,00	2,00
			Subtotal materiales:		2,00
2		Mano de obra			
mo003	h	Oficial 1ª electricista.	0,021	18,13	0,38
mo102	h	Ayudante electricista.	0,021	16,40	0,34
			Subtotal mano de obra:		0,72
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2,000	2,72	0,05
Coste de mantenimiento decenal: 0,14€ en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3):		2,77

Total: $100 * 2,77 = 277€$

IEG010	Ud	Centralización de contadores.				
Centralización de contadores en cuarto de contadores formada por: módulo de interruptor general de maniobra de 160 A ; 1 módulo de embarrado general; 1 módulo de fusibles de seguridad; 1 módulo de contadores monofásicos; 1 módulo de contadores trifásicos; módulo de servicios generales con seccionamiento ; módulo de reloj conmutador para cambio de tarifa y 1 módulo de embarrado de protección, bornes de salida y conexión a tierra.						
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe	
1		Materiales				
mt35con050a	Ud	Módulo de interruptor general de maniobra de 160 A (III+N), homologado por la empresa suministradora. Incluso cableado y accesorios para formar parte de la centralización de contadores.	1,000	135,23	135,23	
mt35con080	Ud	Módulo de embarrado general, homologado por la empresa suministradora. Incluso pletinas de cobre, cortacircuitos, cableado y accesorios para formar parte de la centralización de contadores.	1,000	106,02	106,02	
mt35con070	Ud	Módulo de fusibles de seguridad, homologado por la empresa suministradora. Incluso fusibles, cableado y accesorios para formar parte de la centralización de contadores.	1,000	70,62	70,62	
mt35con040b	Ud	Módulo de servicios generales con módulo de fraccionamiento y seccionamiento, homologado por la empresa suministradora. Incluso cableado y accesorios para formar parte de la centralización de contadores.	1,000	107,58	107,58	
mt35con010a	Ud	Módulo para ubicación de tres contadores monofásicos, homologado por la empresa suministradora. Incluso cableado y accesorios para formar parte de la centralización de contadores.	1,000	61,30	61,30	
mt35con010b	Ud	Módulo para ubicación de tres contadores trifásicos, homologado por la empresa suministradora. Incluso cableado y accesorios para formar parte de la centralización de contadores.	1,000	75,13	75,13	
mt35con020	Ud	Módulo de reloj conmutador para doble tarifa, homologado por la empresa suministradora. Incluso cableado y accesorios para formar parte de	1,000	59,50	59,50	

		la centralización de contadores.			
mt35con060	Ud	Módulo de bornes de salida y puesta a tierra, homologado por la empresa suministradora. Incluso carril, bornes, cableado y accesorios para formar parte de la centralización de contadores.	1,000	81,14	81,14
mt35www010	Ud	Material auxiliar para instalaciones eléctricas.	1,000	1,48	1,48
			Subtotal materiales:		698,00
2		Mano de obra			
mo003	h	Oficial 1ª electricista.	3,159	18,13	57,27
mo102	h	Ayudante electricista.	3,159	16,40	51,81
			Subtotal mano de obra:		109,08
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2,000	807,08	16,14
Coste de mantenimiento decenal: 41,16€ en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3):		823,22

Total: **823,22 €**

IEI01	Ud	Red de distribución interior en puesto de control.				
5						
Red eléctrica de distribución interior de una oficina con electrificación elevada , con las siguientes estancias: acceso, vestíbulo, pasillo, dos despachos senillos, baño, aseo, cocina, galería, terraza , compuesta de: cuadro general de mando y protección ; circuitos interiores con cableado bajo tubo protector: C1, C2, C3, C4, C5, C7, del tipo C2, C12 del tipo C5, 1 circuito para alumbrado de emergencia en garaje ; mecanismos gama básica (tecla o tapa y marco: blanco; embellecedor: blanco) .						
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe	
1		Materiales				
mt35cgm040m	Ud	Caja empotrable con puerta opaca, para alojamiento del interruptor de control de potencia (ICP) en compartimento independiente y precintable y de los interruptores de protección de la instalación, 1 fila de 4 módulos (ICP) + 2 filas de 24 módulos. Fabricada en ABS autoextinguible, con grado de protección IP40, doble aislamiento (clase II), color blanco RAL 9010. Según UNE-EN 60670-1.	1,000	27,98	27,98	
mt35cgm021abbal	Ud	Interruptor general automático (IGA), de 2 módulos, bipolar (2P), con 6 kA de poder de corte, de 40 A de intensidad nominal, curva C, incluso accesorios de montaje. Según UNE-EN 60898-1.	1,000	42,07	42,07	
mt35cgm029ah	Ud	Interruptor diferencial instantáneo, 2P/40A/300mA, de 2 módulos, incluso accesorios de montaje. Según UNE-EN 61008-1.	1,000	91,27	91,27	
mt35cgm029ab	Ud	Interruptor diferencial instantáneo, 2P/40A/30mA, de 2 módulos, incluso accesorios de montaje. Según UNE-EN 61008-1.	2,000	93,73	187,46	
mt35cgm021bbbab	Ud	Interruptor automático magnetotérmico, de 2 módulos, bipolar (2P), con 6 kA de poder de corte, de 10 A de intensidad nominal, curva C, incluso accesorios de montaje. Según UNE-EN 60898-1.	1,000	12,43	12,43	

mt35cgm021bbb ad	Ud	Interruptor automático magnetotérmico, de 2 módulos, bipolar (2P), con 6 kA de poder de corte, de 16 A de intensidad nominal, curva C, incluso accesorios de montaje. Según UNE-EN 60898-1.	4,000	12,66	50,64
mt35cgm021bbb af	Ud	Interruptor automático magnetotérmico, de 2 módulos, bipolar (2P), con 6 kA de poder de corte, de 20 A de intensidad nominal, curva C, incluso accesorios de montaje. Según UNE-EN 60898-1.	1,000	13,59	13,59
mt35cgm021bbb ah	Ud	Interruptor automático magnetotérmico, de 2 módulos, bipolar (2P), con 6 kA de poder de corte, de 25 A de intensidad nominal, curva C, incluso accesorios de montaje. Según UNE-EN 60898-1.	1,000	14,08	14,08
mt35aia010a	m	Tubo curvable de PVC, corrugado, de color negro, de 16 mm de diámetro nominal, para canalización empotrada en obra de fábrica (paredes y techos). Resistencia a la compresión 320 N, resistencia al impacto 1 julio, temperatura de trabajo -5°C hasta 60°C, con grado de protección IP545 según UNE 20324, no propagador de la llama. Según UNE-EN 61386-1 y UNE-EN 61386-22.	159,360	0,26	41,43
mt35aia010b	m	Tubo curvable de PVC, corrugado, de color negro, de 20 mm de diámetro nominal, para canalización empotrada en obra de fábrica (paredes y techos). Resistencia a la compresión 320 N, resistencia al impacto 1 julio, temperatura de trabajo -5°C hasta 60°C, con grado de protección IP545 según UNE 20324, no propagador de la llama. Según UNE-EN 61386-1 y UNE-EN 61386-22.	154,380	0,29	44,77
mt35aia010c	m	Tubo curvable de PVC, corrugado, de color negro, de 25 mm de diámetro nominal, para canalización empotrada en obra de fábrica (paredes y techos). Resistencia a la compresión 320 N, resistencia al impacto 1 julio, temperatura de trabajo -5°C hasta 60°C, con grado de protección IP545 según UNE 20324, no propagador de la llama. Según UNE-EN 61386-1 y UNE-EN 61386-22.	8,300	0,39	3,24
mt35aia080aa	m	Tubo curvable, suministrado en rollo, de polietileno de doble pared (interior lisa y exterior corrugada), de color naranja, de 40 mm de diámetro nominal, para canalización enterrada, resistencia a la compresión 250 N, con grado de protección IP549 según UNE 20324. Según UNE-EN 61386-1, UNE-EN	8,300	0,88	7,30

		61386-22 y UNE-EN 50086-2-4.			
mt35caj020a	Ud	Caja de derivación para empotrar de 105x105 mm, con grado de protección normal, regletas de conexión y tapa de registro.	8,000	1,79	14,32
mt35caj020b	Ud	Caja de derivación para empotrar de 105x165 mm, con grado de protección normal, regletas de conexión y tapa de registro.	3,000	2,29	6,87
mt35caj010a	Ud	Caja universal, con enlace por los 2 lados, para empotrar.	41,000	0,17	6,97
mt35caj010b	Ud	Caja universal, con enlace por los 4 lados, para empotrar.	17,000	0,21	3,57
mt35caj011	Ud	Caja de empotrar para toma de 25 A (especial para toma de corriente en cocinas).	1,000	2,01	2,01
mt35cun040ba	m	Cable unipolar H07V-K, siendo su tensión asignada de 450/750 V, reacción al fuego clase Eca según UNE-EN 50575, con conductor multifilar de cobre clase 5 (-K) de 1,5 mm ² de sección, con aislamiento de PVC (V), para circuito C1, iluminación. Según UNE 21031-3.	450,000	0,25	112,50
mt35cun040cb	m	Cable unipolar H07V-K, siendo su tensión asignada de 450/750 V, reacción al fuego clase Eca según UNE-EN 50575, con conductor multifilar de cobre clase 5 (-K) de 2,5 mm ² de sección, con aislamiento de PVC (V), para circuito C2, tomas de corriente de uso general y frigorífico. Según UNE 21031-3.	189,000	0,40	75,60
mt35cun040dd	m	Cable unipolar H07V-K, siendo su tensión asignada de 450/750 V, reacción al fuego clase Eca según UNE-EN 50575, con conductor multifilar de cobre clase 5 (-K) de 6 mm ² de sección, con aislamiento de PVC (V), para circuito C3, cocina y horno. Según UNE 21031-3.	30,000	0,93	27,90
mt35cun040ec	m	Cable unipolar H07V-K, siendo su tensión asignada de 450/750 V, reacción al fuego clase Eca según UNE-EN 50575, con conductor multifilar de cobre clase 5 (-K) de 4 mm ² de sección, con aislamiento de PVC (V), para circuito C4, lavadora, lavavajillas y termo eléctrico. Según UNE 21031-3.	54,000	0,63	34,02

mt35cun040fb	m	Cable unipolar H07V-K, siendo su tensión asignada de 450/750 V, reacción al fuego clase Eca según UNE-EN 50575, con conductor multifilar de cobre clase 5 (-K) de 2,5 mm ² de sección, con aislamiento de PVC (V), para circuito C5, tomas de corriente de los cuartos de baño y de cocina. Según UNE 21031-3.	63,000	0,40	25,20
mt35cun040hb	m	Cable unipolar H07V-K, siendo su tensión asignada de 450/750 V, reacción al fuego clase Eca según UNE-EN 50575, con conductor multifilar de cobre clase 5 (-K) de 2,5 mm ² de sección, con aislamiento de PVC (V), para circuito C7, adicional del tipo C2, tomas de corriente de uso general y frigorífico. Según UNE 21031-3.	189,000	0,40	75,60
mt35cun040ob	m	Cable unipolar H07V-K, siendo su tensión asignada de 450/750 V, reacción al fuego clase Eca según UNE-EN 50575, con conductor multifilar de cobre clase 5 (-K) de 2,5 mm ² de sección, con aislamiento de PVC (V), para circuito C12, adicional del tipo C5, tomas de corriente de los cuartos de baño y de cocina. Según UNE 21031-3.	63,000	0,40	25,20
mt35cun040aa	m	Cable unipolar H07V-K, siendo su tensión asignada de 450/750 V, reacción al fuego clase Eca según UNE-EN 50575, con conductor multifilar de cobre clase 5 (-K) de 1,5 mm ² de sección, con aislamiento de PVC (V). Según UNE 21031-3.	126,000	0,25	31,50
mt33seg100a	Ud	Interruptor unipolar, gama básica, con tecla simple y marco de 1 elemento de color blanco y embellecedor de color blanco.	7,000	5,84	40,88
mt33seg111a	Ud	Doble interruptor, gama básica, con tecla doble y marco de 1 elemento de color blanco y embellecedor de color blanco.	2,000	8,98	17,96
mt33seg101a	Ud	Interruptor bipolar, gama básica, con tecla bipolar y marco de 1 elemento de color blanco y embellecedor de color blanco.	1,000	10,59	10,59
mt33seg102a	Ud	Conmutador, serie básica, con tecla simple y marco de 1 elemento de color blanco y embellecedor de color blanco.	12,000	6,22	74,64
mt33seg103a	Ud	Conmutador de cruce, gama básica, con tecla simple y marco de 1 elemento de color blanco y embellecedor de color blanco.	2,000	11,44	22,88

mt33seg104a	Ud	Pulsador, gama básica, con tecla con símbolo de timbre y marco de 1 elemento de color blanco y embellecedor de color blanco.	1,000	6,58	6,58
mt33seg105a	Ud	Zumbador 230 V, gama básica, con tapa y marco de 1 elemento de color blanco y embellecedor de color blanco.	1,000	20,71	20,71
mt33seg107a	Ud	Base de enchufe de 16 A 2P+T, gama básica, con tapa y marco de 1 elemento de color blanco y embellecedor de color blanco.	27,000	6,22	167,94
mt33seg127a	Ud	Base de enchufe de 16 A 2P+T, gama básica, con tapa de color blanco.	3,000	3,41	10,23
mt33seg117b	Ud	Marco horizontal de 3 elementos, gama básica, de color blanco.	1,000	6,63	6,63
mt33seg110a	Ud	Base de enchufe de 25 A 2P+T y 250 V para cocina, gama básica, con tapa y marco de 1 elemento de color blanco y embellecedor de color blanco.	1,000	11,75	11,75
mt33seg504a	Ud	Base de enchufe de 16 A 2P+T monobloc estanca, para instalación en superficie (IP55), color gris.	3,000	9,68	29,04
mt35www010	Ud	Material auxiliar para instalaciones eléctricas.	4,000	1,48	5,92
			Subtotal materiales:		1403,27
2		Mano de obra			
mo003	h	Oficial 1ª electricista.	20,096	18,13	364,34
mo102	h	Ayudante electricista.	20,096	16,40	329,57
			Subtotal mano de obra:		693,91
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2,000	2097,18	41,94
Coste de mantenimiento decenal: 106,96€ en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3):		2139,12

Total: **2139,12 €**

Total instalación eléctrica: 4700€

8.9. Protección contra incendios

IOD001	Ud	Central de detección automática de incendios, convencional.			
Central de detección automática de incendios, convencional, microprocesada, de 2 zonas de detección, con caja metálica y tapa de ABS, con módulo de alimentación, rectificador de corriente y cargador de batería, panel de control con indicador de alarma y avería y conmutador de corte de zonas. Incluso baterías.					
Código	Ud	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		Materiales			
mt41pig010	Ud	Central de detección automática de incendios, convencional, microprocesada, de 2 zonas de detección, con caja metálica y tapa de ABS, con módulo de alimentación, rectificador de corriente y cargador de batería, panel de control con indicador de alarma y avería y conmutador de corte de zonas, según UNE 23007-2 y UNE 23007-4.	1,000	195,55	195,55
mt41rte030	Ud	Batería de 12 V y 7 Ah.	2,000	20,86	41,72
			Subtotal materiales:		237,27
2		Mano de obra			
mo006	h	Oficial 1ª instalador de redes y equipos de detección y seguridad.	0,501	18,13	9,08
mo105	h	Ayudante instalador de redes y equipos de detección y seguridad.	0,501	16,40	8,22
			Subtotal mano de obra:		17,30
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos	2,000	254,57	5,09

		complementarios			
Coste de mantenimiento decenal: 612,80€ en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3):		259,66

Total: **260€**

IOB02	m	Red de distribución de agua.			
2					
Red aérea de distribución de agua para abastecimiento de los equipos de extinción de incendios, formada por tubería de acero negro con soldadura longitudinal , de 1" DN 25 mm de diámetro, unión roscada, sin calorifugar , que arranca desde la fuente de abastecimiento de agua hasta cada equipo de extinción de incendios. Incluso material auxiliar para montaje y sujeción a la obra , accesorios y piezas especiales, mano de imprimación antioxidante de al menos 50 micras de espesor, y dos manos de esmalte rojo de al menos 40 micras de espesor cada una.					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		Materiales			
mt08tan330d	Ud	Material auxiliar para montaje y sujeción a la obra de las tuberías de acero, de 1" DN 25 mm.	1,000	0,51	0,51
mt08tan010dd	m	Tubo de acero negro, con soldadura longitudinal por resistencia eléctrica, de 1" DN 25 mm de diámetro, según UNE-EN 10255, con el precio incrementado el 15% en concepto de accesorios y piezas especiales.	1,000	7,45	7,45
mt27pfi030	kg	Imprimación antioxidante con poliuretano.	0,014	9,35	0,13
mt27ess010e	kg	Esmalte sintético, color rojo RAL 3000, para aplicar sobre superficies metálicas, aspecto brillante.	0,029	7,12	0,21
			Subtotal materiales:		8,30
2		Mano de obra			
mo008	h	Oficial 1ª fontanero.	0,280	18,13	5,08
mo107	h	Ayudante fontanero.	0,305	16,40	5,00
mo038	h	Oficial 1ª pintor.	0,049	17,54	0,86
			Subtotal mano de obra:		10,94
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2,000	19,24	0,38
Coste de mantenimiento decenal: 0,98€ en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3):		19,62

Total: 100*19,62= **1962 €**

IOB02	Ud	Válvula.			
5					
Válvula de compuerta de husillo ascendente y cierre elástico, unión con bridas, de 2" de diámetro, PN=16 bar, formada por cuerpo, disco en cuña y volante de fundición dúctil y husillo de acero inoxidable.					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		Materiales			
mt41svc008a	Ud	Válvula de compuerta de husillo ascendente y cierre elástico, unión con bridas, de 2" de diámetro, PN=16 bar, formada por cuerpo, disco en cuña y volante de fundición dúctil y husillo de acero inoxidable.	1,000	195,00	195,00
			Subtotal materiales:		195,00
2		Mano de obra			
mo008	h	Oficial 1ª fontanero.	0,200	18,13	3,63
mo107	h	Ayudante fontanero.	0,200	16,40	3,28
			Subtotal mano de obra:		6,91
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2,000	201,91	4,04
Coste de mantenimiento decenal: 35,01€ en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3):		205,95

Total: 10 * 205,95 = **20595 €**

IOB040	Ud	Hidrante.			
Hidrante de columna seca de 4" DN 100 mm, con toma recta a la red, carrete de 300 mm, una boca de 4" DN 100 mm, dos bocas de 2 1/2" DN 70 mm, racores y tapones. Incluso elementos de fijación.					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		Materiales			
mt41hid010cbb	Ud	Hidrante de columna seca de 4" DN 100 mm, con toma recta a la red, carrete de 300 mm, una boca de 4" DN 100 mm, dos bocas de 2 1/2" DN 70 mm, racores y tapones. Incluso elementos de fijación. Certificado por AENOR.	1,000	888,59	888,59
			Subtotal materiales:		888,59
2		Mano de obra			
mo008	h	Oficial 1ª fontanero.	0,751	18,13	13,62
mo107	h	Ayudante fontanero.	0,751	16,40	12,32
			Subtotal mano de obra:		25,94
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2,000	914,53	18,29
Coste de mantenimiento decenal: 1.958,92€ en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3):		932,82

Total: $10 \times 932,82 = 9328,2 \text{ €}$

Total instalación de protección contra incendios: 32145,2 €

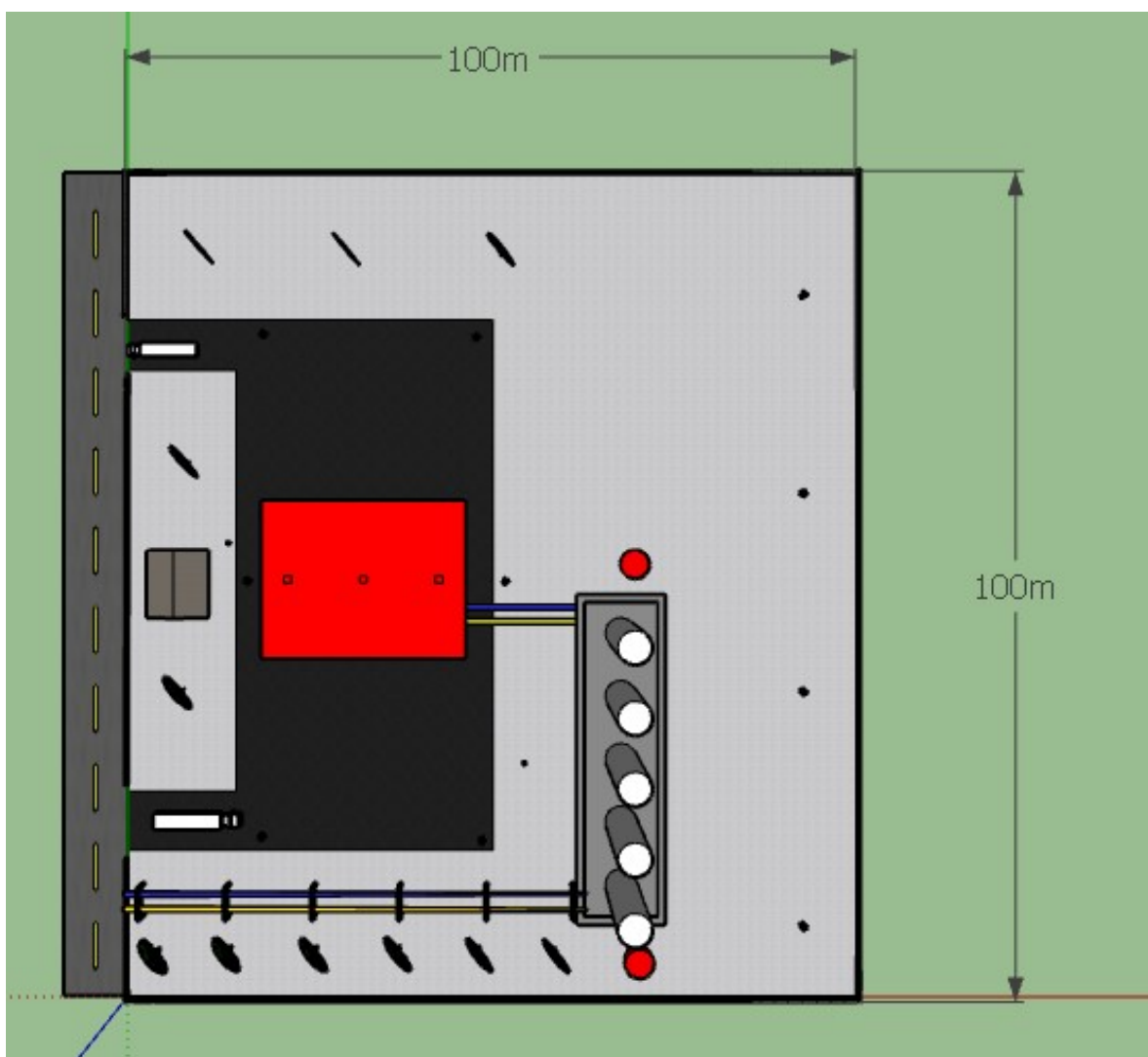
PRESUPUESTO TOTAL DE LA PLANTA: 1.430.769,6 € * 1,1 = 1.573.846,56 €

Se añade una cantidad de un diez por ciento respecto al total del presupuesto para contemplar posibles desviaciones o sobrecargos que no hayan podido contemplarse previamente a la realización del proyecto.

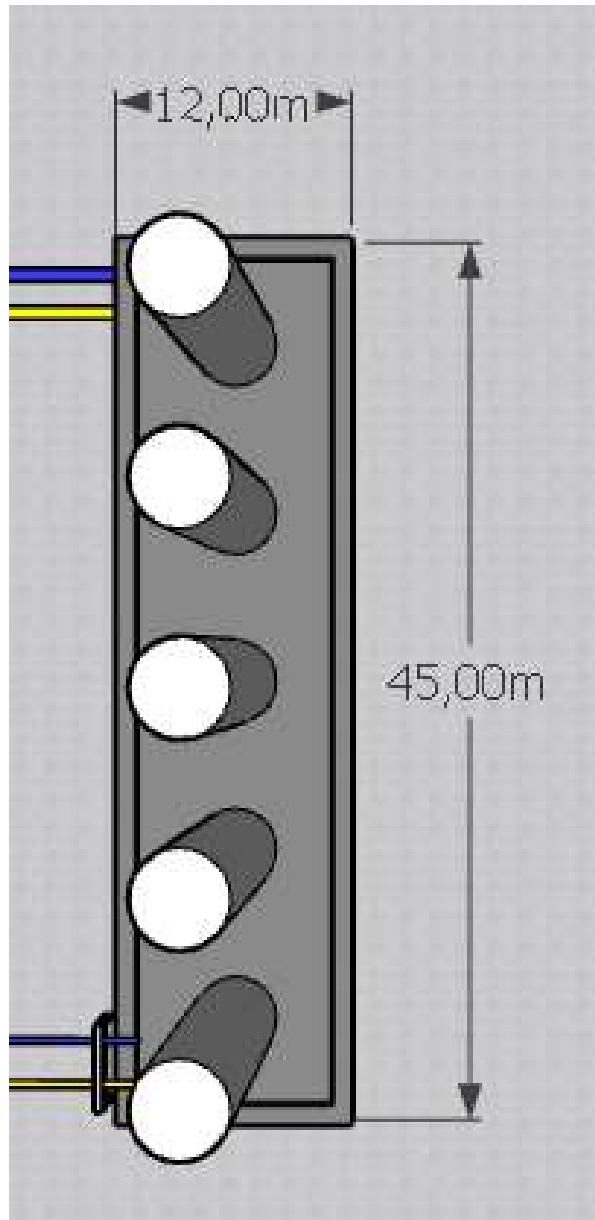
TABLA RESUMEN		
	Presupuesto (€)	Peso sobre el total (%)
Movimiento de tierras	753400,00	45,15
Cubeto + tanques	583664,00	34,98
Cargadero de camiones	28668,00	1,72
Puesto de Control	5000,00	0,32
Cimentaciones	4000,00	0,24
Urbanización	254962,40	15,28
Rack de tuberías	2030,00	0,12
Instalación eléctrica	4700,00	0,28
PCI	32145,20	1,93
TOTAL	1668569,60 €	

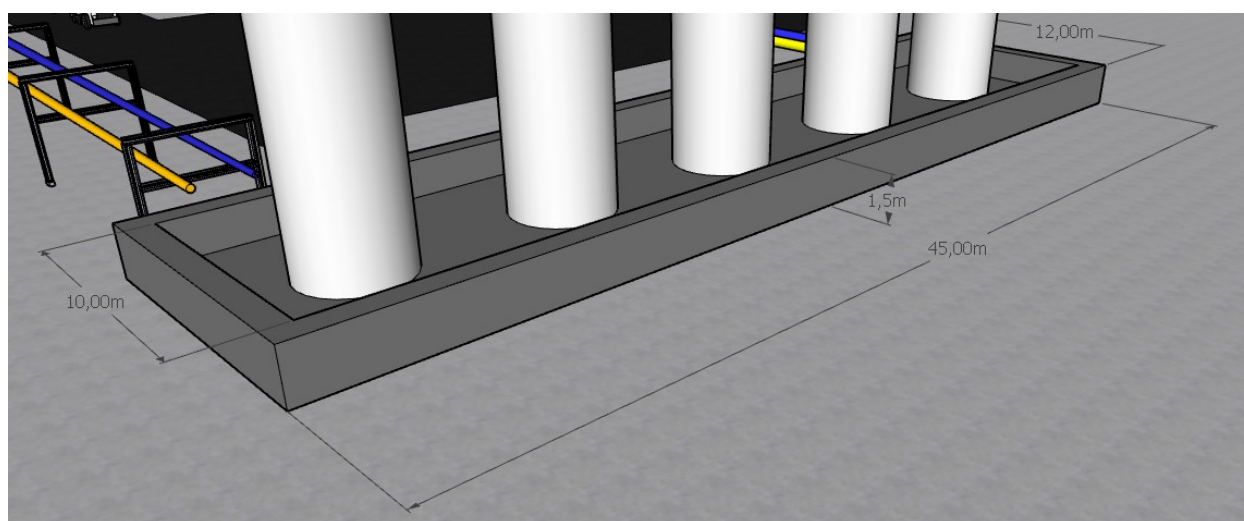
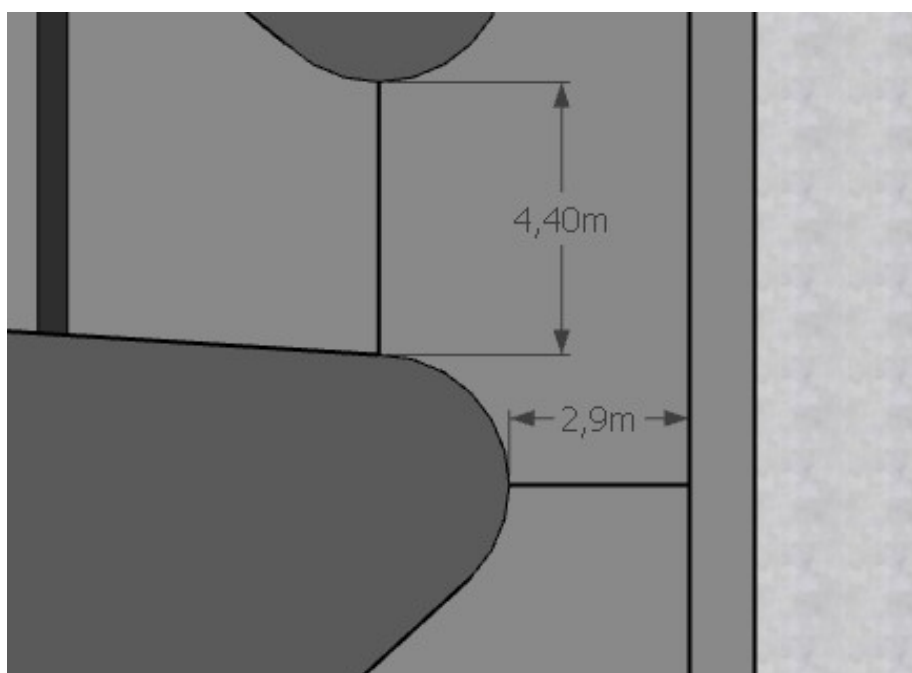
9 MODELO 3D

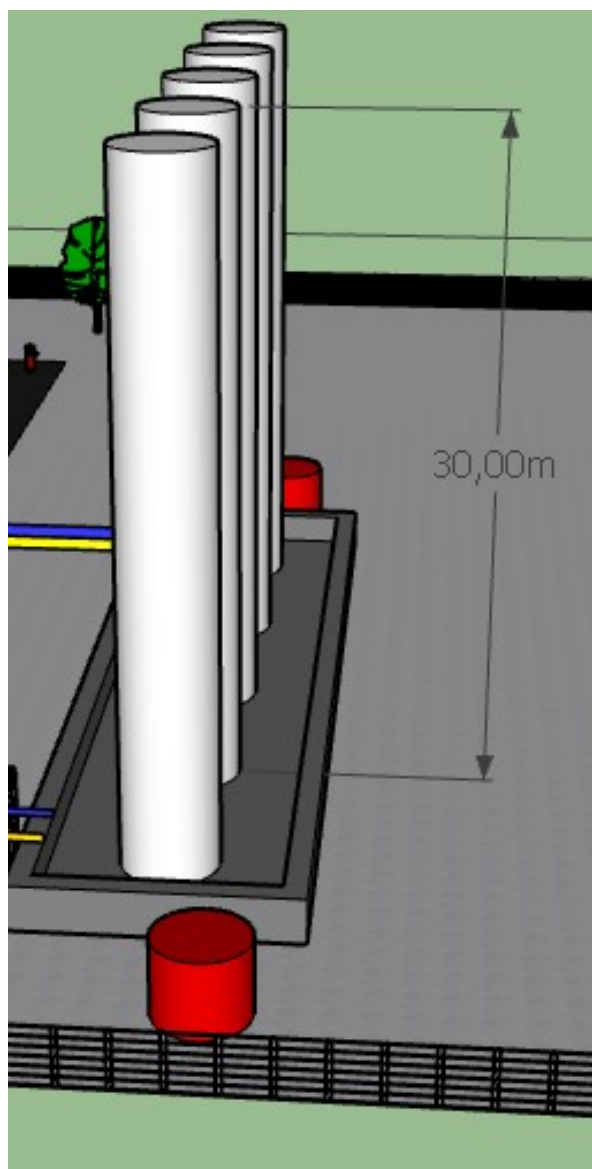
9.1. Parcela

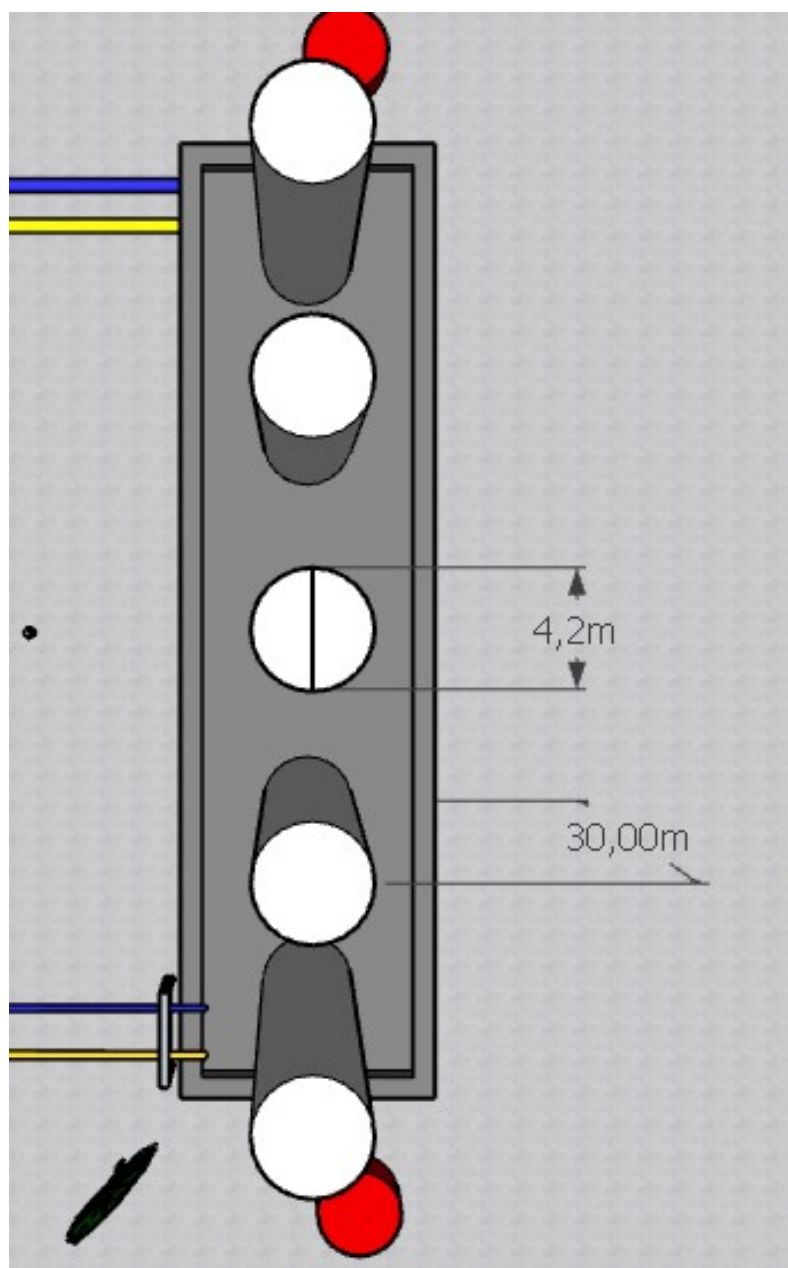


9.2. Cubeto y tanques

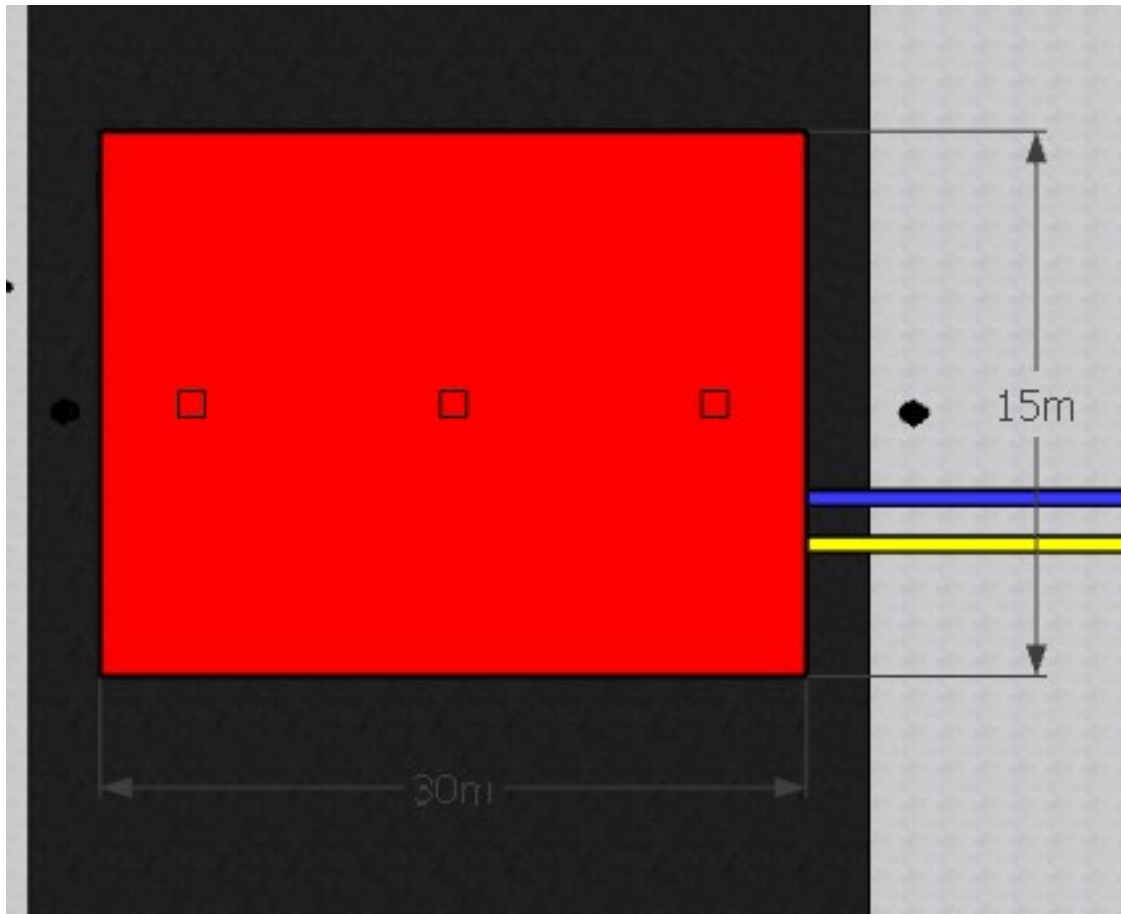


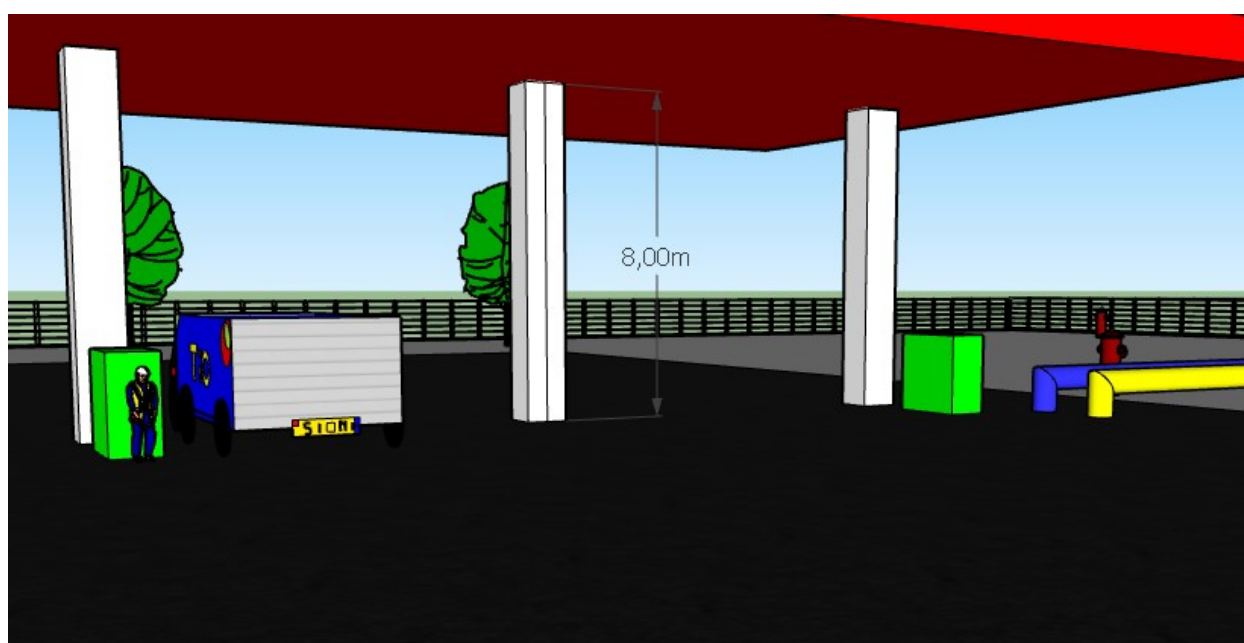
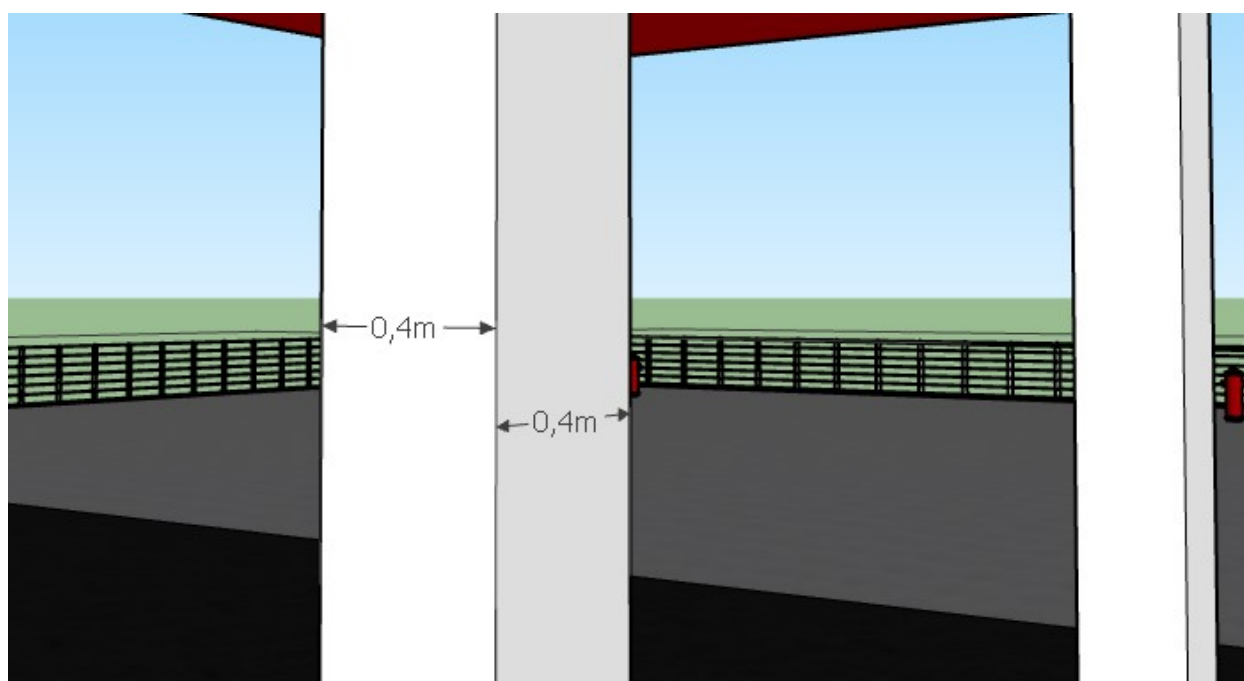




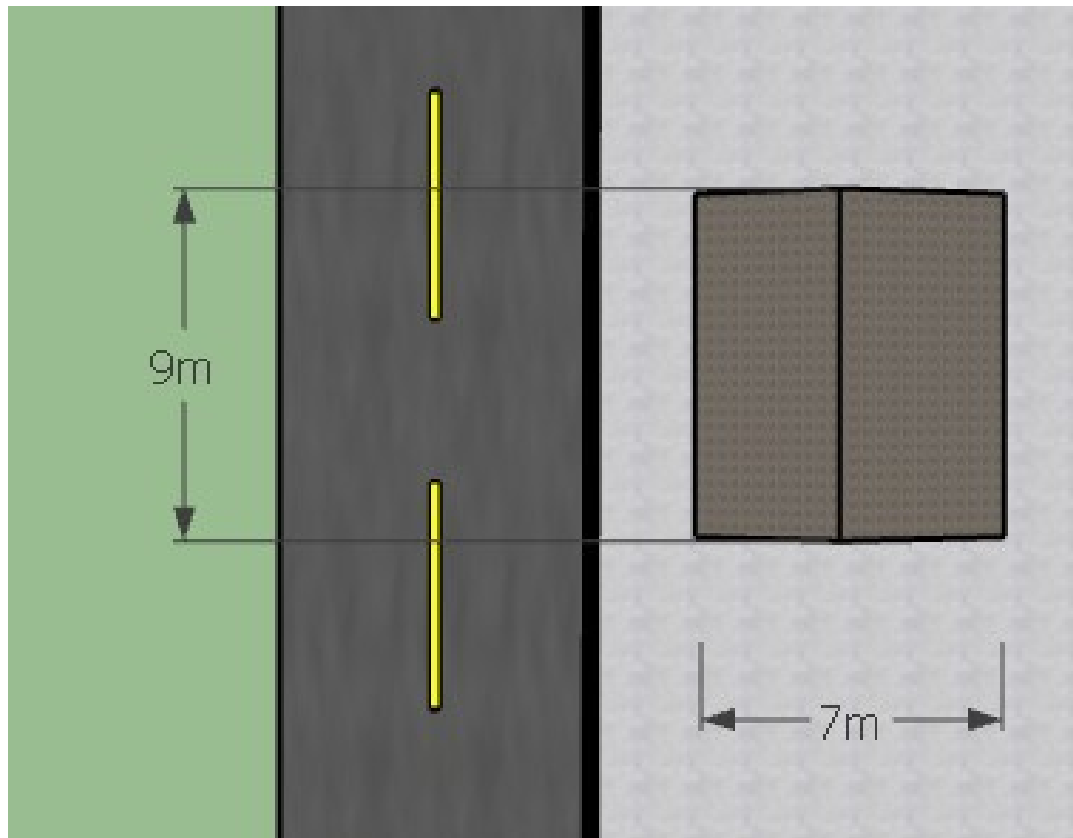


9.3. Cargadero: marquesina y pilares

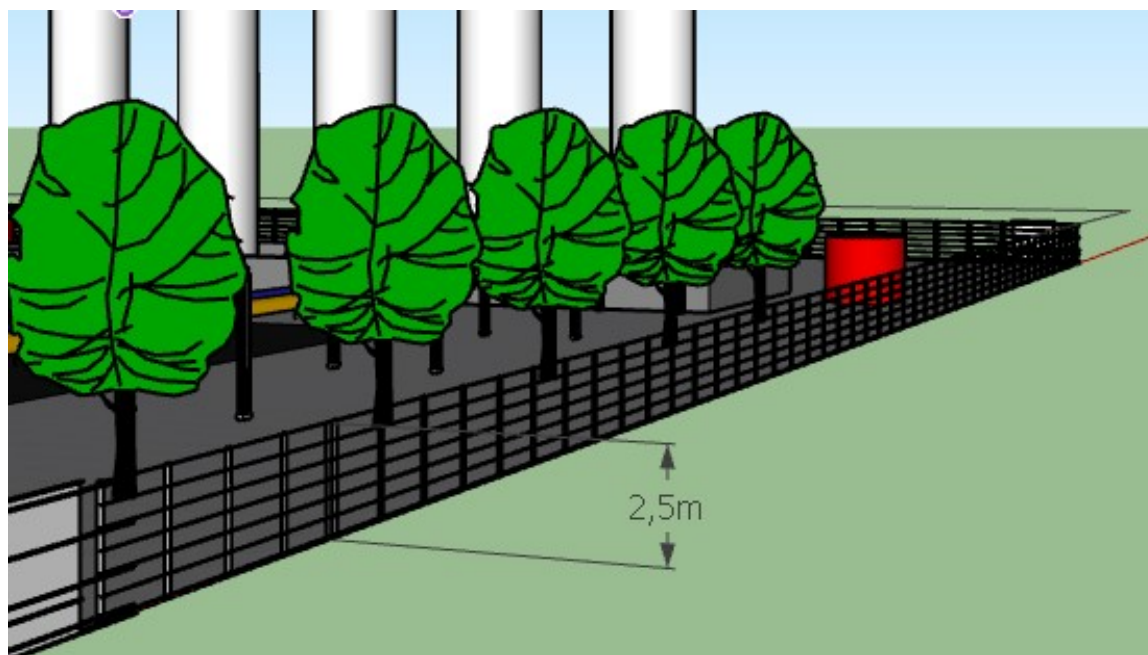




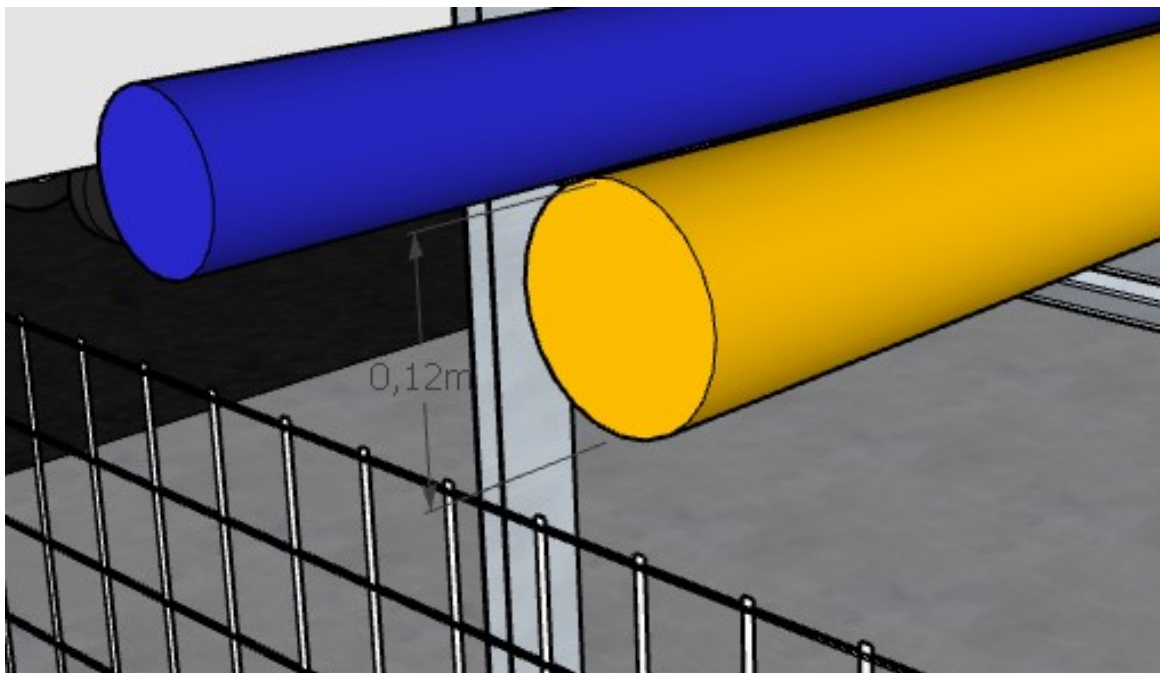
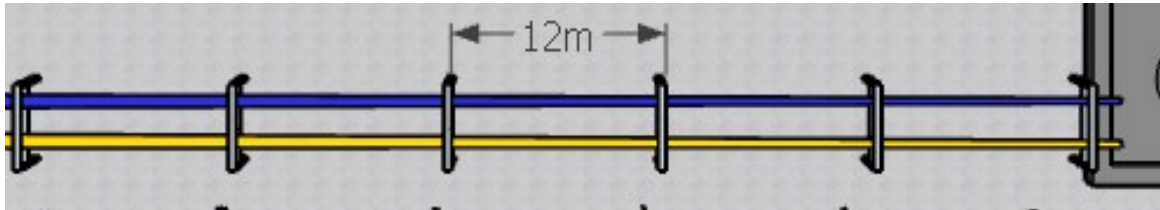
9.4. Puesto de Control



9.5. Urbanización



9.6. Rack de tuberías



Bibliografía

- Guía de buenas prácticas en las plantas de GNL – ENAGÁS.
- Guía técnica Plantas de GNL – Naturgy (Gas Natural Fenosa).
- Instalaciones energéticas eficientes con gas natural (Gas Natural Fenosa).
- Apuntes del Profesor Gabriel Arana de la ETSI de la asignatura de Construcciones Industriales sobre Layout.
- Estudio de viabilidad y selección de alternativas para la construcción de una instalación de almacenamiento y suministro de GNL a buques en el Puerto de Santander.
- “GNL COMO COMBUSTIBLE MARINO.SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS” – José Luis Almazán Gárate (ENAGÁS).
- <http://gasnam.es/>
- Tutorial de Youtube para uso del programa SketchUp:
https://www.youtube.com/watch?v=ElTk_NDP1b8
- Tutorial de Youtube para uso del programa SketchUp:
<https://www.youtube.com/watch?v=XaWAjVBhxgw&t=3328s>
- ITC MIE-APQ 1: «Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles»
- Catálogo de tanques criogénicos de LAPESA
- Catálogo de tierras de relleno de Arids Daniel
- Catálogos de camiones que funcionan con GNL de las marcas Volvo y Mercedes-Benz.
- Turbo-Brayton cryogenicsystems – Air Liquide.
- “Criterios generales para la elaboración de proyectos” - Norma española: UNE 157001 (febrero 2002).

- “¿Qué es y para qué sirve un Estudio Geotécnico en Edificación?” - Dr. Alejandro LOMOSCHITZ MORA-FIGUEROA.
- Documento Básico SE-AE. Seguridad Estructural. Acciones en la Edificación.
- Instrucción Española del Hormigón Estructural (EHE).
- Instrucción Española de Acero Estructural.
- “Hormigón Armado” – Pedro Jiménez Montoya.
- Prontuario de ENSIDESA.
- “Cálculo gráfico de cimentaciones y pilares y vigas de hormigón” - Ingeniero Industrial Bernardo Martín Hernández.
- Norma ASTM.
- Estudio Geotécnico del Puerto de Huelva.
- Normativa de la Instrucción de Carreteras.
- Catálogo de tuberías criogénicas acero de TUMARSA.
- Bases de cálculo de tuberías – Anexo E2 – Apuntes de la Universidad Politécnica de Catalunya.
- Catálogo de valvulería criogénica de HEROSE.
- Catálogo de grupos de bombeo LEWA
- Reglamento de Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión.
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias.
- Catálogo de Transformadores y Centros de Transformación de Schneider.
- Instalaciones eléctricas de baja tensión – Julián Moreno Clemente.
- Instalaciones de puesta a tierra en centros de transformación – Julián Moreno Clemente.
- National Fire Protection Association – NFPA.
- Reglamento de Seguridad contra incendios en establecimientos industriales.