



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño de planta de almacenamiento de combustible y sistema de
surtidores para las embarcaciones de la Escuela Naval Militar*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Alfonso Padrón Guerra

DIRECTORES: Miguel Ángel Gómez Rodríguez
Arturo González Gil

CURSO ACADÉMICO: 2016-2017

UniversidadeVigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño de planta de almacenamiento de combustible y sistema de
surtidores para las embarcaciones de la Escuela Naval Militar*

Grado en Ingeniería Mecánica

Intensificación en Tecnología Naval

Infantería de Marina

UniversidadeVigo

RESUMEN

En el presente trabajo se realizará el diseño de una planta de almacenamiento de combustible de gasóleo B para las embarcaciones pertenecientes a la Armada que están basadas en la Escuela Naval Militar, ya que en la actualidad, esta no cuenta con ninguna instalación referente al combustible de embarcaciones; realizándose atendiendo a las necesidades de la misma y a las consideraciones de seguridad y diseño que están recogidas en diferentes normativas, así como, el diseño de la zona de abastecimiento donde localizaremos los surtidores.

Para ello, se realizará inicialmente un estudio de las necesidades mensuales de cada una de las embarcaciones que establecerán la base para el dimensionado del depósito. A continuación, se realizará el diseño estructural de la planta sin tener en cuenta la cimentación, todo ello de acuerdo a la normativa vigente para el diseño de este tipo de instalaciones. Además, se diseñará el circuito de tuberías tanto de la línea de combustible como del sistema contra incendios, así como del sistema del surtidor de la zona de abastecimiento.

Finalmente, se realizará un estudio económico en el que se realizará el presupuesto sin considerar mano de obra, así como los trabajos de cimentación debido a la extensión que estos suponen.

PALABRAS CLAVE

Depósito, tanque, almacenamiento, gasóleo, combustible

AGRADECIMIENTOS

A mi novia Iria, por acompañarme durante los últimos cinco años haciendo mis logros igualmente suyos.

A mi familia, que a pesar de la lejanía la he sentido muy cerca cada día, en especial a mi hermana Nieves.

A Jesús, Álvaro Cabello, José Manuel, Álvaro Nuevo, Javier, José Antonio “Pepe” y Víctor, por convertirse en personas inolvidables.

A mis tutores Miguel Ángel y Arturo, por aceptar este trabajo y ayudar en el desarrollo del mismo.
A la promoción 147, por estar más unidos que nunca.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	5
1 Introducción y objetivos	6
1.1 Introducción	6
1.1.1 Combustibles, tipos y uso naval	6
1.1.2 Almacenamiento de combustible.....	10
1.1.3 Transporte y desplazamiento de combustibles	13
1.1.4 Uso de combustibles en la Escuela Naval Militar	13
1.2 Objetivos	15
2 Estado del arte	16
2.1 Depósitos.....	16
2.1.1 Depósitos a presión.....	16
2.1.2 Depósitos atmosféricos	17
2.2 Códigos de aplicación	18
2.3 Materiales para la construcción de tanques de almacenamiento.....	20
2.3.1 Aceros para la construcción del tanque	20
2.3.2 Materiales para la soldadura	21
3 Desarrollo del TFG.....	22
3.1 Necesidades y situación actual de la Escuela Naval Militar	22
3.2 Propuesta de construcción.....	24
3.3 Diseño y cálculos	26
3.3.1 Depósito	26
3.3.2 Tuberías, válvulas y bombas.....	43
3.3.3 Zona de abastecimiento y surtidor	50
3.3.4 Protección contra incendios	53
3.4 Estudio económico	58
3.4.1 Método de cálculo del presupuesto.....	58
3.4.2 Cálculo del presupuesto	59
3.4.3 Valoración del presupuesto.....	63
4 Conclusiones y líneas futuras	64
4.1 Conclusiones	64
4.2 Líneas futuras	64

5 Bibliografía.....	65
Anexo I: Códigos de aplicación para el diseño y construcción de depósitos atmosféricos	68
Anexo II: Especificaciones de Diésel REPSOL e ⁺	71
Anexo III: Planos.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Ejemplo de reacción de combustión (Combustión del metano) [2]	6
Figura 1-2 Carbón de tipo antracita [7]	7
Figura 1-3 Moléculas de octano y n-heptano [9].....	8
Figura 1-4 Barco de vela [17].....	9
Figura 1-5 Motor diésel marino [20]	10
Figura 1-6 Diagrama P-V del ciclo Diésel [21].....	10
Figura 1-7 Parque de carbón [23]	11
Figura 1-8 Cavity subterránea para almacenamiento de gas natural [24]	11
Figura 1-9 Tanque atmosférico para diésel de gran capacidad [25].....	12
Figura 1-10 Tanques atmosféricos para diésel de poca capacidad [26]	12
Figura 1-11 Depósito atmosférico con cubeto de retención [27]	13
Figura 1-12 Lancha de instrucción.....	14
Figura 1-13 Patrullero "Tabarca"	14
Figura 2-1 Depósitos esféricos [30]	16
Figura 2-2 Depósitos cilíndricos [31].....	17
Figura 2-3 Ejemplo de entrada de depósito enterrado.....	17
Figura 2-4 Tanques atmosféricos [34] [35] [36]	18
Figura 3-1 Localización de la parcela [37].....	24
Figura 3-2 Parcela elegida [37]	24
Figura 3-3 Cúpula (Ver Anexo III)	28
Figura 3-4 Ley triangular [38].....	31
Figura 3-5 Espectro de respuesta elástica [39]	34
Figura 3-6 Tensiones en pared delgada [38]	37
Figura 3-7 Cubeto y depósito (Ver Anexo III).....	43
Figura 3-8 Medidas de válvulas según ISO 5752 [40]	44
Figura 3-9 Diagrama de Moody con la elección de f [41]	46
Figura 3-10 Bomba elegida [42]	50
Figura 3-11 Situación de la zona de abastecimiento [37].....	50
Figura 3-12 Ejemplo de contenedor de anticontaminación marina.....	51
Figura 3-13 Ejemplo de filtro de gasóleo en surtidor.....	51
Figura 3-14 Ejemplo de manguera recogida en surtidor	51
Figura 3-15 Pistola con y sin boquerel.....	52
Figura 3-16 Contador de suministro en litros.....	52

Figura 3-17 Línea de tuberías CI (Ver Anexo III) 54

Figura 3-18 Hidrante de columna seca [43] 55

Figura 3-19 Bomba elegida [42] 58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Tabla de características de los gasóleos [12]	9
Tabla 3-1 Demanda de combustible en Litros-Mes	23
Tabla 3-2 Media mensual de las peticiones de Goletas.....	23
Tabla 3-3 Consumo semanal en base al mes de Marzo de 2016	25
Tabla 3-4 Composición del acero A-536 [38]	25
Tabla 3-5 Volúmenes de distintos cilindros	26
Tabla 3-6 Caudales en función a diámetros UNE 19-040.....	43
Tabla 3-7 Medias ISO para válvulas [40].....	44
Tabla 3-8 Valores de k según el ángulo del codo.....	45
Tabla 3-9 Unidades de obra.....	59
Tabla 3-10 Precio unitario Unidad de Obra para la fabricación del depósito	60
Tabla 3-11 Precio unitario Unidad de Obra para el sistema de trasiego de gasóleo	60
Tabla 3-12 Precio unitario Unidad de Obra para la zona de abastecimiento	60
Tabla 3-13 Precio unitario Unidad de Obra para sistema contra incendios	61
Tabla 3-14 Precio unitario por Unidad de Obra para perímetro de la instalación.....	61
Tabla 3-15 Precio total del Capítulo I en función de sus Unidades de Obra.....	61
Tabla 3-16 Precio total del Capítulo II en función de sus Unidades de Obra	61
Tabla 3-17 Precio total del Capítulo III en función de sus Unidades de Obra.....	62
Tabla 3-18 Precio total del Capítulo IV en función de sus Unidades de Obra.....	62
Tabla 3-19 Precio total del Capítulo V en función de sus Unidades de Obra	62
Tabla 3-20 Presupuesto de Ejecución Material (PEM)	63
Tabla 3-21 Cuadro resumen de la valoración del presupuesto.....	63

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

1.1.1 Combustibles, tipos y uso naval

1.1.1.1 Combustibles

En primer lugar, dado que este trabajo está encaminado al estudio del almacenamiento de un combustible, nos interesa conocer la reacción de combustión (Figura 1-1). Esta consiste en una reacción entre el oxígeno y un material oxidable, acompañada de un desprendimiento de energía en forma de calor y luz. Para comprender mejor este proceso identificaremos los elementos participantes en la misma; en primer lugar, localizamos, como en toda reacción química, a reactivos, productos e intercambio de energía, pero en el caso de la combustión hacemos una segunda clasificación dentro de los reactivos, el comburente y el combustible, en la que el comburente es el elemento oxidante, y el combustible es la sustancia, de elevados valores de entalpía, que tras la reacción rompe su estructura molecular formando otra sustancia de menor tamaño y entalpía. [1]

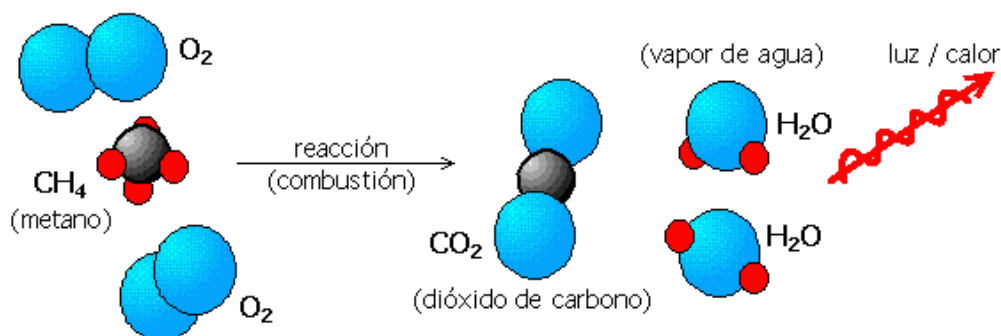


Figura 1-1 Ejemplo de reacción de combustión (Combustión del metano) [2]

Centrándonos en los elementos de la combustión, el comburente, que como se ha mencionado en el párrafo anterior, es el elemento oxidante de la reacción, cabe saber que existen distintas sustancias que actúan como tal, como, por ejemplo, el peróxido de hidrógeno. Sin embargo, dado que no es tóxico para el ser humano y su abundancia, el comburente por excelencia es el di-oxígeno (O_2), el cual se obtiene de la atmósfera, estando este mezclado con distintos gases que se consideran inertes, aunque se pueda dar el caso de que se formen óxidos de nitrógeno si se combustiona a altas temperaturas. [1]

Por otro lado, el combustible es la sustancia que lleva en su estructura molecular el aporte energético que, una vez alcanzada la temperatura de ignición, mantiene la reacción en cadena, liberándose energía en forma de calor y luz. El poder calorífico de un combustible se expresa en unidades de calor entre unidades de masa (volumen en caso de un gas), siendo KJ/kg en el sistema internacional.

Una vez visto el combustible desde el punto de vista químico pasaremos a conocer el origen de los mismos. Los combustibles han sido utilizados a lo largo de la historia como fuentes de energía, y podemos encontrarlos de diferentes formas y tipos, como pueden ser las hojas secas, hasta los hidrocarburos derivados del petróleo.

1.1.1.2 Tipos

Hay tres tipos principales de combustibles, los sólidos, los líquidos y los gaseosos. El uso de cada uno de ellos ha ido variando con el transcurso del tiempo.

En primer lugar, los sólidos, como el carbón o la biomasa, son quemados para producir calor que puede ir dirigido a sistemas de calefacción o para generación eléctrica, aunque su uso fue más común en el pasado, en el que el carbón (Figura 1-2) fue utilizado para dar energía a las máquinas de vapor, las cuales fueron usadas como agente motor durante muchos años hasta que empezaron a ser sustituidas por otro tipo de motores. Por otra parte, dentro de esta categoría, conviene mencionar la biomasa sólida, la cual se obtiene de residuos forestales y agrícolas y es utilizada en gran medida para producción de calor. También, es común que, a partir de combustibles sólidos, mediante distintos procesos, se obtengan combustibles líquidos y gaseosos. Sin embargo, en el caso del carbón, tiene una serie de desventajas, entre ellas, su peligrosa obtención y la difícil manipulación a la hora de transportarlo y en la alimentación de los hornos. [3] [4] [5] [6]



Figura 1-2 Carbón de tipo antracita [7]

Por otra parte, encontramos los combustibles gaseosos, que están formados principalmente por hidrocarburos, de los que podemos destacar el gas natural, cuya composición es fundamentalmente metano (CH_4) y que es el que mejor se quema y menos contamina, aunque llega normalmente de yacimientos lejanos por conductos como gas a presión, dado que este es muy difícil de licuar. También hay otros combustibles gaseosos como el gas ciudad y el gas licuado de petróleo. El gas ciudad, que tiene un contenido energético pobre, se obtiene químicamente, pero a falta de otras opciones, ofrece un resultado satisfactorio dado que se mezcla fácilmente con el aire y no contamina demasiado en comparación con otras opciones como el gasóleo. Por último, en cuanto a combustibles gaseosos, encontramos el gas licuado de petróleo (GLP), de los que destacan el propano (C_3H_8) y el butano (C_4H_{10}). No es necesario separar estos últimos, ya que tienen el mismo destino y se nombran en función de la concentración de uno y otro. [8]

Y, por último, en cuanto a tipos de combustibles, encontramos los líquidos, entre los que podemos distinguir varios tipos, como los carburantes (gasolina), que son una mezcla de componentes de derivados del refinamiento del petróleo que se obtienen por diversos procesos, siendo los más característicos el n-heptano y el trimetilpentano (los cuales podemos ver en la Figura 1-3), el que se conoce también por isooctano. Para determinar la proporción en la que estos están mezclados se habla de octanaje, en el que el número de octanos nos indica el tanto por ciento de isooctano (Ej: 92 octanos, mezcla de 92% isooctanos y 8% de n-heptano).

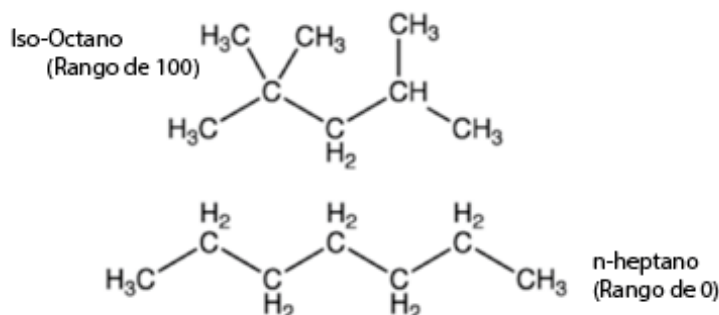


Figura 1-3 Moléculas de octano y n-heptano [9]

La cualidad principal de los motores de gasolina es su combustión lenta dentro del cilindro, debido a que, si la compresión es mayor de lo necesario, se producirán explosiones prematuras que disminuirán el rendimiento y son perjudiciales para el motor. Para evitar la explosión prematura, se le suelen añadir catalizadores a las gasolinas, entre los que encontramos benceno, metanol o etano, aunque también se ha dado el caso en el que se le añade plomotetraetilo, el cual evita problemas en el motor, sin embargo, de su combustión surge plomo metálico, que es altamente contaminante. [10] [11]

Además, dentro de los combustibles líquidos encontramos el diésel, también conocido como gasoil o gasóleo, siendo este el que nos concierne para el desarrollo del trabajo. Este es un derivado del petróleo obtenido por el refinamiento del mismo, más concretamente por el destilado de petróleo. Se compone de una serie de hidrocarburos que cuentan con entre 14 y 20 átomos de carbono, de los que se toman como referencia dos hidrocarburos puros, el n-cetano, el cual se inflama muy bien en el motor diésel, y el α -metilnaftaleno, el cual precisa de mayor presión para su combustión. La calidad del gasóleo se mide con el índice de cetano (IC), el que indica la proporción en tanto por ciento en volumen de n-cetano que encontramos en la mezcla (IC=62, indica que en la mezcla tendremos un 62 % de n-cetano y un 38% de α -metilnaftaleno). Los motores actuales requieren de un índice de cetano de entre 50 y 60, aunque en el caso del motor diésel marino, es ideal que el IC tenga valores de entre 30 y 45. [12] [11] [13]

En función de sus características (Tabla 1-1) y hacia donde esté dirigido su uso, los gasóleos se pueden clasificar en tres tipos: [14] [15] [12]

-Gasóleo A: Es el de mayor calidad y por eso es utilizado por la mayoría de automóviles exceptuando los agrícolas. El uso de este no está limitado pues no tiene desgravación fiscal.

-Gasóleo B: Tiene las mismas características que el gasoil A, pero su utilización está restringida al sector agrícola debido a que está fuertemente subvencionado. Al ser de características similares al tipo A se le añade un colorante de color rojo para evitar fraudes.

-Gasóleo tipo C: Gasoil de menor calidad que el A y el B que es utilizado normalmente para calefacción y no es posible su uso en motores debido a la cantidad de impurezas que presenta. Es utilizado como principal fuente de energía en la industria, aunque en ocasiones puede ser utilizado en actividades del sector del tipo B, y, al igual que este, está subvencionado y tintado.

La máquina de vapor fue el mecanismo de propulsión de barcos durante gran parte del siglo XIX hasta que, a mediados del siglo XX, tras la Segunda Guerra Mundial se empieza a implantar en buques el motor diésel, aunque ya se había empleado en el ámbito naval a comienzos de siglo en submarinos. [18]

A lo largo del siglo XX el motor predominante en los buques es el motor diésel marino, sobre todo en grandes buques, aunque se puedan encontrar también pequeñas embarcaciones que utilizan gasolina. Por otra parte, la principal diferencia que presenta el motor diésel marino (Figura 1-5) con el motor diésel utilizado en tierra es que deben de ser capaces de invertir las hélices que propulsan, por lo que son conocidos por Motores de Inversión Directa. [19]



Figura 1-5 Motor diésel marino [20]

Dicho motor debe su nombre a que su funcionamiento sigue en ciclo Diésel, en el que el combustible es comprimido hasta que alcanza una temperatura superior a la de autoencendido del combustible, produciéndose la combustión al entrar este en contacto con la masa de aire caliente. El ciclo Diésel consta de cuatro etapas, la primera es una compresión isentrópica; la segunda, es una adición de calor a presión constante; la tercera, una expansión isentrópica; y por último una emisión de calor a volumen constante, como puede verse en la Figura 1-6. [21] [22]

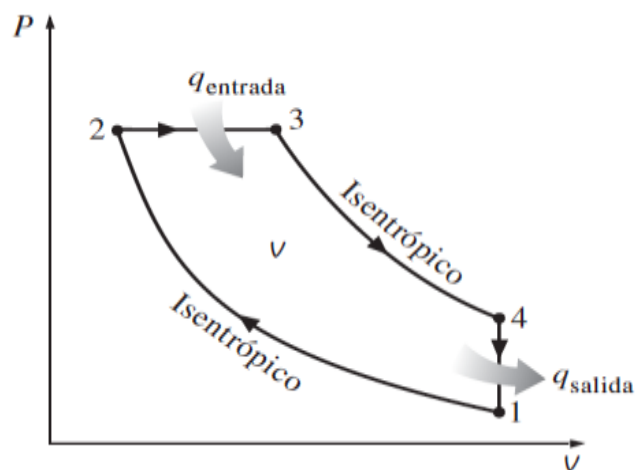


Figura 1-6 Diagrama P-V del ciclo Diésel [21]

1.1.2 Almacenamiento de combustible

Los combustibles deben ser almacenados en unas condiciones de seguridad suficientes dado que son productos inflamables, y en ocasiones, como en el caso de los combustibles gaseosos, es fácil que se produzcan explosiones indeseadas.

Analizando en función del tipo de combustible, en el caso de los sólidos, el almacenamiento se hace en unas instalaciones que, dado la solidez de los mismos, son bastante complejas, pues deben adaptarse a ellos. En el caso del carbón mineral, este suele almacenarse en parques de almacenamiento (Figura 1-7), los cuales están al aire libre, siendo este un factor que afecta en gran medida a las propiedades del carbón, puesto que este se oxida con el oxígeno presente en el aire. Sin embargo, también se pueden encontrar silos de carbón pulverizado, con el que se consiguen mejores procesos de combustión. [8]



Figura 1-7 Parque de carbón [23]

Por otra parte, los combustibles gaseosos, como el gas natural, son almacenados bajo tierra, en zonas de roca porosa que, normalmente, son yacimientos de hidrocarburos agotados, que son reutilizados para construir sobre ellas plantas de almacenamiento de gas, aunque también se dan casos en los que se almacenan en cavernas de sal. [24]

En estas cavidades subterráneas (Figura 1-8) se inyecta el gas procedente de otros yacimientos durante el verano y se procede a extraerlo durante el invierno para darle uso. El transporte del gas desde el yacimiento de origen (en ocasiones muy lejano) se realiza través de gaseoductos en los cuales el gas es inyectado a alta presión. [24]

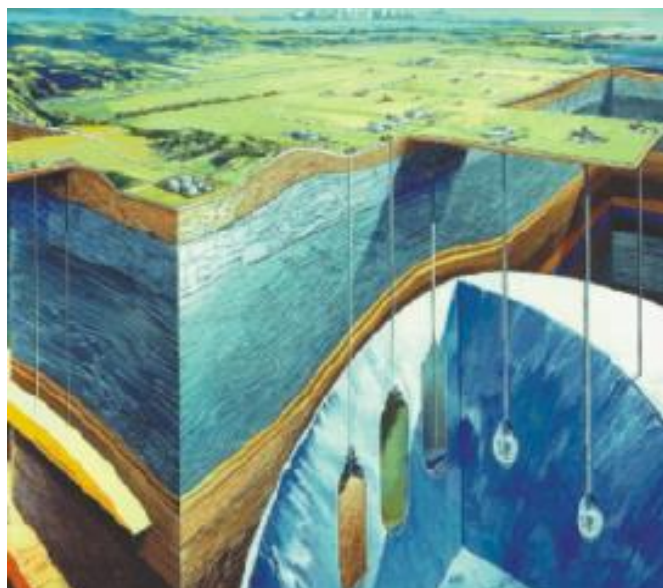


Figura 1-8 Cavity subterránea para almacenamiento de gas natural [24]

Los hidrocarburos líquidos, debido a sus características deben ser almacenados en unas condiciones específicas, tanto por el correcto mantenimiento del combustible como por cuestiones de seguridad. Los combustibles líquidos, con respecto a su almacenamiento, se clasifican del siguiente modo: [15]

-Clase A: Hidrocarburos cuya presión de vapor a 15°C es inferior a 98 kPa. A su vez, estos pueden dividirse en dos subclases, A1, que comprende aquellos que se almacenan licuados a menos de 0°C; y A2, que son aquellos que se almacenan licuados, pero en otras condiciones.

-Clase B: Hidrocarburos cuyo punto de inflamación es inferior a 55°C y no están comprendidos en la clase A, como, por ejemplo, la gasolina. Estos también se subdividen en otras dos subclases, los B1, que tiene un punto de inflamación inferior a 38°C, y los B2, que tienen el punto de inflamación igual o superior a 38°C.

-Clase C: Hidrocarburos que tienen un punto de inflamación comprendido entre los 55°C y los 100°C, que es el caso de el gasóleo.

-Clase D: Hidrocarburos con punto de inflamación superior a los 100°C.

El almacenamiento de hidrocarburos líquidos se realiza en tanques o depósitos, como puede verse en las Figura 1-9 y Figura 1-10, ya sean de superficie o subterráneos. En general, los depósitos se dispondrán en parques, tratando de agrupar los que almacenen hidrocarburos de la misma clase o subclase. En dichos parques se excluirán toda clase de servicios, excepto las estaciones de bombeo para realizar el trasiego de los combustibles almacenados; y las de mezcla y adición de productos auxiliares. [15]

Atendiendo a las clases de combustibles, los de la clase A se almacenarán en depósitos a presión, mientras que los de clase B que tengan una presión de vapor superior a la atmosférica, que sea como máximo 1 kg/cm², a la máxima temperatura posible de almacenamiento, se almacenarán en tanques a baja presión. El resto de combustibles de la clase B, al igual que los de las clases C y D se almacenarán en tanques atmosféricos. [15]



Figura 1-9 Tanque atmosférico para diésel de gran capacidad [25]



Figura 1-10 Tanques atmosféricos para diésel de poca capacidad [26]

Alrededor de cada depósito debe haber cubetos de retención (Figura 1-11) que recojan los posibles derrames producidos en operaciones de vaciado y llenado del mismo, así como en caso de rotura. Estos también serán diferentes en función de la clase de hidrocarburo que contengan. Dichos cubetos serán diseñados para contener una categoría determinada de hidrocarburo, solo pudiendo contener tanques con hidrocarburos de dicha categoría o inferior. En el caso de los de clase A, debido a su mayor riesgo, irán siempre en cubetos separados del resto de las clases. Los cubetos de retención deben ser diques de tierra o muros de material no combustible, debiendo ser las paredes del mismo de un material impermeable. [15]



Figura 1-11 Depósito atmosférico con cubeto de retención [27]

Por otro lado, debido a la posibilidad de que se produzcan incendios, debe existir un sistema contra incendios el cual puede precisar de cuatro medios fundamentales, el uso de agua, el uso de espuma, el uso de extintores y el uso de medios móviles. La más importante, el agua, puede ser suministrada por diferentes fuentes en función de su disponibilidad, como la red pública, depósitos propios de la instalación e incluso de ríos y mares si se encuentran cerca. También, para evitar posibles fallos se deberá contar con al menos dos estaciones de bombeo diferentes e independientes, lo suficientemente separadas para que en caso de emergencia no se vean afectadas simultáneamente. [15]

1.1.3 Transporte y desplazamiento de combustibles

El transporte de hidrocarburos líquidos se realiza mediante la canalización de estos, junto con la ayuda de medios de transporte móviles. La canalización se realiza a través del uso de oleoductos, que conectan los puertos de entrada de importación de combustibles y las refinerías con las plantas de almacenamiento y distribución, las cuales, perteneciendo a una determinada empresa, también están conectadas entre sí mediante canalización de combustible. Por otra parte, para transportar los productos del refinado del petróleo a los clientes se dispone de medios móviles, tanto terrestres como marítimos, entre los que encontramos tanques de almacenamiento adaptados para poder ser montados sobre medios de transporte como ferrocarriles, camiones o, incluso, buques tanque. [28]

1.1.4 Uso de combustibles en la Escuela Naval Militar

La Escuela Naval Militar es el centro docente donde se preparan los oficiales de los distintos cuerpos de la Armada. En este centro se realizan distintas actividades relativas a la formación militar de sus alumnos, en primer lugar, encontramos las prácticas en las lanchas de instrucción, en las que los alumnos del Cuerpo General, así como los alumnos de los cuerpos de Intendencia, Ingenieros y Cuerpos Comunes en su fase formativa en la Escuela Naval Militar, realizan su formación en contacto con la mar. Las lanchas de instrucción son embarcaciones (Figura 1-12) que están propulsadas por un motor diésel que utiliza gasóleo B.



Figura 1-12 Lancha de instrucción

Por otra parte, la Escuela cuenta con distintas embarcaciones a vela para completar la formación marinera de todos sus alumnos. Dentro de este grupo de embarcaciones encontramos tres grupos en función del combustible que utilizan. En primer lugar, encontramos aquellas que no tienen motor de ningún tipo, como los Omegas o los Snipes; por otro lado, tenemos aquellos veleros que utilizan un motor fuera borda que les sirve de ayuda para la entrada y salida de puerto y cuyo motor utiliza gasolina 95 de la estación de servicio de la Escuela; y por último aquellos veleros con motor propio, como el Peregrina, que tiene un motor diésel y utiliza gasóleo tipo B. Continuando con la función formativa del centro, encontramos también el Centro de Adiestramiento de Seguridad Interior (CASI). En este se desarrollan las distintas prácticas relacionadas con la Seguridad Interior de los buques de la Armada. Entre estas actividades encontramos la extinción de incendios. Para la realización de las prácticas se simula un incendio utilizando diésel B.

Por último, en la Escuela Naval Militar se hace uso de combustibles en actividades ajenas a la docencia. En primer lugar, la Escuela es el puerto base del patrullero P-28 "Tabarca" (Figura 1-13), el cual tiene un motor diésel, que también utiliza gasóleo tipo B. Además del Tabarca, el centro cuenta con una estación de servicio para surtir a la flota de automóviles de la Escuela en la que encontramos dos tipos de combustibles, gasolina 95 y diésel A para automóviles. Y para finalizar, también se utiliza diésel tipo C en el sistema de calefacción de la Escuela, en el que los edificios de la misma cuentan con calderas alimentadas con dicho combustible.



Figura 1-13 Patrullero "Tabarca"

1.2 Objetivos

El objetivo de este trabajo es diseñar un depósito para almacenar diésel del tipo B, que es utilizado por las distintas embarcaciones de la Escuela Naval Militar, para no depender así de la disponibilidad del reparto de combustible dado el carácter militar de este centro docente y poder surtir así, tanto por el consumo mensual como en caso de emergencia, el combustible necesario para el desempeño, con cierto grado de autonomía, de todas las funciones que se puedan requerir de estas embarcaciones, tanto en el ámbito docente como en el estrictamente militar.

Para ello, se ha comenzado con una explicación de los fundamentos sobre la combustión y una breve introducción a los combustibles, su almacenamiento y el uso naval de estos. Se continuará con el Estado del Arte, donde analizaremos la situación actual de los elementos principales a tener en cuenta en el diseño de este tipo de plantas, es decir, hablaremos de los tipos de depósitos, los códigos de aplicación en el diseño y de los requerimientos que estos marcan.

Seguidamente, se procederá al diseño de la planta en cuestión, diseñando el depósito en función de la necesidad de combustible que precisen dichas embarcaciones, de las tuberías, el sistema del surtidor, así como los diferentes elementos de seguridad presentes en este tipo de instalaciones, tomando como referencia las normativas vigentes para el diseño de instalaciones de almacenamiento de hidrocarburos, así como diferentes proyectos relacionados con el almacenamiento de combustibles. También, se realizará un estudio económico en el apartado del desarrollo, en el que se desarrollará un presupuesto de acuerdo a las características de este trabajo, dado el tiempo disponible y el carácter académico del mismo, no consideraremos este como un proyecto completo de ingeniería.

Por último, se expondrán unas conclusiones, así como unas posibles líneas futuras para continuar el desarrollo del almacenamiento de combustible de la Escuela Naval Militar.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Depósitos

En el capítulo anterior vimos como se clasifican los hidrocarburos líquidos en función del almacenamiento de acuerdo a sus características (Subapartado 1.1.2). También vimos que para cada uno de ellos se utilizaban distintos tipos de depósitos, los depósitos a presión, los depósitos a baja presión y los depósitos a presión atmosférica. En este apartado describiremos cada uno de ellos.

2.1.1 Depósitos a presión

Como vimos en el capítulo anterior, los combustibles de las clases A y B se almacenaban en depósitos a presión (alta presión los de clase A y a baja presión los de clase B). Un depósito a presión es cualquier envase capaz de contener un fluido a presión manométrica. Estos se pueden clasificar de dos maneras, según su uso y según su forma.

Por una parte, dentro de la clasificación según su uso, encontramos los depósitos de almacenamiento, cuya utilidad se limita a contener fluidos a presión, sin embargo, los depósitos de procesos tienen diversas utilidades como, por ejemplo, cambiadores de calor o reactores. Por otra parte, en cuanto a su forma, podemos distinguir dos grupos, los esféricos (Figura 2-1) y los cilíndricos (Figura 2-2), y de estos últimos podemos encontrarlos dispuestos horizontal o verticalmente. Los depósitos tienen estas formas para poder hacer así un reparto uniforme de la presión en todas las paredes internas del recipiente. [29]



Figura 2-1 Depósitos esféricos [30]



Figura 2-2 Depósitos cilíndricos [31]

Por otro lado, también se encuentra otra clasificación, los depósitos enterrados (Figura 2-3) o de superficie. Las diferencias entre estos residen principalmente en pequeñas ventajas y desventajas con respecto a su uso, así como pequeñas diferencias en la aplicación de la normativa y la legislación vigente para el diseño de depósitos de hidrocarburos. En primer lugar, las ventajas que tiene un depósito enterrado frente a uno de superficie son principalmente la estética, dado que no supone un impacto visual; la flexibilidad que supone que la distancia mínima (de acuerdo a la normativa) sea de 1,5 m; además de su idoneidad para su uso en espacios reducidos, sin embargo, la capacidad de este tipo de depósitos frente a los depósitos de superficie son considerablemente menores, además de precisar de una obra más compleja para su instalación o retiro. Otra ventaja es que el depósito enterrado no sufre variaciones de temperatura, lo cual implica la dilatación del combustible con la consiguiente pérdida de capacidad del depósito. [32]



Figura 2-3 Ejemplo de entrada de depósito enterrado

2.1.2 Depósitos atmosféricos

El combustible que nos atañe para el desarrollo de este trabajo es el diésel tipo B, el cual es un combustible cuyo punto de inflamación es 55° C, por lo que, atendiendo a la clasificación de acuerdo al almacenamiento de combustibles, es de tipo C, por tanto, como vimos en el capítulo anterior, este se almacenará en depósitos atmosféricos.

Los depósitos atmosféricos (Figura 2-4) son recipientes que resisten una presión interna de hasta 0,15 kg/cm² que se mide en el techo del tanque. Estos, al igual que los depósitos a presión se pueden encontrar en cilindros horizontales y cilindros verticales de fondo plano. Los tanques cilíndricos horizontales suelen ser utilizados para almacenar pequeños volúmenes debido a que suelen presentar problemas por falla y flexión, mientras que los tanques cilíndricos verticales con fondo plano permiten almacenar cantidades mayores con un bajo coste, estando limitado, únicamente, por la presión interna que soportan, estando limitada a la atmosférica o internas relativamente pequeñas. Estos últimos se clasifican en tres grupos, aquellos que tienen techo fijo, los que disponen de techo flotante y los que no disponen de techo. [33]

Los depósitos de techo fijo son utilizados para almacenar productos no volátiles o productos no inflamables, pudiendo tener techos fijos autosoportados y techos fijos soportados. Por otra parte, existen depósitos con techo flotante, que son utilizados para almacenar productos altamente volátiles, y cuya función principal es que el techo se adapte al volumen del contenido a medida que el depósito se vacía, evitando que se formen cámaras de vapor del contenido, que, en este caso, es altamente peligroso. Por último, los tanques sin techo están diseñados para contener productos cuya contaminación o emisión a la atmósfera no son de importancia, como es el caso del agua cruda o el agua residual. [33]



Figura 2-4 Tanques atmosféricos [34] [35] [36]

2.2 Códigos de aplicación

Para la construcción de depósitos a presión se sigue el código ASME-2004 Sección VIII, de la American Society of Mechanical Engineers, que fueron los primeros en estandarizar los criterios de diseño y construcción de recipientes a presión. Europa también cuenta con el código EN-13445 y España de la norma UNE-62350, además, será de obligatoria aplicación los requisitos y restricciones recogidos en las Instrucciones Técnicas Complementarias para Instalaciones Petrolíferas (ITC-MI-IP) en sus números 02, 03 y 04; todos estos códigos, así como sus respectivas variaciones y códigos complementarios son aplicados en el territorio nacional. A pesar de que la sección que principalmente nos ocupa a la hora de diseñar depósitos es la VIII, son de obligado conocimiento las secciones II, V y IX del código ASME (cuenta con un total de doce secciones). [29]

La Sección VIII del código ASME contiene requerimientos mandatorios, prohibiciones específicas y reglas de construcción no obligatorias para el diseño y construcción de recipientes a presión. Esta Sección del código ASME consta de tres divisiones, la primera (Div. 1) está destinada al diseño de equipos que no requieren una evaluación en detalle de todos los esfuerzos, por otra parte, los equipos diseñados de acuerdo a la segunda división (Div. 2) se les realiza un estudio más detallado, considerando esfuerzos admisibles mayores. Otra diferencia sustancial entre estas dos divisiones es en la teoría de fallas utilizadas, pues la Div. 1 utiliza la teoría del esfuerzo normal y la Div. 2 se basa en la teoría de la máxima energía de distorsión. La Div. 1 está limitada al diseño de depósitos resistentes a una presión de hasta 210 kg/cm^2 , a partir de este valor nos vemos obligados utilizar la Div.2, aunque se pueda utilizar esta para presiones menores. Mientras la Div. 3 es para diseño de quipos de muy alta presión (en torno a los 703 kg/cm^2). [29]

La División 1 de la Sección VIII del código ASME está dividida en tres Sub-secciones y dos apéndices. La Sub-sección A hace referencia a los Requerimientos Generales para los métodos de construcción y todos los materiales, y recoge los apartados de UG-1 al UG-137. Esta a su vez se divide en los siguientes puntos, materiales (UG-4 a UG-15), diseño (UG16- a UG-55), aberturas y refuerzos (UG-36 a UG-45), fabricación (UG-75 a UG-85) e inspección y ensayos (UG-90 a UG-103). [29]

Por otra parte, la Sub-sección B se centra en los requerimientos para los métodos de fabricación, contando con tres partes. La primera parte de esta sub-sección es la UW de requerimientos para recipientes fabricados mediante soldadura, con los apartados restricción de servicios (UW-2), categorías de juntas (UW-3), materiales (UW-5), diseño (UW-8 a UW-21), ensayo radiográfico (UW-11), eficiencia de juntas (UW-12), fabricación (UW-26 a UW-42) e inspección y ensayos (UW-46 a UW-53); para establecer los requerimientos para la fabricación de recipientes mediante forja se utiliza la parte UF, aunque la fabricación de recipientes completamente forjados no está muy extendida; y por último, encontramos la parte UB de la Sub-sección B, que establece los requerimientos para los recipientes fabricados mediante soldadura fuerte, aunque estos, al igual que los forjados tampoco sean muy comunes. [29]

La última sub-sección de la División 1 es la C, que establece los requerimientos para las clases de materiales que a su vez se divide en once partes: [29]

- UCS: Requerimientos para recipientes fabricados de acero al carbono y aceros de baja aleación.
- UNF: Requerimientos para recipientes fabricados con materiales no ferrosos.
- UHA: Requerimientos para recipientes fabricados con materiales de alta aleación.
- UCI: Requerimientos para recipientes con hierro fundido.
- UCL: Requerimientos para recipientes soldados fabricados con hierro fundido.
- UCD: Requerimientos para recipientes fabricados con hierro fundido dúctil.
- UHT: Requerimientos para recipientes fabricados con aceros ferríticos con tensiones incrementadas por tratamientos térmicos.
- UIG: Requerimientos para recipientes fabricados de grafito impregnados.
- ULW: Requerimientos para recipientes fabricados en capas.
- ULT: Requerimientos para recipientes contruidos de materiales con mayores tensiones admisibles a bajas temperaturas.
- UHX: Reglas para cambidores de carcasa y tubos.

*Los apéndices de esta sub-sección son los obligatorios, que tienen el mismo valor que cualquier punto del código, mientras que los no obligatorios son recomendaciones.

Por otro lado, mientras que la Div. 1 establece criterios conservadores y generales, la Div. 2 nos establece criterios para realizar un mejor diseño utilizando esfuerzos cercanos a los reales y realizando ensayos no destructivos que llevan a resultados de diseño más eficientes. Sin embargo, a la hora de diseñar un depósito se debe realizar un estudio con ambas divisiones dado que no hay una regla que marque la diferencia entre la Div. 1 y la Div. 2, lo cual no es así en la Div. 3, que como hemos visto anteriormente se centra en diseño de depósitos a muy alta presión. [29]

Por otra parte, los códigos que se utilizan principalmente en el diseño y construcción de tanques atmosféricos son los publicados por la American Petroleum Institute. Estos son el código API-650, que recoge los estándares para el diseño de tanques de almacenamiento a presión atmosférica, y el código API-620, referente al diseño de tanques de almacenamiento sometidos a presiones internas cercanas 1 kg/cm². El código API 650 recoge, exclusivamente, aquellos tanques destinados a almacenar fluidos en estado líquido, diseñados para soportar una presión de operación atmosférica opresiones internas que no superen el peso del techo por unidad de superficie y cuya temperatura de trabajo no exceda los 93°C. Una vez más, será de obligatoria aplicación los requisitos y restricciones recogidos en las Instrucciones Técnicas Complementarias para Instalaciones Petrolíferas (ITC-MI-IP) en sus números 02, 03 y 04. [33] [32]

2.3 Materiales para la construcción de tanques de almacenamiento

2.3.1 Aceros para la construcción del tanque

El diseño, cálculo y construcción de tanques atmosféricos es necesario seleccionar el material más adecuado en función de los productos que vayan a ser almacenados en los mismos. A continuación, listaremos los aceros más utilizados junto con sus aplicaciones más destacadas según la clasificación de la American Society for Testing and Materials (A.S.T.M.): [32]

- Acero estructural A-36, utilizado para espesores iguales o menores a 38 mm. Es utilizado en los perfiles ensamblados de los elementos estructurales del tanque.

- Acero estructural A-131, de este encontramos cuatro grados en función del espesor requerido. En primer lugar, el grado A, para espesores menores o iguales a 12,7 mm; el grado B, para espesores menores o iguales a 25,4 mm; el grado C, para espesores menores o iguales a 38 mm; y el grado EH36, para espesores menores o iguales a 44,5 mm.

- Placas de acero al carbón con medio y bajo esfuerzo a la tensión A-283, del cual es muy utilizado el grado C, para espesores menores o iguales a 25 mm, empleado tanto para los perfiles estructurales del tanque y las paredes como para el techo, fondo y demás accesorios del depósito.

- Placas de acero al carbón con medio y bajo esfuerzo a la tensión A-285, del que también se utiliza el grado C, para espesores iguales o menores de 25,4 mm. Es el material recomendable para la construcción del cuerpo, fondo, techo y accesorios del depósito, sin embargo, no es recomendable para utilizarlo en los elementos estructurales debido a que tiene un costo relativamente alto comparado con otros.

- Placa de acero al carbón para temperaturas de servicio moderados A-516, del que se utilizan los grados 55, 60, 65 y 70, para espesores iguales o menores a 38 mm. Este material es de alta calidad y de un costo elevado, por lo que su uso debería hacerse en casos en que se requiera un esfuerzo a la tensión alta.

- Acero A-53, en sus grados A y B, para tubería en general.

- Acero A-106, en sus grados A y B, para tubos de acero al carbón sin costura para servicios de alta temperatura; estos materiales pueden usarse indistintamente, dado que ambos cumplen con los requerimientos exigidos por el estándar, además de que la diferencia entre ambos no es significativa en lo referente a propiedades y coste.

- Acero A-105, que es forja de acero al carbón, utilizado para accesorios de acoplamiento de tuberías.

- Acero A-181, que es forja de acero al carbón, para usos en general.

- Acero A-193, del que se utiliza el grado B7, utilizado en tornillos sometidos a alta temperatura y de alta resistencia, con diámetros menores a 64mm.

- Acero A-194, en su grado 2H, utilizado en tuercas a alta temperatura y de alta resistencia.

- Acero A-307, en su grado B, usado como material de tornillos y tuercas para usos generales.

2.3.2 Materiales para la soldadura

Para la soldadura, la A.S.T.M. recoge también distintos materiales en función de los esfuerzos mínimos a la tensión de los materiales empleados en la construcción de los depósitos. En primer lugar, para la soldadura de materiales con un esfuerzo mínimo a la tensión menor a 5625 kg/cm^2 se utilizarán electrodos de arco manual hechos de E-60XX o E-70XX, ambos recogidos en la clasificación AWS. Por otra parte, para soldadura de materiales cuyo esfuerzo mínimo a la tensión esté comprendida entre los 5625 kg/cm^2 y los 5976 kg/cm^2 se utilizarán electrodos de arco manual de material E80XX-CX. [33]

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Necesidades y situación actual de la Escuela Naval Militar

En el capítulo de introducción se han expuesto los usos de combustible de la Escuela Naval Militar, sin embargo, en este nos centraremos en el funcionamiento del repostaje de diésel B para las embarcaciones de la Armada que se encuentran en este centro.

En primer lugar, hay que tener en cuenta que la Escuela, aunque sea el puerto de todas estas embarcaciones, existen algunas que no dependen orgánicamente de ella, sin embargo, las incluiremos en el estudio para tener en cuenta la capacidad del depósito, centralizándose en la Escuela todo el servicio de reaprovisionamiento de combustible. Actualmente, el reaprovisionamiento se realiza mediante peticiones logísticas que, tras pasar por distintos destinos de la Escuela Naval Militar, concluyen con la petición a la empresa (Cepsa o Repsol), las cuales solo aceptan peticiones superiores a los 1000 l.

A continuación, distinguiremos cuáles son orgánicas de la Escuela y cuáles son independientes, comenzando con los destinos de la Escuela que cuentan con embarcaciones:

-Núcleo de lanchas de instrucción: En este están encuadradas las cuatro lanchas de instrucción de la Escuela Naval Militar. De este destino depende su mantenimiento, así como las peticiones de combustible que son elevadas al Servicio de Aprovisionamiento, pasando antes por el Servicio de Mantenimiento. La petición se realiza a la empresa distribuidora de combustibles, la cual envía un camión cisterna al centro y deposita el combustible directamente en cada lancha.

-Tren Naval: Este destino realiza una petición de combustible que no solo va dirigida a sus embarcaciones. También depende de su petición la necesidad de combustible de la Comisión Naval de Regatas (aunque sea un destino independiente). Estos cuentan con dos depósitos (uno de 3000 l y otro de 1000 l) con los que se surten al total de embarcaciones de ambos destinos, en función de el consumo de combustible de ambos destinos que veremos más adelante.

Por otra parte, encontramos las unidades independientes de la Escuela:

-Patrullero P-28 “Tabarca”: Esta unidad realiza sus peticiones de combustible directamente a la empresa. Este realiza salidas a la mar de forma semanal, realizando un consumo aproximado de 10.000 l, cantidad que se repone semanalmente tras cada salida. El reaprovisionamiento se realiza mediante camión cisterna.

-Goletas: La Escuela dispone de cuatro goletas para realización de Instrucción Marinera. Estas realizan navegaciones semanales, además de las navegaciones de las semanas de Instrucción y Adiestramiento y el crucero de instrucción de Fin de Curso, por lo que, dado que son veleros, su consumo no es muy elevado, aunque realizan peticiones de combustible. Estas peticiones, a pesar de no pertenecer a la Comisión Naval de Regatas ni al Núcleo de Lanchas, centralizan su petición en la Ayudantía Mayor de la Escuela Naval Militar.

	Lanchas(l) (*)	Tren Naval(l) (*)	Tabarca(l) (**)	CNR(l) (*)	Goletas(l) (***)	Total (l)
Enero	2650	300	40000	206	1221	44377
Febrero	4850	400	40000	100	1221	46571
Marzo	7650	400	40000	400	1221	49671
Abril	3600	400	40000	400	1221	45621
Mayo	4550	500	40000	400	1221	46671
Junio	3350	500	40000	200	1221	45271
Julio	0	500	40000	200	1221	41921
Agosto	0	400	40000	200	1221	41821
Septiembre	1600	400	40000	100	1221	43321
Octubre	5450	400	40000	100	1221	47171
Noviembre	3900	400	40000	100	1221	45621
Diciembre	0	300	40000	100	1221	41621

Tabla 3-1 Demanda de combustible en Litros-Mes

* Datos del consumo mensual del año 2016 de los respectivos destinos.

** Estimación mensual del consumo del “Tabarca”, resultado del consumo semanal de 10.000 l.

*** Estimación obtenida del total de la media mensual de las peticiones por goleta a lo largo del año 2016 (Ver tabla 3-2).

Goletas	Nº Peticiones	Cantidad demandada (l) (*)	Total Anual (l)	Media Mensual (l)
Giralda	2	2000	4000	333
Arosa	3	1000	3000	250
Aguete	3	550	1650	138
Peregrina	2	3000	6000	500

Tabla 3-2 Media mensual de las peticiones de Goletas

*Cantidad máxima que solicita la goleta en cada petición de combustible.

3.2 Propuesta de construcción

Para satisfacer las necesidades de combustible de la Escuela Naval Militar y dadas las características de este trabajo, se propone construir una planta de almacenamiento de combustible en el siguiente emplazamiento (Figura 3-1):



Figura 3-1 Localización de la parcela [37]



Figura 3-2 Parcela elegida [37]

Esta parcela (Figura 3-2) pertenece al recinto de la Escuela Naval Militar, y en sus inmediaciones encontramos el C.A.S.I., en dirección Noreste y el Centro de Medidas Electromagnéticas de la Armada, situado al Noroeste. La parcela tiene un perímetro de 100 m, y una superficie de 600 m² (30x20).

Por otra parte, tomando como referencia el mes de Marzo de 2016 (Ver Tabla 3-1), siendo este el mes en que más demanda de combustible hay por parte de los distintos destinos y unidades, y teniendo en cuenta que semanalmente el consumo de combustible por parte de los destinos y unidades no es excesivo, exceptuando el patrullero “Tabarca” (Ver Tabla 3-1), se ha calculado que el consumo semanal de combustible es inferior a 15.000 l (Ver Tabla 3-3).

Marzo *	Lanchas (l)	Tren Naval (l)	Tabarca (l)	CNR (l)	Goletas (l)	Total Semana (l)
Consumo semanal	1913	100	10000	100	305	12418

Tabla 3-3 Consumo semanal en base al mes de Marzo de 2016

*Se ha tomado como dato que el mes cuenta con cuatro semanas, entre las que se ha repartido el consumo mensual.

Con este resultado determinamos que es posible tener un depósito de 50.000 l (50 m³) el cual sea reabastecido dos veces al mes con 25.000 l (25 m³), por tanto, se pretende diseñar un depósito atmosférico cilíndrico vertical de techo fijo que pueda albergar dicha cantidad. El depósito estará situado dentro de un cubeto de base cuadrada, que cumplirá los requerimientos del Reglamento de Instalaciones Petrolíferas, por lo que deberá tener una capacidad igual o mayor al 100% de la capacidad del depósito.

El depósito se construirá de acero enfriado y templado A-536 grado B, pues según la norma API-650, este cumple con los requisitos para la fabricación de depósitos atmosféricos, que siendo un acero de propiedades altamente superiores para el caso que nos atañe, hemos decidido emplearlo en pos de la seguridad y la calidad. Además, más adelante se realizará el estudio de resistencia a la presión del depósito de dicho material, cuya composición química podemos ver en la siguiente tabla (Tabla 3-4):

Elemento	%
C	0,2 Máx.
Mn	0,7-1,35
Si	0,15-0,50
S	0,04 Máx.
P	0,035 Máx.
Cu	0,35 Máx.
Cr	0,25 Máx.
Ni	0,25 Máx.
Mo	0,08 Máx.

Tabla 3-4 Composición del acero A-536 [38]

Además, tiene las siguientes propiedades:

-Propiedades mecánicas:

Límite elástico: 56000 PSI (3935 kg/cm²) mínimo.

Resistencia a la tracción: 75000 PSI (5272 kg/cm²) mínimo y 95000 PSI (6678 kg/cm²(66780000kg/m²)) máximo.

Alargamiento en 2”: 24% mínimo.

-Carbono equivalente (por análisis en la colada):

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{7} < 0,46\%$$

El depósito almacenará gasóleo B, el cual está clasificado como tipo C en cuanto al tipo de almacenamiento, habiéndose elegido el diésel de Repsol e⁺, cuyas especificaciones pueden verse en el Anexo II: Especificaciones de Diésel REPSOL e⁺.

3.3 Diseño y cálculos

3.3.1 Depósito

3.3.1.1 Dimensiones del depósito

A continuación, se han calculado distintos volúmenes de cilindros para poder definir la capacidad geométrica que satisfaga la necesidad establecida de 50 m³, estableciéndose esta capacidad como la nominal del depósito (Tabla 3-5):

Diámetro(m)	Altura(m)	Volumen (m ³)
4,0	3,5	43,982
4,0	4,0	50,265
4,0	4,5	56,549
4,0	5,0	62,832

Tabla 3-5 Volúmenes de distintos cilindros

3.3.1.1.1 Capacidad Nominal

Establecida en base a la necesidad de gasóleo B de la Escuela Naval Militar (50 m³).

3.3.1.1.2 Capacidad Geométrica

Siendo la capacidad geométrica el volumen del cilindro de 4 m de diámetro y 4 m de altura con un espesor de pared de 4,7625 mm (conforme al código A.S.M.E.), más el volumen del casquete de cúpula esférica del techo de radio de esfera de 4 m, apoyada en la parte superior de la pared del depósito, de un radio de 4 m y una altura de 0,536 m desde la parte superior del cilindro.

· Volumen del cilindro:

$$V_{ci} = R^2 \cdot \pi \cdot h$$

*Donde:

R=Radio de la pared del cilindro menos el semiespesor de la pared.

h=Altura del cilindro.

$$V_{ci} = \left(2 - \frac{0,00048}{2}\right)^2 \cdot \pi \cdot 4 = 50,15 \text{ m}^3$$

· Volumen casquete esférico:

$$V_{ca} = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot h_{ca} \cdot (3 \cdot r_{ca}^2 + h_{ca}^2)$$

*Donde:

h_{ca}=Altura del casquete.

r_{ca}=Radio de la circunferencia del casquete esférico.

$$V_{ca} = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot 0,536 \cdot (3 \cdot 2^2 + 0,536^2) = 3,45 \text{ m}^3$$

· Volumen total:

$$V_T = V_{ci} + V_{ca} = 50,15 + 3,45 = 53,60 \text{ m}^3$$

3.3.1.1.3 Capacidad Útil

Calculada a partir de la resta del volumen geométrico menos el volumen del cilindro de igual diámetro y altura 0,25 m, establecido para la tubería de extracción e introducción del combustible:

$$V_U = V_T - V_{h=0,25} = 53,60 - (2^2 \cdot \pi \cdot 0,25) = 50,45 \text{ m}^3$$

(Similar al volumen mensual requerido)

3.3.1.2 Tamaño y grosor de las chapas de la pared

3.3.1.2.1 Espesor mínimo de las chapas de la pared del depósito

De acuerdo a la API-650, debe ser:

$$T = \frac{[2,6 \cdot D \cdot (H - 1) \cdot G]}{0,85 \cdot 21000}$$

Donde:

T = grosor mínimo, en pulgadas (in).

D = diámetro nominal de tanque, en pies (ft).

H = Altura, en pies, desde la base de la fila en cuestión a la parte más alta del tanque.

G = peso específico del líquido contenido, asignando en cualquier caso un valor no menor que 1,0.

Estos datos para nuestro depósito serán los siguientes:

$$D = 4 \text{ m} / 0,3048 \text{ m/ft} = 13,123 \text{ ft}$$

$$H = 4 \text{ m} / 0,3048 \text{ m/ft} = 13,123 \text{ ft}$$

$$G = 1,0 \text{ (Dado que el peso específico del gasóleo es máximo 0,89)}$$

Por tanto:

$$T = \frac{[2,6 \cdot 13,12 \cdot (13,12 - 1) \cdot 1]}{0,85 \cdot 21000} = 0,023 \text{ in (0,59 mm)}$$

Según API-650, el espesor mínimo de las chapas para depósitos de diámetro menor a 50 ft (15,2 m aproximadamente) no puede ser inferior a 0,1875 in (4,7625 mm), por lo que se determinará esta medida como espesor de las chapas de las paredes del depósito:

$$T = 0,1875 \text{ in (4,7625 mm)}$$

3.3.1.2.2 Espesor máximo de las chapas

La API-650 establece como espesor nominal máximo de chapa 0,5 in (12,7 mm), por lo que la anchura establecida en el apartado anterior será apta para el diseño del depósito. Sin embargo, en los cálculos resistentes que realizaremos más adelante se comprobará que dicho espesor resistirá las presiones de funcionamiento del depósito.

3.3.1.2.3 Anchura de las chapas

La API-650 establece que la anchura mínima de las chapas será de 72 in (182,88 cm), teniendo en cuenta la circunferencia del depósito:

$$2 \cdot \pi \cdot R = 2 \cdot \pi \cdot 2 = 12,57 \text{ m}$$

Se colocarán 5 chapas por fila con la siguiente anchura:

$$\frac{12,57}{5} = 2,514 \text{ m (98,98 in)}$$

3.3.1.2.4 Altura de las chapas

De acuerdo a la API-650, se establecerá el mismo valor mínimo que para la anchura de las chapas de 72 in (182,88 cm):

Dada la altura del depósito (4 m):

Se colocarán 2 filas de chapa de 2 m de altura cada una.

$$\frac{4}{2} = 2 \text{ m (78,74 in)}$$

La fila superior deberá tener una medida superior a la calculada para conformar el ángulo de apoyo del techo del depósito. Esta prolongación será de 55 mm, siendo el total de dichas planchas de **2,055 m**.

3.3.1.3 Techo del depósito

La norma API-650 establece que el dimensionamiento debe llevarse a cabo para una carga uniforme de 25 lb/ft² (122,06 kg/m²). En base a esto se realizan los cálculos subsiguientes.

3.3.1.3.1 Radio de la cúpula

Según API-650 el radio de la cúpula debe estar comprendido entre 0,8 y 1,2 veces el diámetro. En este caso hemos adoptado 1,0 veces el diámetro, siendo el radio (Figura 3-3):

$$R_{\text{cúpula}} = 1 \cdot 4 = 4 \text{ m (13,12 ft)}$$

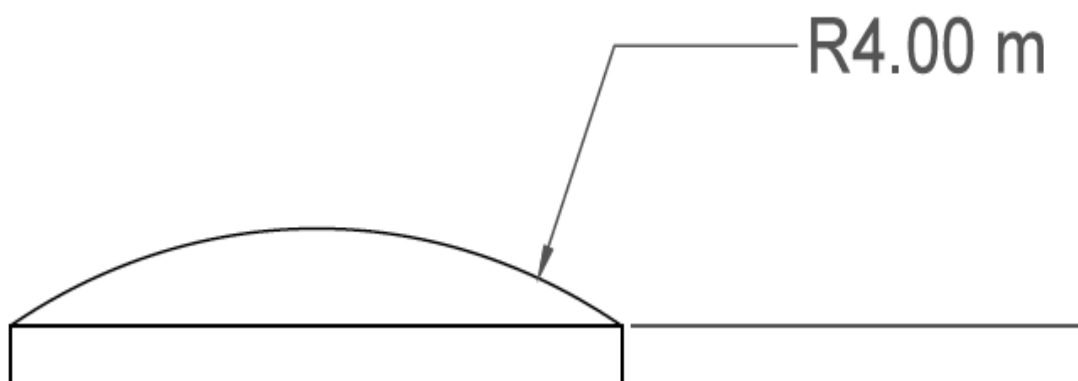


Figura 3-3 Cúpula (Ver Anexo III)

3.3.1.3.2 Espesor de la chapa del techo

Las especificaciones en cuanto al espesor de las chapas son las mismas que para las paredes, siendo estas 0,1875 in (4,7625 mm) como mínimo y 0,5 in (12,7 mm) como máximo. Para calcular el espesor del techo se aplica la fórmula:

$$T = \frac{R}{200}$$

Donde:

T=Espesor de las planchas en pulgadas (in).

R=Radio curvatura del techo en pies (ft).

$$T = \frac{13,12}{200} = 0,07 \text{ in}$$

Como podemos ver este valor es menor que 0,1875 in, por lo que el espesor, de acuerdo a la norma API-650 será **0,1875 in (4,7625 mm)**.

3.3.1.3.3 Comprobación de los apoyos

La norma API-650 establece que el área de la sección del ángulo superior de las paredes del depósito en el que se realiza el apoyo del techo más el área de las secciones de la propia pared del techo y del techo que quede comprendida en una distancia de 16 veces sus espesores medida desde el extremo del ángulo de apoyo, debe ser igual o mayor a la siguiente cifra en pulgadas cuadradas:

$$\text{Área}_{\text{sección}} \geq \frac{D \cdot R}{1500}$$

Donde:

D=Diámetro nominal del depósito en pies (ft).

R=Radio de la curvatura del techo en pies (ft).

Aplicándolo a nuestro depósito:

D=4 m (13,123 ft) y R=4 m (13,123 ft)

$$\text{Área}_{\text{sección}} = \frac{13,12 \cdot 13,12}{1500} = 0,12 \text{ in}^2 (74,12 \text{ mm}^2)$$

3.3.1.4 Base del depósito

La norma API-650 establece un espesor mínimo de 0,25 in (6,35 mm) para el fondo del depósito, por lo que se establecerá este valor dado que la normativa considera este apto para las dimensiones de nuestro depósito, además, también exige que se mantenga un reborde mínimo de 1 in (2,54 cm) más allá del borde de la soldadura exterior con las chapas que conforman la pared del depósito, también considerada como suficiente por la API-650 para las dimensiones del depósito.

Por tanto:

$$\text{Radio Base} = 2 + 0,0047625 + 0,0254 = 2,03 \text{ m}$$

$$\text{Espesor Fondo} = 6,35 \text{ mm}$$

$$\text{Peso Fondo} = 7,850 \cdot 0,00635 \cdot (2,03 \cdot \pi) = 0,64 \text{ kN} (65,44 \text{ kg})$$

3.3.1.5 Rigidizadores horizontales contra la acción del viento

La normativa API-650, en función de la velocidad del viento máxima en el lugar donde se localizará el depósito, establece si hay necesidad o no de reforzar el depósito aplicando la fórmula:

$$H_1 = 6 \cdot (100 \cdot t) \cdot \left(\frac{100 \cdot t}{D} \right)^{\frac{3}{2}}$$

Donde:

H=Altura máxima admisible con la que no es necesaria la utilización de rigidizadores, en pies (ft).

t=Espesor de la pared en pulgadas (in).

D=Diámetro nominal del depósito en pies (ft).

*La fórmula considera una velocidad de viento de 100 millas por hora. Si consideramos la velocidad máxima del viento de la zona concreta de localización del depósito habría que multiplicar la fórmula anterior por el factor:

$$f = \left(\frac{100}{V} \right)^2$$

En el que V es la velocidad máxima del viento en el lugar de instalación del depósito en millas por hora.

En nuestro caso:

t=0,1875 in (4,7625 mm)

D=13,123 ft(4 m)

V=66,42 m/h (106,9 km/h) *Según datos AEMET.

$$H_1 = \left(\frac{100}{66,42} \right)^2 \cdot 6 \cdot (100 \cdot 0,19) \cdot \left(\frac{100 \cdot 0,19}{13,12} \right)^{\frac{3}{2}} = \mathbf{435,52 \text{ ft (132,75 m)}}$$

Como podemos ver, la altura máxima es considerablemente superior a la altura del depósito, por lo que no será necesario el uso de rigidizadores en contra de la acción del viento.

3.3.1.6 Cálculo resistente del depósito

3.3.1.6.1 Empuje del combustible

Supondremos que el depósito se llenará de agua a 33,3°C, por lo que se considerará un peso específico de 999,06 kg/m³. Dadas las características del Gasóleo B que se plantea almacenar, el cual tiene un peso específico de 890 kg/m³ a 15°C como máximo (a mayor temperatura será incluso menor), implicará que se realicen los cálculos considerando un peso específico superior.

La situación más desfavorable es en la que el depósito está lleno. Esta circunstancia produce un empuje por unidad de longitud, que en la parte inferior del depósito sigue la siguiente ley triangular, que puede verse en la Figura 3-4:

$$\text{Empuje} = \text{Peso específico} \cdot \text{Altura}$$

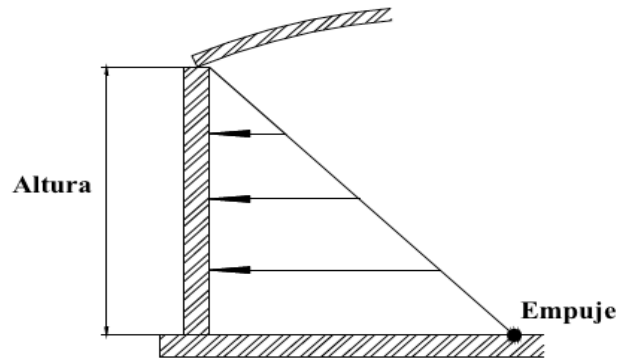


Figura 3-4 Ley triangular [38]

En nuestro caso:

Peso específico= 999,06 kg/m³

Altura=4 m

$$\text{Empuje} = 999,06 \cdot 4 = 3996,24 \text{ kg/m}^2$$

3.3.1.6.2 Peso propio de la pared y del techo

En primer lugar, hallaremos las masas por unidad de longitud del techo y las paredes de acuerdo con la SE-AE (con peso específico del acero=7,850 kN/m³):

Para la pared:

H=4 m

Espesor=4,7625 mm

Longitud total de la pared=2·π·R=2·π·2=12,57 m

$$\text{Peso/Ud. Longitud} = 4 \cdot (4,7625 \text{ E} - 3) \cdot 7,850 = 0,15 \text{ kN/m}$$

$$\text{Peso pared} = 12,57 \cdot 0,1495 = 1,87 \text{ kN}$$

Para el techo (aproximando al círculo plano):

Superficie=π·2²=12,57 m²

Espesor=4,7625 mm

$$\text{Peso Cúpula} = 12,57 \cdot (0,0048) \cdot 7,850 = 0,47 \text{ kN}$$

3.3.1.6.3 Acción del viento

Para realizar el estudio del empuje del viento nos basaremos en el documento SE-AE, además, aproximaremos la forma cilíndrica del depósito a un edificio cúbico de 4x4x4 m³ con cubierta plana, simplificando el cálculo y haciendo de este resultado más restrictivo.

La carga de viento, de acuerdo al SE-AE se define con la siguiente expresión:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

Donde, según el documento:

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. En edificios urbanos de hasta 8 plantas puede tomarse un valor constante, independiente de la altura, de 2,0.

c_p es 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.

Para nuestro depósito:

$$q_b = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$c_e = 2$$

*Para c_p acudiré a la tabla D.4 del anejo D del SE-AE, para un área frontal $\geq 10 \text{ m}^2$.

$$c_{p, \text{empuje}} = 0,2$$

$$c_{p, \text{succión}} = -1,8$$

Por tanto, las acciones del viento serán:

$$q_{e, \text{empuje}} = 0,5 \cdot 2 \cdot 0,2 = \mathbf{0,20 \text{ kN/m}^2}$$

$$q_{e, \text{succión}} = 0,5 \cdot 2 \cdot (-1,8) = \mathbf{(-1,80) \text{ kN/m}^2}$$

Como podemos ver, el valor del empuje es menor al de succión, siendo este último el que limite el diseño del depósito para soportar dicha carga.

3.3.1.6.4 Carga de nieve

En este apartado asumiremos el techo como un techo plano sin inclinación:

La superficie que se supone es la siguiente:

$$\text{Área del círculo plano} = \pi \cdot 2^2 = \mathbf{12,57 \text{ m}^2}$$

Del documento básico SE-AE obtenemos que la carga de nieve sobre terreno horizontal para la zona de Pontevedra (Zona 1), recogida en la tabla E.2 del anejo del citado documento, para una altitud de 0 metros sobre el nivel del mar es $0,3 \text{ kN/m}^2$, por tanto, la carga de nieve para nuestro caso será:

$$\text{Carga de Nieve} = 12,57 \cdot 0,3 = \mathbf{3,77 \text{ kN}}$$

3.3.1.6.5 Acción del sismo

Para la realización del estudio sísmico, el Documento Básico nos remite a la Norma de Construcción Sismorresistente: Parte general y de edificación (NCSE-02). Esta norma establece una clasificación de las construcciones en función de su importancia, siendo la que nos atañe una construcción de Importancia Especial. De esta hallamos la siguiente información sísmica:

-Aceleración Sísmica Básica: Para la provincia de Pontevedra, esta tiene un valor de **0,04**, valor obtenido del Mapa de Peligrosidad Sísmica de la NCSE-02, que tiene la siguiente expresión:

$$\frac{a_b}{g} = \mathbf{0,04}$$

Donde:

a_b =Aceleración Sísmica Básica

g =Aceleración de la Gravedad ($9,81 \text{ m/s}^2$)

-Coeficiente de contribución (K)= 0,04 *Tiene en cuenta la influencia de los distintos tipos de terremotos esperados en la peligrosidad sísmica de cada punto.

-Aceleración Sísmica de Cálculo (a_c), definida como:

$$a_c = S \cdot \rho \cdot a_b \cdot g$$

Donde:

ρ =Coeficiente adimensional del riesgo, varía en función del tipo de construcción, siendo para nuestro caso **1,3** (Construcción de Importancia Especial)

S=Coeficiente de ampliación del terreno, que para nuestro caso toma el valor ($\rho \cdot a_b \leq 0,1g$):

$$S = \frac{c}{1,25}$$

*Donde “C” es el coeficiente del terreno que depende de las características geotécnicas del terreno de cimentación, en el que en nuestro caso es de Tipo I, por tanto, C=1,0.

$$S = \frac{1}{1,25} = \mathbf{0,80}$$

Por tanto:

$$a_c = 0,8 \cdot 1,3 \cdot 0,04 \cdot 9,81 = \mathbf{0,40 \, m/s^2}$$

-Espectro de respuesta elástica en la superficie del terreno para aceleraciones horizontales, correspondiente a un oscilador lineal simple con un amortiguamiento de referencia del 5% respecto del crítico. Está definido por los siguientes valores:

$$Si \, T < T_A; \, \alpha(T) = 1 + \frac{1,5 \cdot T}{T_A}$$

$$Si \, T_A \leq T \leq T_B; \, \alpha(T) = 2,5$$

$$Si \, T > T_B; \, \alpha(T) = \frac{K \cdot C}{T}$$

Donde:

$\alpha(T)$ =Valor del espectro normalizado de respuesta elástica.

T=Período propio del oscilador en segundos.

K= Coeficiente de contribución.

C=Coeficiente del terreno, que tiene en cuenta las características geotécnicas del terreno de cimentación.

Hallaremos T_A y T_B para Pontevedra (Terreno tipo I):

C=1

K=0.04

$$T_A = \frac{K \cdot C}{10} = \mathbf{0,004}$$

$$T_A = \frac{K \cdot C}{2,5} = \mathbf{0,016}$$

Dibujando dicha función la siguiente gráfica (Figura 3-5):

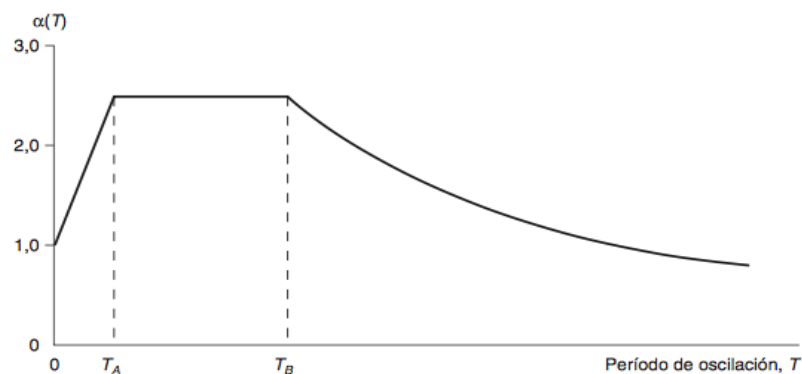


Figura 3-5 Espectro de respuesta elástica [39]

Por otra parte, solo se considerarán las acciones gravitatorias, dado que el resto (horizontales y otras acciones) tienen una baja probabilidad de que se den simultáneamente a las de sismo:

-Acciones gravitatorias: Encontramos dos, el peso propio y las cargas de nieve, no considerándose estas últimas por las mismas razones que se han mencionado anteriormente.

Peso propio: Se considerará el peso de las paredes, el peso del techo y el peso del combustible para la totalidad del volumen útil del depósito.

Donde:

Capacidad útil=50,45 m³

Peso específico del gasóleo=999,06 kg/m³ (9,801 kN/m³)

Peso paredes=1,87 kN

Peso cúpula=0,4699 kN

$$Peso\ Total = 1,87 + 0,4699 + (9,801 \cdot 50,45) = \mathbf{496,80\ kN}$$

Además, la NCSE-02 permite realizar los cálculos con el método simplificado si cumple los siguientes requisitos:

1. El número de plantas sobre rasante es inferior a veinte. En nuestro caso, el concepto de “planta” se asocia al de “apoyos más cubierta”, siendo para nuestro depósito una planta. Para nuestro caso, **SE CUMPLE**.

2. La altura del edificio sobre rasante es inferior a 60 m. En nuestro caso (4 m de altura), **SE CUMPLE**.

3. Existe regularidad geométrica en planta y en alzado, sin entrantes ni salientes importantes. Para nuestro depósito, con planta circular, **SE CUMPLE**.

4. Dispone de soportes continuos hasta cimentación, uniformemente distribuidos en planta y sin cambios bruscos en su rigidez. En nuestro caso, **SE CUMPLE**.

5. Dispone de regularidad mecánica en la distribución de rigideces, resistencias y masas, de modo que los centros de gravedad y de torsión de todas las plantas estén situados, aproximadamente, en la misma vertical. Para nuestra construcción, **SE CUMPLE**.

6. La excentricidad del centro de las masas que intervienen en el cálculo sísmico respecto al de torsión es inferior al 10% de la dimensión en planta del edificio en cada una de las direcciones principales. **SE CUMPLE**.

Una vez comprobados los requisitos para el cálculo simplificado, se procederá al mismo desarrollándose en los siguientes pasos:

-Modos de vibración:

Se considerarán los siguientes modos de vibración según la NCSE-02:

1. El primer modo, si $T_F \leq 0,75$ s.
2. El primer y segundo modos, si $0,75 < T_F \leq 1,25$ s.
3. Los tres primeros modos, si $T_F > 1,25$ s.

Para la consideración de los efectos de los distintos modos, se aceptan las siguientes relaciones entre los periodos del modo i, T_i , y del modo fundamental, T_F :

$$T_i = \frac{T_F}{(2 \cdot i) - 1}$$

En nuestro caso, el depósito se asemeja a una construcción de pórticos rígidos de acero laminado, por lo que tendrá un periodo fundamental que sigue la siguiente expresión:

$$T_F = 0,11 \cdot n$$

Donde n es el número de plantas sobre la rasante, siendo para nuestro caso $n=1$.

$$T_F = 0,11 < 0,75$$

Por tanto, se empleará el primer modo de vibración:

$$T_i = \frac{0,11}{(2 \cdot 1) - 1} = 0,11$$

-Cálculo de fuerzas sísmicas:

De acuerdo a la NCSE-02, se calcula según:

$$F_{ik} = S_{ik} \cdot P_{ik}$$

Donde:

P_{ik} = Peso correspondiente a la masa, m_k , de la planta k.

S_{ik} = Coeficiente sísmico adimensional correspondiente a la planta k en el modo i, de valor:

$$s_{ik} = \left(\frac{a_c}{g} \right) \cdot \alpha_i \cdot \beta \cdot \eta_{ik}$$

siendo:

a_c = Aceleración sísmica de cálculo, expresada en m/s^2 .

g = Aceleración de la gravedad, expresada igualmente en m/s^2 .

β = Coeficiente de respuesta.

η_{ik} = Factor de distribución correspondiente a la planta k, en el modo i.

α_i = Coeficiente de valor:

$$\text{Para } T_i \leq T_B; \alpha_i = 2,5$$

$$\text{Para } T_i > T_B; \alpha_i = 2,5 \cdot \frac{T_B}{T_i}$$

T_i = Período del modo considerado.

T_B = Período característico del espectro.

Para nuestro estudio:

$$a_c = 0,4 \text{ m/s}^2$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$T_i = 0,11$$

$$T_B = 0,016$$

$$\alpha_i = 2,5 \cdot (0,016/0,11) = 0,36$$

β y η_{ik} se calcularán del siguiente modo:

$$\beta = \frac{v}{\mu}$$

Siendo:

v = Factor de modificación del espectro en función del amortiguamiento. (Nuestro caso $v = 1,09$ según la NCSE-02)

μ = Coeficiente de comportamiento por ductilidad. (En nuestro caso $\mu = 1$, según la NCSE-02)

$$\beta = \mathbf{1,09}$$

$$\eta_{ik} = \phi_{ik} \cdot \left(\frac{\sum(m_k \cdot \phi_{ik})}{\sum(m_k \cdot \phi_{ik}^2)} \right)$$

Donde:

n = Número de plantas (Para nuestro depósito $n=1$).

m_k = Masa de la planta k (Para nuestro depósito $m_k = 496,8 \cdot 1000/9,81 = 50642,2 \text{ kg}$).

$$\phi_{ik} = \sin[(2i-1) \cdot \pi \cdot h_k / (2 \cdot H)] = 0,0274$$

h_k = Altura sobre la rasante de la planta k (Para nuestro caso, 4 m).

H = Altura total de la estructura del edificio (Para $H = 4 \text{ m}$).

$$\eta_{ik} = 0,0274 \cdot \left(\frac{0,0274 \cdot 50642,2}{0,0274^2 \cdot 50642,2} \right) = \mathbf{1}$$

Por tanto:

$$s_{ik} = \frac{0,4}{9,81} \cdot 0,36 \cdot 1,09 \cdot 1 = \mathbf{0,016}$$

Así, con estos datos, hallamos la fuerza sísmica:

$$F_{ik} = S_{ik} \cdot P_{ik}$$

Donde:

$$P_{ik} = 496,8 \text{ kN}$$

$$S_{ik} = 0,016$$

$$F_{ik} = 496,8 \cdot 0,016 = \mathbf{7,95 \text{ kN}}$$

3.3.1.6.6 Tensiones normales

3.3.1.6.6.1 Tensión circunferencial normal a la que está sometido el acero de las paredes:

Se considera la hipótesis más desfavorable del depósito lleno y cálculo en el nivel de base de la chapa de pared. La relación entre el espesor de chapa de pared del tanque y el diámetro del mismo es:

$$\text{Relación} = \frac{0,0047625}{4} = 0,00191$$

Por lo que se considera válida la aproximación de cálculo de tensiones en la pared como si se tratase de un “tubo de pared delgada” de acuerdo a la siguiente figura (Figura 3-6):

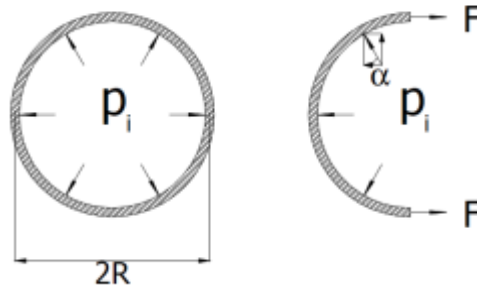


Figura 3-6 Tensiones en pared delgada [38]

Por tanto, dada la figura:

$$F = p_i \cdot R \quad (p_i=3996,24 \text{ kg/m}^2, \text{ calculado en apartado 3.3.1.6.1})$$

Que, para nuestro caso, sería:

$$F = 3996,24 \cdot 2 = 7992,50 \text{ kg/m}$$

Que para el espesor determinado para el depósito (4,6725 mm) supone una tensión de tracción:

$$T_{tr} = \frac{7992,5}{0,0048} = 1678211 \text{ kg/m}^2$$

3.3.1.6.6.2 Tensión vertical normal en las paredes:

El punto más desfavorable es el de la base de las paredes. Sobre estas, se da la carga suma de las siguientes:

$$\text{Peso de pared y techo} = \frac{(1,87 + 0,47) \cdot 1000}{9,81 \cdot 12,57} = 18,98 \text{ kg/m}$$

$$\text{Carga de nieve} = \frac{3,77 \cdot 1000}{9,81 \cdot 12,57} = 30,57 \text{ kg/m}$$

$$\text{Total} = 49,55 \text{ kg/m}$$

Que, divididos por el espesor de 0,0047625 m dan una tensión de compresión de:

$$T_{comp} = \frac{49,55}{0,0048} = 104042 \text{ kg/m}^2$$

3.3.1.6.6.3 Presión sobre la base de apoyo del depósito:

El producto del peso específico del fluido por la altura máxima que alcanza supone una presión de:

$$\text{Presión líquido} = 999,06 \cdot 4 = \mathbf{3996,24 \text{ kg/m}^2}$$

3.3.1.6.6.4 Tensión normal provocada por la acción del viento:

Se trata de hallar la tensión en la sección horizontal de corona circular de la base del tanque. Para ello se supone la acción equivalente del viento calculada en el apartado 3.3.1.6.3 aplicada a media altura del depósito, de manera que se tienen los siguientes valores de tracciones y compresiones:

$$\sigma = +/ - \frac{M \cdot y}{I}$$

Donde:

M (Momento de la fuerza)=366,8 kg·m

y (Radio del depósito)=2 m

I (momento de inercia de la corona circular)=0,0299 m⁴

Por tanto:

$$\sigma = +/ - \mathbf{24546,70 \text{ kg/m}^2}$$

3.3.1.6.6.5 Tensión normal provocada por la acción del sismo:

Se trata de hallar la tensión en la sección horizontal de corona circular de la base del tanque. Para ello se supone la acción equivalente del sismo calculada en el apartado 3.3.1.6.5 aplicada en la parte superior del tanque, de manera que se tienen los siguientes valores de tracciones y compresiones:

$$\sigma = +/ - \frac{M \cdot y}{I}$$

Donde:

M (Momento de la fuerza)=3245,67 kg·m

y (Radio del depósito)=2 m

I (momento de inercia de la corona circular)= 0,0299 m⁴

Por tanto:

$$\sigma = +/ - \mathbf{217101,60 \text{ kg/m}^2}$$

3.3.1.6.6.6 Resumen y comparación de las tensiones normales:

Las posibles combinaciones de los resultados anteriores son las que se resumen a continuación:

·La tensión circunferencial normal a la que está sometido el acero de las paredes no se combina con otras hipótesis, siendo su valor 1678211 kg/m², que queda por tanto con un factor de seguridad en cuanto al acero empleado de:

$$f_s = \frac{66780000}{1678211} = 39,80$$

·Tensión vertical normal en las paredes de compresión de 104042 kg/m² y Tensión normal provocada por la acción del viento de compresión o tracción de 24526,7 kg/m².

Dan lugar a unos valores:

$$104042 + 24526,7 = 128568,70 \text{ kg/m}^2$$

$$104042 - 24526,7 = 79515,30 \text{ kg/m}^2$$

Lo que suponen un factor de seguridad en cuanto al acero de:

$$f_s = \frac{66780000}{128568,7} = 519,40$$

$$f_s = \frac{66780000}{79515,3} = 839,80$$

·Tensión vertical normal en las paredes de compresión de 104042 kg/m² y Tensión normal provocada por la acción del sismo de compresión o tracción de 217101,6 kg/m².

Dan lugar a unos valores:

$$104042 + 217101,6 = 321143,60 \text{ kg/m}^2$$

$$104042 - 217101,6 = (-113059,60) \text{ kg/m}^2$$

Lo que suponen un factor de seguridad en cuanto al acero de:

$$\frac{66780000}{321143,6} = 207,90$$

$$\frac{66780000}{113059,6} = 590$$

·Presión sobre la base de apoyo del tanque con un valor de:

$$3996,24 \text{ kg/m}^2$$

El cual queda muy por debajo del máximo admisible para el acero empleado de 66780000 kg/m². Por tanto, se demuestra que para todos los casos el diseño es correcto.

3.3.1.6.7 Tensiones tangenciales

Las tensiones tangenciales debidas a la cortante más desfavorables se producen en la base del depósito, estando provocadas por las acciones horizontales actuantes sobre el depósito de viento y sismo. El cálculo de las tensiones tangenciales se lleva a cabo para el centro de la sección horizontal de corona de circular de pared del depósito, siendo aquí, por tanto, la hipótesis más desfavorable:

$$T_t = \frac{Q \cdot M_e}{b \cdot I}$$

Donde:

T_t= Tensión tangencial.

Q= Esfuerzo cortante.

M_e=(Longitud del círculo/2)·Espesor·Distancia al centro de gravedad. Este es el momento estático respecto al eje de la sección (el centro de gravedad de la semicircunferencia se sitúa a 2·R/ H del centro de la circunferencia).

b= Espesor de la sección a la altura de la fibra del cálculo (será dos veces el espesor de la chapa).

I= Momento de inercia de la corona circular.

3.3.1.6.7.1 Tensión tangencial debido al viento:

$Q=1,8 \cdot 1000/9,81=183,5$ kg (Acciones del viento)

$M_e=(12,57/2) \cdot 0,0047625 \cdot 2 \cdot 2 \cdot \pi=0,376$ m³

$b=0,0047625$ m

$I=1/4 \cdot \pi \cdot (R_{\text{ext}}^4 - R_{\text{int}}^4)=0,0299$ m⁴

$$T_t = \frac{Q \cdot M_e}{b \cdot I} = \frac{183,5 \cdot 0,376}{0,0048 \cdot 0,03} = 484526,70 \text{ kg/m}^2$$

3.3.1.6.7.2 Tensión tangencial debido al sismo:

$Q=7,95 \cdot 1000/9,81=810,4$ kg (Acciones del sismo)

$M_e=(12,57/2) \cdot 0,0047625 \cdot 2 \cdot 2 \cdot \pi=0,376$ m³

$b=0,0047625$ m

$I=1/4 \cdot \pi \cdot (R_{\text{ext}}^4 - R_{\text{int}}^4)=0,0299$ m⁴

$$T_t = \frac{Q \cdot M_e}{b \cdot I} = \frac{810,4 \cdot 0,376}{0,0048 \cdot 0,03} = 2139839 \text{ kg/m}^2$$

3.3.1.6.7.3 Resumen de las tensiones tangenciales:

Como podemos ver, ambas tensiones tangenciales son inferiores a la máxima admisible del acero elegido (66780000 kg/m²).

3.3.1.6.8 Cálculo de la tensión combinada

La combinación de tensiones, basada en un círculo de Mohr bidimensional, sigue la siguiente fórmula:

$$\sigma_1 = \sqrt{\left(\frac{\sigma_n}{2}\right)^2 + T_t^2}$$

Donde:

σ_n =Tensión normal máxima. ($\sigma_n=1678211$ kg/m²).

T_t =Tensión tangencial máxima. ($T_t=2139839$ kg/m²).

Por tanto:

$$\sigma_1 = \sqrt{\left(\frac{1678211}{2}\right)^2 + 2139839^2} = 2298479,70 \text{ kg/m}^2$$

Finalmente, comprobamos que la combinación de tensiones es considerablemente inferior a la tensión máxima admisible del acero elegido (66780000 kg/m²), por lo que se confirma que el diseño es satisfactorio.

3.3.1.6.9 Cálculo de las tensiones en el techo del tanque

Para el siguiente apartado se considerará el techo como placa circular plana simplemente apoyada en su contorno para la situación en que se encuentra sometido únicamente al peso propio, y se añadirá el valor resultante de considerar el techo como placa circular plana empotrada en su contorno para la situación provocada por la carga de nieve calculada en el apartado 3.3.1.6.4.

Las ecuaciones resultantes para este cálculo, en cuanto a tensiones radiales y angulares, son las siguientes respectivamente:

Para peso propio:

$$\sigma_r = \left(\frac{-3 \cdot p_0 \cdot z}{4 \cdot h^3} \right) \cdot (3 + V) \cdot (a^2 - r^2)$$

$$\sigma_t = \left(\frac{-3 \cdot p_0 \cdot z}{4 \cdot h^3} \right) \cdot [a^2 \cdot (3 + V) - r^2 \cdot (1 + 3 \cdot V)]$$

Para carga de nieve:

$$\sigma_r = \left(\frac{-3 \cdot p_0 \cdot z}{4 \cdot h^3} \right) \cdot [a^2 \cdot (1 + V) - r^2 \cdot (3 + V)]$$

$$\sigma_t = \left(\frac{-3 \cdot p_0 \cdot z}{4 \cdot h^3} \right) \cdot [a^2 \cdot (1 + V) - r^2 \cdot (1 + 3 \cdot V)]$$

Donde:

p_0 = Carga uniforme.

z = Cota del espesor de la placa para la que se calcula la tensión, medida desde el centro del espesor.

h = Espesor total de la placa.

V = Coeficiente de Poisson del material.

a = Radio de circunferencia de la placa.

r = Radio para el que se calcula la tensión.

Para nuestro caso, los datos son los siguientes:

$$P_0(\text{Peso propio}) = (0,4699 \cdot 1000 / 9,81) / 12,57 = 3,81 \text{ kg/m}^2$$

$$P_0(\text{Carga de nieve}) = (3,77 \cdot 1000 / 9,81) / 12,57 = 30,57 \text{ kg/m}^2$$

$$z = h/2 = 0,0047625 / 2 = 0,00238125 \text{ m}$$

$$h = 0,0047625 \text{ m}$$

$$V = 0,28 \text{ (Para el acero seleccionado).}$$

$$a = 2 \text{ m}$$

$$r = 0 \text{ m (Para el centro de la placa).}$$

$$r = 2 \text{ m (Para el borde de la placa).}$$

3.3.1.6.9.1 Tensiones radiales:

·Centro del techo:

$$\sigma_r = \left(\frac{-3 \cdot 3,81 \cdot 0,0024}{4 \cdot 0,0048^3} \right) \cdot (3,28) \cdot (2^2 - 0^2) = (-826456,80) \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma_r = \left(\frac{-3 \cdot 30,57 \cdot 0,0024}{4 \cdot 0,0048^3} \right) \cdot [2^2 \cdot (1,28) - 0^2 \cdot (3,28)] = (-2587776) \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma_{r.Total} = (-3414232,80) \text{ kg/m}^2$$

·Borde del techo:

$$\sigma_r = \left(\frac{-3 \cdot 3,81 \cdot 0,0024}{4 \cdot 0,0048^3} \right) \cdot (3,28) \cdot (2^2 - 2^2) = 0 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma_r = \left(\frac{-3 \cdot 30,57 \cdot 0,0024}{4 \cdot 0,0048^3} \right) \cdot [2^2 \cdot (1,28) - 2^2 \cdot (3,28)] = 4043400 \text{ kg/m}^2$$

3.3.1.6.9.2 Tensiones tangenciales:

·Centro del techo:

$$\sigma_t = \left(\frac{-3 \cdot 3,81 \cdot 0,0024}{4 \cdot 0,0048^3} \right) \cdot [2^2 \cdot (3,28) - 0] = (-826456,70) \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma_t = \left(\frac{-3 \cdot 30,57 \cdot 0,0024}{4 \cdot 0,0048^3} \right) \cdot [2^2 \cdot (1,28) - 0] = (-2587776) \text{ kg/m}^2$$

·Borde del techo:

$$\sigma_t = \left(\frac{-3 \cdot 3,81 \cdot 0,0024}{4 \cdot 0,0048^3} \right) \cdot [2^2 \cdot (3,28) - 2^2 \cdot (1,84)] = (-362834,60) \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma_t = \left(\frac{-3 \cdot 30,57 \cdot 0,0024}{4 \cdot 0,0048^3} \right) \cdot [2^2 \cdot (1,28) - 2^2 \cdot 1,84] = (-2911248,10) \text{ kg/m}^2$$

Como podemos ver, ninguna de las tensiones anteriores supera la máxima admisible del acero seleccionado (66780000 kg/m²) por lo que queda comprobado que el diseño es satisfactorio.

3.3.1.7 Cubeto de retención

El Reglamento de Instalaciones Petrolíferas establece que cuando un cubeto contiene un solo depósito que albergue (como es nuestro caso) hidrocarburos de las clases B o C, este deberá tener una capacidad para recoger la capacidad total del depósito, debiendo tener además una altura mínima de un metro desde el suelo.

Por tanto, dada la capacidad nominal del depósito:

$$V_{nominal} = 50 \text{ m}^3$$

Por tanto, dada la parcela elegida en el apartado 3.2, y dejando una distancia de 1 m desde los bordes del depósito hasta el muro del cubeto de planta cuadrada y un ancho de 30 cm y longitud del lado igual a 6 m y una altura del muro del cubeto de 1,5 m (Ver Figura 3-7):

$$V_{cubeto} = 1,5 \cdot 6 \cdot 6 = 54 \text{ m}^3 \geq \text{Capacidad del depósito}$$

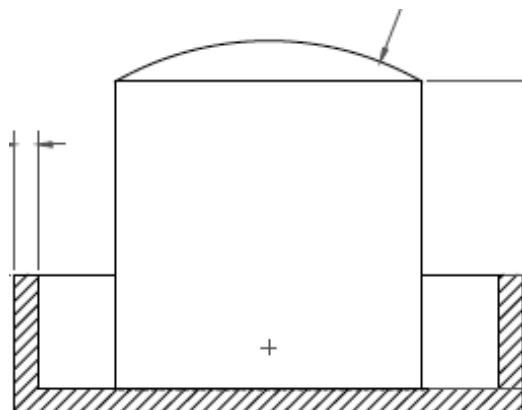


Figura 3-7 Cubeto y depósito (Ver Anexo III)

3.3.2 Tuberías, válvulas y bombas

3.3.2.1 Condiciones mínimas requeridas

En primer lugar, se establecerá el requerimiento calculado para el “Tabarca” en los puntos 3.1 y 3.2, en el que se establecía la necesidad semanal de 10000 l, que para nuestro caso se establecerá el caudal de suministro a las embarcaciones de 10000 l/h como mínimo, siendo este de 166,7 l/min.

Por otro lado, la ITC-MI-IP-03 establece que la estación de bombeo para este tipo de instalaciones debe tener una capacidad de trasiego de producto superior a los 15 m³/h (15000 l/h) para combustibles de la clase C, así como una velocidad máxima del combustible en la tubería de 3 m/s. Como podemos ver, este valor mínimo de caudal permite satisfacer el requisito de poder repostar con un caudal de 10000 l/h.

3.3.2.2 Tuberías

En base a lo expuesto en el apartado anterior, se procede al cálculo del diámetro mínimo que debe tener el circuito. Para ello se han considerado los diámetros que, según la ITC-MI-IP-03 y la UNE-19-040 de tuberías de acero de uso general (Tabla 3-6), son de aplicación en este tipo de instalaciones:

V (m/s)	Diámetro Ext.(mm)	Espesor (mm)	Sección (m ²)	Caudal (l/min)	Caudal (l/h)
3	10,01	2	2,84E-05	5,1	306,4
3	13,05	2,3	5,61E-05	10,1	605,7
3	17,02	2,3	1,21E-04	21,8	1308,4
3	21,3	2,6	2,04E-04	36,6	2198,7
3	26,9	2,6	3,70E-04	66,6	3994,2
3	33,7	3,2	5,85E-04	105,4	6321,8
3	42,4	3,2	1,02E-03	183,2	10993,1
3	48,3	3,2	1,38E-03	248,2	14891,6
3	60,3	3,6	2,21E-03	398,6	23916,8

Tabla 3-6 Caudales en función a diámetros UNE 19-040

En base a los resultados, se ha decidido utilizar una tubería de diámetro exterior de **60,3 mm** y espesor de **3,6 mm** de acuerdo a la UNE 19-040 la cual tiene un diámetro nominal de **2 in**, pero estableciendo una velocidad del fluido de **2 m/s**, lo que nos proporcionaría un caudal de **15945 l/h**, calculado con la fórmula:

$$Q = v \cdot A$$

Donde v es la velocidad del fluido y A es la sección de la tubería.

3.3.2.3 Válvulas

Las válvulas y accesorios del circuito de combustible deberán ser del mismo material que las tuberías, además de tener las mismas características. Para nuestro trabajo se precisarán cinco válvulas, cuyas posiciones están indicadas en el Anexo III: Planos. El servicio de las válvulas en este trabajo será la de cortar la salida del combustible, así como permitir el aislamiento del depósito. También se localizarán en tramos de conducción de combustible para permitir el aislamiento de los mismos.

La selección de la válvula se realizará en función del diámetro nominal de la tubería, ciñéndonos a la norma ISO 5752 (Tabla 3-7) de dimensión de válvulas:

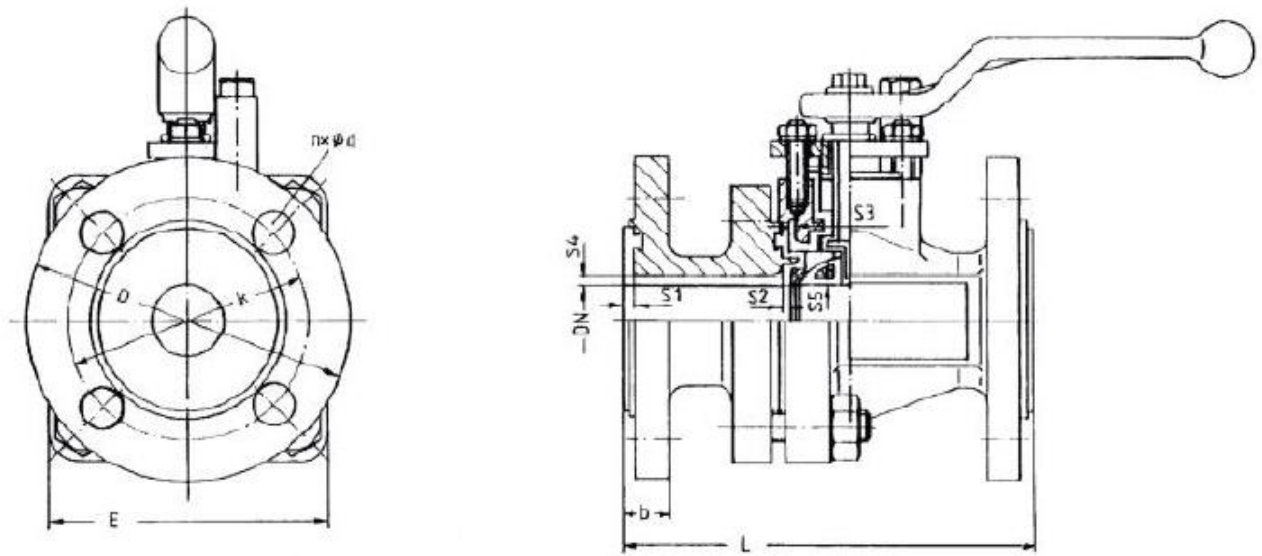


Figura 3-8 Medidas de válvulas según ISO 5752 [40]

DN/ANSI (in)	L (mm)	E (mm)	b (mm)	D (mm)	k (mm)
1	127	97	14,5	107,9	79,2
1,5	165	118	18	127	98,5
2	178	140	19	152,4	120,5
3	203	220	21,5	190,5	152,5
4	229	245	26	228,6	190,5

Tabla 3-7 Medias ISO para válvulas [40]

Por tanto, dado que el diámetro nominal de nuestras tuberías es de dos pulgadas, se elige la válvula del mismo diámetro nominal, cuyas dimensiones se pueden ver en la Tabla 3-7.

3.3.2.4 Pérdidas de carga

En este apartado, realizaremos los cálculos para obtener las pérdidas de carga de acuerdo a los diferentes elementos del circuito de tuberías.

3.3.2.4.1 Codos

Para el cálculo de las pérdidas de carga en los codos aplicaremos la fórmula de Weisbach para codos bruscos:

$$\Delta h = \frac{k \cdot V^2}{2 \cdot g}$$

Donde:

V=Velocidad del fluido en la tubería.

g=Gravedad

k=Coeficiente en función del ángulo del codo (w). Toma los siguientes valores:

$$k = 0,946 \cdot \sin^2\left(\frac{w}{2}\right) + 2,047 \cdot \sin^4\left(\frac{w}{2}\right)$$

Que para diferentes ángulos de codos normalizados según UNE 19.071-63 (Tabla 3-8) obtiene un valor de:

w	20°	40°	60°	80°	90°	100°	120°
k	0,046	0,139	0,364	0,74	0,984	1,26	1,861

Tabla 3-8 Valores de k según el ángulo del codo

En nuestro caso, nuestro circuito consta de ocho codos de 90° y uno de 120°:

Para 90°:

$$\Delta h = \frac{0,984 \cdot 2^2}{2 \cdot 9,81} = \mathbf{0,20 \text{ m. c. a.}}$$

Para 120°:

$$\Delta h = \frac{1,861 \cdot 2^2}{2 \cdot 9,81} = \mathbf{0,38 \text{ m. c. a.}}$$

Que hacen un total de:

$$\Delta h_{\text{codos}} = 0,2 \cdot 8 + 0,38 = \mathbf{1,98 \text{ m. c. a.}}$$

3.3.2.4.2 Válvulas

El cálculo de las pérdidas de carga en las válvulas se rige por la misma fórmula que para codos, pero el valor de k será un coeficiente que tiene un valor en función del tipo de accesorio, para las válvulas tiene un valor de 12:

$$\Delta h_{\text{válvula}} = \frac{12 \cdot 2^2}{2 \cdot 9,81} = \mathbf{2,45 \text{ m. c. a.}}$$

Nuestro circuito contará con cuatro válvulas, que hacen un total de pérdidas de:

$$\Delta h_{\text{válvula}} = 2,45 \cdot 4 = \mathbf{9,80 \text{ m. c. a.}}$$

3.3.2.4.3 Tuberías lineales

En este apartado se tendrán en cuenta las longitudes de las tuberías desde el depósito hasta la zona de abastecimiento cuya disposición puede verse en el Plano 1 (Anexo III: Planos). Además, para su cálculo aplicaremos la fórmula de Darcy-Weisbach:

$$\Delta h = i \cdot L$$

Donde:

L=Longitud del tramo de tubería.

i=Coeficiente, cuya expresión es la siguiente:

$$i = \frac{f \cdot V^2}{D \cdot 2 \cdot g}$$

Donde:

D=Diámetro de la tubería.

V=Velocidad del fluido.

f=Número obtenido a partir del diagrama de Moody (Figura 3-9) a partir del Número de Reynolds y la rugosidad relativa, calculado a partir de:

$$Re = \frac{D \cdot V}{\nu}$$

$$R_R = \frac{k}{D}$$

Donde ν es la viscosidad cinemática del fluido, que en el caso del gasóleo B es $1,6 \text{ mm}^2/\text{s}$ y k es la rugosidad de la tubería, que, en nuestro caso, para acero, es $0,046 \text{ mm}$.

Por tanto:

$$Re = \frac{50,8 \cdot 2000}{1,6} = 254000$$

$$R_R = \frac{0,046}{50,8} = 9,06E - 4$$

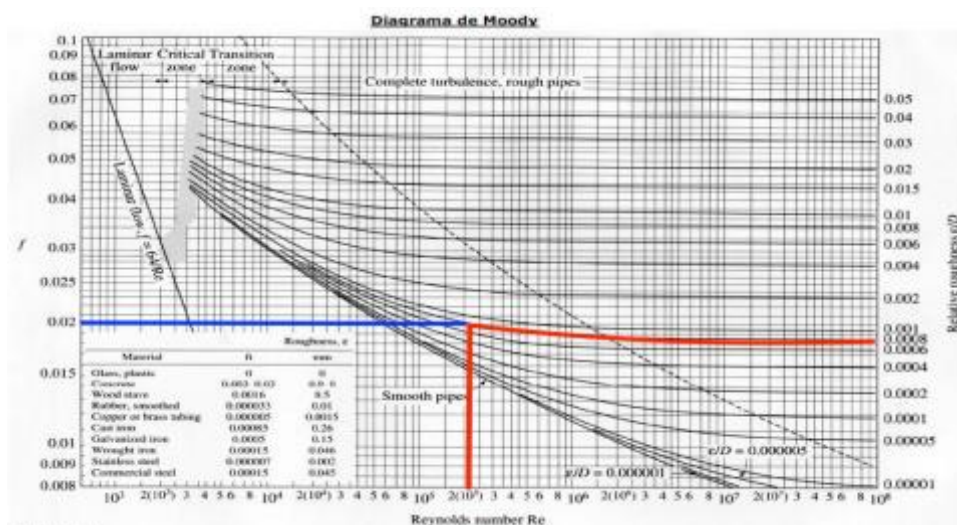


Figura 3-9 Diagrama de Moody con la elección de f [41]

Tras calcular el número de Reynolds y la rugosidad relativa, obtenemos un valor de f de **0,02**.

Por tanto, con estos resultados, obtenemos el valor de i para más adelante calcular las pérdidas de carga de los diferentes tramos de tubería:

$$i = \frac{0,02 \cdot 2^2}{0,0508 \cdot 2 \cdot 9,81} = \mathbf{0,08}$$

A continuación, calcularemos las pérdidas de carga totales para los dos recorridos que hay en nuestro circuito, siendo el primero y determinante de la presión de la bomba el recorrido entre el depósito y la zona de abastecimiento.

-Recorrido 1 (Depósito-Zona de abastecimiento):

Tramo Depósito-válvula:

$$\Delta h_{\text{Depósito-válvula}} = 0,08 \cdot 0,20 = \mathbf{0,02 \text{ m. c. a.}}$$

Tramo válvula-codo:

$$\Delta h_{\text{Válvula-codo}} = 0,08 \cdot 0,52 = \mathbf{0,04 \text{ m. c. a.}}$$

Tramo codo-codo-1:

$$\Delta h_{\text{codo-codo-1}} = 0,08 \cdot 1,50 = \mathbf{0,12 \text{ m. c. a.}}$$

Tramo codo-codo-2:

$$\Delta h_{\text{codo-codo-2}} = 0,08 \cdot 0,30 = \mathbf{0,02 \text{ m. c. a.}}$$

Tramo codo-codo-3:

$$\Delta h_{\text{codo-codo-3}} = 0,08 \cdot 1,50 = \mathbf{0,12 \text{ m. c. a.}}$$

Tramo codo-válvula:

$$\Delta h_{\text{codo-válvula}} = 0,08 \cdot 3,80 = \mathbf{0,30 \text{ m. c. a.}}$$

Tramo válvula-bomba:

$$\Delta h_{\text{válvula-bomba}} = 0,08 \cdot 0,20 = \mathbf{0,02 \text{ m. c. a.}}$$

Tramo bomba-válvula:

$$\Delta h_{\text{bomba-válvula}} = 0,08 \cdot 1 = \mathbf{0,08 \text{ m. c. a.}}$$

Tramo codo-codo-4:

$$\Delta h_{\text{codo-codo-4}} = 0,08 \cdot 5,11 = \mathbf{0,41 \text{ m. c. a.}}$$

Tramo codo-codo-5:

$$\Delta h_{\text{codo-codo-5}} = 0,08 \cdot 6,50 = \mathbf{0,52 \text{ m. c. a.}}$$

Tramo codo-codo-6:

$$\Delta h_{\text{codo-codo-6}} = 0,08 \cdot 155,6 = \mathbf{12,50 \text{ m. c. a.}}$$

Tramo codo-codo-7:

$$\Delta h_{\text{codo-codo-7}} = 0,08 \cdot 34 = \mathbf{2,72 \text{ m. c. a.}}$$

Tramo codo-codo-8:

$$\Delta h_{\text{codo-codo-8}} = 0,08 \cdot 67,6 = \mathbf{5,40 \text{ m. c. a.}}$$

Tramo codo-codo-9:

$$\Delta h_{\text{codo-codo-9}} = 0,08 \cdot 40 = \mathbf{3,20 \text{ m.c.a.}}$$

Tramo codo-válvula:

$$\Delta h_{\text{codo-válvula}} = 0,08 \cdot 21,3 = \mathbf{1,70 \text{ m.c.a.}}$$

Las pérdidas de carga totales en las tuberías para el Recorrido 1, teniendo en cuenta codos y válvulas, es:

$$\Delta h_{\text{Recorrido 1}} = \Sigma \Delta h_{\text{tramos}(R1)} + \Sigma \Delta h_{\text{Codos}(R1)} + \Sigma \Delta h_{\text{válvulas}(R1)} = \mathbf{36,50 \text{ m.c.a.}}$$

-Recorrido 2 (Depósito-Cargadero del depósito):

Tramo Depósito-válvula:

$$\Delta h_{\text{Depósito-válvula}} = 0,08 \cdot 0,20 = \mathbf{0,02 \text{ m.c.a.}}$$

Tramo válvula-codo:

$$\Delta h_{\text{válvula-codo}} = 0,08 \cdot 0,52 = \mathbf{0,04 \text{ m.c.a.}}$$

Tramo codo-codo-1:

$$\Delta h_{\text{codo-codo-1}} = 0,08 \cdot 1,50 = \mathbf{0,12 \text{ m.c.a.}}$$

Tramo codo-codo-2:

$$\Delta h_{\text{codo-codo-2}} = 0,08 \cdot 0,30 = \mathbf{0,02 \text{ m.c.a.}}$$

Tramo codo-codo-3:

$$\Delta h_{\text{codo-codo-3}} = 0,08 \cdot 1,50 = \mathbf{0,12 \text{ m.c.a.}}$$

Tramo codo-válvula:

$$\Delta h_{\text{codo-válvula}} = 0,08 \cdot 3,80 = \mathbf{0,30 \text{ m.c.a.}}$$

Tramo válvula-bomba:

$$\Delta h_{\text{válvula-bomba}} = 0,08 \cdot 0,20 = \mathbf{0,02 \text{ m.c.a.}}$$

Tramo bomba-válvula:

$$\Delta h_{\text{bomba-válvula}} = 0,08 \cdot 1 = \mathbf{0,08 \text{ m.c.a.}}$$

Tramo válvula-boca del cargadero:

$$\Delta h_{\text{válvula-boca cargadero}} = 0,08 \cdot 2 = \mathbf{0,16 \text{ m.c.a.}}$$

Las pérdidas de carga totales en las tuberías para el Recorrido 2, teniendo en cuenta codos y válvulas, es:

$$\Delta h_{\text{Recorrido 2}} = \Sigma \Delta h_{\text{tramos}(R2)} + \Sigma \Delta h_{\text{Codos}(R2)} + \Sigma \Delta h_{\text{válvulas}(R2)} = \mathbf{3,33 \text{ m.c.a.}}$$

3.3.2.5 Bombas

En este apartado, en base a los resultados de las pérdidas de carga de ambos recorridos, se elegirá la bomba que cumpla con los requisitos y, además, pueda superar las pérdidas del circuito.

Fijándonos en el Recorrido 1, el cual es claramente el que ocasiona más pérdidas en el circuito, y teniendo en cuenta que a las pérdidas en el mismo se le deberá aplicar un coeficiente a mayores que supondrá un aumento del mismo debido a las pequeñas irregularidades que se puedan dar internamente en el circuito (uniones entre tramos, pequeños ángulos...), además de tener en cuenta la longitud de la manguera del surtidor, la cual tendrá una longitud de 50 m para poder ser introducida dentro de las embarcaciones de la Escuela para su repostaje, y cuyo diseño se realizará en apartados posteriores.

Por tanto, considerando el coeficiente de seguridad como un 10% de las pérdidas del Recorrido 1, y calculándose las pérdidas en la manguera del mismo modo que para las tuberías, teniendo la manguera un diámetro nominal de 2 in:

$$\Delta h = i \cdot L$$

Donde:

$$L=50 \text{ m}$$

Obteniéndose el valor de i a partir de:

$$i = \frac{f \cdot V^2}{D \cdot 2 \cdot g}$$

Hallándose f a partir de el Número de Reynolds y la Rugosidad relativa que, en este caso, el valor de k es $3E-7$ para una manguera de plástico:

$$R_e = \frac{50,8 \cdot 2000}{1,6} = \mathbf{254000}$$

$$R_R = \frac{3E-7}{50,8} = \mathbf{5,9E-9}$$

Entonces f es, aproximadamente, **0,015**

Por tanto:

$$i = \frac{0,015 \cdot 2^2}{0,0508 \cdot 2 \cdot 9,81} = \mathbf{0,06}$$

Así obtendremos las pérdidas en la manguera:

$$\Delta h_{manguera} = 0,06 \cdot 50 = \mathbf{3,00 \text{ m.c.a.}}$$

Con este resultado podemos obtener las pérdidas totales que sufrirá el Recorrido 1 incluyéndose la manguera y el 10% de seguridad:

$$\Delta h_{Total} = 3 + 36,5 + 0,1 \cdot 36,5 = \mathbf{43,15 \text{ m.c.a.}}$$

Este valor será el que nos condicione para la elección de la bomba, junto con las condiciones de caudal y velocidad establecidos por la ITC-MI-IP-04 para tuberías de combustible, así como las bombas existentes en el mercado, eligiéndose una bomba centrífuga multicelular de altura manométrica de **100 m.c.a.** y un caudal de **15 m³/h**, de la serie EH de la casa Prinze (Figura 3-10), apta para trasiego, tanto de aguas como de combustibles.



Figura 3-10 Bomba elegida [42]

3.3.3 Zona de abastecimiento y surtidor

En este apartado se describirá la zona de abastecimiento, así como el sistema elegido para el surtidor.

3.3.3.1 Zona de abastecimiento

La zona de abastecimiento será un espacio reservado para el repostaje de las embarcaciones de la Escuela Naval Militar y ese espacio estará restringido para dicho uso.

La zona de abastecimiento se localizará en las inmediaciones del edificio Isaac Peral, como puede verse en la Figura 3-11:

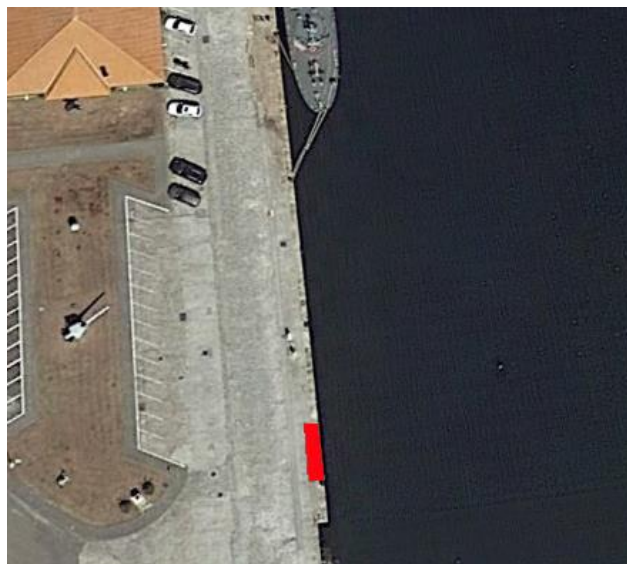


Figura 3-11 Situación de la zona de abastecimiento [37]

Esta estará compuesta de un surtidor, con un filtro a la entrada del mismo, un contenedor con medidas de anticontaminación marina por hidrocarburos y un extintor de polvo de eficacia extintora 89B como medida contraincendios de acuerdo a la ITC-MI-IP-04.

El contenedor de anticontaminación marina contará con hojas absorbentes de hidrocarburos, packs de polvos absorbentes, una barrera de contención de hidrocarburos y un bichero para recogida de las hojas absorbentes, cuyo ejemplo se puede ver en la Figura 3-12.



Figura 3-12 Ejemplo de contenedor de anticontaminación marina

El filtro mencionado en este apartado se dispondrá de acuerdo a la ITC-MI-IP-04 se situará a la entrada del surtidor. Este tendrá la función de filtrar las impurezas contenidas en el combustible para proteger el motor, como puede verse en la Figura 3-13.



Figura 3-13 Ejemplo de filtro de gasóleo en surtidor

3.3.3.2 Surtidor

El surtidor contará con una manguera flexible de acuerdo a la ITC-MI-IP-04 de 50 m de longitud (calculado en el apartado 3.3.2) y 2 in de diámetro nominal, que estará recogida en un rodillo cuyo final estará conectado al circuito a través de una válvula, como se muestra en la Figura 3-14.



Figura 3-14 Ejemplo de manguera recogida en surtidor

Por otra parte, el final de la manguera estará provisto de una pistola manual sin boquerel fijo, dado que se dispondrá de dos boquereles de distinto diámetro debido a que no será necesario mantener la salida de 2 in en todas las embarcaciones, excepto el “Tabarca”, ya que no precisan del mismo caudal:

$$Q_{Boquerel\ 1\ in} = A \cdot v = \pi \cdot \left(\frac{0,025}{2}\right)^2 \cdot 2 = 9,81E - 4\ m^3/s; Q_{Boquerel\ 1\ in} = 3534\ l/h$$

$$Q_{Boquerel\ 2\ in} = 15945\ l/h \text{ (Calculado en apartado 3.3.2)}$$

Como podemos ver, el boquerel de 1 in nos proporciona caudal suficiente para reabastecer a las lanchas de instrucción, que tras el “Tabarca”, son las embarcaciones que mayor demanda mensual de combustible necesitan (Ver apartado 3.1). Por tanto, se tendrá un boquerel de 2 in para el “Tabarca” y otro de 1 in para el resto de embarcaciones (Figura 3-15).



Figura 3-15 Pistola con y sin boquerel

Además, el surtidor tendrá a su entrada un contador que refleje únicamente el paso de los litros que se abastecen a la embarcación, y tendrá su paso controlado por una válvula del mismo tipo que las seleccionadas en el apartado 3.3.2. En el mercado se encuentran diferentes tipos de contadores con diferentes rangos de caudales, cuyo ejemplo puede verse en la Figura 3-16. Para nuestro depósito se ha elegido un contador mecánico FILL RITE serie TS, el cual tiene se distribuye con diferentes opciones de salida del combustible, siendo para nuestro caso, un caudalímetro de 2 in de diámetro nominal y un rango de caudal de entre 130 l/min y 1300 l/min:



Figura 3-16 Contador de suministro en litros

3.3.4 Protección contra incendios

3.3.4.1 Requisitos según normativa

La normativa para depósitos de gasóleo, ITC-MI-IP-03, establece que la protección contra incendios estará determinada por el tipo de líquido que se almacena, la forma de almacenamiento del mismo, su situación, la distancia a otros depósitos y las operaciones de manipulación. Por esto, deberá seleccionarse el sistema contra incendios y extintor más adecuados que cumpla los requisitos que veremos a continuación.

Dado nuestro depósito, diseñado para almacenar gasóleo B (clasificado como producto de la clase C), con una capacidad nominal de 50 m³, y en base a los puntos referentes a la protección contra incendios para instalaciones de superficie en exterior de edificios recogidos en la ITC-MI-IP-03, se establecen los siguientes requisitos:

-Protección con agua: De acuerdo a la ITC-MI-IP-03, para los almacenamientos de productos clase C que cuya capacidad global no exceda los 500 m³ no necesitarán de un sistema de protección contra incendios por agua. Para nuestro depósito de 50 m³ **no será necesario** establecer este tipo de sistema de protección.

-Protección con espuma: La normativa impone el uso de espuma a los almacenamientos de productos de la subclase B1, por tanto, **no será necesario** el uso de espuma en nuestra instalación.

-Protección con extintores: Para la clase de productos C, en las zonas de almacenamientos donde existan conexiones de mangueras, bombas, válvulas de uso frecuente se dispondrá de extintores de eficacia mínima 89B en el exterior del cubeto y en los accesos a la instalación.

-Alarmas: En nuestro caso, la normativa establece el uso de alarmas a partir de los 500 m³ en los almacenamientos de productos de la clase C, por lo cual, siendo nuestro depósito de 50 m³, **no será necesario** el uso de alarmas en la instalación.

-Estabilidad ante el fuego: La normativa establece que los soportes metálicos o apoyos críticos deberán tener una estabilidad contra el fuego de RF-180 como mínimo, sin embargo, nuestro diseño no cuenta con apoyos críticos ni soportes metálicos dado que el depósito no es elevado, por tanto, **su aplicación no es necesaria.**

En base a estos requisitos determinamos la necesidad de contar con dos extintores en la instalación, además, dadas las características del combustible y la cercanía al C.A.S.I. se ha considerado que se disponga de un sistema de pulverización de agua para refrigeración en caso de incendio del depósito y del combustible, el cual combustiona cuando alcanza la temperatura de 55 °C (Ver Anexo II: Especificaciones de Diésel REPSOL e⁺).

3.3.4.2 Sistema de pulverización de agua

3.3.4.2.1 Caudal de agua necesaria según normativa

El sistema de protección contra incendios por agua será un sistema de instalación fija de pulverización de agua, que de acuerdo a la ITC-MI-IP-03 deberá tener un caudal de 0,90 m³/h por metro de perímetro de proyección horizontal del depósito de acuerdo a la normativa, siendo el perímetro de proyección horizontal de 16,2 m:

$$Q_{\text{Total perímetro de proyección}} = 16,2 \cdot 0,9 = 14,60 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (14600 l/h)}$$

3.3.4.2.2 Tuberías del sistema contra incendios

Para la selección de las tuberías del sistema contra incendios (Figura 3-17) nos basaremos en el caudal necesario calculado en el apartado anterior y en los diámetros de tubería expuestos en la Tabla 3-6, dado que la normativa se acoge a la misma norma UNE-19-040. Para el cálculo del diámetro del

sistema de tuberías estableceremos la velocidad en 2 m/s (Valor medio entre el mínimo de 1 m/s y máximo de 3m/s establecido por la ITC-MI-IP-03) y el caudal el calculado anteriormente (14,6 m³/h en base a la Ecuación de Continuidad):

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

Donde:

Q=Caudal de agua necesario (14,6 m³/h).

v=Velocidad del agua en la tubería.

D=Diámetro de la tubería.

Despejando el diámetro:

$$D = \sqrt{\frac{Q \cdot 4}{v \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 14,6/3600}{2 \cdot \pi}} = 0,0508 \text{ m (2 in)}$$

Este valor está normalizado, por lo que se escogerá este mismo. Por tanto, se establece un diámetro nominal de 50,8 mm (2 in) para el sistema de tuberías contra incendios, ya que proporciona una velocidad en la tubería igual a la establecida para el cálculo, y además es aceptada por la normativa.

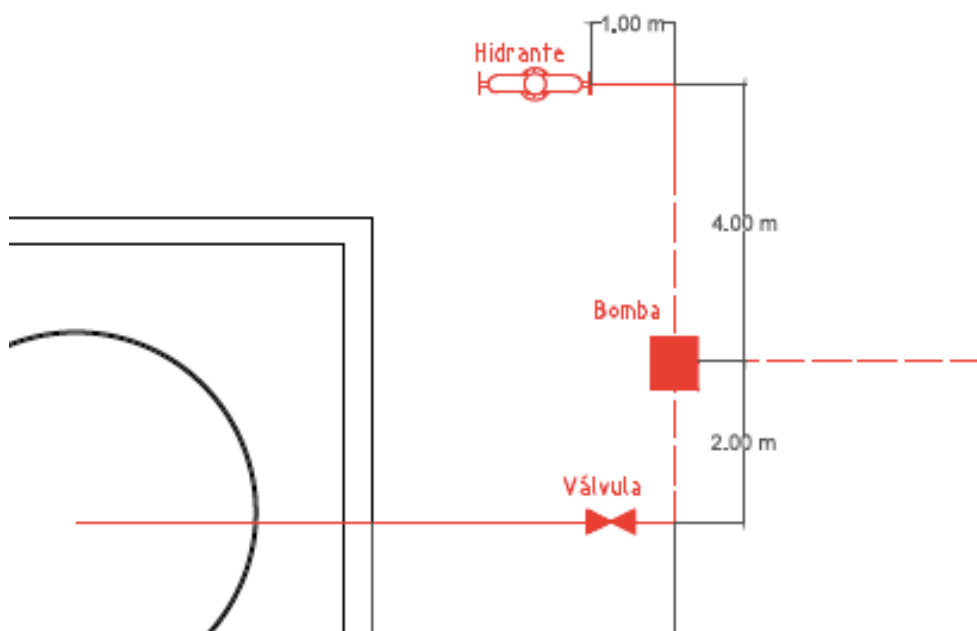


Figura 3-17 Línea de tuberías CI (Ver Anexo III)

3.3.4.2.3 Accesorios del circuito contra incendios

Para el circuito de agua dentro de la instalación se utilizarán distintos accesorios. En el caso de los cambios de dirección se utilizarán codos del mismo diámetro nominal que las tuberías (2 in), de acuerdo a la norma UNE-19-075, de aplicación en este tipo de instalaciones conforme a la ITC-MI-IP-03.

Además, el sistema contra incendios contará con una boca hidrante (Figura 3-18) de agua situada conforme al plano (Ver Anexo III: Planos), que estará normalizada según UNE-23-403 para bocas de incendio equipadas de 25 mm, que para nuestro caso tendrá un diámetro nominal de entrada de 2 in de

acuerdo a lo calculado en el apartado anterior. Por otra parte, el sistema contra incendios precisará de una válvula localizada en los planos (Anexo III: Planos), del mismo tipo que para la línea de combustible, elegida según norma ISO 5752 (Ver Tabla 3-7) así como una bomba para proporcionar la presión y caudal necesarios de acuerdo a la ITC-MI-IP-03.



Figura 3-18 Hidrante de columna seca [43]

3.3.4.2.4 Pérdidas de carga del circuito

En este apartado calcularemos las pérdidas del circuito del mismo modo que se ha hecho en el apartado 3.3.2.4, pero considerando que el fluido que contendrá el circuito es agua.

-Tuberías: Al igual que en el apartado 3.3.2.4.3, calcularemos las pérdidas totales de los distintos recorridos del circuito en las tuberías, aplicando la fórmula:

$$\Delta h = i \cdot L$$

Donde:

i=Coeficiente.

L=Longitud del tramo de tubería.

En este caso, para calcular i deberemos considerar que el fluido es agua:

$$i = \frac{f \cdot V^2}{D \cdot 2 \cdot g}$$

Donde:

D=Diámetro de la tubería.

V=Velocidad del fluido.

f=Número obtenido a partir del diagrama de Moody a partir del Número de Reynolds y la rugosidad relativa, calculado a partir de:

$$R_e = \frac{D \cdot V}{\nu}$$

$$R_R = \frac{k}{D}$$

Donde ν es la viscosidad cinemática del fluido, que en el caso del agua a 25 °C es 0,891 mm/s² y k es la rugosidad de la tubería, que, en nuestro caso, para acero, es 0,046 mm.

Por tanto:

$$R_e = \frac{50,8 \cdot 2000}{0,891} = \mathbf{114029}$$

$$R_R = \frac{0,046}{50,8} = \mathbf{9,06E-4}$$

Tras calcular estos valores, al igual que en el apartado 3.3.2.4, los trasladamos al diagrama de Moody (Figura 3-9), obteniendo un valor de $f=0,021$, por tanto, obtenemos que:

$$i = \frac{0,021 \cdot 2^2}{0,0508 \cdot 2 \cdot 9,81} = \mathbf{0,084}$$

Entonces, para cada Recorrido:

-Recorrido 1 (Entrada-Hidrante):

· Tramo 1 (L=6 m):

$$\Delta h = 0,084 \cdot 6 = 0,50 \text{ m. c. a.}$$

· Tramo 2 (L=2 m):

$$\Delta h = 0,084 \cdot 2 = 0,17 \text{ m. c. a.}$$

· Tramo 3 (L=0,5 m):

$$\Delta h = 0,084 \cdot 0,5 = 0,04 \text{ m. c. a.}$$

· Tramo 4 (L=2 m):

$$\Delta h = 0,084 \cdot 2 = 0,17 \text{ m. c. a.}$$

· Tramo 5 (L=1 m):

$$\Delta h = 0,084 \cdot 1 = 0,08 \text{ m. c. a.}$$

-Recorrido 2 (Entrada-Boca pulverización):

· Tramo 1 (L=6 m):

$$\Delta h = 0,084 \cdot 6 = 0,50 \text{ m. c. a.}$$

· Tramo 2 (L=2 m):

$$\Delta h = 0,084 \cdot 2 = 0,17 \text{ m. c. a.}$$

· Tramo 3 (L=0,5 m):

$$\Delta h = 0,084 \cdot 0,5 = 0,04 \text{ m. c. a.}$$

· Tramo 4 (L=0,5 m):

$$\Delta h = 0,084 \cdot 0,5 = 0,04 \text{ m. c. a.}$$

· Tramo 5 (L=3,5 m):

$$\Delta h = 0,084 \cdot 3,5 = 0,30 \text{ m. c. a.}$$

· Tramo 6 (L=1,5 m):

$$\Delta h = 0,084 \cdot 1,5 = 0,13 \text{ m. c. a.}$$

· Tramo 7 (L=0,3 m):

$$\Delta h = 0,084 \cdot 0,3 = 0,03 \text{ m. c. a.}$$

· Tramo 8 (L=1,5 m):

$$\Delta h = 0,084 \cdot 1,5 = 0,13 \text{ m. c. a.}$$

· Tramo 9 (L=1 m):

$$\Delta h = 0,084 \cdot 1 = 0,08 \text{ m. c. a.}$$

· Tramo 10 (L=4 m):

$$\Delta h = 0,084 \cdot 4 = 0,34 \text{ m. c. a.}$$

· Tramo 11 (L=2 m):

$$\Delta h = 0,084 \cdot 2 = 0,17 \text{ m. c. a.}$$

-Codos: El circuito contra incendios tendrá un total de doce codos de 90 °, tres en el primer recorrido y nueve en el segundo. Para calcular las pérdidas por codos realizaremos el mismo procedimiento que en el apartado 3.3.2.4.1:

$$\Delta h = \frac{k \cdot V^2}{2 \cdot g}$$

Donde:

V=Velocidad del fluido en la tubería.

g=Gravedad.

k=Coeficiente en función del ángulo del codo (Ver Tabla 3-9).

·Para 90°:

$$\Delta h = \frac{0,984 \cdot 2^2}{2 \cdot 9,81} = 0,20 \text{ m. c. a.}$$

$$\Delta h_{T.Codos} = 0,2 \cdot 12 = 2,40 \text{ m. c. a.}$$

-Válvula: Las pérdidas por la válvula se realizará del mismo modo que en el apartado 3.3.2.3. Dado que la válvula a utilizar es la misma que para la línea de combustible y que solo se utilizará una, las pérdidas serán:

$$\Delta h_{válvula} = \frac{12 \cdot 2^2}{2 \cdot 9,81} = 2,45 \text{ m. c. a.}$$

-Pérdidas totales según los diferentes recorridos:

-Recorrido 1:

$$\Delta h_{R1} = (3 \cdot 0,2) + 0,96 = 1,56 \text{ m. c. a.}$$

-Recorrido 2:

$$\Delta h_{R2} = (9 \cdot 0,2) + 1,93 = 3,73 \text{ m. c. a.}$$

3.3.4.2.5 Elección de la bomba

La elección de la bomba será en función del recorrido con más pérdidas y conforme al caudal mínimo que debe ofrecer el sistema contra incendios establecido en el apartado 3.3.4.2.1 conforme a la ITC-MI-IP-03 (Q=14,6 m³/h).

Conociendo las pérdidas en el Recorrido 2, que son mayores a las pérdidas en el Recorrido 1 y el caudal de agua necesario, se elige una bomba centrífuga multicelular de altura manométrica de **100 m.c.a.** y un caudal de **15 m³/h**, de la serie EH de la casa Prinze, al igual que para el trasiego de combustible (Ver Figura 3-19), dado que esta proporciona sobradamente la altura manométrica y el caudal necesarios para cumplir con las condiciones de diseño y normativa.



Figura 3-19 Bomba elegida [42]

3.4 Estudio económico

3.4.1 Método de cálculo del presupuesto

En este apartado se va a conformar el presupuesto considerando los costes materiales sin tener en cuenta los costes del trabajo personal, realizando el presupuesto según el método “Por unidades de obra”, en el que diferenciaremos las siguientes partes que conformarán el Presupuesto de Ejecución Material (PEM): [44]

-Estado de las mediciones: En esta parte del cálculo del presupuesto se diferenciarán las distintas unidades de obra, así como el número de veces que se repiten las mismas en el trabajo, sacados normalmente, a partir de los planos.

-Cuadro de precios unitarios: En este paso del presupuestado se asignarán los precios según su naturaleza, agrupándose en capítulos y sirviendo de base para los precios descompuestos.

-Cuadro de precios descompuestos: Finalmente, aquí reflejaremos los precios correspondientes a las cantidades de los componentes del presupuesto en base a los precios unitarios.

Tras esto, habiendo calculado el PEM, se realizará la valoración del presupuesto propiamente dicho, en el que tendremos en cuenta, además del PEM, el Presupuesto de Licitación (PL), de los cuales obtendremos el Presupuesto Total de Obras, sabiendo lo siguiente:

$$\text{Presupuesto Total de Obras} = PL + IVA(\text{Impuesto})$$

Siendo:

$$PL = PEM + \text{Gastos Generales} + \text{Beneficio Industrial}$$

Donde los Gastos Generales representan el 15% y el Beneficio Industrial el 6% del PEM respectivamente.

3.4.2 Cálculo del presupuesto

3.4.2.1 Estado de las mediciones

En este trabajo identificamos las siguientes unidades de obra (Tabla 3-9) sacadas a partir de los planos y de los cálculos de este trabajo:

Unidad de Obra	Cantidad
Metro cuadrado de chapa de acero (esp=4,8 mm)	57
Metro cúbico de hormigón	24,4
Metro cuadrado de chapa de acero (esp=6,4 mm)	6,4
Metro de tubería de acero	368
Codo 90 °	20
Codo 120 °	1
Válvula	5
Bomba	3
Metro cuadrado de valla	250
Pistola de surtidor con boquerel intercambiable	1
Metro de manguera	50
Contador	1
Filtro gasóleo B	1
Contenedor	1
Hoja de absorción de hidrocarburos	100
Pack de polvo absorbente	2
Barrera de contención (3x0,15)	10
Bichero	1
Litro pintura blanca	25
Litro pintura roja	10
Extintor de polvo 6 kg 89B	3
Hidrante	1
Metro Manguera CI punta de flecha	25

Tabla 3-9 Unidades de obra

3.4.2.2 Cuadro de precios unitario**3.4.2.2.1 Capítulo I: Fabricación del depósito (Tabla 3-10)**

Chapa 4,8 mm de espesor acero A-536 B	30,70 €/m ²
Chapa 6,4 mm de espesor acero A-536 B	41,00 €/m ²
Hormigón en masa HM-35 para cubeto	70,32 €/m ³
Pintura blanca antióxido metálica	13,60 €/l

Tabla 3-10 Precio unitario Unidad de Obra para la fabricación del depósito

3.4.2.2.2 Capítulo II: Sistema de trasiego de gasóleo (Tabla 3-11)

Tubería 2 in diámetro nominal	15,98 €/m
Bomba Prinze serie EH	240,00 €/ud.
Válvula de bola de alta presión 2 in RS Componets	116,00 €/ud.
Codo 90° acero ALG	20,30 €/ud.
Codo 120° acero ALG	20,30 €/ud.

Tabla 3-11 Precio unitario Unidad de Obra para el sistema de trasiego de gasóleo

3.4.2.2.3 Capítulo III: Zona de abastecimiento (Tabla 3-12)

Manguera industrial Super Air para fluidos inertes	14,52 €/m
Filtro para gasóleo Mann-Filter WK 970	36,00 €/ud.
Contenedor de basura de 800 l amarillo Hiperlimpieza	424,00 €/ud.
Pistola con boquerel intercambiable de 2 in a 1 in GRM45H	65,00 €/ud.
Contador FILL RITE mecánico	1000,00 €/ud.
Hoja de absorción de hidrocarburos EMPTEEZY	0,73€/ud.
Barrera absorbente EMPTEEZY	761,00 €/ud.
Absorbente en polvo ignífugo EMPTEEZY	9,75 €/ud.
Bichero Nuova Rade 220 cm	16,90 €/ud.
Extintor portátil ep6 27A-183BC	34,00 €/ud.

Tabla 3-12 Precio unitario Unidad de Obra para la zona de abastecimiento

3.4.2.2.4 Capítulo IV: Sistema contra incendios (Tabla 3-13)

Tubería 2 in diámetro nominal	15,98 €/m
Bomba Prinze serie EH	240,00 €/ud.
Válvula de bola de alta presión 2 in RS Componets	116,00 €/ud.
Codo 90° acero ALG	20,30 €/ud.
Extintor portátil ep6 27A-183BC	34,00 €/ud.
Hidrante de columna seca High Flow 2 in	600,00 €/ud.
Manguera CI Plana Expower	7,00 €/m
Pintura roja para aceros inoxidable Proa	14,00 €/l

Tabla 3-13 Precio unitario Unidad de Obra para sistema contra incendios

3.4.2.2.5 Capítulo V: Perímetro de la instalación (Tabla 3-14)

Valla simple torsión Galbis 2,5 m altura	3,84 €/m ²
--	-----------------------

Tabla 3-14 Precio unitario por Unidad de Obra para perímetro de la instalación

3.4.2.3 Cuadro de precios descompuesto

3.4.2.3.1 Capítulo I: Fabricación del depósito (Tabla 3-15)

Chapa 4,8 mm de espesor acero A-536 B	1400,00 €
Chapa 6,4 mm de espesor acero A-536 B	262 ,14 €
Hormigón en masa HM-35 para cubeto	1715,80 €
Pintura blanca antióxido metálica	340,00 €
Total	3717,94 €

Tabla 3-15 Precio total del Capítulo I en función de sus Unidades de Obra

3.4.2.3.2 Capítulo II: Sistema de trasiego de gasóleo (Tabla 3-16)

Tubería 2 in diámetro nominal	5484,40 €
Bomba Prinze serie EH	480,00 €
Válvula de bola de alta presión 2 in RS Components	464,00 €
Codo 90° acero ALG	162,40 €
Codo 120° acero ALG	20,30 €
Total	6611,10 €

Tabla 3-16 Precio total del Capítulo II en función de sus Unidades de Obra

3.4.2.3.3 Capítulo III: Zona de abastecimiento (Tabla 3-17)

Manguera industrial Super Air para fluidos inertes	726,00 €
Filtro para gasóleo MANN-FILTER WK 970	36,00 €
Contenedor de basura de 800 l amarillo Hiperlimpieza	424,00 €
Pistola con boquerel intercambiable de 2 in a 1 in GRM45H	65,00 €
Contador FILL RITE mecánico	1000,00 €
Hoja de absorción de hidrocarburos EMPTEEZY	73,10€
Barrera absorbente EMPTEEZY	7610,00 €
Absorbente en polvo ignífugo EMPTEEZY	9,75 €
Bichero Nuova Rade 220 cm	16,90 €
Extintor portátil ep6 27A-183BC	34,00 €
Total	9994,75 €

Tabla 3-17 Precio total del Capítulo III en función de sus Unidades de Obra

3.4.2.3.4 Capítulo IV: Sistema contra incendios (Tabla 3-18)

Tubería 2 in diámetro nominal	396,30 €
Bomba Prinze serie EH	240,00 €
Válvula de bola de alta presión 2 in RS Componets	116,00 €
Codo 90° acero ALG	243,60 €
Extintor portátil ep6 27A-183BC	102,00 €
Hidrante de columna seca High Flow 2 in	600,00 €
Manguera CI Plana Expower	175,00 €
Pintura roja para aceros inoxidable Proa	140,00 €
Total	2012,90 €

Tabla 3-18 Precio total del Capítulo IV en función de sus Unidades de Obra

3.4.2.3.5 Capítulo V: Perímetro de la instalación (Tabla 3-19)

Valla simple torsión Galbis 2,5 m altura	690,00 €
Total	690,00 €

Tabla 3-19 Precio total del Capítulo V en función de sus Unidades de Obra

3.4.2.4 Resumen total por capítulos

En el siguiente cuadro (Tabla 3-20) se resume el precio total por capítulos de los gastos materiales considerados, representando el total de los capítulos el PEM de la obra sin considerar, como se ha dicho previamente, los gastos de trabajo personal ni trabajos de cimentación:

Capítulo I: Fabricación del depósito	3717,94 €
Capítulo II: Sistema de trasiego de gasóleo	6611,10 €
Capítulo III: Zona de abastecimiento	9994,75 €
Capítulo IV: Sistema contra incendios	2012,90 €
Capítulo V: Perímetro de la instalación	690,00 €
Total	23026,69 €

Tabla 3-20 Presupuesto de Ejecución Material (PEM)

Como podemos ver, el Presupuesto de Ejecución Material asciende a veintitrés mil veintiséis euros aproximadamente (23026,69 €).

3.4.3 Valoración del presupuesto

De acuerdo a lo calculado en el apartado anterior y a lo expuesto en el apartado 3.4.1 procederemos a realizar la valoración del presupuesto hasta concluir en el Presupuesto Total de las Obras (Tabla 3-21):

$$\text{Presupuesto Total de Obras} = PL + IVA(\text{Impuesto})$$

Donde el IVA es el Impuesto de Valor Añadido que, de acuerdo a la Agencia Tributaria, tiene un valor del 21% sobre el PEM, siendo este el IVA tipo general que es el que corresponde a este trabajo dado que la legislación vigente no lo incluye en IVA especial o reducido; y el PL es, de acuerdo a lo establecido en el apartado 3.4.1:

$$PL = PEM + \text{Gastos Generales} + \text{Beneficio Industrial}$$

Donde los Gastos Generales representan el 15% y el Beneficio Industrial el 6% del PEM respectivamente, siendo entonces:

PEM	23026,69 €
Gastos Generales (15% PEM)	3454,00 €
Beneficio Industrial (6% PEM)	1381,60 €
IVA (21% PEM)	4835,60 €
PL	32697,89 €
Presupuesto Total de Obras	37533,49 €

Como podemos ver, el Presupuesto Total de Obras (sin considerar cimentación ni gastos por trabajo de personal) asciende a: **Treinta y siete mil quinientos treinta y tres Euros.**

Tabla 3-21 Cuadro resumen de la valoración del presupuesto

4 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

4.1 Conclusiones

En este trabajo, se ha realizado el diseño de un depósito apto para satisfacer las necesidades de la Escuela Naval Militar en cuanto a combustible para embarcaciones y basándonos en el estudio previo de dichas necesidades tanto por buque como por destino de la Escuela, en base a la norma API-650 y las instrucciones técnicas de construcción vigentes en España ITC-MI-IP-03 e ITC-MI-IP-04.

También se ha realizado el estudio estructural del depósito comprobando todos los aspectos recogidos en el documento básico SE-AE y la NCSE-02, comprobándose que el diseño realizado es apto para su construcción en la parcela elegida. Además, se ha diseñado el sistema de tuberías para el trasiego del combustible hasta la zona de abastecimiento, así como la misma, donde se localiza un surtidor con pistola de boquerel intercambiable adaptándose así al tiempo de abastecimiento dedicado a cada embarcación, y eligiéndose, en este diseño, la bomba necesaria para realizar dicho trasiego de combustible.

Por otra parte, se ha realizado el diseño de un sistema de protección contra incendios adaptado a la instalación que se ha diseñado, tomando como referencia las ITC-MI-IP-03 e ITC-MI-IP-04 que establece las condiciones y requerimientos mínimos en cuanto a seguridad de las instalaciones.

Finalmente, se ha realizado un estudio económico para la construcción de la instalación, en el que se reflejan los costes materiales excluyendo el coste por trabajo personal, así como los costes resultantes de los trabajos para cimentación.

4.2 Líneas futuras

El presente trabajo, podría tener continuidad sirviendo como base para realizar la cimentación del mismo, ya que dadas las características del suelo y la extensión que tiene una cimentación, tendría entidad suficiente para conformar un nuevo Trabajo de Fin de Grado, que concluya el diseño de la planta e incluya además el estudio económico del mismo para completar así un proyecto de ingeniería.

Por otra parte, podría servir de base para realizar un estudio en el que se analice la viabilidad de unificar en una sola planta de almacenamiento de combustible todas las necesidades de combustible de la Escuela Naval Militar.

5 BIBLIOGRAFÍA

- [1] I. R. Ribas, «TFG: Diseño de un equipo de mezclado de gases para el estudio experimental de combustión,» 2016.
- [2] «enciclopedia.us,» [En línea]. Available: http://enciclopedia.us.es/index.php/Reacción_qu%C3%ADmica .
- [3] Y. C. Solé, Tecnología energética y medio ambiente., Edicions UPC, 2006.
- [4] P. R. Castellanos, Energías y medioambiente, Ediciones Universidad de Salamanca, 2004.
- [5] D. G.-G. y. A. R. (. Fernando sebastián Nogués, Energía de la biomasa., vol. I, Prensas Universitarias de Zaragoza, 2010.
- [6] A. J. R. d. A. Marta Muñoz Domínguez, Máquinas térmicas, UNED ediciones, 2014.
- [7] «Wikipedia,» [En línea]. Available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mineral_Antracita_GDFL001.JPG.
- [8] J. M. Güeto, Tecnología de los materiales cerámicos., Díaz de Santos, 2005.
- [9] «bglat,» [En línea]. Available: <http://www.bglat.com/articles/octanaje.html>.
- [10] M. D. d. I. L. Loyola, Química orgánica, Progreso, 2001.
- [11] E. P. Yufera, Química orgánica básica y aplicada., Reverté, 1996.
- [12] J. A. Á. Flórez, Motores alternativos de combustión interna, Edicions UPC, 2005.
- [13] J.-P. Wauquier, El refino del petróleo., Díaz de Santos, 1994.
- [14] S. P. Ibáñez, Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo diésel., IC Editorial, 2012.
- [15] Ministerio de ciencia y tecnología., Reglamento de Instalaciones Petrolíferas., Ministerio de ciencia y tecnología. Centro de publicaciones.

- [16] J. L. Comella, Historia sencilla de la ciencia, RIALP, 2007.
- [17] [En línea]. Available: http://pabl0andr3s-02.blogspot.com.es/2010/10/tipos-de-barcos-antiguos_04.html.
- [18] L. P. Vilar, «TFG: Diseño de una planta eléctrica para propulsión eléctrica del Buque Escuela Juan Sebastián de Elcano».
- [19] W. E. L. Edgar J. Kates, Motores diésel y de gas de alta compresión., Reverté, 2003.
- [20] [En línea]. Available: http://spanish.genset-dieselgenerator.com/china-high_performance_marine_diesel_engines_500kw_for_passenger_fishing_boat-1132954.html .
- [21] M. A. B. Yunes A. Çengel, Termodinámica, Séptima ed., McGraw Hill, 2011.
- [22] Á. L. M. B. Martín Llorens Morraja, Ingeniería Térmica, Marcombo, 2009.
- [23] [En línea]. Available: <https://www.flickr.com/photos/ayalga-/13806879464> .
- [24] Schlumberger, «Almacenamiento subterráneo de gas.,» 2002.
- [25] [En línea]. Available: <http://www.legoingenieriayconstrucciones.com/proyectos/construccion-tanques-de-almacenamiento-diesel/>.
- [26] [En línea]. Available: <http://www.gpomessa.com.mx/images/trabajos/32-.jpg>.
- [27] [En línea]. Available: <http://www.interempresas.net/Mantenimiento/Articulos/105696-Revestimientos-polimericos-para-la-proteccion-de-cubetos-de-retencion.html> .
- [28] Grupo CLH, «clh.es,» [En línea]. Available: <http://www.clh.es/section.cfm?id=2&side=9&lang=sp>. [Último acceso: 4 Febrero 2017].
- [29] J. Tirenti, «Recipientes a presión, Parte I: Diseño de equipos, envolvente, cabezales, conexiones y bridas.».
- [30] [En línea]. Available: <http://www.textoscientificos.com/quimica/almacenaje/almacenaje-fluidos>.
- [31] [En línea]. Available: <http://clasesmecanica.blogspot.com.es/2016/10/resistencia-i-cap-vii-001-taller.html>.
- [32] J. Tirenti, «API 650-Tanques de almacenamiento, Parte I: Código, Materiales, Pared, Fondo, Placa Anular.».
- [33] J. M. L. Estrada, Diseño y Cálculo de Recipientes a Presión, Ingeniería León S.A. , 1994.
- [34] [En línea]. Available: <http://www.tfwarren.com/sp/tarsco-sp/productos/tanque-almacenamiento-api-650-620>.
- [35] [En línea]. Available: <http://www.imasa.com/es/cargarAplicacionReferencia.do;jsessionid=6E781FDD9C12F1774DF05CBFB7BC8EBD?idUnidadNegocio=1&idAmbitoReferencia=72&identificador=1235>.

- [36] [En línea]. Available: <https://www.mesaetp.com/esp/roofdrain.htm> .
- [37] «www.google.com,» [En línea]. Available: <https://www.google.es/maps/search/google+maps/@42.3965132,-8.7087,16.81z>.
- [38] B. M. Dueñas, «PFC: Instalación del Parque de Almacenamiento de Combustibles en el Aeropuerto de Granada,» 2001.
- [39] Ministerio de Fomento, «Norma de Construcción Sismorresistente: Parte general y edificación.,» Centro de publicaciones S.G.T. del Ministerio de Fomento, 2002.
- [40] International Organization for Standardization, «ISO 5752: Metal valves for use in flanged pipe systems.,» 1982.
- [41] [En línea]. Available: <http://fisica.laguia2000.com/complementos-matematicos/diagrama-de-moody>. [Último acceso: 01 Marzo 2017].
- [42] [En línea]. Available: <http://www.bombaprinze.com/panelc/uploads/info/info-217.pdf>. [Último acceso: 01 Marzo 2017].
- [43] [En línea]. Available: <http://www.accivi.es/comprar/hidrante-columna-seca-3-carrete-300mm/>. [Último acceso: 18 03 2017].
- [44] CUD Marín, «Apuntes: Oficina Técnica, Tema 4,» 2016.
- [45] [En línea]. Available: https://www.repsol.com/es_es/productos-servicios/gasolinas-fueloleos-gasoleos-y-coque/particulares/automocion/gasoleos/. [Último acceso: 11 Febrero 2017].
- [46] G. A. Gaffert, Centrales de vapor., Reverté, 1981.

ANEXO I: CÓDIGOS DE APLICACIÓN PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE DEPÓSITOS ATMOSFÉRICOS

-CÓDIGO API-650 (Toma como referencia el código ASME):

El código se divide en diez secciones, además cuenta con veintisiete anexos. Las secciones son las siguientes: [32]

-Sc. 1 Alcance: Indica requerimientos generales, limitaciones, responsabilidades y requerimientos de la documentación.

-Sc. 2 Referencias: Menciona normativas, códigos y especificaciones citadas en la publicación. Se utilizará siempre la última edición disponible.

-Sc. 3 Definiciones: Explica la terminología utilizada en el código.

-Sc. 4 Materiales: Marca los requisitos mínimos en lo que respecta a los materiales utilizados.

-Sc. 5 Diseño: Marca las exigencias en lo referente a uniones soldadas, consideraciones de diseño, chapas de fondo, chapas anulares, envolvente, anillos intermedios y superiores, techos, efectos del viento y anclaje de tanques.

-Sc. 6 Fabricación: Indica los requerimientos generales de fabricación e inspección en taller.

-Sc. 7 Izado: Indica las exigencias durante el izado de los tanques.

-Sc. 8 Métodos de inspección de uniones: Establece los métodos de comprobación de los elementos del depósito que han sido unidos. Son los siguientes: examen radiográfico, partículas magnéticas, ultrasonido, líquidos penetrantes, examen visual y prueba de vacío.

-Sc. 9 Procedimientos y calificación de soldadores: Establece los requisitos mínimos para confección y aprobación de procedimientos y soldadores.

Sc. 10 Identificación y responsabilidad: Incluye placa de características, división de responsabilidades y certificación.

Por otra parte, los anexos con los que cuenta este código son los siguientes: [32]

-Anexo A: Bases de diseño opcionales para tanques pequeños.

-Anexo AL: Tanques de almacenamiento de aluminio.

-Anexo B: Recomendaciones para el diseño y la construcción de fundaciones para tanques de almacenamiento de petróleo.

-Anexo C: Techos flotantes externos.

-Anexo D: Consultas técnicas.

-Anexo E: Diseño sísmico de tanques de almacenamiento.

-Anexo EC: Comentarios al Anexo E.

-Anexo F: Diseño de tanques para presiones de diseño internas pequeñas.

-Anexo G: Techos de aluminio estructuralmente soportados.

-Anexo H: Techos flotantes internos.

-Anexo I: Detección de pérdidas en el fondo y protección de camas.

-Anexo J: Tanques ensamblados en taller.

-Anexo K: Ejemplos de aplicación del método del punto variable para determinar el espesor de la envolvente.

-Anexo L: Hoja de datos de acuerdo a API 650.

-Anexo M: Requerimientos de tanques que operan a elevada temperatura.

-Anexo N: Utilización de materiales nuevos no identificados.

-Anexo O: Recomendaciones para conexiones debajo del tanque.

-Anexo P: Cargas externas admisibles para conexiones en la envolvente.

-Anexo S: Tanques de almacenamiento fabricados con acero inoxidable austenítico.

-Anexo SC: Tanques de almacenamiento fabricados con acero inoxidable y acero al carbono.

-Anexo T: Sumario de requerimientos de ensayos no destructivos.

-Anexo U: Examen ultrasónico en lugar de examen radiográfico.

-Anexo V: Diseño de tanques de almacenamiento para presión exterior.

-Anexo W: Recomendaciones comerciales y de documentación.

-Anexo X: Tanques de almacenamiento fabricados con acero dúplex.

-Anexo Y: Nomograma código API.

**-ITC-MI-IP-03: Instalaciones de almacenamiento para su consumo en la propia instalación
(Toma como referencia el Reglamento para Instalaciones Petrolíferas)**

-Capítulo I. Introducción.

-Capítulo II. Tanques de almacenamiento y equipos auxiliares.

-Capítulo III. Instalación de tanques.

-Capítulo IV. Instalaciones de suministro por tubería.

-Capítulo V. Instalaciones de suministro a motores.

-Capítulo VI. Instalación eléctrica.

-Capítulo VII. Protección contra incendios.

-Capítulo VIII. Inscripción de instalaciones.

-Capítulo IX. Obligaciones y responsabilidades.

-Capítulo X. Revisiones e inspecciones periódicas.

-Anexo. Normas admitidas para el cumplimiento de la instrucción MI-IP03.

**-ITC-MI-IP-04: Instalación para suministro a vehículos (Toma como referencia el
Reglamento para Instalaciones Petrolíferas)**

-Capítulo I. Introducción.

-Capítulo II. Tanques de almacenamiento y equipos auxiliares.

-Capítulo III. Instalaciones enterradas.

-Capítulo IV. Instalaciones de superficie.

-Capítulo V. Unidades de suministro a vehículos en pruebas deportivas.

-Capítulo VI. Instalación eléctrica.

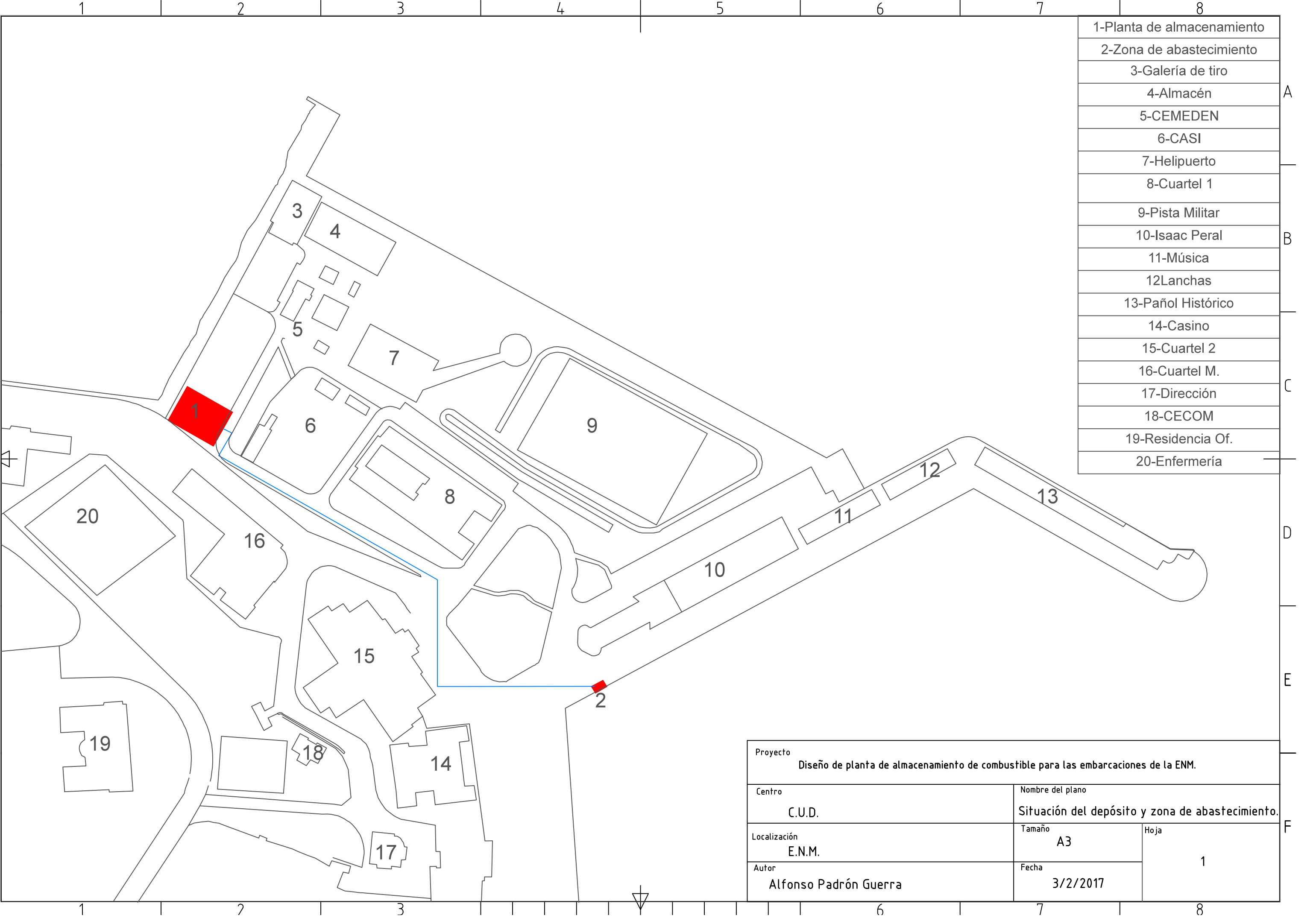
- Capítulo VII. Protección contra incendios.
- Capítulo VIII. Aparatos surtidores y equipos de suministro y control.
- Capítulo IX. Protección ambiental.
- Capítulo X. Inscripción de instalaciones.
- Capítulo XI. Obligaciones y responsabilidades.
- Capítulo XII. Revisiones, pruebas e inspecciones periódicas.
- Capítulo XIII. Reparación de tanques.
- Anexo: Normas admitidas para el cumplimiento de la instrucción MI-IP04.

ANEXO II: ESPECIFICACIONES DE DIÉSEL REPSOL E⁺

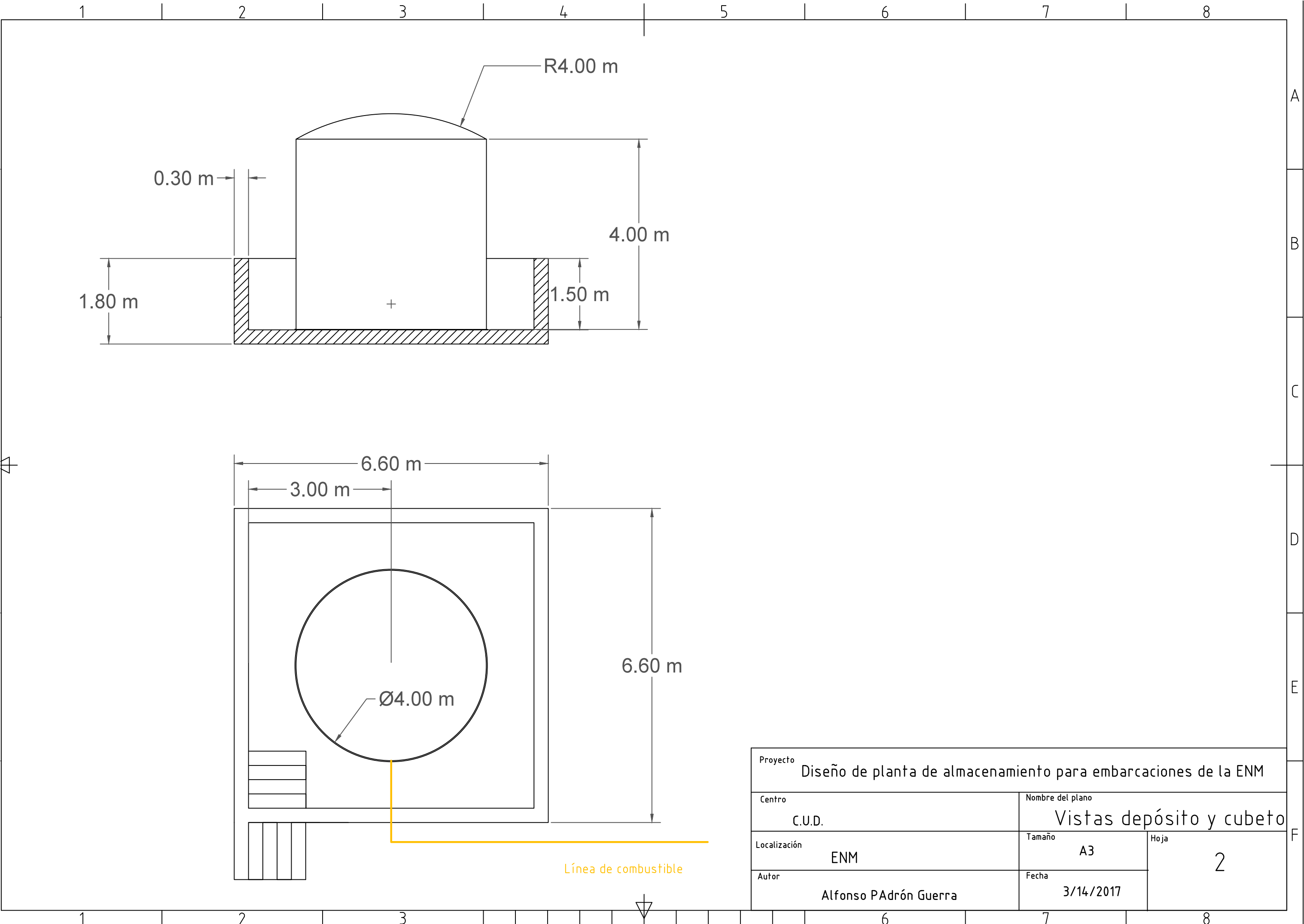
Características	Límites		Unidades
	Máx.	Mín.	
Número de Cetano	51	-	-
IC	46	-	-
Densidad a 15 °C	820	845	kg/m ³
Hidrocarburos policíclicos aromáticos	-	8	% m/m
Contenido de azufre	-	10	mg/kg
Destilación:			° C
•65% Recogido	250	-	
•85% Recogido	-	350	
•95% Recogido	-	360	
Viscosidad cinemática a 40 °C	2,00	4,50	mm ² /s
Punto de inflamación	Superior a 55	-	° C
Punto de Obstrucción de filtro frío:			° C
•Invierno	-	-10	
•Verano	-	0	
Residuo carbonoso	-	0,30	% m/m
Lubricidad	-	460	µm
Contenido en agua	-	200	mg/kg
Contaminación total (partículas sólidas)	-	24	mg/kg
Contenido en cenizas	-	0,01	% m/m
Corrosión lámina de cobre (3 h a 50 °C)	-	Clase 1	Escala
Contenido en FAME	-	7	% v/v
Transparencia y brillo	Cumple	-	-
Detergencia	>30% y >70%		Mejora gasóle base
Separación de agua	<2		Interfase y separación
Propiedades antiherrumbre	A		Clasificación NACE
Capacidad antiespumante	>60% (<15 segundos)		Mejora gasóleo base

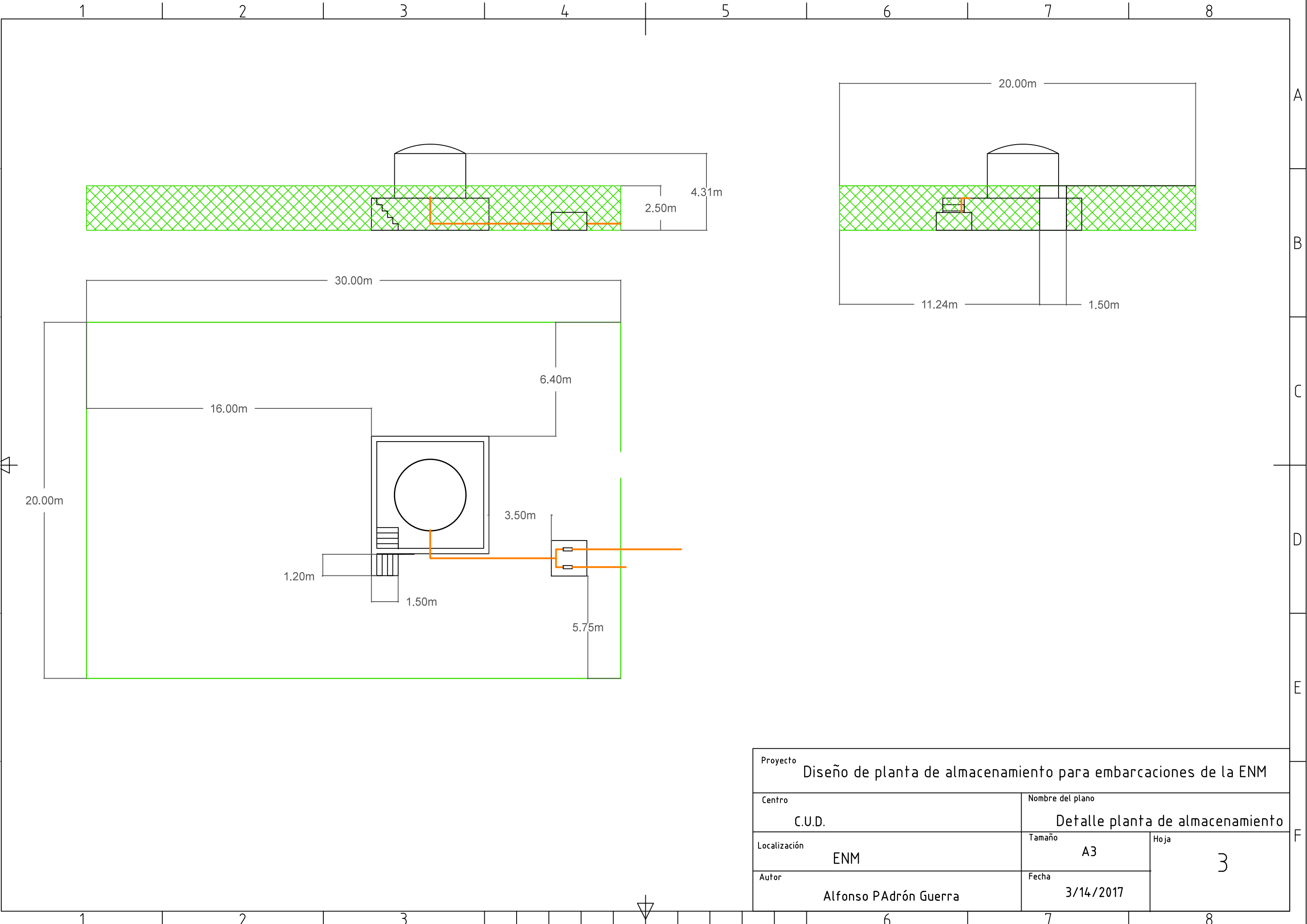
Tabla de Anexo 1 Especificaciones gasóleo Repsol e⁺ [45]

ANEXO III: PLANOS

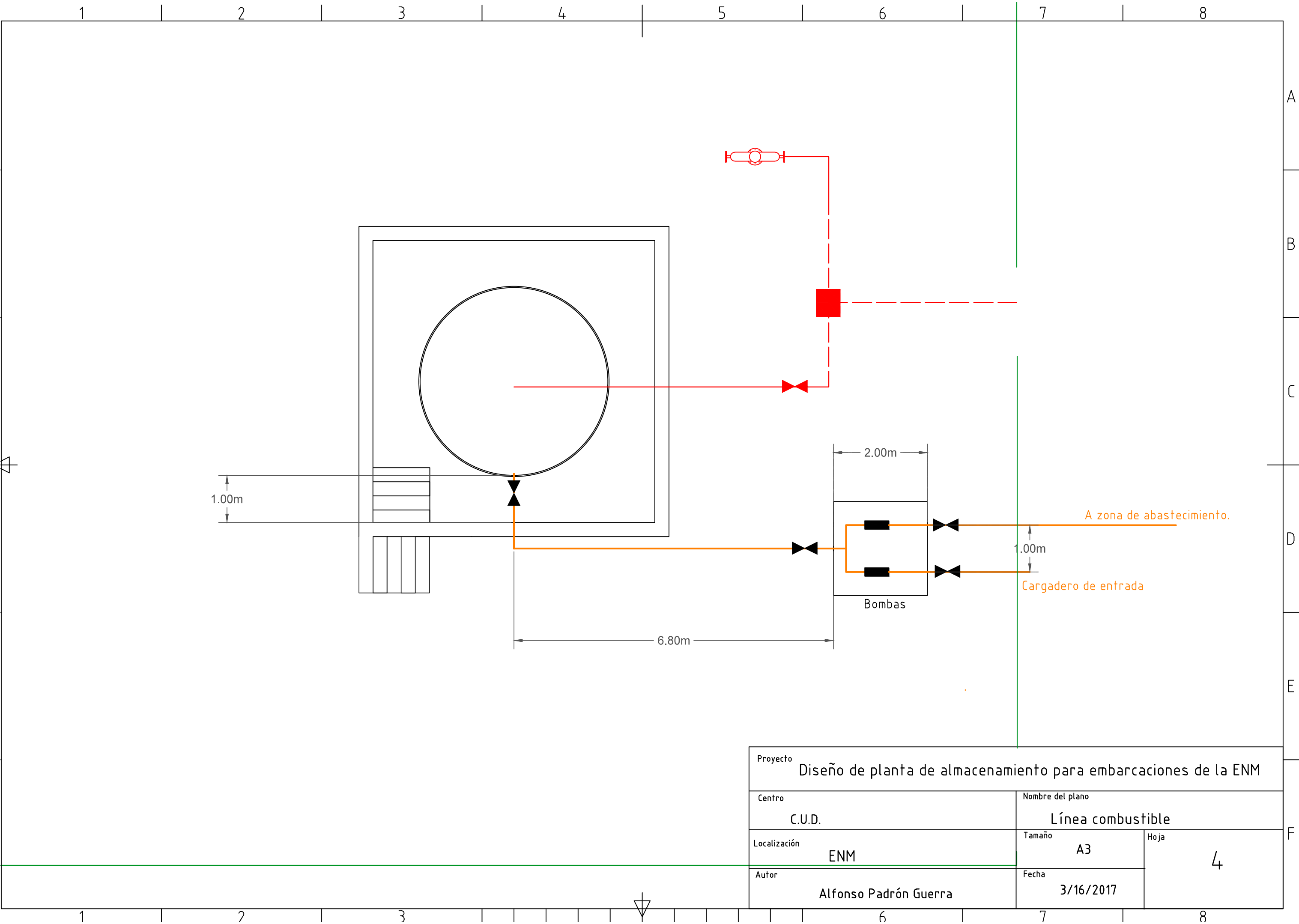


Proyecto Diseño de planta de almacenamiento de combustible para las embarcaciones de la ENM.		
Centro C.U.D.	Nombre del plano Situación del depósito y zona de abastecimiento.	
Localización E.N.M.	Tamaño A3	Hoja 1
Autor Alfonso Padrón Guerra	Fecha 3/2/2017	

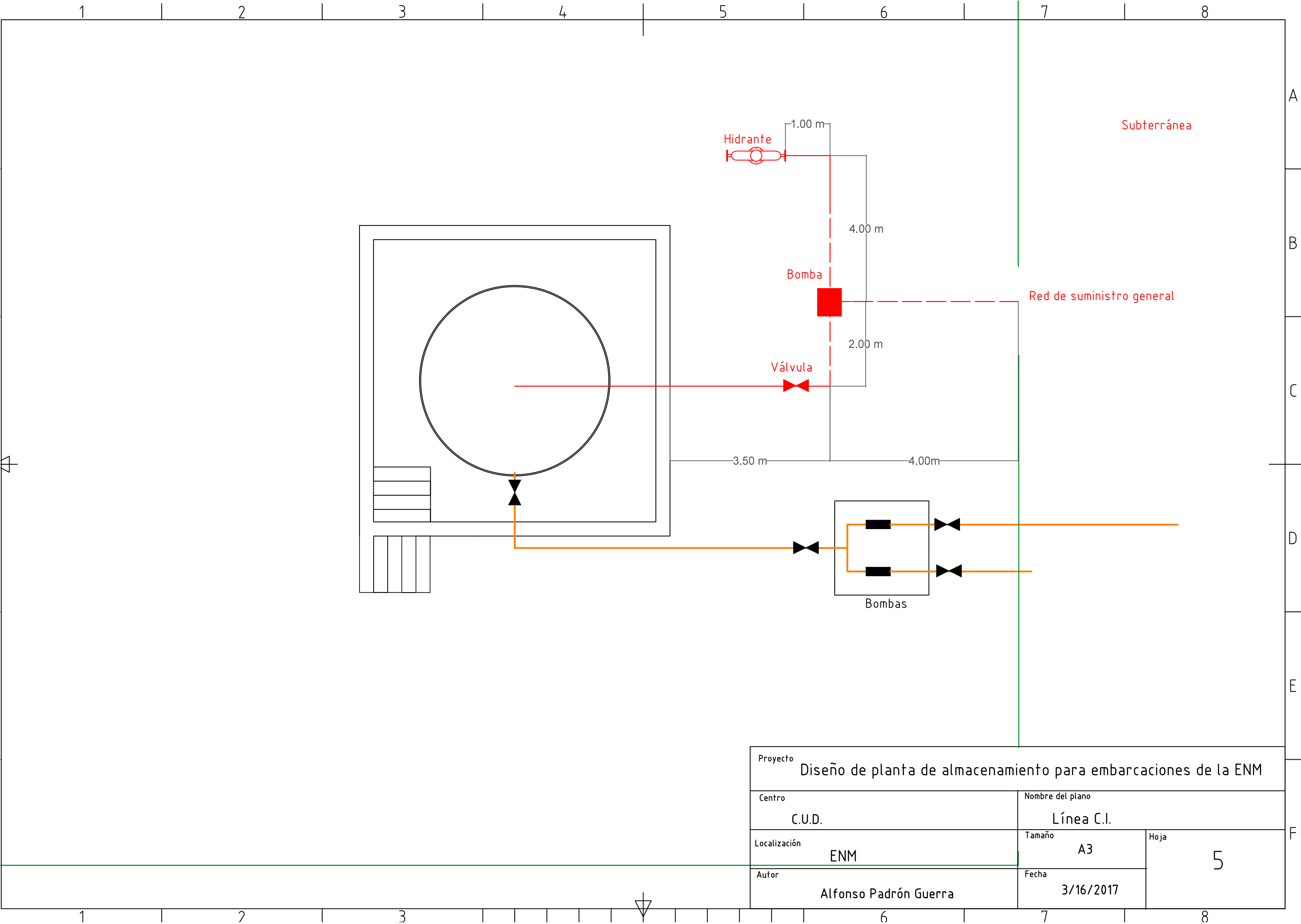




Proyecto Diseño de planta de almacenamiento para embarcaciones de la ENM		
Centro C.U.D.		Nombre del plano Detalle planta de almacenamiento
Localización ENM		Tamaño A3
Autor Alfonso PAdrón Guerra		Hoja 3
		Fecha 3/14/2017



Proyecto Diseño de planta de almacenamiento para embarcaciones de la ENM		
Centro C.U.D.		Nombre del plano Línea combustible
Localización ENM		Tamaño A3
Autor Alfonso Padrón Guerra		Hoja 4
		Fecha 3/16/2017



Proyecto Diseño de planta de almacenamiento para embarcaciones de la ENM		
Centro C.U.D.		Nombre del plano Línea C.I.
Localización ENM		Tamaño A3
Autor Alfonso Padrón Guerra		Hoja 5
		Fecha 3/16/2017