

ÍNDICE

1. Antecedentes.
2. Objeto del proyecto.
3. Alcance.
4. Situación y emplazamiento.
5. Campo de aplicación.
6. Reglamentación y normativa.
7. Diseño de tanques.
 - 7.1. Clasificación del producto almacenado.
 - 7.2. Objeto de aplicación.
 - 7.3. Campo de aplicación.
 - 7.4. Definiciones usadas.
 - 7.5. Descripción de las instalaciones.
 - 7.6. Área de las instalaciones.
 - 7.7. Forma de almacenamiento.
 - 7.8. Tipo de tanques.
 - 7.9. Diseño y construcción de los tanques.
 - 7.9.1. Definiciones generales según la ITC MIE APQ-1
 - 7.9.2. Dimensiones de los tanques.
 - 7.9.3. Acero empleado y fatiga admisible.
 - 7.9.4. Espesor de la envolvente
 - 7.9.5. Diseño de fondos.
 - 7.9.6. Diseño de los techos.
 - 7.9.7. Conexiones del tanque.
 - 7.9.8. Unión entre envolvente y fondo.
 - 7.9.9. Entradas de hombre en envolvente y techo.
 - 7.9.10. Puertas de limpieza tipo “a paño”.
 - 7.9.11. Tapa de sonda indicadora de nivel e indicador de nivel.
 - 7.9.12. Plataformas y pasarelas.
 - 7.9.13. Escaleras.
 - 7.9.14. Marcado.
 - 7.9.15. Venteos.

7.10. Pruebas

8. Cimentaciones.

9. Cubeto de retención.

9.1. Reglas generales.

9.2. Capacidad del cubeto.

9.3. Construcción y disposición de los cubetos.

9.4. Canales de evacuación.

9.5. Red de drenaje.

10. Cálculo de tuberías y selección de bombas.

10.1. Dimensionamiento de tuberías.

10.1.1 Tuberías de carga de los tanques.

10.1.2 Tuberías de descarga de los tanques.

10.1.3 Dimensión de la tubería de evacuación de arqueta pluvial.

10.2. Bridas, válvulas y accesorios.

10.3. Caída de presión en tuberías y accesorios.

10.3.1. Caída de presión en el tramo previo a la entrada de los tanques.

10.3.2. Caída de presión en el tramo previo a la salida de los tanques.

10.3.3. Caída de presión en la arqueta pluvial.

10.4. Selección de las bombas.

11. Instalaciones para carga y descarga. Elementos de trasiego.

11.1. Carga y descarga de tanques.

11.2. Límites exteriores de las instalaciones: vallado.

12. Instalación eléctrica.

12.1. Generalidades.

12.2. Alumbrado.

12.3. Instalaciones, materiales y equipos eléctricos.

12.4. Instalaciones temporales o provisionales.

12.5. Puesta a tierra.

12.6. Suministro de energía eléctrica.

13. Tratamiento de efluentes.

13.1. Depuración de efluentes líquidos.

13.2. Lodos y residuos sólidos.

13.3. Emisión de contaminantes a la atmósfera.

14. Protección contra incendios de la instalación.

14.1. Generalidades.

15. Distancia entre instalaciones y equipos.

15.1. Distancias entre instalaciones.

15.2. Distancias entre tanques.

16. Estudio de seguridad y salud.

17. Instrucciones de uso.

17.1. Manipulación y almacenamiento.

17.1.1 Manipulación.

17.1.2 Almacenamiento.

17.2. Controles de exposición / Protección personal.

17.2.1 Controles de ingeniería.

17.2.2 Protección personal.

18. Operación, mantenimiento y revisiones periódicas.

18.1. Medidas de seguridad.

18.1.1. Instalaciones de seguridad

18.1.2. Equipo de protección individual

18.1.3. Formación del personal

18.1.4. Plan de revisiones:

18.2. Operación y mantenimiento

18.3. Revisiones periódicas

19. Conclusión

1. Antecedentes.

De servir de apoyo a una futura central térmica ha sido creado el parque de almacenamiento de fuel oil, en un emplazamiento que garantiza un cómodo punto de abastecimiento y un enclave estratégico en la logística de distribución. El abastecimiento de los tanques se realizará con una periodicidad de dos meses, con el fin de dar cobertura durante este período a la demanda de este producto.

El parque de almacenamiento tendrá una capacidad de 60000 m³ de fuel oil dividida en tres tanques, con capacidades de 12500 m³ dos de ellos y 35000 m³ el de dimensiones superiores.

2. Objeto del proyecto.

El objeto del presente proyecto es especificar las condiciones técnicas de ejecución y económicas, así como el dimensionado y justificación de los elementos y equipos necesarios para la instalación del almacenamiento, carga, descarga y trasiego de fuel oil.

Al objeto de definir las instalaciones, para poderlas realizar y legalizar, es por lo que se ha encargado la redacción del presente proyecto, así como para conseguir que los organismos competentes otorguen las oportunas autorizaciones encaminadas a la puesta en servicio de las mismas.

3. Alcance.

El alcance del proyecto es establecer las condiciones de la instalación de tres tanques de almacenamiento de fuel oil fabricados según API-650, el sistema de carga y descarga de los tanques, la construcción del cubeto que recogerá los posibles derrames de los mismos que se produzcan, así como las instalaciones y medidas de seguridad frente a riesgos y accidentes en el trabajo. Todo ello en aplicación de la reglamentación y normativa vigente en relación con el almacenamiento, carga, descarga y trasiego de este producto.

4. Situación y emplazamiento.

Los tanques de fuel oil están ubicados en la zona portuaria de Sevilla, en la Carretera de la Esclusa, parcela 20.

Las coordenadas exactas del emplazamiento se indican a continuación en base a datos que se han identificado en la información de UTM:

X: 760847,40

Y: 4138185,94

Zona 29

Hemisferio Norte

5. Campo de aplicación.

Para la elaboración del proyecto se ha tenido en cuenta fundamentalmente el Real Decreto 379/2001, del 6 de abril por el que se aprueba el “Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos” y en especial la instrucción técnica complementaria ITC MIE APQ-1. Esta ITC ha de aplicarse a las instalaciones de almacenamiento, manipulación, carga y descarga de líquidos inflamables y combustibles comprendidos en la clasificación establecida en el artículo 4 «Clasificación de productos».

6. Reglamentación y normativa.

Para la elaboración del proyecto se ha tenido en cuenta, fundamentalmente, la siguiente normativa:

- REAL DECRETO 379/2001, de 6 de abril por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias.
- Normas UNE-EN 14015 “Especificación para el diseño y fabricación de tanques de acero contruidos en el lugar de emplazamiento, verticales, cilíndricos, de fondo plano, no enterrados, soldados, para el almacenamiento de líquidos a temperatura ambiente y superior”.
- Real Decreto 379/2001, e 6 de abril. Reglamento de almacenamiento de productos químicos y la instrucción técnica MIE-APQ 01.
- Código Técnico de la edificación.
- Decreto 59/2005, de 1 de Marzo, de la Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía, por el que se regula el procedimiento para la instalación, ampliación, traslado y puesta en funcionamiento de los establecimientos industriales, así como el control, responsabilidad y régimen sancionador de los mismos.
- Normas UNE de obligado cumplimiento, aprobadas en los citados reglamentos.
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, según Real Decreto 842/2002 de 2 de Agosto y sus Instrucciones Complementarias (ITC).
- Reglamento de Seguridad Contra Incendios en Establecimientos Industriales, R.D. 2267/2004 de 3 de Diciembre.
- Recomendaciones y especificaciones de diseño API 650.
- Normas ASTM (American Society for Testing and Materials)
- Normas ASA.

7. Diseño de tanques.

A continuación se describe el proceso de cálculo y las decisiones adoptadas en el cálculo de los tres tanques de fuel oil (con capacidades de 12.500 m³ y 35.000 m³).

7.1 Clasificación del producto Almacenado.

El producto contenido en los tanques objeto de este proyecto es fuel oil, cuyo punto de inflamación es 70 °C. Por tanto, se engloba dentro de la categoría C, que se refiere a productos cuyo punto de inflamación está comprendido entre 55 °C y 100 °C.

Para la determinación del punto de inflamación arriba mencionado se aplican los procedimientos prescritos en la norma en la norma UNE 51.022, para los productos de la clase C.

Características del fuel oil empleado:

- Densidad a 15°C: 0,946
- Viscosidad s/Engler: 20°E.
- Punto de inflamación: 70°C mín.
- Agua y sedimentos: 1% máx.
- Potencia calorífica mínima: 9800 kcal/kg.
- Enturbiamiento: -5°C máx.
- Cenizas: 0,2% máx.
- Azufre: 1,75% máx.

7.2 Objeto de aplicación.

De acuerdo con esta instrucción se establecen las prescripciones técnicas a las que se ajustan el almacenamiento, carga, descarga y trasiego de fuel oil.

7.3 Campo de aplicación.

Se aplica a la instalación de almacenamiento, carga y descarga de fuel oil teniendo en cuenta que se trata de líquido combustible clase C, de acuerdo con la clasificación establecida en el artículo 4 «Clasificación de productos» de la ITC MIE APQ-1.

Así mismo se incluyen en el ámbito de este proyecto, tal y como se ha indicado anteriormente, los servicios, o la parte de los mismos relativos al almacenamiento de fuel oil, los accesos, el

drenaje del área de almacenamiento, el trasiego, la carga y descarga de los tanques y la evacuación de producto derramado y aguas contaminadas.

7.4 Definiciones usadas.

Aguas contaminadas. Se entiende por aguas contaminadas aquellas que no cumplan con las condiciones de vertido, de acuerdo con la legislación vigente al respecto.

En general se consideran como susceptibles de estar contaminadas las aguas que estén en contacto con los productos, las de limpieza de tanques, cisternas y otras semejantes, así como las aguas de lluvia y de protección contra incendios que, en su recorrido hacia el drenaje, puedan ponerse en contacto con elementos contaminantes.

Almacenamiento. Es el conjunto de recintos y tanques de todo tipo que contengan o puedan contener líquidos inflamables y/o combustibles, incluyendo los tanques propiamente dichos, sus cubetos de retención, las calles intermedias de circulación y separación, las tuberías de conexión y las zonas e instalaciones de carga, descarga y trasiego anejas y otras instalaciones necesarias para el almacenamiento, siempre que sean exclusivas del mismo.

Almacenamiento conjunto. Almacenamiento de productos que en superficie se encuentran dentro del mismo cubeto o en un mismo recipiente subdividido, en el interior de edificios se encuentran dentro de la misma sala y en los enterrados se encuentran en un mismo recipiente subdividido.

Área de las instalaciones. Superficie delimitada por el perímetro de la instalación considerada.

Capacidad de almacenamiento. Es la máxima cantidad de producto que puede contener el recipiente o almacenamiento en las condiciones especificadas en la presente ITC.

Cargadero. Lugar donde se realizan las operaciones de carga y descarga.

Cubeto. Cavidad destinada a retener los productos contenidos en los elementos de almacenamiento en caso de vertido o fuga de los mismos.

Inspección periódica. Toda inspección o prueba posterior a la puesta en servicio de los aparatos o equipos realizada por el organismo de control.

Inspector propio. El personal técnico competente designado por el titular, con experiencia en la inspección de instalaciones de almacenamiento, carga, descarga y trasiego de líquidos inflamables y/o combustibles.

Líquido. Todo producto que en condiciones de almacenamiento tiene dicho estado físico.

Líquido combustible. Es un líquido con un punto de inflamación igual o superior a 55 °C.

Líquido inflamable. Es un líquido con un punto de inflamación inferior a 55 °C.

Prueba hidráulica. Es la comprobación que se realiza con el depósito lleno de agua, sometiéndolo a la presión prescrita por el código de diseño o por las normas empleadas en la construcción.

Reacciones peligrosas. Entre otras, se considerarán reacciones peligrosas las que dan lugar a:

- a) Una combustión y/o una considerable producción de calor.
- b) La emanación de gases inflamables y/o tóxicos.
- c) La formación de materias líquidas corrosivas.
- d) La formación de materias inestables.

Tanque. Toda cavidad con capacidad de almacenamiento.

Revisión periódica. Toda revisión o prueba posterior a la puesta en servicio de los aparatos o equipos realizada por el inspector propio u organismo de control.

Sector de almacenamiento. Es una parte de un almacén que:

- a) En edificios, esté separada de otras salas mediante paredes y techos con una resistencia al fuego determinada.
- b) Al aire libre, esté separada mediante las correspondientes distancias o mediante paredes con una resistencia al fuego determinada.

Sistemas de tuberías. Se entiende por sistema de tuberías al conjunto de tuberías, bridas, válvulas, juntas, tornillos de sujeción y demás accesorios de tuberías sometidos a la acción del producto.

Sistemas de venteo y alivio de presión. Son los sistemas diseñados para prevenir los efectos de las alteraciones de la presión interna de un recipiente de almacenamiento.

Tanque atmosférico. Recipiente diseñado para soportar una presión interna manométrica de hasta 0,15 bar.

Titular de la instalación. Persona física o jurídica que figura como responsable ante la administración de las obligaciones impuestas en la normativa y reglamentación vigente. Podrá ser el propietario, arrendatario, administrador, gestor o cualquier otra cuyo título le confiera esa responsabilidad.

Trasiego. Operación consistente en la transferencia de productos entre cualquier tipo de recipientes de almacenamiento (fijos o móviles), entre estos y las unidades de transporte, o entre los anteriores y las unidades de proceso.

Vías de comunicación públicas. Son las carreteras, caminos y líneas de ferrocarril de uso público.

Zonas clasificadas. Son los emplazamientos en los que haya o pueda haber gases o vapores inflamables en cantidad suficiente para producir mezclas explosivas o inflamables de acuerdo con la ITC MI-BT-026.

Zonas de fuego abierto. Se consideran zonas de fuego abierto aquellas en las que, de forma esporádica o continuada, se producen llamas o chispas al aire libre, así como en las que existen superficies que pueden alcanzar temperaturas capaces de producir ignición.

A título indicativo y no exhaustivo se consideran como zonas de fuego abierto:

- a) Los hornos, calderas, forjas, gasógenos fijos o móviles, antorchas y todo sistema de combustión en general.
- b) Las instalaciones con motores de explosión o combustión interna utilizados en zonas con ambientes inflamables o explosivos, que no lleven protección antideflagrante.
- c) Los emplazamientos y locales en los que está permitido encender el fuego o fumar, por ejemplo: oficinas, comedores y otros lugares similares.

7.5 Descripción de las instalaciones.

Los tanques se ubican en una zona con pretil de contención de derrames, cuenta con plataforma de acceso y escaleras de acceso al techo. La plataforma superior del tanque cuenta con chapa antiderrapante y barandas de protección a las personas y ducha de emergencia. El tanque cuenta con los siguientes elementos de seguridad:

- Boquilla de rebose.
- Medidor de nivel.
- Boquilla da alimentación.
- Boquilla de venteo.

En la proximidad del área de ubicación de los tanques se proyecta una losa de hormigón para facilitar la descarga de fuel oil desde el tren cisterna a los tanques de almacenamiento así como de los tanques a los camiones cisterna.

Los tanques proyectados se han ejecutado, siguiendo el código de diseño API-650, en acero al carbono St-52/36 para el tanque de volumen superior y acero A-283-C para el resto de tanques.

El tanque 1 (con capacidad para 35000 m³) se ha diseñado con fondo plano, con un diámetro interior de 55,25 metros y una altura de envolvente cilíndrica de 14,6 metros. El techo es de tipo cónico soportado.

En la siguiente tabla aparecen las características generales del tanque 1:

TANQUE 1	
Q diseño (m ³)	35000
Q real (m ³)	35003,16
Altura (m)	14,6

Diámetro (m)	55,25
Nº virolas envolvente	7
Nº de chapas por virola	17
Largo de chapa (m)	10,210
Ancho de chapa (m)	2,086
Carga rotura, (psi)	73.968
Límite elástico (psi)	51.209

Los tanques 2 y 3 (con capacidad para 12500 m³ cada uno) se han diseñado con fondo plano, con un diámetro interior de 39,90 metros y una altura de envolvente cilíndrica de 10 metros. El techo es de tipo cónico soportado.

En la siguiente tabla aparecen las características generales de los tanques 2 y 3.

TANQUES 2 y 3	
Q diseño (m ³)	12500
Q real (m ³)	12503,62
Altura (m ³)	10
Diámetro (m)	39,90
Nº virolas envolvente	5
Nº chapas por virola	15
Largo de chapa (m)	8,360
Ancho de chapa (m)	2,000
Carga rotura (psi)	55000-65000
Límite elástico (psi)	3000

7.6 Área de las instalaciones.

A efectos de establecer las áreas de las instalaciones se han considerado los límites siguientes:

Almacenamiento. El área que contiene el conjunto de recintos y recipientes de todo tipo que contengan o puedan contener líquidos inflamables y/o combustibles, incluyendo los recipientes propiamente dichos, sus cubetos de retención, las calles intermedias de circulación y separación, las tuberías de conexión y las zonas e instalaciones de carga, descarga y trasiego anejas y otras instalaciones necesarias para el almacenamiento, siempre que sean exclusivas del mismo.

Cargaderos/ descargaderos. El área que contiene los dispositivos de carga en posición normal de operación, más las cisternas y/o contenedores que se encuentren cargando o descargando simultáneamente.

Edificios. El área de la proyección de las paredes exteriores.

Estaciones de bombeo. El área que incluye el conjunto de bombas con sus accionamientos y valvulería aneja o el vallado mínimo que pudiera serle aplicable al edificio que las contenga.

Trasiego. El área que contiene las estaciones de bombeo y los sistemas de tuberías destinados a este fin, así como el lugar donde se efectúe el llenado de recipientes móviles. El área donde se realice esta última operación será considerada como cargadero a efectos de distancia de seguridad.

7.7 Forma de almacenamiento.

El almacenamiento de fuel oil se hará en tres tanques fijos de superficie. Los tanques estarán situados al aire libre y dispondrán de un pretil de contención de derrames (cubeto de contención).

7.8 Tipo de tanques.

Los tanques proyectados para el almacenamiento de fuel oil a temperatura inferior a la su ebullición, son del tipo atmosférico, contruidos en acero tipo St-52/36P y acero A-283-C.

7.9 Diseño y construcción de los tanques.

7.9.1 Definiciones generales según la ITC MIE APQ-1.

Materiales de construcción. Los recipiente se han construido con acero St-52/36 y con acero A-283-C, adecuado para las condiciones de almacenamiento y el producto almacenado.

Normas de diseño. El recipiente está diseñado de acuerdo con las reglamentaciones técnicas vigentes sobre la materia y, en su ausencia, con códigos o normas de reconocida solvencia. En este caso, se ha aplicado el código de diseño API-650.

Fabricación. Los tanques fijos son de forma cilíndrica y están diseñados y contruidos conforme al código de diseño API-650.

Soportes, fundaciones y anclajes. Los tanques fijos están apoyados sobre fundaciones de hormigón armado. Las fundaciones están diseñadas para minimizar la posibilidad de asentamientos desiguales y la corrosión en cualquier parte del recipiente apoyado sobre ellas.

Los soportes del recipiente que contiene líquido de la clase C, como es el caso del fuel oil, tienen una estabilidad al fuego EF-180 (resistencia al fuego R120).

Los tanques estarán soportados de tal manera que se eviten las concentraciones no admisibles de esfuerzos en su cuerpo.

Los tanques estarán fijados a las cimentaciones o soportes por medio de anclajes.

En las áreas de posible actividad sísmica, los soportes y conexiones se han diseñado para resistir los esfuerzos que de ella se deriven.

Dispositivos anti-rebose. Los tanques de almacenamiento llevan dispositivos para evitar un rebose por llenado excesivo. En caso de fallo de estos dispositivos, el rebose debe ser conducido a un lugar seguro.

Conexiones. Las conexiones a un tanque por las que el fuel oil pueda circular llevan una válvula manual externa situada lo más próxima a la pared del recipiente.

Se permite la adición de válvulas automáticas, internas o externas. Las conexiones por debajo del nivel del líquido, a través de las cuales éste no circula, llevarán un cierre estanco. Una sola válvula que conecte con el exterior no se considera cierre estanco.

7.9.2 Dimensiones de los tanques.

A continuación se detallan las capacidades de los tanques:

Tanque 1: tiene una capacidad de 35000 m³ y podrá ser utilizada 35003,16 m³.

Tanques 2 y 3: tienen una capacidad de 12500 m³ cada uno y podrá ser utilizada 12503,62 m³ respectivamente.

Para el tanque 1, tendremos 7 virolas envolventes con 17 chapas por cada virola, mientras que para los tanques 2 y 3, tendremos 5 virolas envolventes con 15 chapas por virola.

Como resumen, tenemos un cuadro con las dimensiones de cada uno de los tanques:

Capacidad tanque (m ³)	Diámetro(m)	Altura (m)	Largo chapa (m)	Ancho chapa (m)
12500	39,90	10,00	8,360	2,000
35000	55,25	14,60	10,210	2,086

Para el cálculo de las dimensiones de chapa se ha procedido de la siguiente forma:

$$\text{ancho chapa} = \frac{H_{\text{tanque}}}{N^{\circ} \text{virolas}}$$

$$\text{largo chapa} = \frac{\text{Perímetro}_{\text{tanque}}}{N^{\circ} \text{chapas}}$$

7.9.3 Acero empleado y fatiga admisible.

Se empleará para el tanque 1 el St-52/36, cuyas características se detallan en las siguientes tablas:

Carga de rotura St	73968 psi (52 kg/mm ²)
Límite elástico Sy	51209 psi (36 kg/mm ²)

Fatiga máxima admisible.

Virola	Fatiga máxima admisible	Fatiga máxima admisible
--------	-------------------------	-------------------------

	para el espesor de diseño Sd	para el espesor de prueba St
1	3/8 St= 27738 psi 2/3 Sy= 34126 psi	2/5St= 29587 psi 3/4Sy= 38406 psi
2-7	2/5 St= 29587 psi 2/3Sy= 34126 psi	3/7 St= 31702 psi 3/4 Sy= 38406 psi

En negrita se señalan los valores elegidos para el cálculo de los espesores.

Se empleará para los tanques 2 y 3 el acero A-283-C, cuyas características se detallan en la siguiente tabla:

Carga de rotura	55000- 65000 psi (38,7- 45,5 kg/mm ²)
Límite elástico	30000 psi (21 kg/mm ²)
Fatiga admisible en servicio	21000 psi (1470 kg/mm ²)
Fatiga admisible en prueba hidrostática	23000 psi (1610 kg/mm ²)

7.9.4 Espesor de la envolvente.

Según API-650, los espesores de la envolvente requeridos, serán mayores que los espesores de envolvente diseñados, incluido el sobreespesor de corrosión o los espesores de la envolvente en la prueba hidrostática, pero en ningún caso, el espesor total será menor que el mostrado en la siguiente tabla:

Diámetro nominal del tanque (ft)	Espesor tanque(in)
Menor de 50	3/16
de 50 a 120	1/4
de 120 a 200	5/16
más de 200	3/8

Por lo tanto, el espesor mínimo de chapa requerido no debe ser inferior a 5/16", lo que es igual a 7,938 mm, dado que ambos tanques tienen un diámetro comprendido entre 120 y 200 ft.

Para el tanque 1, el espesor escogido será el mayor entre los espesores de prueba y diseño calculados con el apéndice G, teniendo en cuenta que se debe cumplir con la norma A.P.I-650 y que se aumenta dicho espesor con una tolerancia siderúrgica y un espesor por corrosión.

El espesor de diseño viene dado por la siguiente expresión:

$$t_d = \frac{2.6 \cdot D \cdot (H - 1) \cdot G}{S_d}$$

Donde:

D: diámetro del tanque en pies.

H: altura del tanque en pies.

Sd: fatiga admisible para el espesor de diseño.

G: densidad del producto (0,94).

El espesor de prueba viene dado por la siguiente expresión:

$$t_d = \frac{2.6 \cdot D \cdot (H - 1) \cdot G}{S_t}$$

Donde:

D: diámetro del tanque en pies.

H: altura del tanque en pies.

Sd: fatiga admisible para el espesor de prueba.

G: densidad del producto (0,94).

Virola	H' (ft)	Espesor de diseño(mm)	Espesor de prueba(mm)	Tolerancia siderúrgica(mm)	Espesor de corrosión(mm)	Espesor adoptado(mm)
1	47,90	19,0	19,0	0,7	1	20,7
2	41,06	15,2	15,1	0,7	1	16,9
3	34,22	12,6	12,5	0,4	1	14,0
4	27,38	10,0	10,0	0,4	1	11,4
5	20,54	7,4	7,4	0,1	1	8,0
6	13,7	4,8	4,8	0,1	1	8,0
7	6,86	2,2	2,2	0,1	1	8,0

Verificamos a continuación la rigidez de la envolvente con la siguiente fórmula:

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

Donde:

D: diámetro nominal del tanque en pies.

t: espesor medio de la envolvente en pulgadas.

H₁: distancia vertical entre el ángulo de coronación y el eventual anillo rigidizador.

v: velocidad del viento en mph (89,5).

Primer tanteo:

$$t_1 = 8 \text{ mm} = 0,3150''$$

$$H_{1/1} = 6 \cdot 100 \cdot 0,3150 \sqrt{\left(\frac{100 \cdot 0,3150}{181,27}\right)^3 \cdot \left(\frac{100}{89,95}\right)^2} = 16,92' > 6,86'$$

Segundo tanteo:

$$t_2 = 8 \text{ mm} = 0,3150''$$

$$H_{1/2} = 6 \cdot 100 \cdot 0,3150 \sqrt{\left(\frac{100 \cdot 0,3150}{181,27}\right)^3 \cdot \left(\frac{100}{89,95}\right)^2} = 16,92' > 13,7'$$

Tercer tanteo:

$$t_3 = 8 \text{ mm} = 0,3150''$$

$$H_{1/3} = 6 \cdot 100 \cdot 0,3150 \sqrt{\left(\frac{100 \cdot 0,3150}{181,27}\right)^3 \cdot \left(\frac{100}{89,95}\right)^2} = 16,92' < 20,54'$$

Cuarto tanteo:

$$t_4 = 8,85 \text{ mm} = 0,3484''$$

$$H_{1/4} = 6 \cdot 100 \cdot 0,3484 \sqrt{\left(\frac{100 \cdot 0,3484}{181,27}\right)^3 \cdot \left(\frac{100}{89,95}\right)^2} = 22,23' < 27,38'$$

Quinto tanteo:

$$t_5 = 9,88 \text{ mm} = 0,3889''$$

$$H_{1/5} = 6 \cdot 100 \cdot 0,3889 \sqrt{\left(\frac{100 \cdot 0,3889}{181,27}\right)^3 \cdot \left(\frac{100}{89,95}\right)^2} = 28,66' < 34,22'$$

Sexto tanteo:

$$t_6 = 11,05 \text{ mm} = 0,4350''$$

$$H_{1/6} = 6 \cdot 100 \cdot 0,4350 \sqrt{\left(\frac{100 \cdot 0,4350}{181,27}\right)^3 \cdot \left(\frac{100}{89,95}\right)^2} = 37,92' < 41,06'$$

Se precisa anillo rigidizador en la tercera, cuarta, quinta y sexta virola, pero para que resulte más

económico realizamos un nuevo cálculo de espesores comenzando por la tercera virola, intentando ajustar por tanteo un nuevo espesor que supere la condición de rigidez. En la siguiente tabla se muestran los nuevos espesores adoptados.

Virola	H' (ft)	Espesor adoptado(mm)	Nuevo espesor adoptado(mm)
1	47,90	20,7	-
2	41,06	16,9	-
3	34,22	14,0	15,0
4	27,38	11,4	13,0
5	20,54	8,0	11,0
6	13,7	8,0	8,0
7	6,86	8,0	8,0

Comprobamos a continuación la rigidez de la envolvente con los nuevos espesores

Tercer tanteo:

$$t_3 = 9 \text{ mm} = 0,3543''$$

$$H_{\frac{1}{3}} = 6 \cdot 100 \cdot 0,3543 \sqrt{\left(\frac{100 \cdot 0,3543}{181,27} \right)^3 \left(\frac{100}{89,95} \right)^2} = 22,70 > 20,54'$$

Cuarto tanteo:

$$t_4 = 8,85 \text{ mm} = 0,3937''$$

$$H_{\frac{1}{4}} = 6 \cdot 100 \cdot 0,3937 \sqrt{\left(\frac{100 \cdot 0,3937}{181,27} \right)^3 \left(\frac{100}{89,95} \right)^2} = 29,55 > 27,38'$$

Quinto tanteo:

$$t_5 = 11 \text{ mm} = 0,4331''$$

$$H_{v5} = 6 \cdot 100 \cdot 0,4331 \sqrt{\left(\frac{100 \cdot 0,4331}{181,27}\right)^3} \left(\frac{100}{89,95}\right)^2 = 37,51' > 34,22'$$

Sexto tanteo:

$$t_6 = 11,98 \text{ mm} = 0,4717''$$

$$H_{v6} = 6 \cdot 100 \cdot 0,4717 \sqrt{\left(\frac{100 \cdot 0,4717}{181,27}\right)^3} \left(\frac{100}{89,95}\right)^2 = 46,43' > 41,06'$$

Para el tanque 2, el espesor escogido será el mayor entre los espesores de prueba y diseño calculados con el apéndice D (expresiones idénticas a las anteriores, teniendo en cuenta que se debe cumplir con la norma A.P.I-650 y que se aumenta dicho espesor con una tolerancia siderúrgica y un espesor por corrosión.

Virola	H' (ft)	Espesor de diseño(mm)	Espesor de prueba(mm)	Tolerancia siderúrgica(mm)	Espesor de corrosión(mm)	Espesor adoptado(mm)
1	32,81	12,2	11,9	0,7	1	13,9
2	26,25	9,7	9,4	0,7	1	11,4
3	19,69	8,11	5,8	0,4	1	8,0
4	13,13	4,6	4,6	0,4	1	8,0
5	6,57	2,1	2,0	0,1	1	8,0

Verificamos a continuación la rigidez de la envolvente con la siguiente fórmula:

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

Donde:

D: diámetro nominal del tanque en pies.

t: espesor medio de la envolvente en pulgadas.

H₁: distancia vertical entre el ángulo de coronación y el eventual anillo rigidizador.

v: velocidad del viento en mph (89,5).

Primer tanteo:

$$t_1 = 8 \text{ mm} = 0,3150''$$

$$H_{1/1} = 6 \cdot 100 \cdot 0,3150 \sqrt{\left(\frac{100 \cdot 0,3150}{130,91}\right)^3} \left(\frac{100}{89,95}\right)^2 = 27,85' > 6,57'$$

Segundo tanteo:

$$t_2 = 8 \text{ mm} = 0,3150''$$

$$H_{1/2} = 6 \cdot 100 \cdot 0,3150 \sqrt{\left(\frac{100 \cdot 0,3150}{130,91}\right)^3 \cdot \left(\frac{100}{89,95}\right)^2} = 27,85' > 13,13'$$

Tercer tanteo:

$$t_3 = 8 \text{ mm} = 0,3150''$$

$$H_{1/3} = 6 \cdot 100 \cdot 0,3150 \sqrt{\left(\frac{100 \cdot 0,3150}{130,91}\right)^3 \cdot \left(\frac{100}{89,95}\right)^2} = 27,85' > 19,69'$$

Cuarto tanteo:

$$t_4 = 8,76 \text{ mm} = 0,3386''$$

$$H_{1/4} = 6 \cdot 100 \cdot 0,3386 \sqrt{\left(\frac{100 \cdot 0,3386}{130,91}\right)^3 \cdot \left(\frac{100}{89,95}\right)^2} = 33,36' > 26,25'$$

No se necesita anillo rigidizador.

7.9.5 Diseño de fondos.

Según A.P.I-650, en su apartado 3.2 de diseño de fondos, se recomienda que:

- Todas las chapas de fondo tendrán un espesor nominal mínimo de 1/4 de pulgada.
- Todas las chapas rectangulares tendrán preferiblemente una anchura de 72 pulgadas.
- Las chapas del fondo se pedirán con anchura suficiente para que una vez recortadas, al menos una pulgada de ancho sobresalga fuera del borde exterior de la soldadura que une el fondo a la envolvente.

Tanque 1

Para calcular el número de chapas para el fondo utilizamos la siguiente expresión:

$$n^{\circ} \text{ chapas} = \frac{S_{\text{fondo}}}{S_{\text{chapa}}} \cdot 1,2$$

Donde el factor 1,2 se emplea para aumentar el número de chapas en un 20% para evitar errores a la hora de posibles recortes de las chapas.

Sustituyendo numéricamente obtenemos:

$$n^{\circ} \text{ chapas} = 136$$

Se colocan en la parte inferior del tanque 1, un total de 136 chapas con espesor $\frac{1}{4}$ “, un lado de 10,210 m (401,97”) y un ancho de 2,086 m (82,13”).

Al ser el tanque, de diámetro superior a 15 m, es necesaria la colocación de un anillo periférico. La anchura mínima del anillo periférico del fondo será de 900 mm, con 10 mm de espesor y su material, será el mismo que el de la envolvente cilíndrica. Siendo necesarias un total de 11 chapas para el anillo periférico con espesor 10 mm (0’3937”), un largo de 10,210 m (401,97”) y un ancho de 2,086 m (82,13”).

Para el cálculo del área del anillo utilizamos la siguiente expresión:

$$A = \pi (R^2 - r^2)$$

Donde:

r: radio el tanque.

R: radio del tanque más el ancho del anillo, en nuestro caso 1 m

Tanques 2 y 3

Para calcular el número de chapas para el fondo utilizamos la siguiente expresión:

$$n^{\circ} \text{ chapas} = \frac{S_{\text{fondo}}}{S_{\text{chapa}}} \cdot 1,2$$

Donde el factor 1,2 se emplea para aumentar el número de chapas en un 20% para evitar errores a la hora de posibles recortes de las chapas.

Sustituyendo numéricamente obtenemos:

$$n^{\circ} \text{ chapas} = 90$$

Por lo tanto se colocan en la parte inferior del tanque 2, un total de 90 chapas con espesor $\frac{1}{4}$ “, un largo de 8,360 m (329,13”) y un ancho de 2,000 m (78,74”).

Al ser este tanque también de diámetro superior a 15 m es necesaria la colocación de un anillo periférico.

La anchura mínima del anillo periférico del fondo será de 900 mm, con 10 mm de espesor y su material, será el mismo que el de la envolvente cilíndrica. Se colocan un total de 10 chapas con espesor 10 mm (0’3937”), un largo de 8,360m (329,13”) y un ancho de 2,000 m (78,74”).

Para el cálculo del área del anillo utilizamos la siguiente expresión:

$$A = \pi (R^2 - r^2)$$

Donde:

r: radio el tanque.

R: radio del tanque más el ancho del anillo, en nuestro caso 1 m

7.9.6 Diseño de los techos.

Las chapas del techo tendrán un espesor nominal mínimo de 3/16 pulgadas (4,76 mm), y un espesor máximo de ½ pulgadas (12,7 mm).

La solución adoptada en este proyecto, referente al diseño del techo, es del tipo techo cónico autosoportado por cerchas. El campo de aplicación de cada tipo es en función del diámetro del tanque, y a modo indicativo, API-650 lo divide de esta forma:

DIAMETRO DEL TANQUE (m)	TIPO DE TECHO
hasta 8	Autosoportado
desde 4,5 hasta 12,5	Autosoportado con vigas
desde 10 hasta 48	Autosoportado con cercha
desde 20 hasta 80	Soportado por columna

Las chapas del techo cónico apoyado no deberán unirse a las vigas de apoyo.

La pendiente del techo deberá estar entre los siguientes valores:

$$\theta \leq 37^\circ \quad \text{pend}=9:12$$

$$\theta \geq 9,5^\circ \quad \text{pend}=2:12$$

Adoptamos una pendiente de 10° con respecto a la horizontal.

El tipo de techo será soportado con columnas con una pendiente de 10° en los tres tanques y podrá tener las chapas del techo reforzadas por secciones soldadas a las chapas.

Tanque 1

Para el cálculo del número de chapas procedemos a aplicar la siguiente fórmula:

$$n^\circ \text{ chapas} = \frac{S_{\text{techo}}}{S_{\text{chapa}}} \cdot 1,2$$

Donde el factor 1,2 se emplea para aumentar el número de chapas en un 20% para evitar errores a la hora de posibles recortes de las chapas. La superficie del techo se ha calculado como la superficie lateral de un cono con el ángulo tomado:

$$S_{\text{techo}} = \pi \cdot R \cdot g$$

Donde:

R: radio del tanque en metros.

g: generatriz en metros del cono.

Sustituyendo numéricamente se obtiene:

$$n^\circ \text{ chapas}=138$$

Por lo tanto se colocan en el techo del tanque 1 de radio 27,625 m, un total de 138 chapas con espesor $\frac{1}{4}$ “, un largo de 10,210 m (401,97”) y un ancho de 2,086 m (82,13”).

Tanques 2 y 3

Para el cálculo del número de chapas procedemos a aplicar la siguiente fórmula:

$$n^\circ \text{ chapas} = \frac{S_{\text{techo}}}{S_{\text{chapa}}} \cdot 1,2$$

Donde el factor 1,2 se emplea para aumentar el número de chapas en un 20% para evitar errores a la hora de posibles recortes de las chapas. La superficie del techo se ha calculado como la superficie lateral de un cono con el ángulo tomado:

$$S_{techo} = \pi \cdot R \cdot g$$

Donde:

R: radio del tanque en metros.

g: generatriz en metros del cono.

Sustituyendo numéricamente se obtiene:

nº chapas=92

Para los tanques 2 y 3 de 19,95 m de radio, un total de 92 chapas con espesor $\frac{1}{4}$ “, un largo de 8,360 m (329,13”) y un ancho de 2,000 m (78,74”).

A la parte superior de la última virola se debe soldar un perfil en L, denominado anillo de coronamiento que deberá soportar las cargas debidas al viento que tienden a abollar la carcasa.

Este anillo de coronamiento, independientemente de la velocidad del viento, no podrá tener unas dimensiones inferiores a las que se indican a continuación:

TANQUES CON TECHO FIJO	ANILLO (mm)
$D \leq 10.700 \text{ mm}$	65 x65 x7
$10.700\text{mm} < D \leq 18.300 \text{ mm}$	65x65x9
$18.300 < D \leq 67.000 \text{ mm}$	80x80x10
$D > 67.000 \text{ mm}$	100x100x10

Por lo tanto para los tres tanques adoptamos el perfil en L 80x80x10.

7.9.7 Conexiones del tanque.

Las conexiones de los tanques serán embridadas, lo que permite un fácil montaje y desmontaje sin tener que realizar ningún corte ni soldadura.

La conexión embridada consta, en general de:

- Tubuladura.
- Placa de refuerzo.
- Brida.

- Pernos y tuercas.
- Juntas.
- Tapas o bridas ciegas.

7.9.8 Unión entre envolverte y fondo.

La unión del borde de la virola inferior con la chapa de fondo se hará mediante soldadura de filete continuo, en ambos lados de la chapa de la envolverte.

El tamaño de soldadura, de acuerdo con lo establecido en API-650 será mayor de 3/8" (ver tabla siguiente) y no será inferior al espesor nominal de la más fina de las dos chapas unidas en los dos tanques.

espesor máximo de la chapa de envolverte (pulg)	tamaño mínimo de soldadura (pulg)
3/16	3/16
3/16 – 3/4	1/4
3/4 - 1/4	5/16
1 1/4 - 1/2	3/8

7.9.9 Entradas de hombre en envolverte y techo.

Las chapas de refuerzo y secciones correspondientes, si no van hechos de una misma pieza irán provistas de un agujero indicador de 1/4" de diámetro, para así detectar cualquier escape a través de las soldaduras internas. Estos agujeros se localizan en el eje horizontal y estarán abiertos a la atmósfera.

Los bastidores de las entradas de hombre pueden ser embutidos o soldados.

El diámetro máximo de abertura en la envolverte será la suma del diámetro interno del bastidor más cuatro veces el espesor de las bridas de uniones.

7.9.10 Puertas de limpieza tipo "a paño".

Estas puertas se instalarán soldadas, asegurando una mayor estanqueidad, a nivel del suelo, superpuestas a la pared del tanque.

Cuando se realizan labores de limpieza, se rompe la soldadura y una vez terminadas se vuelve a soldar.

7.9.11 Tapa de sonda indicadora de nivel e indicador de nivel.

Los dispositivos de nivel son utilizados para evitar el rebose de los tanques por llenado excesivo.

A través de esta tapa se incorpora la sonda de nivel, que consta básicamente de dos electrodos (situados en la parte superior e inferior del tanque) que por el cambio de conductividad eléctrica al estar o no bañados por el líquido, indican si éste supera una determinada posición o está por debajo de ella.

En el indicador de nivel se podrá leer el nivel del tanque.

7.9.12 Plataformas y pasarelas.

En el diseño de las plataformas y pasarelas se ha de tener en cuenta que todas las piezas han de ser de metal y el suelo será enrejillado o de material antideslizante.

Se cumple con las siguientes características dimensionales establecidas en API- 650:

- Ancho del nivel del suelo (mínimo): 24"
- Altura de la barandilla superior sobre el suelo: 42"
- Altura del guardapie (mínimo): 3"
- Separación entre la parte superior del suelo y la inferior del guardapie (máxima): $\frac{1}{4}$ "
- Altura media de la barandilla: $\frac{1}{2}$ de la distancia entre la pasarela y la parte superior de la barandilla
- Distancia entre los candeleros de la barandilla (máxima): 96"

La estructura terminada será capaz de soportar una carga móvil concentrada de 1000 libras, y la barandilla será capaz de resistir una carga de 200 libras aplicada en cualquier dirección y en cualquier punto de la barandilla superior.

Las barandillas irán a ambos lados de la plataforma, interrumpiéndolas cuando sea necesario para los accesos.

En las aberturas de las barandillas, cualquier espacio entre el tanque y la plataforma superior a 6" deberá ir enrejillado.

Las pasarelas que se extiendan de una parte a otra del tanque, al otro tanque o al suelo, irán apoyadas para permitir cierta libertad de movimiento de las estructuras unidas por la pasarela.

7.9.13 Escaleras.

En el diseño de las escaleras se ha de tener en cuenta que todas las piezas han de ser de metal y el suelo será enrejillado o de material antideslizante.

La estructura terminada será capaz de soportar una carga móvil concentrada de 1000 libras, y la barandilla será capaz de resistir una carga de 200 libras aplicada en cualquier dirección y en cualquier punto del pasamanos.

Se cumple con las siguientes características dimensionales (establecidas en API-650):

-Ancho de la escalera (mínimo): 24"

-Ángulo de la escalera sobre la horizontal (máximo): 50°

-Ancho de peldaños (mínimo): 8"

-Altura medida verticalmente desde el nivel del peldaño al pasamanos: 30-34 "

-Distancia entre los candeleros de la barandilla (máxima), medida a lo largo de la pendiente de la barandilla: 96"

Habrán barandillas a ambos lados de las escaleras rectas, y también en las circulares, cuando el hueco entre la envolvente y la escalera exceda de 8".

Las escaleras helicoidales estarán completamente apoyadas en la envolvente del tanque, y los extremos de las riostras deberán quedar fuera del suelo.

El paso definido como distancia horizontal entre los peldaños sucesivos de la elevación más el paso estará entre 24 y 26" inclusive. La elevación será uniforme en toda la escalera.

La barandilla superior se unirá a la barandilla de la plataforma sin desviación. El ángulo preferido será 45°, que se utilizará en toda la escalera.

7.9.14 Marcado.

Los tanques deben llevar una placa en la que se indiquen sus características. Esta placa se fijará a la envolvente del tanque en un lugar próximo a una entrada de hombre mediante soldadura con cordón continuo.

La placa será de metal inoxidable, laminado o fundido y en ella aparecerá:

-Monograma API e indicación de que se ha diseñado de acuerdo con el diseño mejorado

-Año de fabricación

-Diámetro nominal del tanque

-Altura nominal del tanque

-Capacidad nominal del tanque

-Peso específico de diseño del líquido almacenado

-Nombre de la empresa que lo ha fabricado y su número de certificado de autorización.

-Nombre de la empresa que lo ha montado y su número de certificado de autorización.

7.9.15 Venteos.

Venteos normales.

El recipiente de almacenamiento dispone de sistemas de venteo para prevenir la deformación del mismo como consecuencia de llenados, vaciados o cambios de temperatura ambiente.

Los venteos normales del recipiente se han dimensionado de acuerdo con las reglamentaciones técnicas vigentes sobre la materia y, en su ausencia, con códigos de reconocida solvencia. En ausencia de los mismos, el tamaño mínimo ha de ser igual al mayor de las tuberías de llenado o vaciado y en ningún caso inferior a 35 mm de diámetro interior.

Como el recipiente tiene más de una conexión de llenado o vaciado, la dimensión del venteo se basará en el flujo máximo posible.

Venteos de emergencia.

Cuando el venteo de emergencia está encomendado a una válvula o dispositivo, como es el caso, la capacidad total de venteo normal y de emergencia serán suficientes para prevenir cualquier sobrepresión que pueda originar la ruptura del cuerpo o fondo del recipiente por ser vertical.

El dispositivo de venteo deberá llevar estampado sobre él la presión de apertura, la presión a la cual la válvula alcanza la posición totalmente abierta y su capacidad de venteo en esta última posición.

Cálculo del venteo total para líquidos estables.

El venteo de emergencia está relacionado con la superficie húmeda del recipiente que puede estar expuesta a un fuego exterior. Dicha superficie se calculará sobre las bases de los primeros 10 m por encima del suelo de un recipiente vertical, se descontará la parte de superficie que esté en contacto con el suelo.

En el caso de almacenamientos atmosféricos o a baja presión la capacidad total de venteo puede ser determinada por la siguiente fórmula:

$$m^3 \text{ de aire por hora} = \frac{4.414 \cdot Q}{L \cdot M^{0.5}}$$

Donde

- Q= calor recibido según apartado 3.c) de este artículo en kJ/h.
- L = calor latente de vaporización en kJ/kg.
- M = peso molecular.

Para almacenamientos atmosféricos diseñados para presiones manométricas mayores de 0,07 bar y hasta 0,15 bar se tiene:

Superficie húmeda (m ²)	m ³ /h de aire
600	41740
700	47360
800	52840
900	58200
1000	63450
1500	88480
2000	112000

Tanque 1

Por tanto, considerando que:

- Altura húmeda ($H_{\text{húmeda}}$) = 10 m

- Superficie húmeda = $2 \cdot \pi \cdot r \cdot H_{\text{húmeda}} = 2\pi \cdot 27,625 \cdot 10 = 1735,73 \text{ m}^2$

Interpolando en la tabla se obtiene un valor:

Capacidad de venteo total = 99568,74 m³/hora.

Tanques 2 y 3

Repetimos el proceso anterior:

- Altura húmeda ($H_{\text{húmeda}}$) = 10

- Superficie húmeda = $2 \cdot \pi \cdot r \cdot H_{\text{húmeda}} = 2\pi \cdot 19,95 \cdot 10 = 1253,50 \text{ m}^2$

Capacidad de venteo total = 76140,21 m³/ hora

Tuberías de venteo.

Las tuberías de venteo se construyen con un tamaño mínimo igual al de las tuberías de llenado, es decir, se escoge un Schedule de 20 de D_n 10", con espesor 6,35 mm.

La salida de venteos termina por encima del nivel normal de nieve y lleva codo para minimizar la entrada de materiales extraños.

Se ha evitado obstruir las tuberías de venteo con mecanismos que den lugar a un aumento de la presión de descarga.

Se instalan dos venteos por tanque por si se obstruye alguno de ellos en algún momento.

7.10 Pruebas

- Recipientes

Todos los recipientes se han probado antes de su puesta en servicio y, en su caso, de acuerdo con las exigencias del Real Decreto 1244/1979, de 4 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Aparatos a Presión y la normativa posterior que lo modifica, y las especificaciones del código o norma de diseño elegido. Dichas pruebas se han realizado reglamentariamente por un Organismo de Control Autorizado, emitiendo éste su correspondiente certificado.

Cuando la altura vertical de las tuberías de llenado o venteo es tal que al llenarse de líquido la presión manométrica en el fondo supere 0,7 bar, el recipiente y sus tuberías serán probadas hidráulicamente, como mínimo, a la presión estática a que puedan estar sometidas.

Además, el recipiente y conexiones serán probados a estanquidad. Esta estanquidad será realizada a la presión de operación con aire, gas inerte o agua, antes de poner el tanque en servicio. En los tanques de fuel oil contruidos «in situ», la prueba de estanquidad puede considerarse dentro de las señaladas anteriormente.

Antes de poner el recipiente en servicio se corregirán todas las fugas y deformaciones de manera aceptable para el código o normas de diseño. No se permite la corrección de fugas, en recipientes soldados, por retacado mecánico, excepto en poros de techo.

La temperatura y características del agua empleada para la prueba hidráulica serán compatibles con el material del recipiente e instalaciones.

- Tuberías, válvulas y accesorios

Las tuberías, válvulas y accesorios se probarán antes de ser cubiertas, enterradas o puestas en servicio de acuerdo con los códigos de diseño.

8 Cimentaciones.

El suelo es uniforme en cuanto a composición, tipología y resistencia, no presentando riesgo de inundación ni de inestabilidad.

Se adopta una losa de 30 cm de espesor de hormigón armado, de resistencia 25 N/mm², tamaño máximo de árido de 20 mm y mallazo de 30#15x15x6, apoyada sobre una base de piedra machacada de 10 cm de espesor, sobre el albero de relleno de 60 cm de espesor previamente explanado y compactado.

9 Cubeto de retención.

9.1 Reglas generales

Los recipientes de superficie para almacenamientos de líquido combustibles, como es el caso del fuel oil, disponen de un cubeto de retención con capacidad para dar cumplimiento a lo establecido en la ITC MIE APQ-1. La distancia mínima en proyección horizontal entre la pared mojada del recipiente y el borde interior de la coronación del cubeto, es superior a 1,5 m.

Además, el cubeto cuenta con ocho escaleras de acceso al mismo situada en extremos opuestos.

El fondo del cubeto tiene una pendiente del 1% de forma que todo el producto derramado escurra rápidamente hacia una zona del cubeto lo más alejada posible de la proyección de los recipientes, de las tuberías y de los órganos de mando de la red de incendios.

Para evitar la extensión de pequeños derrames se subdividirá al cubeto por dos diques de 0,15 m de altura cada uno.

9.2 Capacidad del cubeto.

Cuando un cubeto contiene dos recipientes, su volumen será como mínimo el mayor, y su capacidad se establece considerando que no existe el mayor, pero si los demás, es decir, descontando del volumen total del cubeto vacío el volumen de la parte de cada recipiente que quedaría sumergido bajo el nivel del líquido, excepto el del mayor.

Aplicando la regla citada anteriormente:

$$Q_c = Q + 2V$$

Donde:

Q_c : capacidad del cubeto en m^3

Q : capacidad real del tanque de mayor capacidad en m^3

V : volumen del tanque pequeño que quedaría sumergido en m^3

Sustituyendo datos en la ecuación anterior y suponiendo las dimensiones del recinto de almacenaje en 205 x 140 m calculamos h (altura del cubeto en m):

$$205 \cdot 140 \cdot h = 35000 + 2 \cdot \frac{39,90^2}{4} \cdot \pi \cdot h$$

$$h = 1,34m$$

9.3 Construcción y disposición de los cubetos.

Las paredes del cubeto irán recubiertas con una lámina de HDPE (polietileno de alta densidad) de 1,5 mm de espesor para evitar la filtración del fuel oil en caso de la rotura de los tanques.

El cubeto contenedor tiene una dimensiones de 205 x140 m y estará formado por una losa de 30 cm de espesor de hormigón armado, de resistencia 25N/mm², tamaño máximo de árido de 20 mm y mallazo de 30#15x15x6, apoyada sobre una base de piedra machacada de 10 cm de espesor, sobre el albero de relleno de 60 cm de espesor previamente explanado y compactado.

Existen accesos normales y de emergencia con un mínimo de dos y un número tal que no haya que recorrer una distancia superior a 50 metros hasta alcanzar el acceso desde cualquier punto del interior del cubeto.

Como mínimo, la cuarta parte de la periferia del cubeto es accesible por dos vías diferentes. Estas vías tienen una anchura de 2,7 metros y una altura libre de 4 metros para permitir el acceso de vehículos de lucha contra incendios.

La pendiente del fondo del cubeto desde el tanque hasta el sumidero de drenaje es, como mínimo, del 1% hasta el sumidero.

9.4 Canales de evacuación.

Los canales de evacuación tienen una sección útil mínima de 400 centímetros cuadrados con una pendiente, también mínima, del 1% en dirección a las paredes del cubeto.

9.5 Red de drenaje.

La red de drenaje está diseñada para proporcionar una adecuada evacuación de los fluidos residuales, agua de lluvia, de proceso, de servicios contra incendios y otros similares. Los materiales de las conducciones y accesorios son adecuados para resistir el ataque químico de los productos que van a transportar.

Las aguas contaminadas vierten hacia el sumidero, situado en la parte más baja del cubeto. La evacuación de éstas se hace mediante una bomba portátil dispuesta al efecto en el equipamiento de la instalación, siendo puestas a continuación a disposición del Gestor de Residuos autorizado.

El drenaje de agua de lluvia, considerada limpia, se hará mediante tubería de HDPE (polietileno de alta densidad), de 500mm de diámetro y PN 6.

10 Cálculo de tuberías y selección de bombas.

10.1 Dimensionamiento de tuberías.

En la siguiente tabla aparecen las características del fuel oil transportado en las tuberías:

Velocidad máx. del fuel-oil (m/s)	2
Densidad fuel-oil (kg/dm ³)	0,94
Viscosidad cinem. (mm ² /s)	3

10.1.1 Tuberías de carga de los tanques.

El diseño de las tuberías de carga de los tanques viene dado por el caudal máximo de entrada a los tanques en m³/día, para ello se ha escogido un caudal a la entrada de 7.500 m³/día, así tardaremos 112 horas en llenar el tanque de mayor capacidad (35.000 m³) y 40 horas en llenar los de menor capacidad (12500 m³).

El área de la tubería vendrá dada por:

$$\dot{A}rea = \frac{Caudal\ requerido}{velocidad\ del\ fluido}$$

Se obtiene un área de 0,043 m² con la que se puede obtener el diámetro nominal de tubería con la siguiente expresión:

$$D_{nominal} = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{A}rea}{\pi}}$$

Obtenemos un diámetro nominal de 0,235 m (9,25 in), tomamos según normas ASA un diámetro nominal de 10 in cuyo diámetro exterior es de 273 mm.

Para el cálculo del Schedule de la tubería tomamos la ecuación indicada por ASA B.31:

$$T = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S \cdot E + P \cdot Y)} + c$$

Donde:

T: espesor de cálculo en cm.

P: presión de cálculo 1,033 kg/cm².)

D: diámetro exterior del tubo.

S: tensión admisible a la temperatura de cálculo (9000 lb/in² = 632,7 kg/cm²).

E: coeficiente de unión que varía entre 0,6 y 1, según procedimiento de soldadura.

Y: coeficiente variable entre 0,4 y 0,6, según la temperatura y los accesorios.

C: sobreespesor de corrosión, erosión o profundidad del roscado.

Para nuestros cálculos tomamos:

P (kg/cm ²)	1,033
Dext (cm)	27,3
S (kg/cm ²)	632,93

E	0,6
Y	0,5

El espesor obtenido para las condiciones de trabajo es de 0,371 mm, al cual le realizamos un aumento del 12,5 % para compensar las irregularidades de fabricación obteniéndose un espesor de 0,417 mm.

La tubería escogida para la carga de los tanques es Schedule 20 y D_{nominal} 10", con espesor 6,35 mm y una longitud de 300 m.

10.1.2 Tuberías de descarga de los tanques.

El diseño de las tuberías de descarga de los tanques viene dado por el caudal máximo de salida de los tanques en m³/día, para ello se ha escogido un caudal a la salida de 3.000 m³/día, así tardaremos 100 horas en vaciar los tanques de menor capacidad (12500 m³) y 280 horas en vaciar el de mayor capacidad (35000 m³).

El área de la tubería vendrá dada por:

$$\text{Área} = \frac{\text{Caudal requerido}}{\text{velocidad del fluido}}$$

Se obtiene un área de 0,0176 m² con la que se puede obtener el diámetro nominal de tubería con la siguiente expresión:

$$D_{\text{nominal}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \text{Área}}{\pi}}$$

Obtenemos un diámetro nominal de 0,1487 m (5,85 in), tomamos según normas ASA un diámetro nominal de 6 in cuyo diámetro exterior 168,27 mm.

Para el cálculo del Schedule de la tubería tomamos la ecuación indicada por ASA B.31:

$$T = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S \cdot E + P \cdot Y)} + c$$

Donde:

T: espesor de cálculo en cm.

P: presión de cálculo (1,033 kg/cm².)

D: diámetro exterior del tubo.

S: tensión admisible a la temperatura de cálculo (9000 lb/in² = 632,7 kg/cm²).

E: coeficiente de unión que varía entre 0,6 y 1, según procedimiento de soldadura.

Y: coeficiente variable entre 0,4 y 0,6, según la temperatura y los accesorios.

C: sobreespesor de corrosión, erosión o profundidad del roscado.

Para nuestros cálculos tomamos:

P (kg/cm ²)	1,033
Dext (cm)	16,83
S (kg/cm ²)	632,93
E	0,6
Y	0,5

El espesor obtenido para las condiciones de trabajo es de 0,228 mm, al cual le realizamos un aumento del 12,5 % para compensar las irregularidades de fabricación obteniéndose un espesor de 0,257 mm

La tubería escogida para la descarga de los tanques es Schedule de 10 de D_{nominal} 6", con espesor 3,40 mm y una longitud de 300 m.

10.1.3 Dimensión de la tubería de evacuación de arqueta pluvial.

La arqueta va situada en el interior del cubeto, y está conectada con esta misma por medio de un conducto de tuberías.

Las aguas pluviales que lleguen a esta arqueta pueden ser susceptibles de algún tipo de contaminación debido al contacto directo de residuos depositados de fuel oil en el suelo, así que serán tratados y depositados para la posterior recogida.

La arqueta pluvial tiene unas dimensiones de 6x6x10 m, lo que hace un volumen de 360 m³ de capacidad. Si suponemos que el tiempo de evacuación es en 3 horas, tenemos 120 m³/h.

El área de la tubería vendrá dada por:

$$\text{Área} = \frac{\text{Caudal requerido}}{\text{velocidad del fluido}}$$

Se obtiene un área de 0,017 m² con la que se puede obtener el diámetro nominal de tubería con la siguiente expresión:

$$D_{nominal} = \sqrt{\frac{4 \cdot \text{Área}}{\pi}}$$

Obtenemos un diámetro nominal de 0,1456 m (5,73 in), tomamos según normas ASA un diámetro nominal de 6 in cuyo diámetro exterior 168,27 mm.

Para el cálculo del Schedule de la tubería tomamos la ecuación indicada por ASA B.31:

$$T = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S \cdot E + P \cdot Y)} + c$$

Donde:

T: espesor de cálculo en cm.

P: presión de cálculo (1,033 kg/cm²)

D: diámetro exterior del tubo.

S: tensión admisible a la temperatura de cálculo (9000 lb/in² = 632,7 kg/cm²).

E: coeficiente de unión que varía entre 0,6 y 1, según procedimiento de soldadura.

Y: coeficiente variable entre 0,4 y 0,6, según la temperatura y los accesorios.

C: sobreespesor de corrosión, erosión o profundidad del roscado.

Para nuestros cálculos tomamos:

P (kg/cm ²)	1,033
Dext (cm)	16,83
S (kg/cm ²)	632,93
E	0,6
Y	0,5

El espesor obtenido para las condiciones de trabajo es de 0,228 mm, al cual le realizamos un aumento del 12,5 % para compensar las irregularidades de fabricación obteniéndose un espesor de 0,257 mm

La tubería escogida para la descarga de los tanques es Schedule de 10 de D_{nominal} 6", con espesor 3,40 mm.

La tubería escogida para la arqueta pluvial es Schedule de 10 de D_{nominal} 6", con espesor 3,40 mm y una longitud de 30 m.

10.2 Bridas, válvulas y accesorios.

Para el diseño de las bridas, se ha de tener en cuenta las condiciones de servicio y los materiales a emplear. Las dimensiones están normalizadas, según la presión y la temperatura.

Dado que las condiciones de presión y temperatura indicadas al inicio del presente documento, no son severas, basta emplear bridas cuya presión de servicio primaria (rating) sea mínima. Se clasifican según la forma de unión con la tubería.

Se han seleccionado las bridas de 150 lb (de acuerdo con las normas ASA) tipo Welding-neck por su facilidad de montaje para las tuberías de 24 y 6 pulgadas de diámetro nominal, siendo necesario un único cordón de soldadura.

El tipo de cara adoptada es RF (cara con resalte), dado que se suele emplear para temperaturas y presiones medias.

TUBERIA	Dn (inch)	CLASE	TIPO DE CARA	TIPO DE BRIDA
Entrada	24	150 lb	RF	Welding-neck
Salida	6	150 lb	RF	Welding-neck

Tamaño nominal de tubo	D externo de la brida	Espesor min brida	D anillo del perno	Nº de pernos	Longitud hasta el empalme
24	32	1,88	29,5	20	6
6	11	1	9,5	8	4

10.3 Caída de presión en tuberías y accesorios.

Se utiliza para el cálculo de la caída de presión, la ecuación de Darcy o de Fanning para flujo estacionario en tuberías circulares uniformes que corren llenas de líquido en condiciones isotérmicas. Esta ecuación la pérdida por fricción de fluido en movimiento del conducto.

La expresión de Darcy nos da la pérdida de carga por metro lineal de tubería:

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{L \cdot v^2}{2 \cdot g \cdot D}$$

Donde:

ΔP : caída de presión (m)

λ : Coeficiente de fricción de Fanning.

L: longitud total (m).

D: diámetro de la tubería (m).

V: velocidad del fluido (m/s).

G: aceleración de la gravedad.

Para Reynolds > 2320 el valor de λ viene dado por:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1,14 - 2,0 \cdot \log \frac{k}{D}$$

Para las tuberías de acero para soldadura utilizada en el transporte del fuel oil, la rugosidad tiene un valor entre 0,0004 y 0,001 metros. En nuestro caso tomaremos $k = 0,001$.

Los codos serán lisos curvados con ángulo de 90°, las piezas en forma de T serán redondeadas con base plana, las entradas y salidas de tanque serán con borde redondeado y las entradas a bombas serán acampanadas.

Posteriormente se calculará la pérdida de carga debido a los distintos elementos como válvulas, codos, etc.

10.3.1 Caída de presión en el tramo previo a la entrada de los tanques.

Calculamos el número de Reynolds:

$$Re = \frac{D_i \cdot v}{\gamma}$$

Donde:

D_i : diámetro interno (m).

v : velocidad del fluido.

γ : viscosidad cinemática del fuel-oil (m^2/s).

Para la carga del tanque:

$D_i = 0,273 \text{ m}$

$v = 2 \text{ m/s}$

$\gamma = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

$L = 300 \text{ m}$

$Re = 4963,63$

Estamos por lo tanto trabajando en un régimen turbulento.

Calculamos λ con los datos anteriores:

$\lambda = 0,028$

Sustituimos en la ecuación de Darcy:

$$\Delta P_1 = 0,028 \cdot \frac{300 \cdot 2^2}{2 \cdot g \cdot 0,273} = 6,28 \text{ m}$$

Calculamos las pérdidas en los accesorios con la siguiente expresión:

$$\Delta P_2 = \zeta \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Donde:

ΔP_2 : pérdida de carga (m).

ζ : coeficiente de fricción del que se trate.

v. velocidad de flujo(m/s).

La suma de los coeficientes de fricción de todos los accesorios es admisible si el diámetro nominal es el mismo como es nuestro caso.

Accesorio	Cantidad	Coeficiente unitario	Total
Codos a 90°	8	0,21	1,68
T paso recto	3	0,7	2,1
Válvula de compuerta	7	0,12	0,84
Válvula de retención	2	1,05	2,1
Entrada/salida del tanque	2	0,05	0,1
Entrada bombas	2	0,05	0,1

Total coeficientes= 6,92

Resulta un $\Delta P_2=1,41$ m

$$\Delta P_{total} = 7,69 \text{ m}$$

10.3.2 Caída de presión en el tramo previo a la salida de los tanques.

Calculamos el número de Reynolds:

$$Re = \frac{D_i \cdot v}{\gamma}$$

Donde:

D_i : diámetro interno (m).

v: velocidad del fluido.

γ :viscosidad cinemática del fuel-oil (m²/s).

Para la descarga del tanque:

$D_i= 0,168$ m

$v = 2 \text{ m/s}$
 $\gamma = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$
 $L = 300 \text{ m}$
 $Re = 3054,55$

Estamos por lo tanto trabajando en un régimen transitorio.

Calculamos λ con los datos anteriores:

$$\lambda = 0,032$$

Sustituimos en la ecuación de Darcy:

$$\Delta P_1 = 0,032 \cdot \frac{300 \cdot 2^2}{2 \cdot g \cdot 0,168} = 11,6 \text{ m}$$

Calculamos las pérdidas en los accesorios con la siguiente expresión:

$$\Delta P_2 = \zeta \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Donde:

ΔP_2 : pérdida de carga (m).

ζ : coeficiente de fricción del que se trate.

v. velocidad de flujo(m/s).

La suma de los coeficientes de fricción de todos los accesorios es admisible si el diámetro nominal es el mismo como es nuestro caso.

Accesorio	Cantidad	Coeficiente unitario	Total
Codos a 90°	8	0,21	1,68
T paso recto	4	0,7	2,8
Válvula de compuerta	8	0,12	0,96
Válvula de retención	2	1,05	2,1
Entrada/salida del tanque	2	0,05	0,1
Salida bombas	2	0,05	0,1

Total coeficientes= 7,74

Resulta un $\Delta P_2 = 1,58 \text{ m}$

$$\Delta P_{total} = 13,24 \text{ m}$$

10.3.3 Caída de presión en la arqueta pluvial.

Calculamos el número de Reynolds:

$$Re = \frac{D_i \cdot v}{\gamma}$$

Donde:

D_i : diámetro interno (m).

v : velocidad del fluido.

γ : viscosidad cinemática del agua (m²/s).

Para la salida de agua:

$D_i = 0,168$ m

$v = 2$ m/s

$\gamma = 1,004 \cdot 10^{-6}$ m²/s

$L = 30$ m

$Re = 334661,35$

Estamos por lo tanto trabajando en un régimen turbulento.

Calculamos λ con los datos anteriores:

$\lambda = 0,032$

Sustituimos en la ecuación de Darcy:

$$\Delta P_2 = 0,032 \cdot \frac{30 \cdot 2^2}{2 \cdot g \cdot 0,168} = 1,17 \text{ m}$$

Calculamos las pérdidas en los accesorios con la siguiente expresión:

$$\Delta P_2 = \zeta \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Donde:

ΔP_2 : pérdida de carga (m).

ζ : coeficiente de fricción del que se trate.

v : velocidad de flujo (m/s).

La suma de los coeficientes de fricción de todos los accesorios es admisible si el diámetro nominal es el mismo como es nuestro caso.

Accesorio	Cantidad	Coeficiente unitario	Total
Codos a 90°	1	0,21	0,21
Entrada/salida arqueta	1	0,05	0,05
Válvula de compuerta	2	0,12	0,24
Válvula de retención	1	1,05	1,05
Entrada bombas	1	0,05	0,05

Total coeficientes= 1,6

Resulta un $\Delta P_2 = 0,33 \text{ m}$

$$\Delta P_{total} = 1,5 \text{ m}$$

10.4 Selección de las bombas.

Las bombas que se han escogido para el movimiento del fluido desde la descarga hasta el almacenamiento, y de éste a los camiones cisterna son bombas centrífugas.

Las bombas van conectadas a los tres tanques de tal forma que se pueda suministrar fuel oil a uno de ellos sin que tenga que alimentar a la vez al otro tanque, pudiéndose también alimentar a los dos a la vez.

Tanto en la carga como en la descarga, se han dispuesto de bombas auxiliares de emergencia por si fallasen las principales.

10.4.1 Bomba para la carga de los tanques.

La potencia eléctrica necesaria de la bomba viene dada por:

$$P = \frac{Q \cdot H \cdot \rho \cdot g}{1000 \eta}$$

Donde:

P: potencia (kW)

Q: caudal (m³/s)

H: pérdida de carga (m)

ρ : densidad del fuel-oil (kg/m³).

g: aceleración de la gravedad (m/s²)

η : rendimiento

La pérdida de carga a la que se enfrenta la bomba es la siguiente:

$$H = (H_g + H_t) + (P_{\text{tanque}} - P_{\text{cisterna}})$$

Donde:

H_g : diferencia de altura entre el nivel de fuel oil y la boca de entrada/salida(m) del camión cisterna.

H_t : pérdida de carga a lo largo de la tubería/accesorios (m).

P_{tanque} y P_{cisterna} son las presiones a las que están sometidos el tanque y el camión cisterna que en nuestro caso son idénticas (1atm).

$$H = 14,6 + 7,69 = 22,29 \text{ m}$$

La potencia eléctrica para una densidad de 940 kg/m³ y un rendimiento de 0,65 es:

$$P = 27,42 \text{ kW}$$

La potencia del motor es aumentada por el coeficiente ζ de valor 1,2 resultando una potencia eléctrica de:

$$P = 32,90 \text{ kW}$$

Se debe de adquirir una bomba de potencia normalizada $P = 37 \text{ kW}$ (50 C.V)

10.4.2. Bomba para la descarga de los tanques.

La potencia eléctrica necesaria de la bomba viene dada por:

$$P = \frac{Q \cdot H \cdot \rho \cdot g}{1000 \eta}$$

Donde:

P: potencia (kW)

Q: caudal (m³/s)

H: pérdida de carga (m).

ρ : densidad del fuel-oil (kg/m³).

g: aceleración de la gravedad (m/s²).

η : rendimiento.

La pérdida de carga a la que se enfrenta la bomba es la siguiente:

$$H = (H_g + H_t) + (P_{\text{tanque}} - P_{\text{cisterna}})$$

Donde:

H_g : diferencia de altura entre el nivel de fuel oil y la boca de entrada/salida (m) del camión cisterna.

H_t : pérdida de carga a lo largo de la tubería/accesorios (m).

P_{tanque} y $P_{cisterna}$ son las presiones a las que están sometidos el tanque y el camión cisterna que en nuestro caso son idénticas (1atm).

$$H = 14,6 + 13,24 = 27,84 \text{ m}$$

La potencia eléctrica para una densidad de 940 kg/m^3 y un rendimiento de 0,65 es:

$$P = 13,70 \text{ kW}$$

La potencia del motor es aumentada por el coeficiente ζ de valor 1,2 resultando una potencia eléctrica de:

$$P = 16,44 \text{ kW}$$

Se debe de adquirir una bomba de potencia normalizada $P = 18,5 \text{ kW}$ (25 C.V)

10.4.3. Bomba para la arqueta pluvial.

La potencia eléctrica necesaria de la bomba viene dada por:

$$P = \frac{Q \cdot H \cdot \rho \cdot g}{1000 \eta}$$

Donde:

P: potencia (kW)

Q: caudal (m^3/s)

H: pérdida de carga (m).

ρ : densidad del fuel-oil (kg/m^3)

g: aceleración de la gravedad (m/s^2)

η : rendimiento.

La pérdida de carga a la que se enfrenta la bomba es la siguiente:

$$H = (H_g + H_t) + (P_{tanque} - P_{cisterna})$$

Donde:

H_g : diferencia de altura entre el nivel de fuel-oil y la boca de entrada/salida(m) del camión cisterna.

H_t : pérdida de carga a lo largo de la tubería/accesorios (m).

P_{tanque} y $P_{cisterna}$ son las presiones a las que están sometidos el tanque y el camión cisterna que en nuestro caso son idénticas (1atm).

$$H= 14,6+1,5= 16,1 \text{ m}$$

La potencia eléctrica para una densidad de 940 kg/m^3 y un rendimiento de 0,65 es:

$$P=8,09 \text{ kW}$$

La potencia del motor es aumentada por el coeficiente ζ de valor 1,2 resultando una potencia eléctrica de:

$$P=9,71 \text{ kW}$$

Se debe de adquirir una bomba de potencia normalizada $P=10 \text{ kW}$ (13,5 C.V)

11 Instalaciones para carga y descarga. Elementos de trasiego.

11.1 Carga y descarga de tanques.

En las operaciones de carga y descarga se tienen en cuenta las recomendaciones contenidas en el informe UNE 109.100.

Las instalaciones de los cargaderos/descargaderos se adaptan en su diseño y criterios de operación a los requisitos de la reglamentación sobre transporte, carga y descarga de mercancías peligrosas.

Las plataformas en la que se estacionan los vehículos/ferrocarril durante la carga/descarga tienen una pendiente del 1 por 100 hacia los sumideros de evacuación, de tal forma que cualquier derrame accidental fluya rápidamente hacia ellos. El sumidero se conecta directamente con el cubeto de retención del tanque de fuel oil.

Los descargaderos de camiones se sitúan de forma que los camiones que a ellos se dirijan o que de ellos procedan puedan hacerlo por caminos de libre circulación. La carga y descarga de camiones cisterna se realizará con el motor del camión parado. Los camiones cisterna se disponen en el cargadero de forma que puedan efectuar su salida sin necesidad de maniobra. Los accesos son amplios y bien señalizados.

Los medios de transporte estacionados a la espera se situarán de modo que no obstaculicen la salida de los que estén cargando o descargando, ni la circulación de los medios para la lucha contra incendios.

El llenado podrá hacerse por la parte baja de las cisternas o por el domo. Si el llenado se hace por el domo, el brazo de carga irá provisto de un tubo buzo que será de acero, cuyo extremo será de metal blando, que no produzca chispas en el acero de la cisterna. En cualquier caso, la extremidad del tubo se hará conductora y estará conectada eléctricamente a la tubería fija de carga.

El tubo tiene una longitud suficiente para alcanzar el fondo de la cisterna y está construido de manera que se limita su posibilidad de elevación en el curso de la operación de llenado. La boquilla tiene una forma que evita salpicaduras.

11.2 Límites exteriores de las instalaciones: vallado.

La planta de almacenamiento de superficie dispone de un cerramiento al exterior rodeando el conjunto de sus instalaciones de 280 x 220 m. La altura mínima será de 2,5 metros ya que el almacenamiento es superior a 2.000 metros cúbicos.

Este cerramiento no obstaculiza la aireación y se realizará preferentemente con malla metálica. El cerramiento se construye de forma que no obstaculiza la intervención y evacuación, en caso de necesidad, mediante accesos estratégicamente situados.

Las puertas que se abran sobre vías exteriores tienen un ancho suficiente o una zona adecuada de giro para que la entrada y salida de vehículos no exija maniobra.

12 Instalación eléctrica.

12.1 Generalidades.

La instalación eléctrica estará de acuerdo con las exigencias establecidas en el Real Decreto 842/2002, de 2 de Agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y la normativa posterior que lo modifica, y sus Instrucciones Complementarias, y en especial la ITC BT-29, relativa a instalaciones de almacenamiento de productos inflamables.

12.2 Alumbrado.

La iluminación general de las instalaciones cumple las exigencias de la legislación vigente.

El sistema de alumbrado se diseña de forma que proporcione una distribución y un nivel de iluminación razonablemente uniforme.

Las características de los aparatos de alumbrado que se instalan se adaptan a lo indicado en el punto siguiente.

12.3 Instalaciones, materiales y equipos eléctricos.

Todas las instalaciones, equipos y materiales eléctricos cumplen las exigencias del reglamento eléctrico de baja tensión.

La protección contra los efectos de la electricidad estática y las corrientes que puedan producirse por alguna anomalía se establece mediante las puestas a tierra de todas las masas metálicas.

12.4 Instalaciones temporales o provisionales.

Debe reducirse al mínimo el uso de equipos eléctricos temporales. Cuando la instalación provisional haya cumplido su objetivo, deberá desconectarse y dismantelarse. El equipo

eléctrico provisional y el sistema de cables deben seleccionarse, instalarse y mantenerse teniendo en cuenta su fin y las condiciones ambientales y de seguridad.

12.5 Puesta a tierra.

Las puestas a tierra tienen por objeto limitar la tensión que, con respecto a tierra, puedan presentar en un momento dado las masas metálicas, asegurar la actuación de las protecciones y disminuir el riesgo que supone una avería en el material utilizado. En el caso de los tanques de fuel oil se han proyectado dos puestas a tierra por tanque. Además, tanto la escalera de acceso al techo del tanque como los cargaderos poseen sus respectivas tomas de tierra. Por último, las bancadas de bombas, tanto de carga como de descarga, tienen también sendas puestas a tierra.

Todas las puestas a tierra antes mencionadas, formadas por cable de cobre aislado de 70 mm² de sección, están conectadas a la malla general de tierra del complejo.

12.6 Suministro de energía eléctrica.

No hay instalaciones eléctricas de alta tensión en la zona de almacenamiento de fuel oil.

Las redes de distribución eléctrica de baja tensión están de acuerdo con el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

13 Tratamiento de efluentes.

13.1 Depuración de efluentes líquidos.

Todos los efluentes líquidos que presenten algún grado de contaminación, incluido las aguas contaminadas utilizadas en la defensa contra incendios, deberán ser tratados de forma que el vertido final de la planta cumpla con la legislación vigente en materia de vertidos.

13.2 Lodos y residuos sólidos.

Los lodos y residuos sólidos de carácter contaminante serán eliminados por un procedimiento adecuado que no dé lugar a la contaminación de aguas superficiales o subterráneas por infiltraciones o escorrentías, ni produzca contaminación atmosférica por encima de los niveles permitidos en la legislación vigente.

13.3 Emisión de contaminantes a la atmósfera.

La concentración de contaminantes dentro del recinto de almacenamiento cumple lo establecido en la legislación vigente.

14 Protección contra incendios de la instalación.

14.1 Generalidades.

La protección contra incendios del almacenamiento de líquidos combustibles y sus instalaciones conexas está determinada por el tipo de líquido, la forma de almacenamiento, su situación y/o la distancia a otros almacenamientos. En este caso se trata de fuel oil por lo que se selecciona una brigada de lucha contra incendios propia, (formada por personal especialmente adiestrado en la protección contra incendios mediante la formación adecuada, periódica y demostrable) incluyendo los medios adecuados, que deberán determinarse específicamente, y un plan de autoprotección, así como una coordinación adecuada con un servicio de bomberos.

Las instalaciones, los equipos y sus componentes destinados a la protección contra incendios se ajustan a lo establecido en el Real Decreto 1942/1993, de 5 noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones de Protección contra Incendios.

Los almacenamientos fijos de superficie disponen de instalación de protección contra el rayo.

Los sistemas de protección se mantienen en condiciones de funcionamiento en todo momento mediante las inspecciones, pruebas, reparaciones y/o reposiciones oportunas.

15 Distancia entre instalaciones y equipos.

15.1 Distancias entre instalaciones.

Aplicando en procedimiento descrito en la ITC MIE APQ-1, en relación al cálculo de distancias mínimas exigidas entre instalaciones, se aplican para el parque de almacenamiento con capacidad de 45.000 m³ de fuel oil (combustible tipo C) las siguientes distancias en metros entre instalaciones fijas:

2			
3.3	34		
4.2	49	55	
7	>60	53	33
8	>60	>60	49
9	22.4	>50	23
10	>60	>60	>60
11	>60	>60	>60
	2	3.3	4.2

En los ejes de la tabla encontramos los siguientes conceptos:

- 2 Estaciones de bombeo y compresores.
- 3.3 Recipientes de almacenamiento. Clase C (Paredes del tanque).
- 4.2 Cargaderos. Clase C.
- 7 Edificios administrativos y sociales, laboratorios, talleres, etc.
- 8 Estaciones de bombeo de agua contra incendios.

- 9 Vallado de la planta.
- 10 Límites de propiedades exteriores en las que pueda edificarse y vías de comunicación públicas.
- 11 Locales y establecimientos exteriores de pública concurrencia. De esta forma:
 - La distancia mínima entre un tanque de almacenamiento de la clase C y locales o establecimientos de pública concurrencia es de 38 m, y la medida real puede considerarse mayor que 60 m.
 - La distancia mínima entre tanques de almacenamiento de la clase C y límites de propiedades exteriores en las que pueda edificarse y vías de comunicación públicas es de 23,75 m, y la medida real es mayor que 60 m.
 - La distancia mínima entre tanques de almacenamiento de la clase C y vallado de la planta es de 14,25 m, y la medida real es >50 m.
 - La distancia mínima entre tanques de almacenamiento de la clase C y edificios administrativos y sociales, laboratorios, talleres, almacenes y otros edificios independientes es de 19 m, y la medida real es 53 m.
 - La distancia mínima entre tanques de almacenamiento de la clase C y cargaderos de clase C y D es de 14,25m, y la medida real es 55 m.
 - La distancia mínima entre tanques de almacenamiento de la clase C y estaciones de bombeo y es de 14,25 m, y la medida real es 34 m.

15. Distancias entre tanques.

Aplicando la ITC-MIE APQ 001, la distancia mínima exigida entre los dos tanques de 12.500 m³ y de 35.000 m³ por la norma es de 13,23 m, aplicándose en el proyecto una distancia de 15 m.

16 Estudio de seguridad y salud.

Todos los aspectos relacionados con la Seguridad y Salud a aplicar en la ejecución de las instalaciones de este proyecto se encuentran amparados por el Estudio de Seguridad y Salud, incluido en el documento “Estudio de Seguridad y Salud en el proceso de montaje de las instalaciones” que se adjunta.

17 Instrucciones de uso.

A continuación se indican las instrucciones de uso de el fuel-oil:

17.1 Manipulación y almacenamiento.

Las instrucciones a seguir para el uso de este producto se describen en los siguientes apartados.

17.1.1 Manipulación.

Evitar el contacto con la piel.

Utilizar procedimientos de conexión/puesta a tierra adecuada. Evite que se produzcan pequeños derrames y fugas para prevenir el riesgo de resbalamiento.

El producto puede acumular cargas estáticas que pueden causar una chispa eléctrica (fuente de ignición).

- Temperatura de Carga/Descarga: ambiente.
- Temperatura de transporte: ambiente.
- Presión de transporte: ambiente.
- Acumulador estático: este producto es un acumulador estático.

17.1.2 Almacenamiento.

Mantenga el recipiente cerrado. Manipule los recipientes con cuidado. Abra lentamente con el fin de controlar un posible liberación de presión. Almacene en un área bien ventilada y fresca. El almacenamiento de los contenedores debería ponerse a tierra. Los bidones deberían estar puestos a tierra y equipados con válvulas de cierre automático, tapones de presión al vacío y parallamas.

- Temperatura de almacenamiento: ambiente.
- Presión de almacenamiento: ambiente.
- Recipientes/Envases apropiados: barcasas, bidones, camiones cisterna y vagones
- Materiales y revestimiento apropiados: acero al carbono, acero inoxidable, poliéster, polietileno, polipropileno y teflón.
- Materiales y revestimientos inapropiados: caucho natural. caucho butílico, monómero de etileno-propileno-dieno (EPDM), poliestireno.

17.2 Controles de exposición / Protección personal.

A continuación se detallan los controles de exposición a tomar y las protecciones personales.

17.2.1 Controles de ingeniería.

El nivel de protección y los tipos de controles necesarios variarán dependiendo de las condiciones potenciales de exposición. Se debe proporcionar ventilación adecuada de modo que no se excedan los límites de exposición. Uso de equipo de ventilación a prueba de explosión.

17.2.2 Protección personal.

La selección del equipo de protección personal varía en base a las condiciones de exposición posibles tales como las aplicaciones, prácticas de manejo, concentración y ventilación. La información sobre la selección del equipo de protección para usar con este material, como se proporciona más abajo, se basa en el uso normal intencionado.

17.2.2.1 Protección respiratoria.

Si los controles de ingeniería no mantienen las concentraciones de contaminante en aire a un nivel adecuado para proteger la salud del trabajador, puede ser apropiado un respirador autorizado. Si es aplicable, el mantenimiento, uso y selección del respirador debería realizarse de acuerdo a los requisitos reglamentarios. El tipo de respiradores a considerarse para este material incluyen: respirador con filtro de media cara material filtrante tipo A., El Comité Europeo para las normas EN136, 140 y 405 de estandarización (CEN) proporciona recomendaciones sobre mascarillas de respiración y EN 149 y 143 recomendaciones sobre filtros. Para altas concentraciones en aire, usar un respirador de suministro de aire autorizado, que trabaje en modo presión positiva. Pueden ser apropiados respiradores de suministro de aire con una botella de seguridad cuando los niveles de oxígeno sean inapropiados, los medios o métodos de aviso de gas/vapor sean escasos, o si la capacidad del filtro de purificación del aire puede ser excedida.

17.2.2.2 Protección de manos.

Cualquier información específica facilitada sobre guantes, está basada en la documentación publicada y datos de los fabricantes de guantes. La idoneidad de los guantes y el tiempo de ruptura variarán dependiendo de las condiciones específicas de uso. Contactar con el fabricante de guantes para advertencias específicas en cuanto a la selección de guantes y tiempos de ruptura para sus condiciones de uso. Revisar y reemplazar aquellos guantes dañados o estropeados. Los tipos de guantes a considerar para este material incluyen:

Si es probable que el contacto sea prolongado o repetido, se recomienda usar guantes resistentes a productos químicos. Si el contacto con los antebrazos es probable, use guantes largos. EN 420 y EN 374 estándares CEN proporcionan listas y requisitos generales sobre tipos de guantes.

17.2.2.3 Protección Ocular.

Si el contacto es probable, se recomienda utilizar gafas de seguridad con protecciones laterales.

17.2.2.4 Protección de la piel y del cuerpo.

Toda la información proporcionada sobre ropa específica se basa en la literatura publicada o en los datos facilitados por el fabricante. Los tipos de ropa a considerar para este material incluyen: si es probable un contacto prolongado o repetido, se recomienda ropa resistente a petróleo y productos químicos.

17.2.2.5 Medidas de higiene específicas.

Obsérvense siempre medidas buenas de higiene personal, tales como lavarse después de la manipulación del producto y antes de comer, beber, y/o fumar. Rutinariamente, lavar la ropa y el equipo de protección para eliminar los contaminantes. Desechar la ropa y el calzado contaminado que no pueda limpiarse. Mantener/conservar las buenas prácticas.

18 Operación, mantenimiento y revisiones periódicas.

18.1 Medidas de seguridad.

A continuación se detallan las medidas de seguridad tomadas.

18.1.1 Instalaciones de seguridad.

- Señalización. En el almacenamiento y, sobretodo, en áreas de manipulación se han colocado, bien visibles, señales normalizadas, según establece el Real Decreto 485/1997 sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo, que indican claramente la presencia de líquidos inflamables o combustibles.

- Duchas y lavajojos. Se han instalado duchas y lavajojos en las inmediaciones de los lugares de trabajo, fundamentalmente en áreas de carga y descarga, llenado de bidones, bombas y puntos de toma de muestras. Las duchas y lavajojos no distan más de 10 metros de los puestos de trabajo indicados y estarán libres de obstáculos y debidamente señalizados.

18.1.2 Equipo de protección individual.

Teniendo en cuenta las características del producto almacenado y el tipo de operación a realizar, el personal del almacenamiento dispone para la manipulación de ropa apropiada, que en ningún caso pueda generar cargas estáticas, y de equipos de protección y primeros auxilios para ojos y cara, manos, pies y piernas, etc.

Todos los equipos de protección personal cumplen con la reglamentación vigente que les es aplicable.

18.1.3 Formación del personal.

Los procedimientos de operación se establecen por escrito. El personal del almacenamiento, en su plan de formación, recibirá instrucciones específicas del titular del almacenamiento, oralmente y por escrito, sobre:

- a) Propiedades de los líquidos que se almacenan.
- b) Función y uso correcto de los elementos e instalaciones de seguridad y del equipo de protección personal.
- c) Consecuencias de un incorrecto funcionamiento o uso de los elementos e instalaciones de seguridad y del equipo de protección personal.

d) Peligro que pueda derivarse de un derrame o fugas de los líquidos almacenados y acciones a adoptar.

e) La formación adecuada en la lucha contraincendios dado que actuarán también de brigada contraincendios disponiendo del equipo adecuado.

El personal del almacenamiento tiene acceso a la información relativa a los riesgos de los productos y procedimientos de actuación en caso de emergencia, que se encontrará disponible en letreros bien visibles.

18.1.4 Plan de revisiones.

Cada almacenamiento tiene un plan de revisiones propias para comprobar la disponibilidad y buen estado de los elementos e instalaciones de seguridad y equipo de protección personal. Se mantendrá un registro de las revisiones realizadas. El plan comprenderá la revisión periódica de:

a) Duchas y lavaojos. Las duchas y lavaojos deberán ser probados como mínimo una vez a la semana, como parte de la rutina operatoria del almacenamiento. Se harán constar todas las deficiencias al titular de la instalación y éste proveerá su inmediata reparación.

b) Equipos de protección personal. Los equipos de protección personal se revisarán periódicamente siguiendo las instrucciones de sus fabricantes/suministradores.

c) Equipos y sistemas de protección contra incendios.

18.2 Operación y mantenimiento.

Antes de comenzar las reparaciones en el tanque de fuel oil, se vaciará y aislará del resto de la instalación con discos ciegos, lavando convenientemente y comprobando que su atmósfera interior no forma mezcla explosiva.

Antes de que el personal penetre en el interior del tanque de fuel oil será necesario vaciarlo y lavarlo, asegurándose que su atmósfera es respirable y no inflamable. Todas las conexiones del depósito con las tuberías de entrada y salida se aislarán con discos ciegos. Durante el tiempo que este personal permanezca en el interior será vigilado desde el exterior del depósito por personas que, en caso de necesidad, puedan retirarlo mediante cuerdas apropiadas a las que se encuentre sujeto. Todo ello sin perjuicio de las normas que el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social dicte en materia de seguridad e higiene en el trabajo.

No se realizarán trabajos en caliente en ningún equipo, aunque esté abierto, aislado y purgado, en tanto no esté certificado por una persona competente que está libre de residuos inflamables y seguro para trabajar en él.

En las operaciones en que se realice tratamiento de superficies metálicas mediante chorro abrasivo se tendrán en cuenta las recomendaciones contenidas en el informe UNE 109.104.

18.3 Revisiones periódicas.

Independientemente de lo establecido en la “Clasificación de Productos” del Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos, se procederá anualmente a la revisión periódica de las instalaciones, conforme se indica a continuación:

1. Se comprobarán la protección catódica, si existe, y la continuidad eléctrica de las tuberías o del resto de elementos metálicos de la instalación.
2. En las instalaciones inspeccionables visualmente, se comprobará: el correcto estado de los cubetos, cimentaciones de recipientes, vallado, cerramiento, drenajes, bombas, equipos, instalaciones auxiliares, etc.
3. En los recipientes y tuberías inspeccionables visualmente se comprobará el estado de las paredes y medición de espesores si se observase algún deterioro en el momento de la revisión.
4. Se verificarán los venteos en caso de no existir documento justificativo de haber efectuado pruebas periódicas por el servicio de mantenimiento de la planta.
5. Comprobación del correcto estado de las mangueras y acoplamientos.
6. En los almacenamientos de productos que puedan polimerizarse se revisaran las válvulas, filtros y puntos muertos para verificar que no están obstruidos.

Las revisiones serán realizadas por inspector propio u organismo de control y de su resultado se emitirá el certificado correspondiente.

19 Conclusión.

Se acompaña a la presente MEMORIA con los siguientes documentos:

ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD.

PLIEGO DE CONDICIONES.

PRESUPUESTO Y MEDICIONES.

PLANOS.

Con la documentación indicada, quedan definidas las instalaciones a realizar, para que sirva para las tramitaciones y legalizaciones que procedan.

Sevilla, noviembre de 2012.

Fdo: Joaquín León Terrón.

