



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Diseño, cálculo y proceso de fabricación de un vagón cisterna destinado al transporte de fenol fundido de acuerdo con la directiva europea para el transporte internacional de mercancías peligrosas por ferrocarril (RID 2017)

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Autor: Alberto Navarro Melero
Director: Isidoro J. Martínez Mateo

Cartagena, julio de 2019



Universidad
Politécnica
de Cartagena

DOCUMENTO I

MEMORIA DESCRIPTIVA

Alberto Navarro Melero

Grado en Ingeniería Mecánica

Director: Isidoro J. Martínez Mateo

Índice

1. Objeto	3
2. Normativa	3
3. Definiciones	4
4. Producto a transportar	8
4.1. NFPA 704 del fenol fundido.....	15
5. Clasificación del fenol fundido según RID 2017	17
6. Marcado y etiquetado	20
6.1 Marcado	20
6.2 Etiquetado	21
7. Código de la cisterna	23
8. Material de la cisterna.....	24
9. Elementos estructurales de la cisterna.....	25
9.1 Introducción.....	25
9.2 Rompeolas	25
9.3 Boca de hombre.....	26
9.4 Válvulas de fondo.....	29
9.5 Válvulas de presurización y descarga	30
9.6 Tubería de retorno de vapor	31
9.7 Toma de tierra.....	32
9.8 Escaleras	32
9.9 Plataformas	35
9.10 Pasarelas	36
10. Elementos estructurales del vagón	36
10.1 Bogies	36
11. Frenado del vagón.....	38

Índice de ilustraciones

Figura 1. Composición molecular del fenol	8
Tabla 1. Propiedades físicas y químicas del fenol.....	9
Figura 2. Pictogramas de peligro	10
Tabla 2. Indicaciones de peligro	10
Tabla 3. Consejos de prudencia	10
Figura 3. Diamante de peligros NFPA 704.....	15
Figura 4. Diamante de peligros del fenol fundido	17
Tabla 4. Clasificación sustancia según RID 2017	18
Tabla 5. Rangos de toxicidad de la sustancia	19
Figura 5. Placa de identificación	20
Figura 6. Ejemplo de lugar para la placa de identificación	21
Figura 7. Etiqueta de peligro de clase 6.1	22
Figura 8. Panel naranja del fenol fundido.....	22
Figura 9. Etiqueta de peligro para el medio ambiente	23
Tabla 6. Composición del acero 316L.....	25
Tabla 7. Propiedades mecánicas del acero 316L.....	25
Figura 10. Ejemplo de tabique rompeolas.....	26
Figura 11. Medidas de boca de hombre con pernos basculantes	27
Figura 12. Perno basculante	28
Figura 13. Medidas de la tuerca de palomilla	28
Figura 14. Medidas de la junta.....	29
Figura 15. Esquema de dispositivos de vaciado	31
Figura 16. Ejemplo de disposiciones de tubería de retorno de vapor	32
Figura 17. Ejemplo de disposición de escalera	33
Figura 18. Ejemplo de secciones transversales de los travesaños.....	33
Figura 19. Medidas de la escalera	34
Figura 20. Señal de peligro eléctrico.....	35
Figura 21. Ejemplo de bogie	37
Figura 22. Estructura básica del sistema de frenado.....	39
Figura 23. Disposición del freno de una sola tubería.....	41

1. Objeto

Este proyecto se basa en el diseño, cálculo y proceso de fabricación de un vagón de ferrocarril para el transporte de fenol líquido, siguiendo la normativa RID 2017 (Regulation concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail) para el transporte de mercancías consideradas como peligrosas e identificadas con su correspondiente número ONU (Tabla A, Capítulo 3.2) por vía férrea.

El RID es la norma legal y esencial que regula el transporte internacional de mercancías peligrosas por ferrocarril, siendo aplicada también al transporte nacional.

Para realizar este proyecto se seleccionará fenol líquido, ya dicho anteriormente, que está catalogado como material perteneciente a las clases de mercancías peligrosas contempladas en el RID (Clases del 1 al 9) y una capacidad determinada de transporte dentro de la cisterna. Estos datos y siguiendo las pautas recogidas en el RID sobre el producto a transportar serán los necesarios para realizar el proyecto.

La mercancía es fenol líquido, con lo que su número ONU correspondiente es el 2312 y pertenece a la clase 6.1 (materias tóxicas).

2. Normativa

Para realizar este proyecto se ha utilizado la siguiente normativa:

- RID 2017
- NFPA 704
- Norma UNE EN 14025. Cisternas para el transporte de mercancías peligrosas. Cisternas metálicas sometidas a presión. Diseño y fabricación.
- Norma UNE EN 13749. Aplicaciones ferroviarias. Ejes montados y bogies. Métodos para especificar los requisitos estructurales de los bastidores de bogie.
- Norma UNE EN 12561-1. Aplicaciones ferroviarias. Vagones cisterna. Parte 1: Placas de identificación para vagones cisterna destinados al transporte de mercancías peligrosas.
- Norma UNE EN 12561-2. Aplicaciones ferroviarias. Vagones cisterna. Parte 2: Dispositivos de vaciado por el fondo para productos líquidos incluyendo el retorno de vapor.
- Norma UNE EN 12561-6. Aplicaciones ferroviarias. Vagones cisterna. Parte 6: Bocas de hombre.
- Norma UNE EN 12561-7. Aplicaciones ferroviarias. Vagones cisterna. Parte 7: Plataformas y escaleras.
- Norma UNE EN 13445-2. Recipientes a presión no sometidos a llama. Parte 2: Materiales.

- Norma UNE EN 10028-3. Productos planos de acero para aplicaciones a presión. Parte 3: Aceros soldables de grano fino en condición de normalizado.
- Norma UNE EN 10028-7. Productos planos de acero para aplicaciones a presión. Parte 7: Aceros inoxidables.
- Norma UNE EN 14433. Cisternas destinadas al transporte de mercancías peligrosas. Equipo para las cisternas destinadas al transporte de productos químicos líquidos. Válvulas de fondo.
- Norma UNE EN 14432. Cisternas destinadas al transporte de mercancías peligrosas. Equipo para las cisternas destinadas al transporte de productos químicos líquidos y de gases licuados. Válvulas de presurización de la cisterna y de descarga del producto.
- Norma UNE EN 15827. Aplicaciones ferroviarias. Requisitos para bogies y órganos de rodadura.
- Norma UNE EN 22825. Ensayo no destructivo de soldaduras. Ensayo por ultrasonidos. Ensayo de soldaduras en aceros austeníticos y aleaciones base de níquel.
- Norma UNE EN 14198. Aplicaciones ferroviarias. Frenado. Requisitos para el sistema de frenado de trenes remolcados por locomotoras.
- Norma UNE EN 12972. Cisternas para el transporte de mercancías peligrosas. Prueba, control y marcado de las cisternas metálicas.
- Norma DIN 28013. Dimensionamiento Fondos Korbbogen. Fondos para depósitos y cisternas portátiles.
- Norma UNE EN 17635. Ensayo no destructivo de uniones soldadas. Reglas generales para los materiales metálicos.
- Norma UNE EN 17637. Ensayo no destructivo de uniones soldadas. Examen visual de uniones soldadas por fusión.
- Norma UNE EN 17636-2. Ensayo no destructivo de soldaduras. Ensayo radiográfico. Parte 2: Técnicas de rayos X y gamma con detectores digitales.

3. Definiciones

En el RID 2017 se encuentran esta serie de definiciones de unas palabras que se pueden encontrar en este proyecto.

- **Acero dulce.** Un acero cuyo límite mínimo de resistencia a la rotura por tracción está comprendido entre 360 N/mm^2 y 440 N/mm^2 .
- **Acero de referencia.** Un acero que tiene una resistencia a la tracción de 370 N/mm^2 y un alargamiento a la rotura del 27%.
- **Aseguramiento de la conformidad.** Un programa sistemático de medidas aplicado por una autoridad competente y enfocado a garantizar que las disposiciones del RID son observadas en la práctica.

- **Autoridad competente.** Las autoridades u otros organismos designados como tales en cada Estado y en cada caso particular según el derecho nacional.
- **Capacidad de un depósito o de un compartimento de un depósito.** Es el volumen total del interior de un depósito o del compartimento del depósito expresado en litros o metros cúbicos. Cuando sea imposible llenar completamente el depósito o el compartimento de un depósito por su forma o por su construcción, esta capacidad reducida se utilizará para la determinación del grado de llenado y para el marcado de la cisterna.
- **Cisterna.** Un depósito provisto de sus equipos de servicio y de su estructura.
- **Cisterna cerrada herméticamente.** Una cisterna destinada al transporte de líquidos con una presión de cálculo de al menos 4 bar, o destinada al transporte de materias sólidas (pulverulentas o granulares) cualquiera que sea su presión de cálculo, cuyas aberturas son cerradas herméticamente y que está desprovista de válvulas de seguridad.
- **Depósito.** Se entiende la parte de la cisterna que contiene la materia a transportar, incluidas las aberturas y sus cierres, pero con exclusión de los equipos de servicio y los equipos de estructura exterior.
- **EN.** Una norma europea publicada por el Comité europeo de normalización.
- **Equipo de estructura.** De la cisterna de un vagón cisterna, los elementos de fijación, consolidación y protección que son interiores o exteriores al depósito.
- **Equipo de servicio.** De la cisterna, los dispositivos de llenado, vaciado, de respiración, seguridad, recalentamiento y aislamiento térmico, así como los instrumentos de medida.
- **Evaluación de conformidad.** Se refiere al proceso consistente en verificar la conformidad del producto según las disposiciones relativas a la aprobación de tipo, la vigilancia de la fabricación y el control y las pruebas iniciales.
- **Gas.** Una materia que a 50°C ejerce una presión de vapor superior a 300 kPa o está totalmente en estado gaseoso a 20°C a la presión normal de 101,3 kPa.
- **Grado de llenado.** La relación entre la masa de gas y la masa de agua a 15°C que llenaría completamente un recipiente a presión listo para su uso.
- **Grupo de embalaje.** Grupo al que se asocian determinadas materias en función del grado de peligro que éstas representan para el transporte. Los grupos de embalaje tienen los significados siguientes: grupo de embalaje I (materias muy

peligrosas), grupo de embalaje II (materias peligrosas) y grupo de embalaje III (materias que presentan un grado menor de peligrosidad).

- **Hermético.** Ver cisterna cerrada herméticamente.
- **Líquido.** Una materia que, a 50°C, tiene una tensión de vapor de 300 kPa como máximo, que no es totalmente gaseosa a 20°C y 101,3 kPa y que tiene un punto de fusión o un punto de fusión inicial igual o inferior a 20°C a la presión normal de 101,3 kPa.
- **Masa de un bulto.** Masa bruta del bulto.
- **Masa bruta máxima admisible.** La tara de la cisterna y la carga más pesada cuyo transporte esté autorizado.
- **Medio de transporte.** Para el transporte por carretera o ferroviario, este término designa un vehículo de carretera o un vagón.
- **Mercancías peligrosas.** Las materias y objetos cuyo transporte está prohibido según el RID o autorizado únicamente en determinadas condiciones.
- **Número ONU.** Número de identificación de cuatro cifras de las materias u objetos, tomado del Reglamento tipo de la ONU.
- **Organismo de control.** Un organismo independiente de control y ensayos, homologado por la autoridad competente.
- **Presión de cálculo.** Presión ficticia, al menos igual a la presión de prueba, que puede sobrepasar más o menos la presión de servicio según el grado de peligro que la materia transportara represente, y que sirve únicamente para determinar el espesor de las paredes del depósito, con independencia de cualquier dispositivo de refuerzo exterior o interior.
- **Presión de llenado.** Presión máxima efectiva desarrollada en la cisterna durante el llenado a presión.
- **Presión de prueba.** La presión que debe ejercerse en el transcurso de la prueba de presión para el control inicial o periódico.
- **Presión de servicio.** La presión estabilizada de un gas comprimido a la temperatura de referencia de 15°C en un recipiente a presión lleno.
- **Presión máxima en condiciones normales.** Para el transporte de materias radiactivas, se refiere a la presión máxima por encima de la presión atmosférica al nivel medio del mar, que se alcanzaría en el interior del sistema de contención

durante el periodo de un año, en las condiciones de temperatura y radiación solar correspondiente a las condiciones ambientales en ausencia de ventilación y refrigeración exterior, por medio de sistemas auxiliares o de operaciones prescritas durante el transporte.

- **Presión estabilizada.** La presión alcanzada por el contenido de un recipiente a presión en equilibrio térmico y de difusión.
- **Presión máxima de servicio.** La más alta de los tres valores siguientes, susceptible de ser alcanzada en la parte más alta de la cisterna en su posición de explotación: valor máximo de la presión efectiva autorizada en la cisterna durante una operación de llenado, valor máximo de la presión efectiva autorizada en la cisterna durante una operación de vaciado o presión manométrica efectiva a la que la cisterna está sometida por su contenido a la temperatura máxima de servicio.
- **Presión de vaciado.** La presión máxima desarrollada efectiva en la cisterna durante el vaciado a presión.
- **Prueba de estanqueidad.** Prueba de estanqueidad de una cisterna, así como del equipo o de los dispositivos de cierre.
- **Punto de inflamación.** La temperatura más baja de un líquido a la cual sus vapores forman con el aire una mezcla inflamable.
- **Residuos.** Materias, soluciones, mezclas u objetos que no pueden ser utilizados en su estado actual, pero que se transportan para ser retirados, depositados en un vertedero o eliminados por incineración o por otro método.
- **Sólida.** Una materia cuyo punto de fusión o punto de fusión inicial es superior a 20°C a una presión de 101,3 kPa.
- **Vagón.** Vehículo ferroviario desprovisto de medios de tracción, que está destinado a transportar mercancías.
- **Vagón cisterna.** Vagón utilizado para el transporte de materias líquidas, gaseosas o pulverulentas o granulares y que consta de una superestructura, que abarca una o varias cisternas y sus equipos, y un chasis provisto de sus propios equipos.
- **Vehículo ferroviario.** Todo vehículo apto para circular sobre sus propias ruedas por las vías férreas con o sin tracción.

4. Producto a transportar

La cisterna que se va a diseñar en este proyecto está destinada a transportar fenol fundido, cuya fórmula molecular es C_6H_6O . Presenta una serie de características que serán explicadas a continuación.

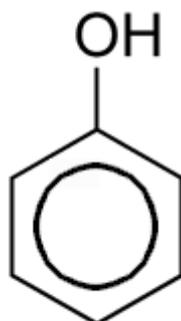


Figura 1. Composición molecular del fenol

El fenol, también llamado monohidroxibenceno, ácido carbólico o alcohol fenílico, es un alcohol aromático, con olor agridulce y es una sustancia cristalina a temperatura ambiente con un color que va de incoloro a rosa claro. Este producto se inflama fácilmente, es corrosivo y sus gases son explosivos si están en contacto con la llama. De forma comercial se encuentra en estado líquido.

El fenol se evapora mucho más lento que el agua y una pequeña cantidad puede formar una solución con el agua.

Su principal uso es como resina industrial, aunque también puede ser usado como un potente fungicida, para la preparación de explosivos y como aditivo, entre otros.

Su número ONU es el 2312 y en la siguiente tabla se van a exponer sus propiedades físicas y químicas.

Estado físico	Líquido
Color	Ligeramente rosado
Olor	Aromático agridulce
Umbral del olor	0,022 a 22 ppm
pH	4 a 5 [Conc. (% p/p): 1%]
Punto de fusión/ Punto de congelación	40,9 °C
Punto de ebullición inicial	181,9 °C
Temperatura de inflamabilidad	Vaso cerrado 81 °C / Vaso abierto 85 °C
Índice de evaporación	No disponible
Inflamabilidad	No disponible
Tiempo de combustión	No aplicable

Velocidad de combustión	No aplicable
Límites superiores/inferior de inflamabilidad	Punto mínimo: 3% Punto máximo: 10%
Presión de vapor	0,2 kPa [20 °C] 0,3 kPa [50 °C]
Densidad de vapor	3,2 [Aire= 1]
Densidad relativa	1,058
Densidad	1,071 g/cm ³
Solubilidad	Fácilmente soluble en los siguientes materiales: agua caliente y éter dietílico. Parcialmente soluble en agua fría.
Coefficiente de partición octanol/agua	1,47
Temperatura de autoignición	595 °C
Temperatura de descomposición	No disponible
Viscosidad	Dinámico: 3,437 mPa.s
Propiedades explosivas	No disponible
Propiedades oxidantes	No disponible

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas del fenol

El fenol está considerado mercancía peligrosa por el RID, por lo cual hay que tener una serie de cuidados a la hora de su manipulación y almacenamiento. También presenta unos peligros en caso de contacto con las personas que serán detallados a continuación, y se recomendarán unas medidas en caso de vertido accidental del producto y en caso de incendio.

En primer lugar, estos son los pictogramas de peligro del fenol:



Toxicidad aguda



Corrosivo



Peligro grave para la salud



Peligro para el medio ambiente

Figura 2. Pictogramas de peligro

Las indicaciones de peligro son:

H301	Tóxico en caso de ingestión
H311	Tóxico en contacto con la piel
H314	Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves
H331	Tóxico en caso de inhalación
H341	Se sospecha que provoca defectos genéticos
H373	Puede provocar daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas
H411	Tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos

Tabla 2. Indicaciones de peligro

Hay una serie de consejos de prudencia que son:

P201	Pedir instrucciones especiales antes del uso
P260	No respirar los vapores
P281	Utilizar el equipo individual de protección obligatorio
P405	Guardar bajo llave

Tabla 3. Consejos de prudencia

Al ser considerado una materia tóxica por el RID, hay que tener unas medidas de primeros auxilios en caso de contacto con las personas. Estas pautas vienen dadas por la ficha de seguridad del producto, en este caso, fenol fundido:

- *Contacto con los ojos.*

Se ha de obtener atención médica de forma inmediata. Hay que llamar a un centro de información toxicológica o a un médico. Enjuagar los ojos con abundante agua, levantando los párpados inferior y superior. En el caso de que la persona afectada lleve lentes de contacto, retirarlas inmediatamente y continuar enjuagando los ojos durante 10 minutos. Si hay quemaduras químicas, deben ser tratadas por un médico de forma inmediata.

- *Inhalación.*

Hay que obtener atención médica inmediatamente. Llamar a un centro de información toxicológica o a un médico. Se debe transportar a la víctima al exterior y mantenerla en reposo en una posición cómoda para que pueda respirar. Si se sospecha que los vapores siguen presentes, la persona que esté a cargo de la ayuda debe usar una máscara adecuada o un aparato de respiración autónoma. En el caso de que no haya respiración, o sea irregular o parada respiratoria, el personal adecuado debe proporcionar respiración artificial u oxígeno. Para la persona que proporciona la ayuda puede ser peligroso que realice la técnica del boca a boca. Si la víctima está inconsciente, se debe colocar en posición de recuperación y buscar ayuda médica de forma inmediata. Se debe asegurar una buena circulación del aire. Aflojar lo que se crea que le puede estar apretado, como corbatas, cinturones, botones de camisas, entre otros.

- *Contacto con la piel.*

Se debe obtener atención médica inmediatamente. Llamar a un centro de información toxicológica o a un médico. Se debe lavar con agua y jabón en cantidad. Quitar ropa y calzado contaminados. Lavar la ropa contaminada con agua antes de quitársela o usar guantes. Continuar enjuagando durante 10 minutos. Antes de usar la ropa y el calzado, hay que lavar todas las prendas afectadas bien. Si hay quemaduras químicas deben ser tratadas por un médico de forma inmediata.

- *Ingestión.*

Obtener atención médica inmediatamente. Llamar a un centro de información toxicológica o a un médico. Lavar la boca con agua y retirar, en el caso de que haya, las prótesis dentales. Llevar a la víctima al exterior y mantenerla en posición cómoda para que pueda respirar. Si se ha ingerido material y la persona afectada está consciente, se le debe suministrar agua en pequeñas cantidades para que beba. Si la persona se encuentra mal, se le debe de dejar de suministrar agua, ya que los vómitos pueden ser peligrosos. No inducir al vómito a la víctima, a menos que lo aconseje el personal médico. Si vomita, colocar la cabeza baja para que así no entre el vómito a los pulmones. Las quemaduras químicas deben ser atendidas por un médico de forma inmediata. Si está inconsciente, no se le debe suministrar nada por vía oral. Si se encuentra inconsciente, colocarlo en posición de recuperación y buscar atención médica inmediatamente. Asegurar una buena circulación del aire. Se debe aflojar todo lo que se crea que le puede estar apretado, como corbatas, cinturones, botones de camisas, entre otros.

- *Protección del personal de primeros auxilios.*

No se debe realizara acción alguna que suponga riesgo personal o sin una formación adecuada. Si se sospecha que los vapores siguen estando presentes, la persona a cargo de la ayuda deberá usar una máscara adecuada o un aparato de respiración autónoma. Puede ser peligroso realizar la técnica de boca a boca para la persona que está al cargo de la ayuda. Lavar bien la ropa contaminada con agua antes de quitársela o usar guantes.

A continuación, se van a detallar los principales síntomas de cada uno de los tipos de contacto anteriormente descritos por el fenol fundido.

- *Contacto con los ojos:* Provoca lesiones oculares graves.
- *Inhalación:* Es tóxico y puede liberar vapor, gas o polvo muy irritantes para el sistema respiratorio.
- *Contacto con la piel:* Produce quemaduras graves y tóxico al contacto con la piel. Puede provocar la formación de ampollas.
- *Ingestión:* Es tóxico en caso de ingestión y puede provocar quemaduras en la garganta, boca y estómago.
- *Contacto con los ojos:* Dolor, lagrimeo y rojez.

En caso de incendio por fenol, estas son las medidas para su extinción. Los medios de extinción se pueden agrupar en:

- *Apropiados:* En caso de incendio, utilizar espuma alcohol-resistente. Usar polvos químicos o CO₂.
- *No apropiados:* Juntar por separado el agua contra incendios que esté contaminada, no debe entrar en el sistema de alcantarillado.

El peligro derivado de la sustancia o mezcla es que la presión puede aumentar y el contenedor puede explotar en caso de incendio o calentamiento, siendo los productos de la descomposición dióxido de carbono y monóxido de carbono.

Para el personal de lucha contra incendios, se le recomienda que aislen la zona rápidamente evacuando a las personas que estén próximas del lugar del incidente, sin realizar acción alguna que se considere de riesgo personal o sin formación adecuada.

Los bomberos a cargo del incendio deben llevar equipo de protección adecuado y un equipo de respiración autónomo con una máscara facial completa que opere en modo de presión positiva. Las prendas para bomberos, incluidos cascos, guantes y botas,

conformes a la norma europea EN 469 dan un nivel básico de protección en caso de incidente químico.

Si hay algún vertido accidental de este producto, el personal a cargo del rescate no debe realizar ninguna acción que suponga riesgo personal o sin formación adecuada. Debe evacuar los alrededores, no dejar que entre personal innecesario y sin protección adecuada. No debe tocar o caminar por el material vertido ni respirar los vapores, siempre proporcionando una ventilación adecuada. Debe de llevar un aparato de respiración apropiado cuando el sistema de ventilación sea inadecuado y llevar un equipo de protección individual adecuado.

Se pueden dar dos tipos de derrames:

- *Derrame pequeño.*

Se debe detener la fuga si esto no presenta ningún riesgo. Retirar los envases del área del derrame. Diluir con agua y fregar si es soluble en agua. Si no es soluble en agua, absorber con un material inerte seco y colocar en un contenedor de residuos apropiado. Eliminar por un contratista autorizado para la eliminación.

- *Gran derrame.*

Se debe detener la fuga si esto no presenta ningún riesgo. Retirar los envases del área del derrame. Aproximarse al vertido en sentido del viento y evitar que se introduzca en alcantarillas. Lavar los vertidos hacia una planta de tratamiento de efluentes o proceder como se va a indicar a continuación.

Utilizar materiales absorbentes no combustibles para detener y recoger los derrames, como arena o tierra, y colocar el material en un envase para proceder a su eliminación de acuerdo con las normativas locales. Eliminar por un contratista autorizado para la eliminación. Se debe saber que el material utilizado para absorber el contaminante puede presentar el mismo riesgo que el producto derramado.

También hay que hablar de las medidas para una manipulación segura y adecuada del fenol fundido. Hay que utilizar un equipo de protección personal y evitar la exposición. No se debe manipular la sustancia sin haber leído antes las instrucciones de seguridad. No hay que ingerir ni respirar los vapores que produzca ni introducir en los ojos, piel o ropa. Sólo se debe usar con una ventilación adecuada. Llevar siempre un aparato de respiración apropiado para cuando la ventilación sea insuficiente. Conservar en su envase original o en uno alternativo fabricado de un material compatible, manteniéndose bien cerrado cuando no esté en uso. Los envases vacíos no se deben reutilizar, ya que contienen residuos del producto y pueden ser peligrosos.

Se han detallado una serie de medidas de protección y, a continuación, se va a tratar información relativa a la higiene laboral con esta sustancia.

Se debe prohibir comer, fumar o beber en lugares donde se encuentre este producto. El personal que trate con esta sustancia deberá lavarse las manos y la cara antes de fumar, beber o comer. Retirar el equipo de protección y las ropas contaminadas antes de entrar a lugares comunes donde se coma.

Para el almacenamiento seguro del fenol fundido, hay que conservarlo según las normativas locales y almacenarlo en su contenedor original protegiéndolo de la luz directa del sol en área seca, fresca y con buena ventilación. Mantener este contenedor bien sellado y cerrado hasta el momento de su uso. Guardar bajo llave. Los envases abiertos se deben cerrar con cuidado y mantener en posición vertical para evitar derrames. No almacenar nunca en contenedores sin etiquetar. Utilizar un envase de seguridad adecuado para evitar la contaminación del medio ambiente.

Como medidas de protección individual, se va a dar un listado de equipamiento apropiado:

- *Protección corporal:* Traje protector resistente a los químicos.
- *Protección ocular/facial:* Gafas protectoras contra salpicaduras químicas.
- *Protección de las manos:* Guantes de neopreno o de PVC.
- *Otra protección cutánea:* Botas de caucho.
- *Protección respiratoria:* Equipo de protección respiratoria de aire comprimido con visor que cubra toda la cara.

Por último, se va a tratar la eliminación del material, ya que al ser clasificado por el RID como materia tóxica tiene unas normas específicas para su retiro.

Para el producto, se debe minimizar la producción de desechos siempre que sea posible. No se pueden utilizar los sistemas de alcantarillado de aguas residuales para deshacerse de cantidades importantes del producto, deben ser procesados en una planta de tratamientos de efluentes. Un contratista autorizado debe ser la persona que se encargue de eliminar los sobrantes y productos no reciclados. Todo este proceso de deshecho del material debe cumplir con los requisitos de legislación de protección y eliminación de desechos y todos los requisitos de las autoridades locales.

Los métodos de eliminación del empaquetado deben ser minimizar la generación de desechos siempre que sea posible. Los envases residuales deben reciclarse. Sólo se deben contemplar la incineración o el enterramiento cuando el reciclaje no sea posible.

Toda esta información referente al fenol fundido ha sido recogida de su ficha de seguridad correspondiente.

4.1. NFPA 704 del fenol fundido

NFPA 704 (National Fire Protection Association) es la norma estadounidense que explica el diamante de materiales peligrosos, que se va a ver a continuación, y que se utiliza para expresar los riesgos de los materiales peligrosos.



Figura 3. Diamante de peligros NFPA 704

Este diamante funciona en base a 4 colores y a un número de riesgo desde el 0 al 4, desde sin peligro hasta peligro máximo.

- **Azul/Salud:**

4. Materiales que, bajo condiciones de emergencia, pueden ser letales.
3. Materiales que, bajo condiciones de emergencia, pueden causar lesiones graves o permanentes.
2. Materiales que, bajo condiciones de emergencia, pueden causar incapacidad temporal o lesión residual.
1. Materiales que, bajo condiciones de emergencia, pueden causar irritación significativa.
0. Materiales que, bajo condiciones de emergencia, no ofrecerían peligro más allá del de los materiales combustibles ordinarios.

- **Rojo/Inflamabilidad:**

4. Materiales que se vaporizarán rápida o completamente a la presión atmosférica y temperatura ambiental normales o que se dispersan muy rápido en el aire y se queman fácilmente.

3. Líquidos y sólidos que se pueden encender casi bajo cualquier condición de temperatura ambiente. Estos materiales producen atmósferas peligrosas con el aire bajo casi todas las temperaturas ambientes.

2. Materiales que para que enciendan deben calentarse moderadamente o exponerse a temperaturas ambientales bastante altas. Estos materiales no formarían atmósferas peligrosas con el aire bajo condiciones normales, pero en temperaturas ambientes altas podrían liberar vapor en cantidades suficientes para producir atmósferas peligrosas.

1. Materiales que deben ser precalentados para que se produzca la ignición. Estos materiales requieren precalentamiento, bajo todas las condiciones de temperatura ambiente, antes de que ocurra la ignición y combustión.

0. Materiales que no se queman bajo condiciones de incendio típicas.

- **Amarillo/Inestabilidad:**

4. Materiales que en sí mismos son fácilmente capaces de detonar o de descomposición explosiva o de reacción explosiva a temperaturas y presiones normales.

3. Materiales que en sí mismos son capaces de detonar o de descomposición explosiva o de reacción explosiva, pero que requieren una fuente de iniciación fuerte o que deben calentarse bajo confinamiento antes de la iniciación.

2. Materiales que fácilmente sufren cambio químico violento a temperaturas y presiones elevadas.

1. Materiales que en sí mismos son normalmente estables, pero que pueden volverse inestables a temperatura y presiones elevadas.

0. Materiales que en sí mismos son normalmente estables, aún bajo condiciones de incendio.

- **Peligros especiales:**

W. Reacciona con agua de manera inusual o peligrosa.

OX. Oxidante.

SA. Gas asfixiante simple, limitado para los gases: nitrógeno, helio, neón, argón y xenón y kriptón.

BIO. Riesgo biológico.

POI. Producto venenoso.

COR o CORR. Corrosivo.

RAD. El material es radioactivo.

CRYO o CYL. Criogénico.

En el caso que nos ocupa, el fenol fundido, su diamante de peligros quedaría así:



Figura 4. Diamante de peligros del fenol fundido

5. Clasificación del fenol fundido según RID 2017

En el capítulo 3.2 del RID, se encuentra la clasificación de las sustancias peligrosas en orden de números ONU. El número de nuestra mercancía es el 2312 y nuestra tabla quedaría con las siguientes características:

Clase	6.1
Código de clasificación	T1
Grupo de embalaje	II
Etiquetas	6.1
Disposiciones especiales	-
Cantidades limitadas y exceptuadas	0/E0
Instrucciones de embalaje	-

Embalaje	Disposiciones especiales de embalaje	-
	Disposiciones para el embalaje en común	-
Cisternas portátiles y contenedores para granel	Instrucciones de transporte	T7
	Disposiciones especiales	TP3
Cisternas RID	Código cisterna	L4BH
	Disposiciones especiales	TU15
Categoría de transporte		0
Disposiciones especiales de transporte	Bultos	-
	Granel	-
	Carga, descarga y manipulado	CW13 CW31
	Paquete exprés	-
Número de identificación de peligro		60

Tabla 4. Clasificación sustancia según RID 2017

Este proyecto va destinado al diseño y construcción del vagón cisterna RID, pero se van a comentar los aspectos de cada clasificación de este producto para más información.

El fenol fundido pertenece a la clase 6.1 que cubre las materias tóxicas de las que, por experiencia, se sabe, en base a experimentos realizados sobre animales, en cantidades relativamente pequeñas y por una acción única o de corta duración, que pueden dañar a la salud del ser humano o causar su muerte por inhalación, absorción cutánea o ingestión.

El código de clasificación T significa que es una materia tóxica sin riesgo subsidiario y el 1 que le acompaña, que es una materia orgánica líquida.

Su grupo de embalaje es el II, nos dice que es una materia tóxica y se clasifica según el grado de toxicidad:

	Grupo de embalaje	Toxicidad por ingestión DL ₅₀ (mg/kg)	Toxicidad por absorción cutánea DL ₅₀ (mg/kg)	Toxicidad por inhalación de polvos y nieblas CL ₅₀ (mg/kg)
Tóxicas	II	>5 y ≤ 50	>50 y ≤ 200	>0.2 y ≤ 2

Tabla 5. Rangos de toxicidad de la sustancia

En el apartado de etiquetas, es de la clase 6.1, por lo que, su etiqueta debe ser el signo convencional de la calavera sobre dos tibias en negro sobre fondo blanco con la cifra 6 en la esquina inferior.

En lo referente a las cantidades exceptuadas, el código E0 nos indica que está prohibido el transporte de fenol fundido en cantidades exceptuadas, tanto para embalaje interior como exterior, según el capítulo 3.5 del RID.

En el apartado de cisternas portátiles, la instrucción de transporte T7 nos exige 4 bares de presión de prueba mínima, también nos trata el espesor mínimo del depósito, los dispositivos de descompresión y los orificios en el fondo.

La disposición especial TP3 trata sobre el grado de llenado máximo, pero eso se comentará en el apartado de cálculos justificativos de este proyecto.

La disposición especial en cuanto a cisternas RID es la TU15, por la cual las cisternas no deberán utilizarse para el transporte de productos alimenticios, de otros objetos de consumo ni de alimentos para animales.

Por último, los códigos de disposiciones especiales de transporte de esta sustancia son el CW13 y el CW31.

El CW13 trata sobre si se produce una fuga de materias y éstas se desparraman por el vagón o contenedor, estos últimos no podrán reutilizarse más que después de ser sometidos a una limpieza a fondo y, en su caso, descontaminados o desinfectados. Todas las mercancías y objetos transportados en el mismo vagón o contenedor deberán ser controlados en cuanto a un posible ensuciamiento.

El CW31 es sobre si los vagones o grandes contenedores preparados para el transporte como cargas completas o los pequeños contenedores que hayan contenido materias deberán ser controlados, después de la carga, en cuanto a los restos de carga que puedan subsistir.

6. Marcado y etiquetado

6.1 Marcado

Siguiendo el RID 2017, en el capítulo 6 nos trata el marcado, y la norma UNE EN 12561-1:2012 se puede proceder al correcto marcado de la cisterna de este proyecto.

Cada cisterna deberá llevar una placa metálica resistente a la corrosión, fijada de manera permanente sobre la cisterna en un lugar fácilmente accesible para su inspección. En esta placa deberá marcarse por estampado o por otro medio cualquiera semejante la siguiente información:

- Número de aprobación.
- Designación o marca del fabricante.
- Número de serie de fabricación.
- Año de construcción.
- Presión de prueba.
- Presión exterior de cálculo.
- Capacidad del depósito.
- Temperatura de cálculo (únicamente si es superior a +50°C o inferior a -20°C).
- Fecha y tipo de la prueba más reciente: “mes, año” seguido por una P cuando la prueba es la prueba inicial, o “mes, año” seguido de una L cuando la prueba es una prueba de estanqueidad.
- Contraste del experto que ha realizado las pruebas.
- Material del depósito y referencia a las normas de materiales, si existen, y, en su caso, del revestimiento protector.

El espesor de la placa no debe ser inferior a 3 mm y todos los caracteres deben tener una altura nominal de 4 mm.

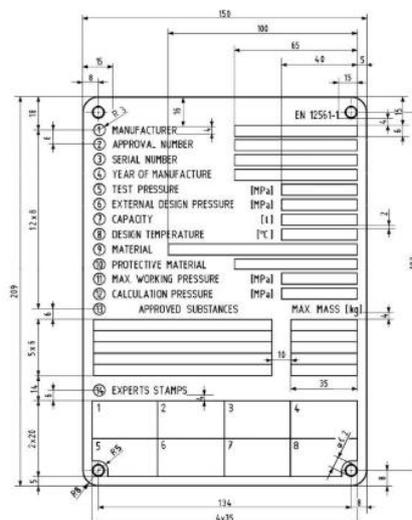
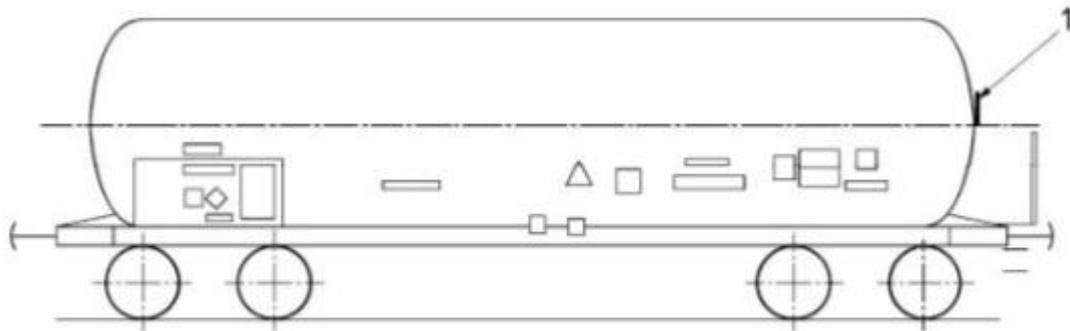


Figura 5. Placa de identificación

La placa debe fijarse sobre un soporte soldado, que debe ser de diseño rígido y fácilmente accesible a fin de facilitar su inspección.



Leyenda

1 Placa de identificación

Figura 6. Ejemplo de lugar para la placa de identificación

La fijación de la placa sobre el soporte debe hacerse de una de las maneras indicadas a continuación:

- Utilizando tornillos de latón, uno de los cuales debe poder precintarse, o
- Utilizando remaches de un material que debe ser compatible con el de la base,
- Se permite la fijación mediante soldadura.

El experto debe precintarlo uno de los tornillos de latón o uno de los remaches.

6.2 Etiquetado

En el RID 2017, en el capítulo 5 se tratan las características de las placas-etiquetas que deben llevar los vagones cisterna, en nuestro caso.

Las placa-etiqueta debe tener la forma de un cuadrado que reposa sobre un vértice (en rombo). Las dimensiones mínimas serán de 250 mm x 250 mm (hasta el borde de la placa-etiqueta). La línea interior debe ser paralela al borde de la placa-etiqueta y encontrarse distante 12.5 mm. El símbolo y la línea trazada en el interior deben ser del mismo color que la etiqueta de la clase de la materia peligrosa en cuestión. En nuestro caso, la etiqueta para el fenol fundido, ya que es clase 6.1 quedaría así:



Figura 7. Etiqueta de peligro de clase 6.1

El panel naranja puede ser retrorreflectante y deberá tener una base de 40 cm y una altura de 30 cm; llevará un ribete negro de 15 mm.

El material usado debe ser resistente a la intemperie y garantizar una señalización duradera. El panel no deberá separarse de su fijación después de un incendio de una duración de 15 minutos. Permanecerá fijado sea cual sea la orientación del vagón.

El número de identificación de peligro y el número ONU deberán estar constituidos por cifras negras de 10 cm de altura y de 15 mm de espesor. El número de identificación de peligro deberá inscribirse en la parte superior del panel y el número ONU en la parte inferior; estarán separados por una línea negra horizontal de 15 mm de espesor que atraviese el panel a media altura. Estos dos números deben ser indelebles y permanecer visibles después de un incendio de una duración de 15 minutos.

El fenol fundido tiene un número de identificación de peligro de 60 y un número ONU 2312, por lo que su panel naranja quedaría así:

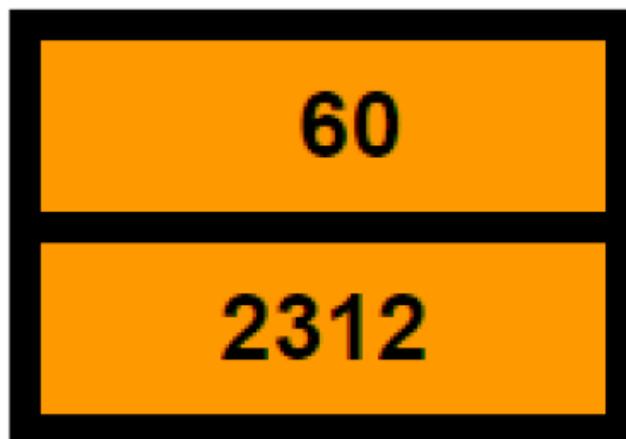


Figura 8. Panel naranja del fenol fundido

La cisterna también debe llevar una etiqueta para materias peligrosas para el medio ambiente, como se representa a continuación.

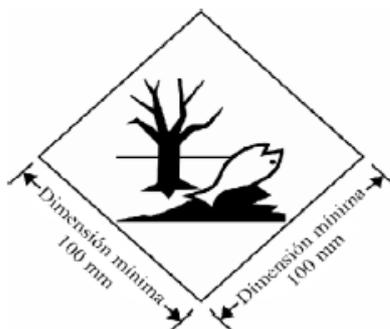


Figura 9. Etiqueta de peligro para el medio ambiente

La marca tendrá la forma de un cuadrado apoyado sobre una esquina (la forma de un rombo). El símbolo (un pez y un árbol) será negro, sobre un fondo blanco o de otro color que ofrezca un contraste adecuado. Las dimensiones mínimas serán de 100 mm x 100 mm, y el grosor mínimo de la línea que delimita el rombo, de 2 mm.

7. Código de la cisterna

El código de las cisternas RID está compuesto de cuatro partes. En el capítulo 4.3 del RID, se encuentra la clasificación de dichas partes mediante esta tabla:

1. Primera parte (tipos de cisterna):

- L. Cisterna para materias en estado líquido (materias líquidas o materias sólidas entregadas para el transporte en estado fundido).
- S. Cisterna para materias en estado sólido (pulverulentas o granuladas).

2. Segunda parte (presión de cálculo):

- G. Presión mínima de cálculo según las disposiciones generales del 6.8.2.14; o 1,5; 2,65; 4; 10; 15 o 21 (presión mínima de cálculo en bar).

3. Tercera parte (orificios):

- A. Cisterna con orificios de llenado y vaciado situados en la parte inferior con 2 cierres.
- B. Cisterna con orificios de llenado y vaciado situados en la parte inferior con 3 cierres.
- C. Cisterna con orificios de llenado y vaciado situados en la parte superior que, por debajo del nivel del líquido, sólo tiene orificios de limpieza.
- D. Cisterna con orificios de llenado y vaciado situados en la parte superior sin orificios por debajo del nivel del líquido.

4. Cuarta parte (Válvulas/dispositivos de seguridad):

- V. Cisterna con dispositivo de respiración, sin dispositivo de protección contra la propagación del fuego; o cisterna no resistente a la presión generada por una explosión.
- F. Cisterna con dispositivo de respiración, provisto de un dispositivo de protección contra la propagación del fuego o cisterna resistente a la presión generada por una explosión.
- N. Cisterna sin dispositivos de respiración y que no está cerrada herméticamente.
- H. Cisterna cerrada herméticamente.

Para nuestro material, que es fenol fundido, su código de cisterna RID es el L4BH, como hemos visto en el apartado 5 de este proyecto.

Esto significa que su clasificación es de: “Cisterna para materias en estado líquido, con una presión mínima de cálculo de 4 bares, con orificios de llenado y vaciado situados en la parte inferior con 3 cierres y cerrada herméticamente”.

8. Material de la cisterna

Para la construcción y diseño de la cisterna se ha seguido la normativa UNE EN 14025, en la que se detalla que el material debe ser de los descritos por la UNE EN 13445-2. Siguiendo la UNE EN 10028-3, documento anexo a la última normativa citada, se encuentra el material para nuestra cisterna, ya que nuestro líquido a transportar se encuentra bajo presión.

Aunque la normativa nos recomendaría un acero de grano fino, como el P460NH, para la fabricación de este proyecto se va a utilizar un acero inoxidable 316L, ya que nos proporciona mayor versatilidad si en un futuro se va a transportar otro producto diferente en su interior. La siguiente información ha sido obtenida de la UNE EN 10028-7.

Designación simbólica	X2CrNiMo17-12-2
Designación numérica	1.4404
C	≤ 0,03
Si	≤ 1,00
Mn	≤ 2,00
P	0,045
S	0,015
N	≤ 0,10
Cr	16,5 a 18,5

Mo	2,00 a 2,50
Ni	10,0 a 13,0

Tabla 6. Composición del acero 316L

Sus propiedades mecánicas vienen dadas en la siguiente tabla:

Resistencia a la tracción (R_m)	530 MPa
Límite elástico (R_{eH})	240 MPa
Alargamiento después de rotura (A)	40%

Tabla 7. Propiedades mecánicas del acero 316L

Además, el RID exige que el valor del límite elástico nunca debe ser superior a 0,85 veces el valor de la resistencia a la tracción del material empleado para la cisterna.

$$R_{eH} \leq 0,85 \cdot R_m$$

$$240 \leq 0,85 \cdot 530$$

$$240 \leq 450,5$$

Nuestro material cumple esa condición.

9. Elementos estructurales de la cisterna

9.1 Introducción

La cisterna de este proyecto va a tener una longitud de la sección circular de 12 metros, por lo que se colocarán 6 virolas de 2 metros de longitud y de 2,5 metros de diámetro cada una. Los fondos van a ser del tipo Korboggen, sus dimensiones serán tratadas en el apartado de *Cálculos justificativos*.

9.2 Rompeolas

Para evitar inestabilidad en nuestra cisterna y grandes movimientos del fluido dentro de ella, se colocarán una serie de rompeolas en el interior. Según el RID 2017, se debe cumplir una de estas dos condiciones:

- La distancia entre dos refuerzos adyacentes sea inferior o igual a 1,75 metros.

- El volumen comprendido entre estos dos rompeolas sea inferior o igual a 7.500 litros.

Se cumple la primera condición, ya que se colocarán 7 rompeolas en el interior de las virolas de la cisterna.

Estos tabiques rompeolas deben tener las mismas características que el resto del depósito, nunca inferiores. Se recomienda que sean de forma cóncava o abombada, pero ya que nuestro vagón pueda funcionar en dos direcciones, se va a optar por realizar unos tabiques rectos. Las perforaciones de los rompeolas serán tratadas en el apartado de *Planos*, en el que se verá con mayor claridad sus dimensiones.



Figura 10. Ejemplo de tabique rompeolas

9.3 Boca de hombre

Según la norma UNE EN 14025, nos exige que la envolvente debe estar provista de un medio de acceso para la inspección del interior, como puede ser la boca de hombre. Estas bocas de hombre deben ser lo suficientemente grandes para permitir la entrada y rescate de personas y las aberturas de inspección deben ser tan pequeñas que impidan la entrada de personas, pero de un tamaño adecuado para poder realizar una inspección. Su uso va a ser el de llenado de la cisterna de fenol fundido.

Después de aplicarse un revestimiento, las dimensiones mínimas de las aberturas deben mantenerse, tanto en bocas de hombre como en aberturas de inspección.

Los diámetros de las aberturas deben ser:

- No inferiores a 100 mm y no inferiores a 400 mm para aberturas de inspección;
- No inferiores a 500 mm para aberturas de bocas de hombre circulares.

Para bocas de hombre no circulares, ninguna dimensión deber ser inferior a 500 mm.

La norma UNE EN 12561-6, nos exige que para nuestra cisterna que no supera los 0,4 MPa de presión de ensayo, pueda disponer de una boca de hombre con pernos basculantes y tuercas de palomilla.

Debe haber espacio suficiente alrededor del pasador de la bisagra de la boca de hombre para permitir que la junta de la tapa quede uniformemente asentada. La cara superior del anillo de la boca debe encontrarse en el plano horizontal.

La tapa de la boca de hombre debe estar equipada con un dispositivo que liberará la presión de la cisterna antes de girar hacia abajo los pernos basculantes.

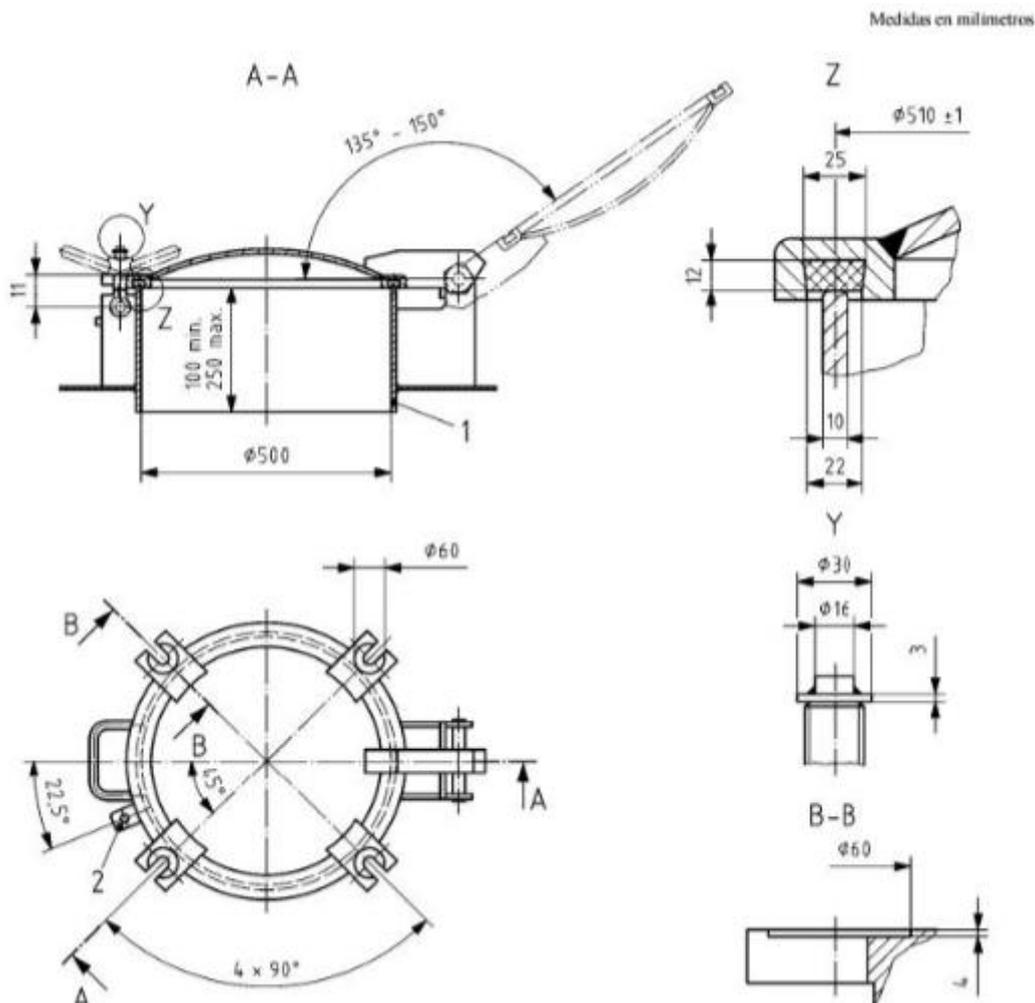


Figura 11. Medidas de boca de hombre con pernos basculantes

Los pernos basculantes deben ser conforme a la siguiente figura:

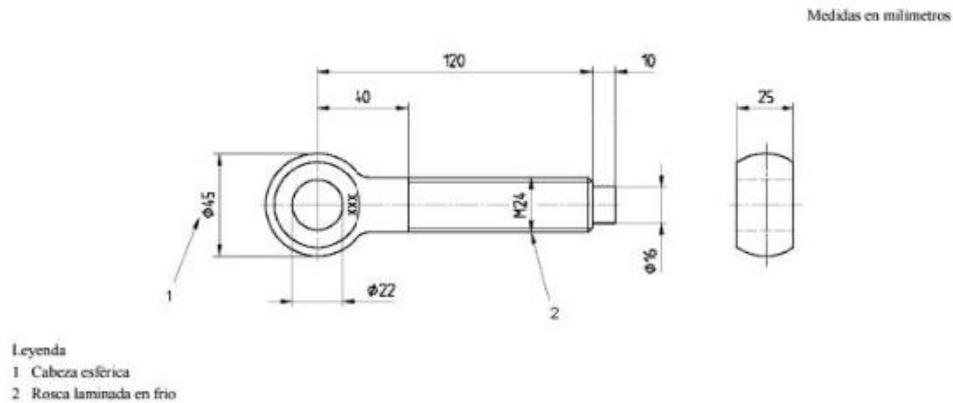


Figura 12. Perno basculante

Las tuercas de palomilla deben cumplir lo siguiente:

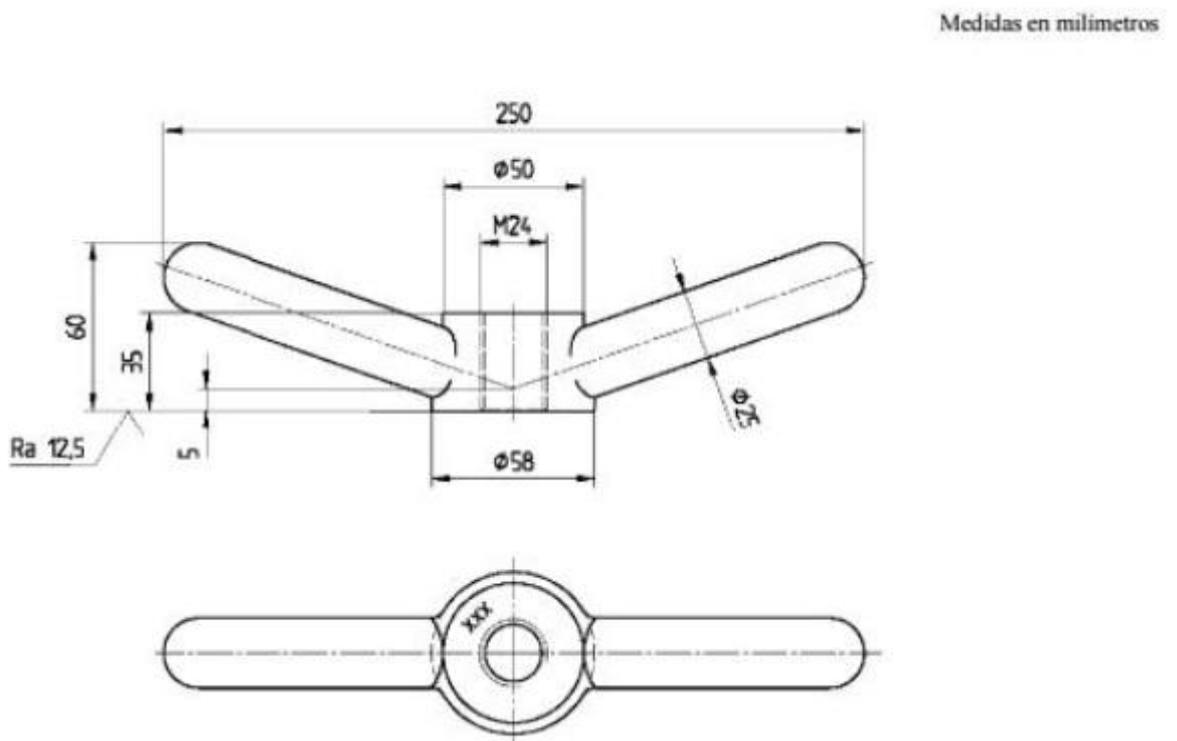


Figura 13. Medidas de la tuerca de palomilla

El pasador de articulación debe tener un diámetro de 20 mm y debe poder retirarse sin calentar ni cortar.

Las medidas de la junta deben cumplir lo siguiente (el diámetro de 535 sólo es válido para bocas de hombre de diámetro de 500):

Medidas en milímetros

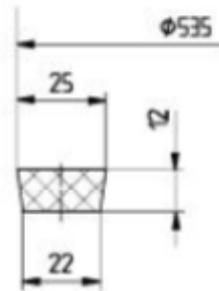


Figura 14. Medidas de la junta

9.4 Válvulas de fondo

Para tratar las válvulas de fondo se ha seguido la UNE EN 14433, que especifica los requisitos relativos a dichas válvulas para cisternas de presión mínima de 50 kPa, como es nuestro caso.

Su función es permitir la carga y descarga controlada del producto de la cisterna y asegurar la estanqueidad de ella cuando está cerrada, está situada en la parte inferior del depósito.

La válvula debe incluir un obturador en la envolvente de la cisterna, y éste debe estar colocado de forma que la presión en el depósito actúe incrementando la fuerza sobre el asiento de la válvula y debe estar diseñado para evitar la auto apertura de ella.

La abertura de esta válvula debe tener una dimensión que asegure un caudal mínimo equivalente al de una válvula con el mismo diámetro nominal.

Debe llevar un dispositivo de bloqueo para asegurar que durante el transporte no haya ninguna abertura imprevista, o bien situándola dentro de una envolvente de protección.

El mecanismo de accionamiento de cada válvula debe tener un indicador de dirección de apertura y cierre.

En caso de incendio o desplazamiento inesperado de la cisterna, la válvula de cierre interna de los orificios de llenado y de descarga debe cerrar instantánea y automáticamente.

En caso de choque violento, el cuerpo exterior de la válvula debe tener una zona de menor resistencia para asegurar la rotura de la cubierta de dicha válvula.

Para los materiales, el fabricante debe suministrar las especificaciones de los materiales de aquellas partes que vayan a estar en contacto con el producto de nuestra cisterna.

Los materiales de los elementos de la válvula deben tener un alargamiento a la rotura de un 12% como mínimo.

La cubierta de la válvula debe indicar las referencias a las normas EN pertinentes, en la medida de lo posible.

9.5 Válvulas de presurización y descarga

Para las válvulas de presurización y descarga de la cisterna se ha seguido lo redactado por la normativa UNE EN 14432, por la cual se especifican las funciones de dichas válvulas, su diseño y sus materiales de fabricación.

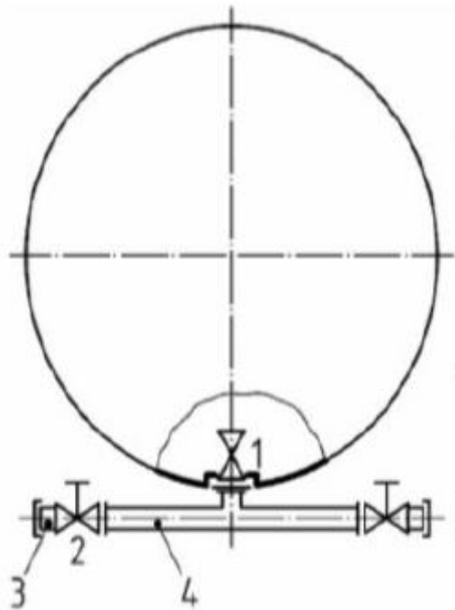
La válvula de presurización es de cierre primaria según la EN 736-1 y que proporciona un obturador en el depósito por el cual se puede conectar una línea de recuperación de vapores.

La válvula de descarga es de cierre secundaria para cisternas con descarga por el fondo y es de cierre primaria para cisternas con descarga por la parte superior. Para el caso de transporte de mercancías peligrosas, su uso va a ser de carga y descarga del producto.

En cuanto al diseño, la válvula debe ser de cierre siguiendo la EN 736-1 y, como hemos tratado en el apartado de válvulas de fondo, debe llevar una marca con el sentido de apertura del mecanismo de accionamiento y éste tiene que estar protegido contra cualquier movimiento inesperado mediante un dispositivo de bloqueo.

Y en el tema de materiales se deben de seguir las mismas pautas comentadas en el apartado de válvulas de fondo de este proyecto.

De esta manera, quedarían definidas las válvulas para la descarga del fenol fundido según la letra B de su código de cisterna RID L4BH con 3 cierres independientes entre sí.



Leyenda

- 1 Válvula inferior interna
- 2 Válvula externa
- 3 Acoplamiento roscado o brida o dispositivo equivalente
- 4 Tubo bifurcado

Figura 15. Esquema de dispositivos de vaciado

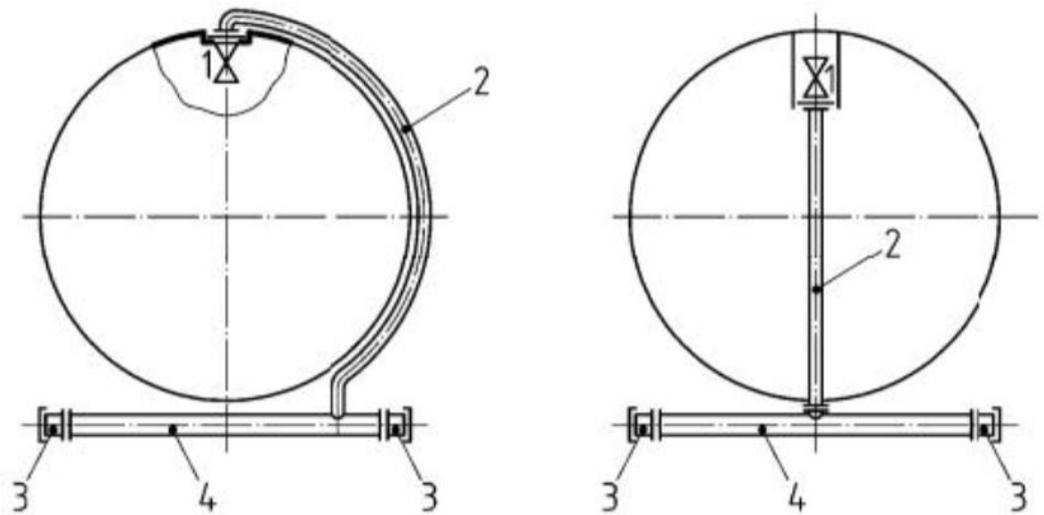
Esta tubería de descarga debe tener un diámetro mínimo de 100 mm y estos tubos bifurcados se realizan siguiendo las indicaciones de la UNE EN 12561-2. Esta normativa exige que los tubos tengan que colocarse en posición horizontal para minimizar los restos del producto que queden tras los procesos de carga y descarga de material.

9.6 Tubería de retorno de vapor

Para la realización de la tubería de retorno de vapor se ha seguido la norma UNE EN 12561-2. Dicha norma exige que la tubería conste de los siguientes elementos a la hora de su montaje:

- Una válvula de ventilación automática.
- Un tubo bifurcado.
- En cada extremo del tubo bifurcado, una brida DN 80 PN 16 y un acoplamiento de retorno de vapor que cumpla los requisitos del anexo A de esta normativa.

A continuación, se va a mostrar un ejemplo de disposiciones.



Leyenda

- 1 Válvula de ventilación automática
- 2 Tubo de conexión
- 3 Acoplamiento
- 4 Tubo bifurcado

Figura 16. Ejemplo de disposiciones de tubería de retorno de vapor

Este documento también trata sobre que el área transversal efectiva de la tubería de retorno de vapor no sea inferior a 1960 mm^2 y que para velocidades de descarga mayores a $120 \text{ m}^3/\text{h}$ se aumente dicha sección transversal.

9.7 Toma de tierra

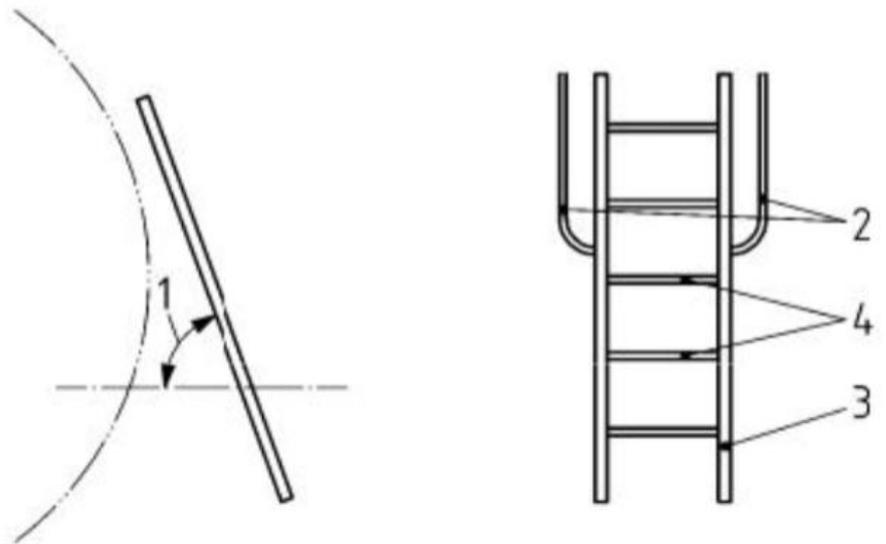
La norma UNE EN 12561-2 sobre la toma de tierra obliga a soldar dos placas de conexión a tierra de acero inoxidable a cada lado del vagón cisterna y que las medidas sean de $40 \text{ mm} \times 80 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$, como mínimo.

9.8 Escaleras

Para la colocación de las escaleras se ha seguido la normativa UNE EN 12561-7 que especifica una fija a cada lado del vagón cisterna o bien una fija en el extremo. Por razones de acortar las dimensiones a lo ancho de nuestro depósito, la escalera estará situada en el extremo, y ésta, debe tener dos pasamanos laterales.

En cuanto a características de diseño, si la escalera tiene un ángulo entre 75° y 90° se utilizarán travesaños, en el caso de que el ángulo sea menor a 75° se utilizarán

escalones con una profundidad mínima de 80 mm. A continuación, se refleja un ejemplo de disposición:



Leyenda

- 1 Inclinación
- 2 Pasamanos
- 3 Larguero
- 4 Travesaño

Figura 17. Ejemplo de disposición de escalera

Tanto escalones como travesaños deben estar soldados a los largueros y ser antideslizantes. Esta capacidad se puede conseguir mediante el uso de barras planas o cuadradas con una sección transversal como la mostrada en la siguiente figura.

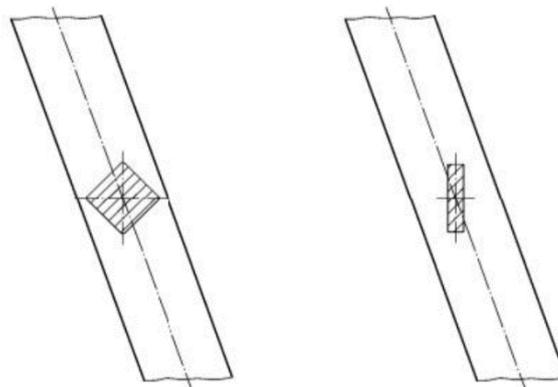


Figura 18. Ejemplo de secciones transversales de los travesaños

En lo referente a las medidas de la escalera, los lados de los travesaños cuadrados de acero deben tener entre 20 mm y 30 mm, y mientras sean antideslizantes se permiten otra forma diferente con la misma resistencia.

Los pasamanos son barras de sección circular de al menos 20 mm de diámetro exterior y conectados a las placas de pie de las pasarelas o plataformas. Su espacio libre debe ser de al menos 100 mm.

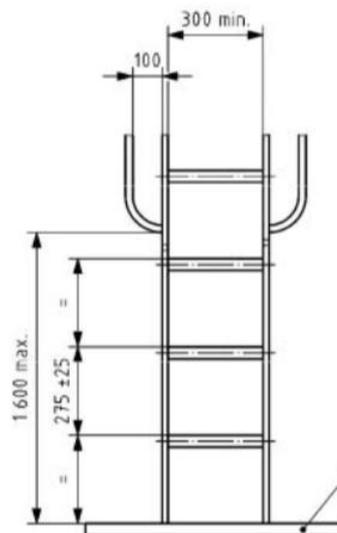
En el caso de que las escaleras laterales sobresalgan más de 250 mm desde el chasis del vagón cisterna, se debe instalar un dispositivo de protección a una altura entre 1200 mm y 1400 mm por encima del carril.

Estas escaleras laterales nunca deben comprometer el gálibo de carga.

Las escaleras deben soportar una carga estática de 2 kN en el centro de cualquier travesaño y la deformación elástica máxima permisible bajo esta carga no debe superar 1/200 de la anchura.

Estas serían las medidas principales de la escalera del extremo.

Medidas en milímetros



Leyenda

1 Parte superior de la plataforma transversal

Figura 19. Medidas de la escalera

Como marcada, se debe colocar una señal de advertencia de peligro eléctrico en la parte superior en un lugar cercano a cada escalera.

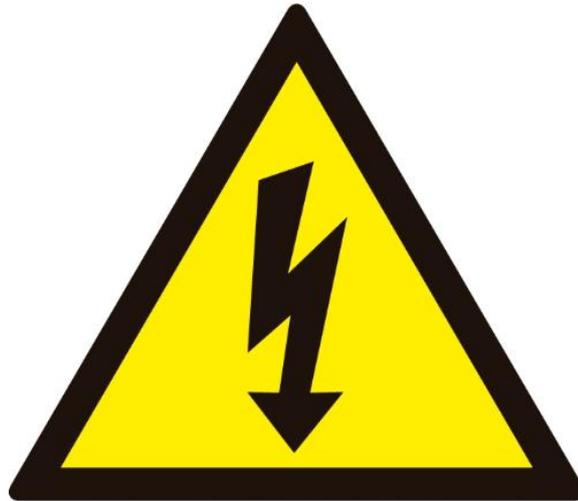


Figura 20. Señal de peligro eléctrico

9.9 Plataformas

Las plataformas en la parte superior del vagón cisterna para la inspección y mantenimiento de él se rigen por la UNE EN 12561-7. Esta norma nos enumera los siguientes requisitos:

- Situadas como mínimo alrededor de la boca de hombre, en las tapas protectoras y en la zona alrededor de las bocas.
- Tienen que ser de forma plana y horizontal.
- Con una altura libre de al menos 300 mm.
- Con suficiente espacio libre alrededor de los pernos basculantes de nuestra boca de hombre para facilitar el manejo.
- Con un rodapié de altura mínima de 20 mm, exceptuando en el caso de que se acople una escalera o pasarela.
- Provistas de un punto fijo al cual acoplar un cable de seguridad según la norma EN 795.
- Disponer de una rejilla.

La plataforma, incluyendo los rodapiés, no debe comprometer el gálibo de carga.

En lo referente al diseño, debe soportar una carga de 3 kN de distribución uniforme sobre un área de 600 mm x 300 mm.

Bajo esta carga, la flecha no debe sobrepasar el menor valor entre 10 mm o 1/200 de la luz.

9.10 Pasarelas

La pasarela, que sirve como soporte para el paso entre plataformas y escaleras, se construye según la UNE EN 12561-7.

Esta normativa nos proporciona una serie de requisitos para su correcta colocación:

- Con pendiente longitudinal máxima de 5° y tienen que ser planas.
- Con rodapié de altura mínima de 20 mm, exceptuando en el caso de que se acople una escalera o pasarela.
- Dotadas de guardapiés con espacio libre mínimo de al menos 100 mm alrededor de él.
- Disponer de una rejilla.

Se recomienda disponer las pasarelas al mismo nivel que las plataformas.

En cuanto al diseño, debe soportar lo mismo y tener la misma flecha que en lo expuesto en el apartado de plataformas.

En lo referente a medidas principales, la anchura de estas pasarelas nunca debe ser inferior a 500 mm y sin comprometer el gálibo de carga.

10. Elementos estructurales del vagón

10.1 Bogies

El bogie de un tren desempeña varias funciones clave, como aguantar la carga, transmitir las fuerzas de tracción, el frenado, guiar el vagón de manera segura y absorber los defectos de la vía.

Este bogie es un armazón metálico que aloja los ejes y ruedas, conectado al chasis del vagón mediante una articulación, denominada pivote, una especie de clavija maestra. Debido a este sistema, el bogie es un elemento móvil con respecto al chasis de cada vagón, gracias a esto, el tren entra en las curvas de forma suave y progresivamente, permitiendo tomar de manera correcta las curvas más cerradas.

También garantiza la seguridad y el confort en el caso de que haya pasajeros en el tren, para conseguir esto, el bogie contiene 2 sistemas de suspensión que absorben los defectos de la vía y disminuyen su impacto con el vagón.

El sistema de suspensión primario, similar a los neumáticos de un coche, está situado entre los ejes y el bogie.

El sistema de suspensión secundaria conecta el bogie con la caja del vagón. Este sistema también controla los movimientos laterales de la caja y su composición neumática aísla el vagón de las vibraciones y el ruido.

Los bogies pueden ser motorizados, dedicados a la tracción, o portadores, dedicados al frenado y la dirección. A continuación, se muestra un ejemplo de un bogie:



Figura 21. Ejemplo de bogie

Siguiendo las normas UNE EN 15827 y EN 13749 se fabrican los bogies de manera correcta. Para su buen diseño se deben especificar al menos las siguientes condiciones:

- Velocidad máxima.
- Curva de radio mínimo.
- Peralte máximo.
- Insuficiencia de peralte máxima.

Y las siguientes características de la vía:

- Ancho de vía (en España son 1668 mm).
- Perfil de la cabeza del carril.
- Inclinación del carril.
- Desnivelación relativa de los carriles.
- Calidad de la vía.

Los perfiles de rodadura de las ruedas deben ser de diámetro igual o superior a 330 mm para cumplir los requisitos de interoperabilidad.

También comenta que todos los componentes funcionales de los bogies tengan una especificación que defina sus características de comportamiento, como pueden ser:

- Muelles: rigidez, longitud libre, longitud comprimidos, carga máxima y mínima, etc.
- Amortiguadores: índice de amortiguación, carrera, valor de purga, rigidez en serie, etc.

Todas las partes del bogie y del órgano de rodadura tienen que soportar las cargas de explotación asociadas.

11. Frenado del vagón

Las características referentes al frenado de locomotoras van a ser seguidas por lo comentado en la UNE EN 14198.

El propósito del frenado es garantizar que la velocidad del tren se pueda reducir o mantener en una pendiente, o que el tren se pueda detener en la distancia de frenado máxima admisible. También proporciona la inmovilización del tren, ya sea durante un cierto período de tiempo, o de forma permanente.

Para el diseño del sistema, se deben tener en cuenta y mitigar los riesgos siguientes:

- La fuerza de frenado aplicada supera el nivel máximo de diseño.
- El rendimiento de los frenos es inferior al nivel de freno exigido.
- Ausencia de fuerza de frenado cuando se demanda.
- Aparición de una fuerza de frenado cuando no se ha hecho una demanda de frenado.

Los trenes deben incorporar un sistema de frenado principal con las siguientes funciones:

- Frenado de emergencia.
- Frenado de servicio.
- Funciones para mantener el tren parado.

A continuación, se va a reflejar la estructura básica de un sistema de frenado mediante el siguiente esquema.

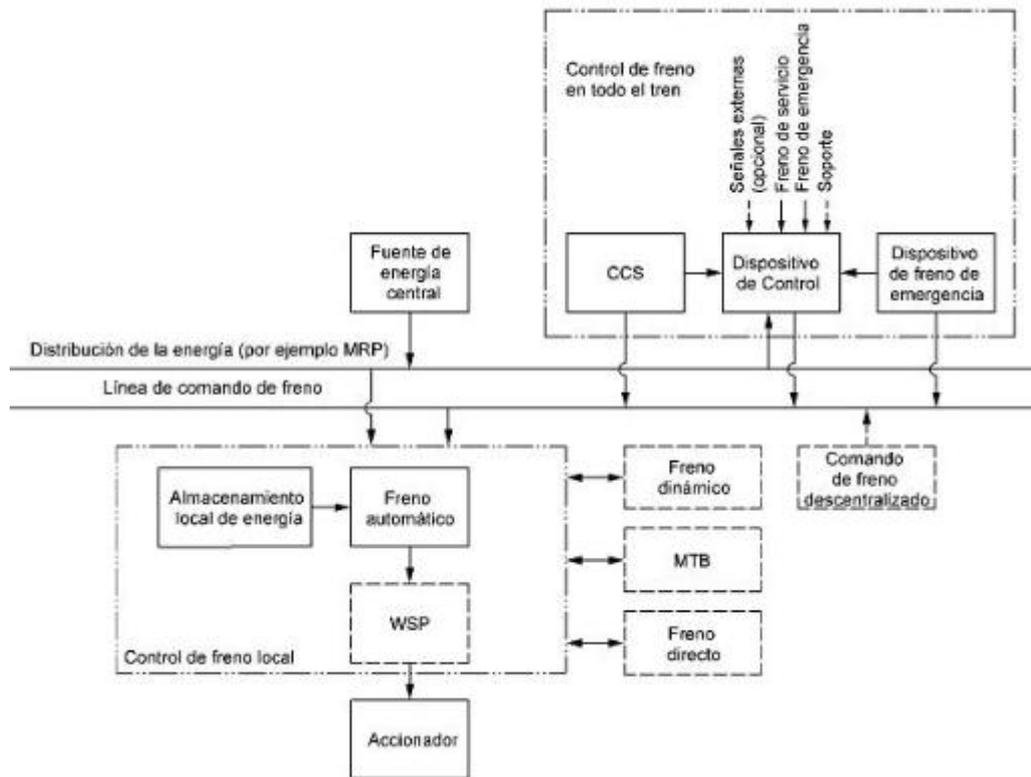


Figura 22. Estructura básica del sistema de frenado

Las funciones de control del tren deben ser:

- Cada unidad debe estar equipada con una línea de comando de freno prevista para transmitir el comando de freno desde la cabina de conducción activa a las demás unidades del tren de manera específica.
- El control de freno por todo el tren, la línea continua del comando de freno y la unidad de control local de cada vehículo individual del tren deben cooperar de forma compatible con el uso de señales de comando apropiadas.
- La línea de comando de freno debe ser capaz de:
 - Recibir una aplicación de liberación del freno desde un control de freno a lo largo de todo el tren iniciado desde la cabina activa del vehículo de cabeza.
 - Recibir un comando de aplicación del freno de emergencia de un control de freno por todo el tren iniciado desde dispositivos de comando de freno descentralizado si los hubiese.
- La línea de comandos del freno debe ser capaz de transmitir la información de comando de freno:
 - Liberación completa de los frenos.
 - Aplicación del freno de emergencia.
 - Aplicación o liberación gradual para el frenado de servicio.

- Cada unidad debe estar equipada con un control de freno local conectado a la línea de comando de freno con el fin de recibir la información de comando del freno y para controlar adecuadamente los frenos locales.
- El nivel de aplicación del freno se puede ajustar localmente en proporción al peso del vehículo.
- Se permite el uso de más de una línea de comando de freno si actúan de forma continua y automática.
- A los efectos del frenado de servicio, solo se permite establecer una línea de comando de freno adicional que no necesite actuar de forma automática.

El tren debe asegurar que se va a mantener estacionado mediante las funciones de freno de contención, de inmovilización y de estacionamiento.

Para este vagón se va a utilizar el sistema de frenado UIC, que es una variante del freno de aire desarrollado a finales del siglo XIX. La característica principal de esta arquitectura de freno es que las funciones principales las logra sólo con el uso de aire comprimido.

El sistema de frenado EN-UIC debe tener una tubería de freno que actúa como una línea de comando de freno. La señal del comando de freno se logra variando la presión en la tubería de freno por debajo de la presión normal de trabajo. Esta tubería ofrece también un medio para la distribución de energía de frenado a los vehículos individuales.

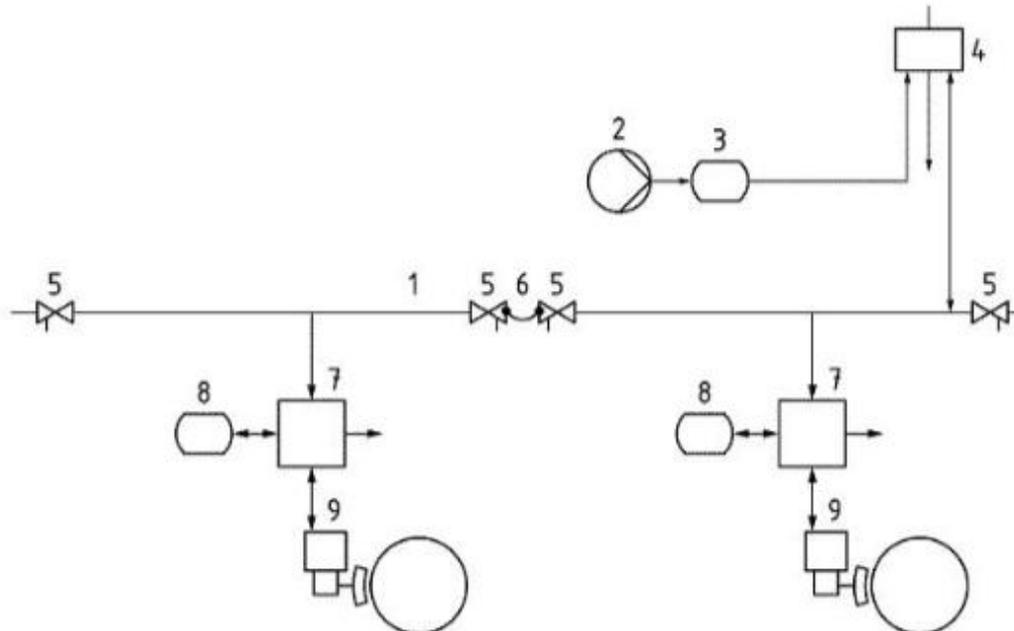
La válvula de freno del maquinista es la encargada de controlar el nivel de presión que hay dentro de la tubería de freno con las siguientes condiciones:

- En condición de liberación, se mantiene la presión de 5 bares (presión normal de trabajo), que está dentro de la tubería mediante la compensación automática de las fugas del sistema.
- En condición de servicio, mediante la ventilación y manteniendo una presión en la tubería de freno inferior, siendo esta la señal de entrada para las válvulas de distribución de forma que los frenos entre en funcionamiento.
- En condición de servicio completo, para pedir la fuerza máxima de frenado por una bajada de presión en la tubería de freno de 1,6 bar + 0,2 bar, manteniendo en ese nivel la presión.
- En posición de freno de emergencia, se deja caer de manera brusca la presión el tubo del freno con un valor inferior a 2,5 bar.

Las fugas del sistema de frenado se deben compensar automáticamente por el sistema de control de la presión en la tubería de freno que alimenta a la tubería de freno. Lo anterior no debe impedir la aplicación automática del freno. Esto se debe lograr en el estado de liberación y en todas las condiciones de frenos de servicio.

Para el control del freno local, las válvulas de los distribuidores deben ir conforme a la norma EN 15355 y las válvulas de relé según la EN 15611.

Mediante la siguiente figura se va a mostrar la disposición de cómo debe ser nuestro freno de una sola tubería:



Leyenda

- 1 Tubería del freno
- 2 Unidad de suministro de aire del tren
- 3 Depósito principal del aire
- 4 Sistema de control de la presión de la tubería del freno
- 5 Llaves de paso integral
- 6 Semiacoplador de la tubería del freno
- 7 Válvula distribuidora
- 8 Depósito del freno local
- 9 Sistema de generación de la fuerza de freno local (accionador)

Figura 23. Disposición del freno de una sola tubería

En esta norma también se explica cómo vendría instalado el freno en nuestra locomotora.

De este apartado, obtenemos que el diámetro mínimo para la tubería de freno (BP) de nuestro vagón debe ser de 32 mm y en el caso de la tubería principal del depósito (MRP) es de 25 mm.



Universidad
Politécnica
de Cartagena

DOCUMENTO II

CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

Alberto Navarro Melero

Grado en Ingeniería Mecánica

Director: Isidoro J. Martínez Mateo

Índice

1. Cálculo del grado de llenado.....	3
2. Cálculo del espesor de la envolvente.....	4
3. Cálculo de los fondos abombados Korbbogen	6
4. Cálculo del volumen de la cisterna y de la masa de fenol fundido almacenado	8
4.1 Volumen de la cisterna	8
4.2 Masa de fenol almacenado	9
5. Cálculo mediante la herramienta MEFI	9

Índice de ilustraciones

Figura 1. Fondo tipo Korbbogen	8
Figura 2. Esquema de simulación del vagón cisterna	10
Figura 3. Resultados de la simulación de MEFI	10
Figura 4. Diagrama de momentos flectores	11
Figura 5. Diagrama de esfuerzos cortantes	11

1. Cálculo del grado de llenado

Según el RID, en el apartado 4.3.2.2, presenta una expresión para el cálculo del grado de llenado para las materias muy tóxicas o tóxicas, muy corrosivas o corrosivas (presentando o no un peligro de inflamabilidad o un peligro para el medio ambiente), cargadas en cisternas cerradas herméticamente, sin dispositivo de seguridad, como es el caso de nuestra cisterna de fenol fundido:

$$\text{Grado de llenado} = \frac{95}{1 + \alpha * (50 - t_f)} \% \text{ de la capacidad}$$

Siendo α el coeficiente medio de dilatación cúbica del líquido entre 15°C y 50°C y se calcula con la siguiente expresión:

$$\alpha = \frac{d_{15} - d_{50}}{35 * d_{50}}$$

Siendo d_{15} y d_{50} las densidades del líquido a 15°C y 50°C, y t_f es la temperatura media del fluido en el momento de llenado de la cisterna.

Sabiendo que la densidad relativa del fenol es de 1,06 y conociendo la densidad del agua a 15°C (0,99919 g/ml) y a 50°C (0,98802 g/ml), conocemos los valores de las densidades del fenol a esas temperaturas multiplicando su densidad relativa por las densidades del agua a cada temperatura:

$$d_{15} = 1,06 * 0,99919 = 1,059 \text{ g/ml}$$

$$d_{50} = 1,06 * 0,98802 = 1,047 \text{ g/ml}$$

$$\alpha = \frac{d_{15} - d_{50}}{35 * d_{50}} = 3,2747 * 10^{-4}$$

El resultado del grado de llenado de nuestra cisterna es de:

$$\text{Grado de llenado} = \frac{95}{1 + \alpha * (50 - t_f)} = 94,076\%$$

Siendo la temperatura media de llenado (t_f) de 20°C.

2. Cálculo del espesor de la envolvente

Para este cálculo se han seguido los pasos del anexo A de la normativa UNE EN 14025, por lo que, el espesor mínimo de nuestro depósito debe ser el mayor valor de las cuatro ramas calculadas por este anexo.

- Rama A:

$$e = \frac{P_T * D}{2 * \sigma * \lambda}$$

Donde P_T es la presión de cálculo, D es el diámetro de la cisterna, λ es el coeficiente de soldadura, que va a ser 0,8, y σ es el esfuerzo a la presión de prueba cuyo valor es:

$$\sigma = \text{mín.} (0,5 * 530; 0,75 * 240)$$

$$= \text{mín.} (265; 180) = 180 \text{ N/mm}^2$$

Teniendo estos datos, se puede calcular el espesor según la rama A:

$$e = \frac{0,4 * 2500}{2 * 180 * 0,8} = 3,472 \text{ mm}$$

- Rama B:

Según el RID 2017, debemos tomar 6 mm de espesor si se trata de acero de referencia. En nuestro caso, el acero inoxidable 316L no se trata de este tipo de acero, por lo que hay que acudir a esta expresión:

$$e = \frac{464 * e_0}{\sqrt[3]{(R_{m1} * A_1)^2}} = \frac{464 * 6}{\sqrt[3]{(530 * 40)^2}} = 3,6345 \text{ mm}$$

Donde e_0 es el espesor del acero de referencia, R_{m1} es la resistencia a tracción del material empleado y A_1 es el alargamiento a la rotura del material.

- Rama C:

Se nos da la siguiente expresión de cálculo:

$$e = \frac{p * D}{2 * \sigma * \lambda - p}$$

$$e = \frac{p * D}{2 * f_d * \lambda - p} = \frac{0,4 * 2500}{2 * 180 * 0,8 - 0,4} = 3,477 \text{ mm}$$

$p = P_T = 0,4 \text{ Mpa}$
 $f_d = \sigma = 195 \text{ N/mm}^2$
 $\lambda = 0,8$

- Rama D:

El anexo nos propone la siguiente expresión para establecer el mínimo espesor en las condiciones de funcionamiento:

$$e = \frac{p * D}{2 * f_d * \lambda - p}$$

Siendo p la presión máxima de trabajo (MWP) = 0,3 Mpa

Para f_d es necesario buscar los valores en la EN 10028-7 de resistencia a la tracción y de límite elástico a 100°C, teniendo esto, tomamos el valor máximo de:

$f_d = \text{máx. } (R_e/1,5; \text{mín. } (R_e/1,2; R_m/3)) = \text{máx. } (199/1,5; \text{mín. } (199/1,2; 430/3)) = \text{máx. } (132,667; \text{mín. } (165,83; 143,33)) = 143,33 \text{ Mpa}$

Siendo los valores de resistencia a tracción y límite elástico del AISI 316L a 100°C:

$R_m = 430 \text{ Mpa}$
 $R_e = 199 \text{ Mpa}$

Se puede calcular el espesor:

$$e = \frac{0,3 * 2500}{2 * 143,33 * 0,8 - 0,3} = 3,275 \text{ mm}$$

En la siguiente tabla se van a resumir los resultados obtenidos por cada rama de cálculo.

Rama	Espesor obtenido en mm
A	3,472
B	3,6345
C	3,477
D	3,275

El espesor que se debería tomar sería el de 3,6345 mm, pero el RID en el apartado 6.8 nos exige que para cualquier metal utilizado en la fabricación de la cisterna no puede tener un espesor de pared inferior a 4,5 mm. En este caso, sobredimensionaremos y elegiremos un espesor de 6 mm, como para el acero de referencia.

$$e = 6 \text{ mm}$$

3. Cálculo de los fondos abombados Korbogen

Siguiendo la UNE EN 14025, en la rama C de cálculo se proporcionan las expresiones para obtener las medidas de estos fondos toroidales para la cisterna de este proyecto y su espesor mínimo.

$$R = 0,8 * D_e$$

$$R = 0,8 * 2500 = 2000 \text{ mm}$$

$$r = 0,154 * D_e$$

$$r = 0,154 * 2500 = 385 \text{ mm}$$

Donde D_e es el diámetro de nuestro depósito, esos serían los radios de curvatura de nuestros fondos.

Para el cálculo del espesor se ha de escoger el mayor valor de los tres resultados siguientes:

$$e_s = \frac{p * R}{2 * f_d * \lambda_s - 0,5 * p} = \frac{0,4 * 2000}{2 * 180 * 1 - 0,5 * 0,4} = 2,223 \text{ mm}$$

Para fondos tomamos como coeficiente de soldadura (λ_s) el valor de 1 y R es el radio mayor del fondo abombado calculado previamente.

$$e_b = (0,75 * R + 0,2 * D_i) * \left(\frac{p}{111 * f_d} * \left(\frac{d_i}{r} \right)^{0,825} \right)^{(2/3)}$$

$$e_b = (0,75 * 2000 + 0,2 * 2488) * \left(\frac{0,4}{111 * 180} * \left(\frac{2488}{385} \right)^{0,825} \right)^{(2/3)}$$

$$e_b = 4,11 \text{ mm}$$

Para el diámetro interior (D_i) utilizamos la siguiente expresión:

$$D_i = D_e - 2 * e = 2500 - 2 * 6 = 2488 \text{ mm}$$

$$e_y = \beta_e * \frac{p * (0,75 * R + 0,2 * D_i)}{f_d}$$

Para el cálculo de β_e se hace uso de estas fórmulas:

$$X = \frac{r}{D_i} = \frac{385}{2488} = 0,1547$$

$$Y = \min. \left(\frac{e}{R}; 0,04 \right) = \min. \left(\frac{6}{2000}; 0,04 \right) = 0,003$$

$$Z = \log_{10} \left(\frac{1}{Y} \right) = \log_{10} \left(\frac{1}{0,003} \right) = 2,5228$$

$$N = 1,006 - \frac{1}{6,2 + (90 * Y)^4} = 1,006 - \frac{1}{6,2 + (90 * 0,003)^4} = 0,8448$$

$$\beta_{e0,1} = N * (-0,1833 * Z^3 + 1,0383 * Z^2 - 1,2943 * Z + 0,837) = 1,045$$

$$\beta_{e0,2} = \max. (0,95 (0,56 - 1,94 * Y - 82,5 * Y^2); 0,5) = 0,5258$$

$$\beta_e = 10 * ((0,2 - X) * \beta_{e0,1} + (X - 0,1) * \beta_{e0,2}) = 0,761$$

$$e_y = 0,761 * \frac{0,4 * (0,75 * 2000 + 0,2 * 2488)}{180} = 3,378 \text{ mm}$$

Estos serían los valores del espesor mínimo del fondo para limitar la tensión de membrana en la parte central (e_s), del espesor mínimo del radio con el objetivo de

evitar deformaciones (e_b) y del espesor mínimo del radio para evitar límites elásticos axisimétricos (e_y).

De acuerdo a estos resultados obtenidos, elegimos también un valor de 6 mm para el espesor de los fondos Korbogen al igual que para la envolvente cilíndrica.

4. Cálculo del volumen de la cisterna y de la masa de fenol fundido almacenado

4.1 Volumen de la cisterna

Para ello, debemos conocer el volumen que hay dentro de la envolvente cilíndrica y el volumen interior que tienen los fondos toroidales Korbogen. Siguiendo la DIN-28013 para el cálculo de los fondos, obtenemos una imagen que nos facilita cómo serían los fondos toroidales:

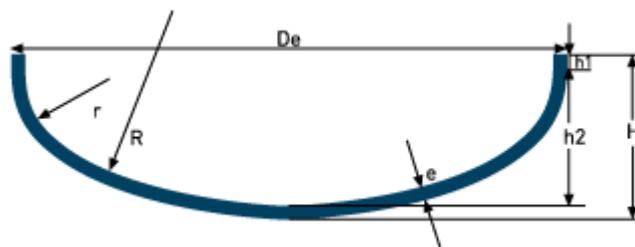


Figura 1. Fondo tipo Korbogen

La altura exterior se calcula:

$$H = h_2 + h_1 + e$$

$$h_1 \geq 3 * e = 3 * 6 = 18 \text{ mm}$$

$$h_2 = 0,255 * De - 0,635 * e = 0,255 * 2500 - 0,635 * 6 = 633,69 \text{ mm}$$

$$H = 633,69 + 18 + 6 = 657,69 \text{ mm}$$

Para el cálculo del volumen interior:

$$V = 0,1298 * Di^3$$

$$V = 0,1298 * 2488^3 = 1,999 \text{ m}^3$$

Como la cisterna dispone de dos fondos, este resultado se multiplica por 2, obteniendo el volumen interior total ocupado por ambos fondos:

$$V_{\text{Total fondos}} = 2 * 1,999 = 3,998 \text{ m}^3$$

Para el volumen de la envolvente cilíndrica, sabemos que nuestro depósito consta de 6 virolas de 2.5 metros de diámetro y 2 metros de longitud, conociendo esto:

$$V_{\text{Interior virola}} = \pi * \frac{D_i^2}{4} * L = \pi * \frac{2488^2}{4} * 2 = 9,723 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Total virolas}} = 6 * 9,723 = 58,338 \text{ m}^3$$

Por lo que, el volumen total interior quedaría:

$$V_{\text{Total interior}} = V_{\text{Total fondos}} + V_{\text{Total virolas}} = 3,998 + 58,338 = 62,336 \text{ m}^3$$

Y la longitud total de nuestra cisterna sería de 13,315 metros.

4.2 Masa de fenol almacenado

Teniendo el grado de llenado, conocemos la cantidad máxima de fenol fundido que podemos transportar:

$$\text{Volumen}_{\text{fenol}} = \text{Grado de llenado} * V_{\text{Total interior}} = 0,94076 * 62,336 = 58,64 \text{ m}^3$$

La masa de fenol se obtiene a partir de la densidad de esta sustancia, que es de 1,071 g/cm³, ya comentada en las propiedades físicas del fluido.

$$\text{Masa}_{\text{fenol}} = 1,071 * 1000 * 58,64 = 62803,44 \text{ Kg}$$

5. Cálculo mediante la herramienta MEFI

Se va a utilizar el programa MEFI para el cálculo de los esfuerzos cortantes, los momentos flectores y las reacciones en los apoyos de nuestro vagón cisterna.

El depósito tiene una longitud de 13,315 metros que es donde va la carga de fenol fundido que usaremos en la simulación. El bastidor tiene una longitud de 15,3 metros

de un lado al otro y los apoyos se sitúan a una distancia de 3 metros desde cada lado del bastidor.

Esta sería la distribución de pesos y las reacciones en los apoyos:

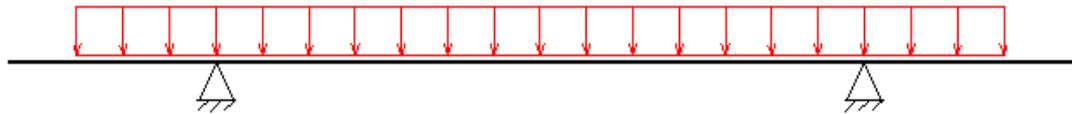


Figura 2. Esquema de simulación del vagoncillo cisterna

```

-----
estado 1
-----
pun      desX      desY      girZ      reaX      reaY      momZ
-----
1  0.0000e+00  1.9965e-02 -6.5896e-03
2  0.0000e+00  1.3424e-02 -6.5896e-03
3  0.0000e+00  0.0000e+00 -6.9794e-03  0.0000e+00  3.0791e+02
4  0.0000e+00  0.0000e+00  6.9794e-03  0.0000e+00  3.0791e+02
5  0.0000e+00  1.3424e-02  6.5896e-03
6  0.0000e+00  1.9965e-02  6.5896e-03
-----
lín punIni punFin      axiIni      axiFin      axiMáx      xAximáx      xAxinul
corIni      corFin      corMáx      xCorMáx      xCornul
fleIni      fleFin      fleMáx      xFleMáx      xFlenul
desIni      desFin      desMáx      xDesMáx
-----
1      1      2      0.0000e+00  0.0000e+00
0.0000e+00  0.0000e+00
0.0000e+00  0.0000e+00
1.9965e-02  1.3424e-02
2      2      3      0.0000e+00  0.0000e+00
0.0000e+00 -9.2847e+01
0.0000e+00 -9.3195e+01
1.3424e-02  0.0000e+00
3      3      4      0.0000e+00  0.0000e+00
2.1506e+02 -2.1506e+02
-9.3195e+01 -9.3195e+01  4.0683e+02  4.6500e+00  4.6500e+00  4.6500e+00
0.0000e+00  0.0000e+00 -2.1858e-02  4.6500e+00  4.5567e-01  8.8443e+00
4      4      5      0.0000e+00  0.0000e+00
9.2847e+01  0.0000e+00
-9.3195e+01  0.0000e+00
0.0000e+00  1.3424e-02
5      5      6      0.0000e+00  0.0000e+00
0.0000e+00  0.0000e+00
0.0000e+00  0.0000e+00
1.3424e-02  1.9965e-02
-----
tensión equivalente von Mises máxima
-----
1.2205e+03
    
```

Figura 3. Resultados de la simulación de MEFI

Las reacciones en los apoyos tienen el mismo valor, ya que están situados a la misma distancia.

Este sería el diagrama de momentos flectores:

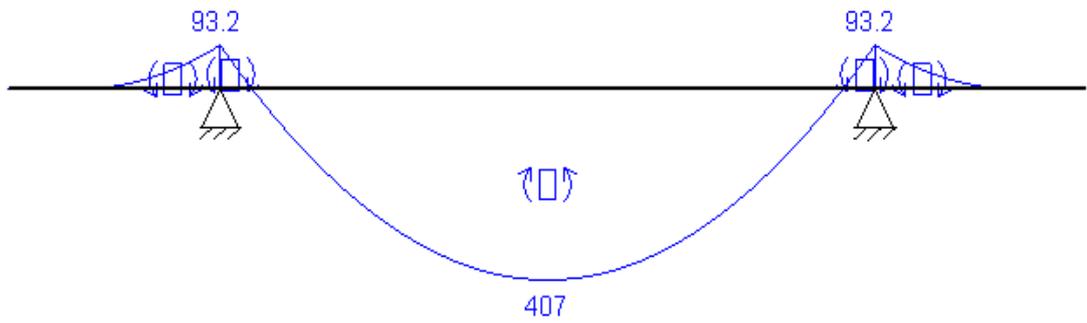


Figura 4. Diagrama de momentos flectores

El de esfuerzos cortantes quedaría:

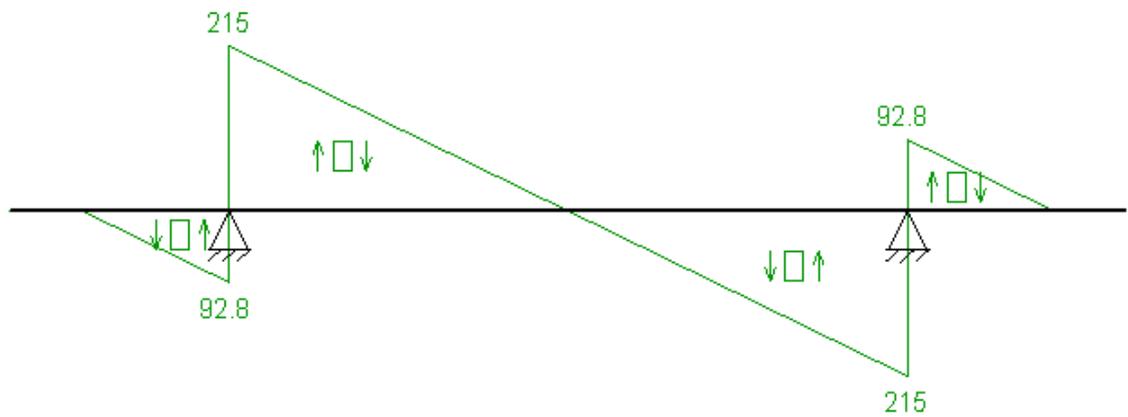


Figura 5. Diagrama de esfuerzos cortantes

Y el de Tensiones de von Mises máximas:

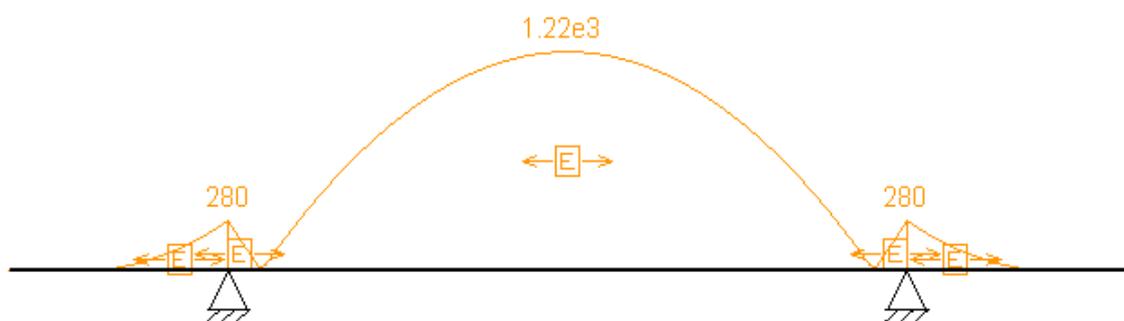


Figura 6. Diagrama de tensiones de von Mises



Universidad
Politécnica
de Cartagena

DOCUMENTO III

**PROCESO DE FABRICACIÓN,
SOLDADURA Y ENSAYOS**

Alberto Navarro Melero

Grado en Ingeniería Mecánica

Director: Isidoro J. Martínez Mateo

Índice

1. Proceso de fabricación	3
1.1. Fabricación del cuerpo de la cisterna	3
1.2. Unión de la cisterna al bastidor	3
2. Soldadura	4
2.1. Tipo de unión en las soldaduras	5
3. Ensayos no destructivos de la soldadura	6
3.1 Inspección visual	6
3.2 Ensayo radiográfico.....	9
3.3 Ensayo con ultrasonidos	10

Índice de ilustraciones

Figura 1. Unión entre virola y virola.....	5
Figura 2. Unión entre virola-virola y fondos Korbbogen.....	5
Figura 3. Unión entre rompeolas y virola.....	5
Figura 4. Método de inspección visual	6
Figura 5. Ensayo radiográfico de la unión de virola con virola y virolas con fondos	10
Figura 6. Ensayo radiográfico de la unión de rompeolas con virola.....	10
Figura 7. Pasos necesarios para producir un procedimiento escrito de ultrasonidos	12

1. Proceso de fabricación

1.1. Fabricación del cuerpo de la cisterna

Nuestra cisterna está formada por 6 virolas de 2 metros de largo, obteniéndose así, una longitud de 12 metros de sección circular del depósito, y 2 fondos Korbogen en los extremos. Todo esto hace que la longitud total de la cisterna sea de 13,315 metros.

Para la construcción de los rompeolas se empieza con una chapa circular a la que se le han realizado unos agujeros para permitir el paso del fenol fundido en los casos de frenado brusco del vagón y movimientos inesperados. Las dimensiones de estos agujeros van definidas en el documento de *Planos*.

Como se indicó anteriormente, se van a colocar 7 rompeolas en el interior del depósito, por lo que es lo primero que se debe soldar antes de unir todas las virolas. Estos rompeolas irán situados a una distancia de 1,71 metros, cumpliéndose así la condición de la distancia máxima de 1,75 metros entre rompeolas reflejada en el RID.

Para la fabricación de las virolas, se parte de láminas cortadas a medida que pasan por unos rodillos dándoles la curvatura, obteniendo así los 2,5 metros de diámetro. El siguiente paso es soldar los extremos para tener la forma circular completa.

Con respecto a la fabricación de los fondos Korbogen, se forman a partir de una plancha circular de acero mediante conformación en frío.

Como ya tenemos las 6 virolas con los 7 rompeolas soldados en el interior a la distancia indicada, es el momento de unir las virolas entre sí y, después de esto, sólo quedaría su unión con los fondos.

Por último, se realizaría un agujero en la parte superior en el centro para la colocación de la boca de hombre y en la parte inferior para situar las válvulas de descarga del producto.

Para la fabricación de todos estos componentes se ha utilizado el mismo material, el acero inoxidable 316L.

1.2. Unión de la cisterna al bastidor

Esta unión se va a realizar mediante 3 soportes que van a ir soldados al cuerpo de la cisterna. Se va a colocar un soporte en cada extremo y otro en la parte central, cubriendo así toda la cisterna.

:

Los soportes se atornillan a unas placas de anclaje que van al bastidor. Las placas de anclaje y los soportes vienen dimensionados en el apartado de *Planos*.

Ya situado el depósito, se colocarían las escaleras en un extremo de la cisterna, la pasarela para acceder a la boca de hombre y las plataformas. Para terminar el montaje sólo quedarían colocar las válvulas restantes en sus sitios correspondientes, la tubería de retorno de vapor y las etiquetas definidas en el apartado 6 de este proyecto.

2. Soldadura

El procedimiento para la unión de todas las partes de la cisterna va a ser soldadura por fusión, que es muy aceptada para recipientes metálicos a presión.

En el capítulo 6.8.2.1.23 del RID 2017 se trata la realización y control de las soldaduras, donde se refleja que la calidad del soldador para realizar este trabajo debe ser verificada y confirmada por una autoridad competente que tiene que emitir la aprobación de tipo. Este mismo fabricante debe asegurar la calidad del trabajo y tiene que ser hecho por personal cualificado que demuestre la efectividad de la soldadura mediante unos ensayos radiográficos o por ultrasonidos. Estos ensayos no destructivos serán comentados posteriormente.

Como valor de coeficiente de soldadura hemos escogido 0,8, lo que eso supone, siguiendo la norma UNE EN 12972:

- Para las cisternas cuyo diseño utiliza un factor de eficiencia de la soldadura (λ) de 0,8 se deben ensayar todos los cordones de soldadura con una longitud total de la soldadura examinada que no sea inferior al 10% de la suma de la longitud de todas las soldaduras longitudinales, circulares o radiales.

Para asegurar la calidad de la soldadura se debe seguir lo descrito por las normas UNE EN 3834-1 y EN 3834-2.

La cualificación del personal destinado a la comprobación de los ensayos no destructivos va definida por la norma UNE EN 9712.

Siguiendo la norma UNE EN 14025 en el apartado de reparaciones nos exige que los defectos deben repararse mediante un proceso mecánico o térmico, o utilizando una combinación de ambos métodos.

El espesor del material después de una reparación acabada debe estar dentro de las tolerancias de diseño y nunca puede tener un espesor inferior al espesor mínimo, en nuestro caso, de 6 mm.

Después de la terminación de la reparación, el material debe someterse al mismo examen no destructivo aplicado originalmente a la zona reparada.

2.1. Tipo de unión en las soldaduras

Los elementos soldados tienen distintas formas de disposición.

La unión entre virola y virola para cerrar la circunferencia se realiza mediante soldadura a tope.

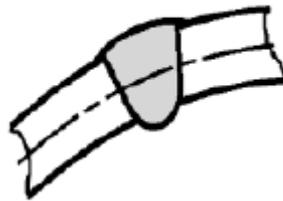


Figura 1. Unión entre virola y virola

La unión de las virolas entre sí y la unión de éstas con los fondos Korbboegen también se realizan a tope.

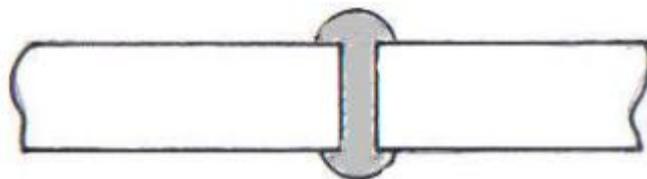


Figura 2. Unión entre virola-virola y fondos Korbboegen

Las uniones de los elementos de la cisterna de servicio y de los rompeolas se realizan con soldadura en ángulo.

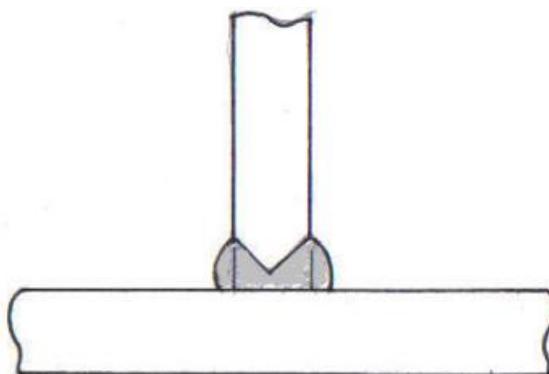


Figura 3. Unión entre rompeolas y virola

3. Ensayos no destructivos de la soldadura

La norma UNE EN 17635 en la tabla 2 para aceros austeníticos, como es nuestro caso, nos recomienda realizar un examen visual a la cisterna para la detección de discontinuidades superficiales para todo tipo de soldaduras, incluyendo las de ángulo.

En la tabla 3 los métodos recomendados para la detección de discontinuidades internas para soldaduras a tope y en T son los ensayos radiográficos y los de ultrasonidos, ya que nuestro espesor es de 6 mm.

3.1 Inspección visual

De acuerdo a la UNE EN 17637, para realizar este ensayo se recomienda que la luz blanca sea de unos 500 lx en la superficie de la cisterna y el ojo debe estar a unos 600 mm y a unos 30° como ángulo mínimo.

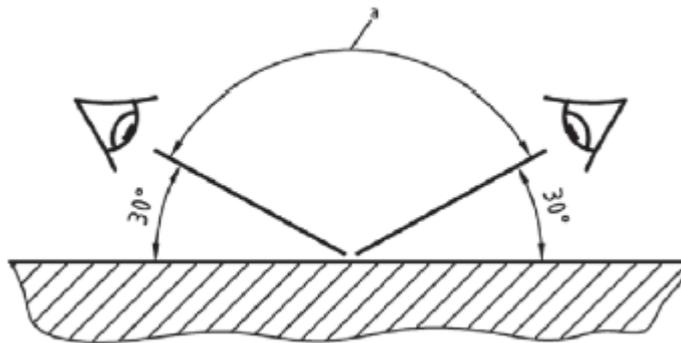


Figura 4. Método de inspección visual

Se puede usar una fuente de luz adicional para mejorar el contraste y resaltar las imperfecciones sobre el fondo.

- Inspección visual de la preparación de la unión

Cuando se requiere la inspección visual antes del soldeo, la unión debe examinarse para verificar lo siguiente:

- a) los bordes deben tener la forma y dimensiones que vienen marcados por los requisitos de especificación del procedimiento de soldeo.
- b) la cara de fusión y las superficies adyacentes estén limpias y que cualquier tratamiento superficial realizado haya sido según la norma de producto.
- c) las piezas a unir por soldadura se hayan hecho correctamente según los planos.

- **Inspección visual durante el soldeo**

Cuando se requiera, la soldadura se debe examinar durante el proceso de soldeo para verificar lo siguiente:

a) se debe limpiar cada capa de metal de soldadura antes de aplicar la siguiente, prestando más atención a la unión de la cara de fusión con el metal a soldar.

b) no tiene que haber imperfecciones visibles, si se observaran, se debe informar de ello para que se tomen medidas correctoras.

c) la transición entre pasadas y entre la soldadura y el metal base tiene una forma para que se pueda obtener una fusión correcta durante la soldadura cuando se suelde la siguiente capa.

d) la profundidad y la forma del resanado deben estar de acuerdo con la WPS o ser equivalente a la del chaflán original, para así asegurar la total retirada del metal de soldadura.

e) tras cualquier reparación necesaria, el proceso de soldeo queda conforme a las especificaciones originales de la WPS.

- **Inspección visual de la soldadura terminada**

La soldadura terminada debe inspeccionarse para determinar si cumple con los requisitos de aplicación.

- Limpieza y repaso:

a) la escoria ha sido quitada por medios manuales o mecánicos para así eludir imperfecciones que queden ocultas.

b) no puede haber marcas de herramientas.

c) si se necesita repasar la soldadura, se tiene que evitar el sobrecalentamiento por esmerilado, las marcas que deje y los acabados irregulares.

d) si se necesita repasar a paño las soldaduras en ángulo y a tope, la transición entre metal de soldadura y metal base se hará suave sin reducir el espesor.

Si se observan imperfecciones, deben registrarse de manera que se puedan tomar acciones correctivas.

- Perfil y dimensiones:

a) la altura de cualquier sobreespesor y el perfil de la cara de soldadura deben cumplir los criterios de aceptación.

b) la superficie de la soldadura debe ser uniforme.

c) el ancho de la soldadura es el mismo a lo largo de toda la unión y cumple los criterios de aceptación.

- Pasadas de raíz y superficiales:

a) para uniones soldadas a tope por un solo lado, la penetración, concavidad de la raíz y cualquier desfondamiento del chaflán tienen que estar dentro de los límites de los criterios de aceptación.

b) toda mordedura debe estar dentro de los límites de los criterios de aceptación.

c) cualquier imperfección en la superficie de la soldadura debe cumplir con los criterios de aceptación.

d) todo accesorio provisional soldado al equipo para hacer más sencilla la fabricación y que sea perjudicial para su correcto funcionamiento debe ser retirado sin dañar al equipo.

e) si hay marca de cebado deben estar dentro de los límites de los criterios de aceptación.

- **Inspección visual de soldaduras reparadas**

Cuando las soldaduras no cumplen total o parcialmente con los criterios de aceptación y es necesario reparar, la unión soldada debe examinarse antes de la reparación por soldeo.

Todas las soldaduras reparadas deben inspeccionarse nuevamente con los mismos requisitos que la soldadura original.

- Soldadura parcialmente eliminada

El saneado de la soldadura debe ser suficientemente profundo y largo para que todas las imperfecciones sean eliminadas. El saneado debe ser gradual desde la base del corte hasta la superficie del metal de soldadura en ambos extremos y lados del corte. La anchura y perfil del corte debe ser de tal forma que permita un acceso adecuado para volver a soldar.

- Soldadura completamente eliminada

Cuando una soldadura defectuosa haya sido totalmente eliminada, con o sin la necesidad de insertar una nueva sección, la forma y dimensiones de la preparación de bordes deben cumplir con los requisitos especificados para la soldadura original.

3.2 Ensayo radiográfico

Para la verificación de este ensayo se ha seguido la norma UNE EN 17636-2, esta técnica consiste en buscar defectos en la soldadura a través de unos detectores digitales.

La persona encargada de la prueba debe seguir la reglamentación de protección contra las radiaciones ionizantes, ya que pueden ser muy peligrosas para la salud.

La superficie no necesita ninguna preparación superficial para someterse al ensayo, pero si las imperfecciones pueden causar dificultades a la hora de buscar defectos, se debe amolar la superficie o eliminar los revestimientos.

Esta técnica siempre se realizará después del amolado o tratamiento térmico correspondiente al metal, en el estado final de la fabricación.

Cuando la radiografía digital no muestre el contorno de la soldadura, deben colocarse marcadores de alta densidad en cada lado de la soldadura.

Deben posicionarse símbolos en cada sección del objeto radiografiado. Las imágenes de estos símbolos deben aparecer en la radiografía digital fuera de la zona de interés cuando sea posible y deben asegurar la identificación de la sección sin ambigüedad.

En lo referente al marcado, esta normativa nos exige que se deben hacer marcas permanentes en el material de ensayo para así situar con exactitud la posición de cada radiografía.

Para la soldadura de virola con virola y la de las virolas con los fondos, se utilizará esta disposición para realizar el ensayo, quedando la fuente de radiación en el exterior del objeto con el detector en el interior:

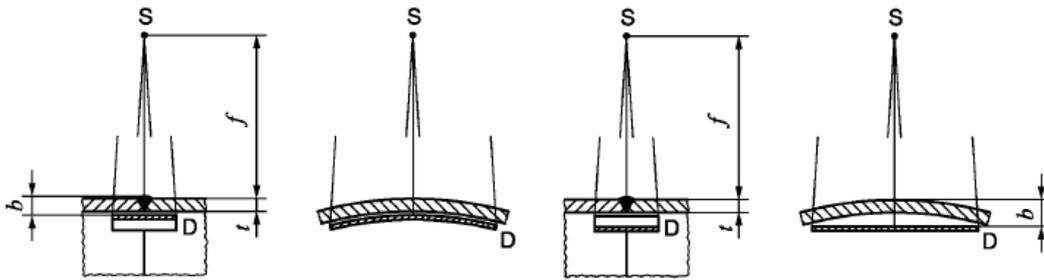


Figura 5. Ensayo radiográfico de la unión de virola con virola y virolas con fondos

Y para el caso de la comprobación de la soldadura del tabique rompeolas con las virolas, se colocará con esta disposición:

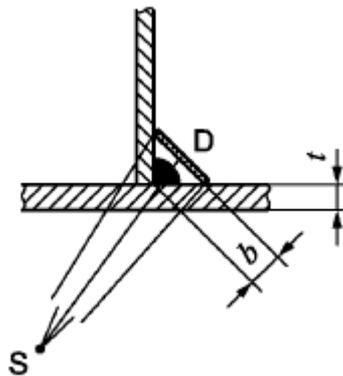


Figura 6. Ensayo radiográfico de la unión de rompeolas con virola

3.3 Ensayo con ultrasonidos

Para este ensayo se ha seguido la normativa UNE EN 22825. En la introducción de esta norma ya se presenta el problema que tiene nuestro acero austenítico para esta prueba, debido a su microestructura afecta negativamente a la propagación de los ultrasonidos. También se pueden producir fenómenos de distorsión del haz, reflexiones imprevistas y conversiones de modo de onda en la línea de fusión, lo que hace que en ocasiones sea imposible que las ondas ultrasónicas penetren en el metal de soldadura.

Este acero austenítico requiere de técnicas diferentes a las usuales, se necesita del uso de palpadores de doble elemento diseñados para ondas refractas longitudinales.

El personal adecuado para la realización correcta de este ensayo viene dado por la normativa ISO 9712. Además de un conocimiento general de la inspección de soldaduras por ultrasonidos, los operadores deben estar familiarizados y tener experiencia práctica en la problemática de los ensayos específicamente asociados con

el tipo de materiales y uniones soldadas a ensayar. Debería realizarse una formación específica y exámenes del personal en piezas representativas (acero dúplex, austenítico, inoxidable) que contengan soldaduras y utilizando palpadores de doble elemento de ondas longitudinales. Esta formación y los resultados de los exámenes deberían documentarse.

El procedimiento del ensayo escrito debe incluir como mínimo la siguiente información:

- a) el objeto y el alcance del ensayo;
- b) las técnicas de ensayo;
- c) los niveles de examen;
- d) los requisitos de cualificación/ formación del personal;
- e) los requisitos de los equipos;
- f) el palpador para cada zona o parte del chaflán;
- g) los bloques de referencia;
- h) los bloques de ajuste, si es aplicable;
- i) el ajuste del equipo de ensayo;
- j) las condiciones de acceso y estado superficial;
- k) las direcciones de examen y posiciones del palpador;
- l) los ensayos del material base;
- m) la evaluación de las indicaciones;
- n) los niveles de aceptación y/o niveles de registro;
- o) los requisitos del informe;
- p) los aspectos relativos al medio ambiente y la seguridad.

Todos estos pasos quedan reflejados en el siguiente esquema:

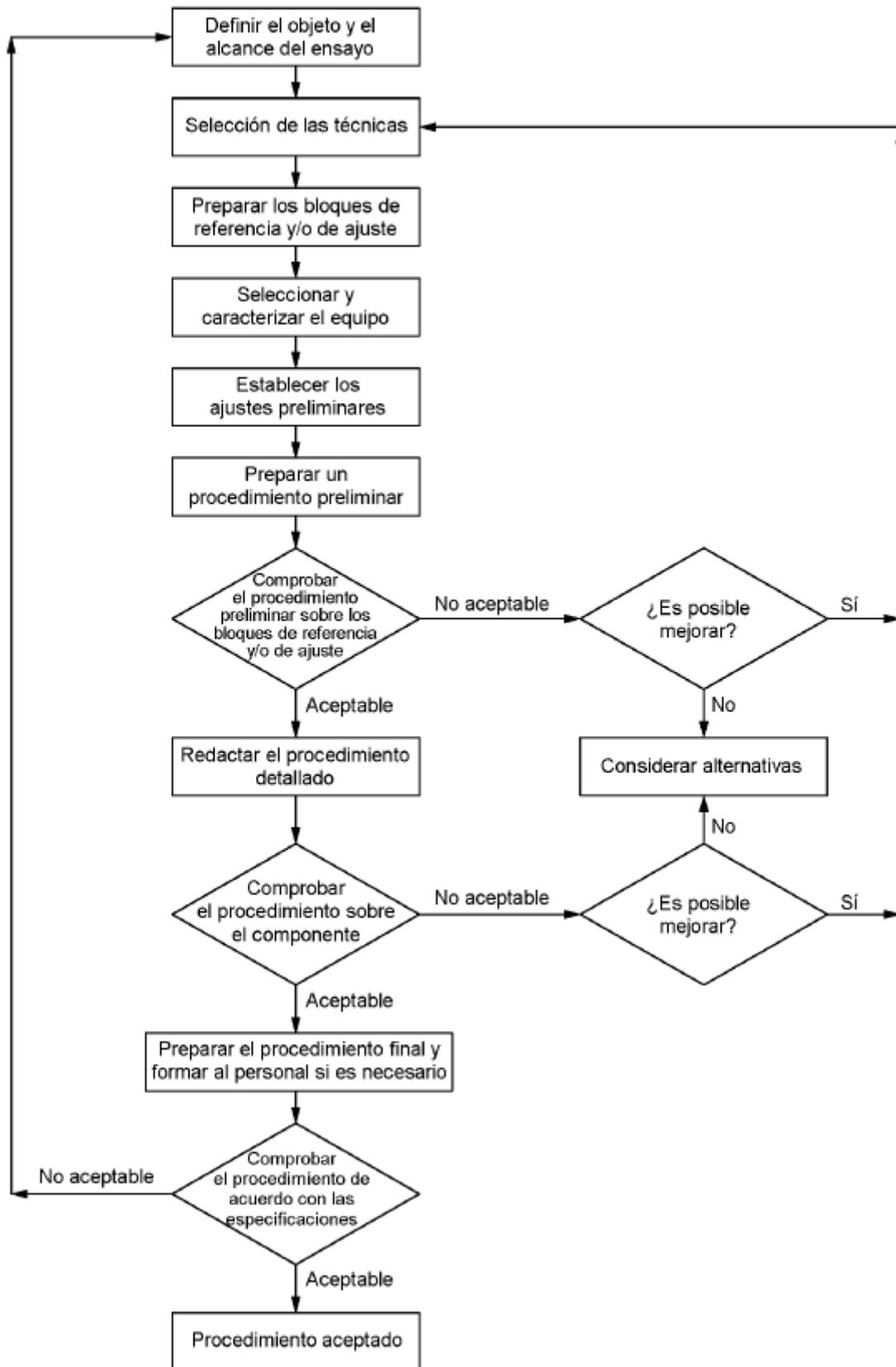


Figura 7. Pasos necesarios para producir un procedimiento escrito de ultrasonidos

En lo referente a la exploración, debe cubrir toda la zona de examen especificada y se puede realizar mediante líneas rectas paralelas al eje de la soldadura. Los cálculos de las partes relevantes de la base de tiempos, así como su confirmación sobre el bloque de referencia, deben realizarse como parte del desarrollo del procedimiento.

Después de terminar la exploración, se debe clasificar todas las indicaciones relevantes y tras determinar la situación y el tamaño de las discontinuidades relacionadas, deben evaluarse con respecto a criterios de aceptación especificados y niveles de aceptación.

En base a esta evaluación, las indicaciones y sus discontinuidades relaciones pueden categorizarse como “aceptables” o “no aceptables”.



Universidad
Politécnica
de Cartagena

DOCUMENTO IV

CONTROLES Y DOCUMENTOS

Alberto Navarro Melero

Grado en Ingeniería Mecánica

Director: Isidoro J. Martínez Mateo

Índice

1. Controles	3
1.1 Control para la aprobación de tipo.....	4
1.2 Control inicial.....	7
1.3 Control periódico	8
1.4 Control intermedio	9
1.5 Controles excepcionales	9
1.5.1 Control excepcional después de un daño o de una reparación de la cisterna	10
1.5.2 Control excepcional después de una reparación o sustitución de los equipos de servicio	11
1.5.3 Control excepcional después de una sustitución de equipos de servicio que requiera la aplicación de calor	11
1.5.4 Control excepcional después de la sustitución o reparación del bastidor o del equipo estructural.....	12
1.5.5 Control excepcional antes y después de una reparación o de una sustitución del revestimiento protector	12
2. Documentos.....	14

Índice de ilustraciones

Figura 1. Tabla resumen de inspecciones para cada control	13
Figura 2. Certificado del control inicial, periódico, intermedio y excepcional	14

1. Controles

La cisterna debe pasar una serie de inspecciones a lo largo de su vida útil para asegurar su correcto funcionamiento. Para estos controles se ha seguido la norma UNE EN 12972, como así nos indica la norma que hemos usado para la construcción de dicho depósito, la UNE EN 14025.

El personal cualificado para la realización de estas inspecciones viene dado por las pautas recogidas en el RID 2017:

- El experto debe ser independiente de las partes involucradas. No puede ser ni el diseñador, ni el fabricante, suministrador, comprador, portador, utilizador ni el demandante de ninguna de las partes.
- El experto no puede participar en ninguna actividad que pueda alterar su integridad o independencia de su criterio en las actividades de control.
- El experto debe disponer de la infraestructura indispensable para acometer sus tareas técnicas y administrativas relacionadas con los controles y comprobaciones.
- El experto debe tener una cualificación apropiada, una formación técnica y profesional sólida y un conocimiento suficiente de los controles a efectuar, así como una experiencia adecuada para estas actividades.
- El experto debe tener conocimientos suficientes de las tecnologías utilizadas para la fabricación de cisternas.
- El experto debe evaluar y comprobar con el más alto nivel de integridad profesional y de competencia técnica.
- La remuneración del experto que controle no debe depender directamente del número de controles efectuados y en ningún caso del resultado de estos controles.
- El experto debe contar con un seguro de responsabilidad adecuado.

Una cisterna que no cumpla uno o varios de los puntos de control debe volverse a probar de acuerdo con los requisitos de estos puntos, una vez que se haya investigado y corregido el fallo. Dependiendo del resultado de los controles, pueden ser necesarios suplementarios.

Cuando se vaya a controlar el interior de las cisternas, éstas deben estar vacías, limpias, y el acceso debe ser seguro en el momento del control.

1.1 Control para la aprobación de tipo

El control para la aprobación de tipo debe realizarse sobre un prototipo de cisterna representativa de una cisterna individual o de una gama de cisternas.

El control inicial para la aprobación de tipo debe llevarse a cabo de acuerdo con los siguientes apartados:

- **Examen de los documentos.** Se deben recoger documentos que proporcionen la siguiente información:
 - Nombre y dirección del solicitante.
 - Descripción del prototipo de la cisterna y de sus características específicas, incluyendo las variantes de diseño previstas.
 - Nombre y dirección del fabricante y del montador de las cisternas.
 - Certificado de la cualificación de los soldadores y de los métodos de soldadura y del sistema de cualificación del soldeo.
 - Descripción del modo de funcionamiento previsto.
 - Indicación de las instrucciones de la cisterna y sus disposiciones especiales.
 - Si se requiere, lista de todas las sustancias o grupos de sustancias que pueden transportarse en la cisterna.
 - Planos esquemáticos de la cisterna con la relación de las dimensiones principales.
 - Planos esquemáticos de los sistemas de tuberías.
 - Hojas de datos con los datos de funcionamiento de la cisterna para los cálculos.
 - Cálculos y, si procede, comprobación mediante ensayos de la cisterna y de los elementos de fijación.
 - Planos necesarios para comprobar la construcción de la cisterna, de sus equipos y de sus elementos de fijación.
 - Planos del marcado.

- Lista de los equipos de servicio y de sus datos técnicos.
 - Adecuación de los equipos de seguridad.
 - Certificados de ensayos de los materiales como lo requiera el código técnico de aplicación.
 - Identificación de los materiales de aportación de las soldaduras.
 - Ensayo de los tipos de los materiales utilizados para el equipo de servicio.
 - Acta de los ensayos realizados sobre chapas de control de ensayo.
 - En el caso de utilización de un revestimiento protector o una capa protectora, los requisitos de fabricación del revestimiento o capa para el control de que se ha aplicado según las especificaciones del fabricante.
 - Acta de los ensayos no destructivos realizados sobre las soldaduras.
 - Certificación de la cualificación del personal para realizar ensayos no destructivos.
 - Si aplica, validación de la técnica de ensayos no destructivos utilizada.
 - Procedimiento y registro de los tratamientos térmicos.
- **Comprobación de las características de diseño.** Esta comprobación debe incluir:
- Examen de las condiciones de fabricación.
 - Comprobación de los tipos de los materiales y de los espesores de pared.
 - Examen de los métodos de fabricación.
 - Comprobación del estado de la cisterna.
 - Comprobación de las dimensiones principales.
 - Ensayos no destructivos de las soldaduras.
 - Ensayos de las chapas de control.
- **Examen del estado interior de la cisterna.** Se debe realizar un examen visual completo para identificar cualquier defecto superficial. Se debe comprobar el espesor de la pared con lo dado en los documentos de aprobación de tipo

mediante las mediciones apropiadas si la cisterna presenta cualquier indicio de reducción del espesor.

- **Comprobación del exterior de la cisterna.** Se debe realizar un examen visual completo para identificar cualquier defecto superficial y de todo signo de fugas tales como humedad, pintura ablandada o manchas. Los defectos superficiales se deben evaluar por el experto, y si es necesario se debe eliminar la pintura. Se debe comprobar el espesor de la pared con lo dado en los documentos de aprobación de tipo mediante las mediciones apropiadas si la cisterna presenta cualquier indicio de reducción del espesor. También se deben comprobar los elementos de fijación de la cisterna y de sus equipos estructurales, el marcado y la puesta a tierra.
- **Prueba de presión hidráulica.** Antes de comenzar la prueba de la cisterna debe secarse y limpiarse por el exterior de forma que se pueda detectar cualquier fuga. Como nuestro depósito está operando a una presión superior a 0,5 bar, cada compartimento de la cisterna se debe ensayar con una presión hidráulica de como mínimo 1,3 veces la presión máxima de servicio. El fluido utilizado generalmente es agua. El depósito debe aguantar la presión unos 15 minutos para considerar la prueba superada.
- **Prueba de vacío.** Al iniciar la prueba, la cisterna debe estar vacía y a la presión atmosférica. Todas las aberturas deben estar cerradas, excepto las de descarga y se debe crear en el interior una presión de 1,5 veces mayor que la presión exterior de cálculo y mantenerla durante 5 minutos. Si no supera la prueba puede ser debido a que hay una fuga, se produce una subida de presión inexplicable en el manómetro o hay una deformación visible y permanente.
- **Prueba de estanqueidad.** Al iniciar la prueba, la cisterna debe estar seca y limpiarse por el exterior de manera que se pueda detectar cualquier fuga. Como el material transportado es líquido, la presión de prueba debe ser igual a la presión máxima de servicio con un mínimo de 0,2 bar. El fluido de prueba debe ser compatible con los materiales de la cisterna y con las mercancías que se han de transportar, usaremos agua en nuestro caso. Se llena hasta el 99% de la capacidad y se mantiene 5 minutos, si la presión de prueba es constante, la prueba se considerará superada.
- **Determinación de la capacidad con agua.** Para determinar la capacidad, se debe llevar a cabo un diseño apropiado, método volumétrico o gravimétrico. En los casos de los métodos volumétrico y gravimétrico, todo error debe ser inferior al 1% del valor de la medición. Si no se indica otra cosa la capacidad de la cisterna debe determinarse a una temperatura de referencia de 20°C. La determinación volumétrica o gravimétrica de la capacidad de la cisterna y, si

procede, de cada compartimento debe realizarse rellenando completamente la cisterna o el compartimento con agua.

- **Comprobación de los equipos de servicio.** Se deben comprobar estos equipos y el marcado según los requisitos de los reglamentos aplicables. También su adecuación a las condiciones de funcionamiento de la cisterna.

En caso de modificación de la cisterna, se debe realizar una nueva evaluación de los puntos aplicables del control inicial para la aprobación de tipo.

1.2 Control inicial

El control inicial debe llevarse a cabo de acuerdo con los siguientes apartados:

- **Examen de los documentos.** En el control inicial, los documentos deben aportar la información siguiente:
 - Solicitud del control inicial.
 - Certificado de la aprobación de tipo.
 - Informaciones detalladas en la solicitud de aprobación de tipo.
 - Certificado de la cualificación de los soldadores y de los métodos de soldadura y del sistema de cualificación de soldeo.
 - Certificados de ensayos de los materiales como lo requiera el código técnico de aplicación para los materiales base utilizados en la cisterna y equipo estructural que acrediten los alores de las propiedades de los materiales.
 - Identificación de los materiales de aportación de las soldaduras.
 - Ensayo de los tipos de materiales utilizados para el equipo de servicio.
 - Acta de los ensayos realizados sobre chapas de control de ensayo.
 - Acta de los ensayos no destructivos de las soldaduras.
 - Certificado de cualificación del personal que realiza los ensayos no destructivos.
 - Procedimientos y registro de los tratamientos térmicos.
 - Cálculo de la capacidad de agua.

- **Comprobación de las características de diseño.**
- **Examen del estado interior de la cisterna.**
- **Comprobación del exterior de la cisterna.**
- **Prueba de presión hidráulica.**
- **Prueba de estanqueidad.**
- **Determinación de la capacidad con agua.**
- **Comprobación de los equipos de servicio.**

1.3 Control periódico

Según RID 2017, las cisternas y sus equipos deben someterse a estos controles como máximo cada ocho años. Debe llevarse a cabo de acuerdo con los siguientes apartados:

- **Examen de los documentos.** Para un control periódico se deben facilitar los documentos siguientes:
 - Certificado del control inicial si la cisterna no ha sido objeto de un control periódico.
 - Certificado del último control periódico.
 - Certificado del control intermedio si se ha realizado después del control periódico anterior o después del control inicial si no ha habido ningún control periódico.
 - Uno o varios de los documentos del control para la aprobación de tipo, si así se demanda.
- **Examen del estado interior de la cisterna.**
- **Comprobación del exterior de la cisterna.**
- **Prueba de presión hidráulica.**
- **Prueba de estanqueidad.**

- **Comprobación de los equipos de servicio.**

1.4 Control intermedio

Según RID 2017, las cisternas y sus equipos deben someterse a controles intermedios al menos cada cuatro años después del control inicial y de cada control periódico. Estos controles intermedios se pueden llevar a cabo en el plazo de tres meses, antes o después de la fecha especificada.

Sin embargo, el control intermedio se puede llevar a cabo en cualquier momento antes de la fecha especificada.

Si se lleva a cabo un control intermedio más de tres meses antes de la fecha prevista, se realizará otro control intermedio como muy tarde cuatro años después de dicha fecha.

Este control debe llevarse a cabo de acuerdo con los siguientes apartados:

- **Examen de los documentos.** Para un control intermedio se deben facilitar los siguientes documentos:
 - Certificado del control inicial si la cisterna no ha sido objeto de un control periódico.
 - Certificado del último control periódico.
 - Uno o varios de los documentos del control para la aprobación de tipo, si así se demanda.
- **Examen del estado interior de la cisterna.**
- **Comprobación del exterior de la cisterna.**
- **Prueba de estanqueidad.**
- **Comprobación de los equipos de servicio.**

1.5 Controles excepcionales

Para estos controles, se deben facilitar la siguiente información en los documentos presentados:

- Copia del certificado de aprobación de tipo.
- Las informaciones contenidas en la solicitud de aprobación de tipo.
- Nombre y dirección del taller en el que se ha realizado la modificación o reparación del depósito.
- Certificado de la cualificación de los soldadores y de los métodos de soldadura y del sistema de cualificación de soldeo.
- Procedimientos y registro de los tratamientos térmicos.
- Prueba de que las propiedades de los materiales utilizados para la modificación o reparación del depósito son, al menos, equivalentes a las de los materiales utilizados originariamente para su fabricación.
- Acta de los ensayos no destructivos realizados.
- Actas de los ensayos realizados sobre chapas de control de ensayos.
- Esquemas de los sistemas de tuberías si fuesen necesarios para la reparación de los equipos de servicio.
- Esquemas de los sistemas de tuberías, cuando éstas se modifiquen
- Descripción de los trabajos realizados.

1.5.1 Control excepcional después de un daño o de una reparación de la cisterna

Este control excepcional debe llevarse a cabo de acuerdo con los siguientes apartados correspondientes en la medida que sea aplicable:

- **Examen de los documentos.**
- **Comprobación de las características de diseño.**
- **Examen del estado interior de la cisterna.**
- **Comprobación del exterior de la cisterna.**
- **Prueba de presión hidráulica.**

- **Prueba de estanqueidad.**
- **Comprobación de los equipos de servicio.**

1.5.2 Control excepcional después de una reparación o sustitución de los equipos de servicio

Este control excepcional debe llevarse a cabo de acuerdo con los siguientes apartados correspondientes en la medida que sea aplicable:

- **Examen de los documentos.**
- **Comprobación de las características de diseño.**
- **Prueba de estanqueidad.**
- **Comprobación de los equipos de servicio.**

1.5.3 Control excepcional después de una sustitución de equipos de servicio que requiera la aplicación de calor

Este control excepcional debe llevarse a cabo de acuerdo con los siguientes apartados correspondientes en la medida que sea aplicable:

- **Examen de los documentos.**
- **Comprobación de las características de diseño.**
- **Examen del estado interior de la cisterna.**
- **Comprobación del exterior de la cisterna.**
- **Prueba de presión hidráulica.**
- **Prueba de estanqueidad.**
- **Comprobación de los equipos de servicio.**

1.5.4 Control excepcional después de la sustitución o reparación del bastidor o del equipo estructural

Este control excepcional debe llevarse a cabo de acuerdo con los siguientes apartados correspondientes en la medida que sea aplicable:

- **Examen de los documentos.**
- **Comprobación de las características de diseño.**

1.5.5 Control excepcional antes y después de una reparación o de una sustitución del revestimiento protector

Este control excepcional debe llevarse a cabo de acuerdo con los siguientes apartados correspondientes en la medida que sea aplicable:

- **Examen de los documentos.**
- **Comprobación de las características de diseño.**
- **Examen del estado interior de la cisterna.**
- **Prueba de presión hidráulica.**
- **Prueba de estanqueidad.**

Esta sería una tabla que resume todas las inspecciones que debe pasar cada tipo de control:

Tipo de control Apartado	Control para la aprobación de tipo	Control inicial	Control periódico	Control intermedio	Control excepcional							
					Después de daño o reparación de la cisterna	Después del cambio o reparación de los equipos de servicio	Después del cambio de los equipos de servicio por medios que requieran la aplicación de calor	Después de la modificación de la cisterna	Después del cambio o reparación del bastidor o del equipo estructural	Antes y después de una reparación y del cambio del recubrimiento o protector o capa protectora	Autorización para modificar la aprobación de tipo	
Examen de los documentos (5.2)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Comprobación de las características de diseño (5.3)	X	X	-	-	X	X	X	X	X	-	-	X
Examen del estado interior de la cisterna (5.4)	X	X	X	X ^b	X	-	-	X	-	X	-	X
Comprobación del exterior de la cisterna (5.5)	X	X	X	X	X	-	-	X	-	-	-	X
Prueba de presión hidráulica (5.6)	X	X	X	-	X	-	X	X	X	X	-	X
Prueba de vacío (5.7)	X	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X
Prueba de estanquidad (5.8)	X ^a	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	X
Determinación de la capacidad de agua (5.9)	X	X	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X

Tipo de control Apartado	Control para la aprobación de tipo	Control inicial	Control periódico	Control intermedio	Control excepcional							
					Después de daño o reparación de la cisterna	Después del cambio o reparación de los equipos de servicio	Después del cambio de los equipos de servicio por medios que requieran la aplicación de calor	Después de la modificación de la cisterna	Después del cambio o reparación del bastidor o del equipo estructural	Antes y después de una reparación y del cambio del recubrimiento o protector o capa protectora	Autorización para modificar la aprobación de tipo	
Comprobación del equipo de servicio (5.10)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	X
Comprobación del bastidor (5.11)	X	X	X	X ^b	X	-	-	-	X	-	-	X
Ensayo dinámico de resistencia a los impactos longitudinales	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
Informe de ensayos, certificación y marcado (5.13)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

^a Sólo para los equipos de servicio.
^b Si lo exige la reglamentación.

Figura 1. Tabla resumen de inspecciones para cada control

2. Documentos

Este sería el informe que se debe rellenar en cada control para mostrar el tipo de resultado que tiene la inspección sobre la cisterna.

Nombre del organismo de control y dirección		Firma de la organización de inspección								
Número del informe de la prueba: _____	Número de aprobación de tipo _____									
Solicitante o usuario: _____	Nombre del fabricante _____									
Calle: _____	País _____									
Código postal: _____	Número de serie del fabricante _____									
Ciudad: _____	Año de fabricación _____									
País: _____	Fecha y tipo del último control _____									
	Número de identificación del propietario o del operador de la cisterna _____									
Tipo de cisterna IMO/instrucción de la cisterna/código de la cisterna _____										
Espesor nominal de la pared del depósito requerido: _____ mm, real medido: _____ mm										
Espesor nominal de la pared de los extremos requerido: _____ mm, real medido: _____ mm										
Espesor nominal de la pared de los tabiques requerido: _____ mm, real medido: _____ mm										
Presión de prueba: _____ bar										
Presión de servicio máxima autorizada: _____ bar, presión de diseño exterior _____ bar										
Presión de diseño (mín.): _____ bar, máximo _____ bar										
Compartimento	1	2	3	4	5	6	7	8	Total	
Capacidad en litros										
Examen de los documentos				<input type="radio"/>	Prueba de estanquidad en la cisterna o sobre los equipos				<input type="radio"/>	
comprobación de las características del diseño				<input type="radio"/>	Prueba de vacío				<input type="radio"/>	
Examen del estado interior de la cisterna				<input type="radio"/>	Determinación de la capacidad de agua				<input type="radio"/>	
Comprobación exterior de la cisterna				<input type="radio"/>	Comprobación del bastidor y de otros elementos de la estructura de cisternas portátiles				<input type="radio"/>	
Prueba de presión hidráulica				<input type="radio"/>					<input type="radio"/>	
Comprobación de los equipos de servicio				<input type="radio"/>					<input type="radio"/>	
Válvula de seguridad regulada a _____ bar de presión relativa				Válvula de vacío regulada a _____ bar de presión relativa						
Otros controles y pruebas										
Notas o defectos significativos que pueden comprometer la seguridad de la cisterna o el equipo:										
Requisitos suplementarios para la aprobación de tipo:										
Control inicial:	<input type="radio"/>	Conforme	<input type="radio"/>	No conforme	<input type="radio"/>	ADR				<input type="radio"/>
Control periódico:	<input type="radio"/>	Conforme	<input type="radio"/>	No conforme	<input type="radio"/>	RID				<input type="radio"/>
control intermedio:	<input type="radio"/>	Conforme	<input type="radio"/>	No conforme	<input type="radio"/>	Código IMDG				<input type="radio"/>
Control excepcional:	<input type="radio"/>	Conforme	<input type="radio"/>	No conforme	<input type="radio"/>	Otros				<input type="radio"/>
Próximo control regular _____				Lugar y fecha del control						
Control periódico <input type="radio"/>				Firma y sello						
Control intermedio <input type="radio"/>										
Controles llevados a cabo según la Norma EN 12972:2015										
Notas										

Figura 2. Certificado del control inicial, periódico, intermedio y excepcional



Universidad
Politécnica
de Cartagena

DOCUMENTO V

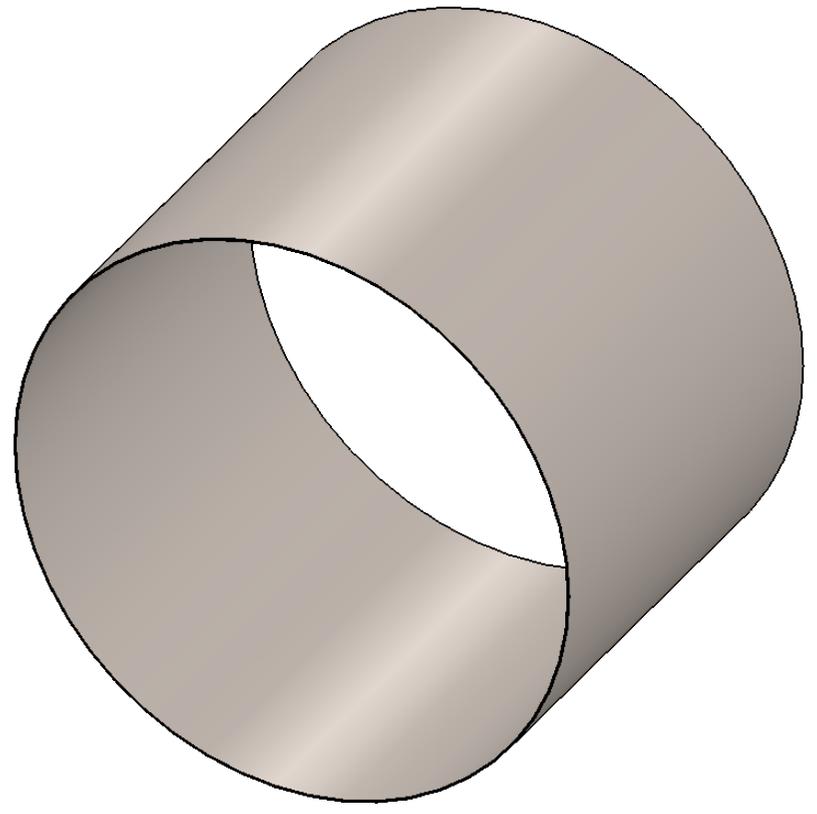
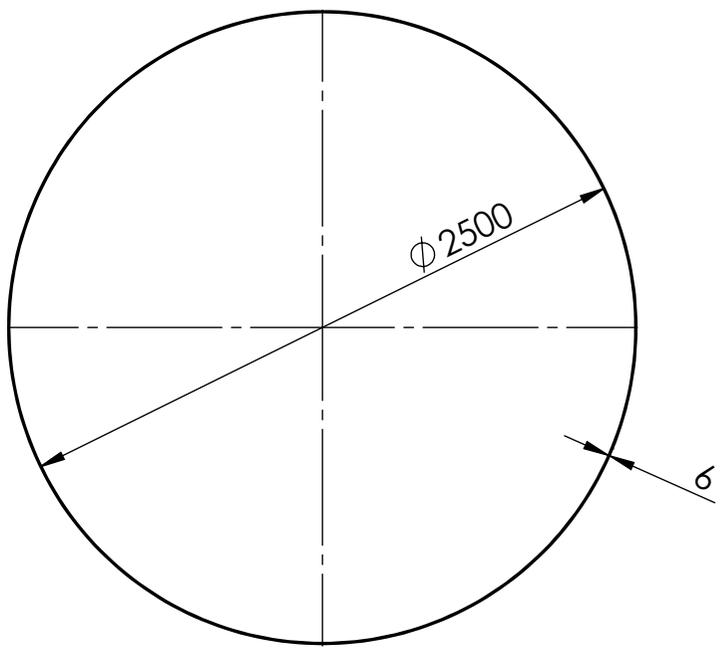
PLANOS

Alberto Navarro Melero

Grado en Ingeniería Mecánica

Director: Isidoro J. Martínez Mateo

6 5 4 3 2 1



D

C

B

A

D

C

B

A

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE CARTAGENA**



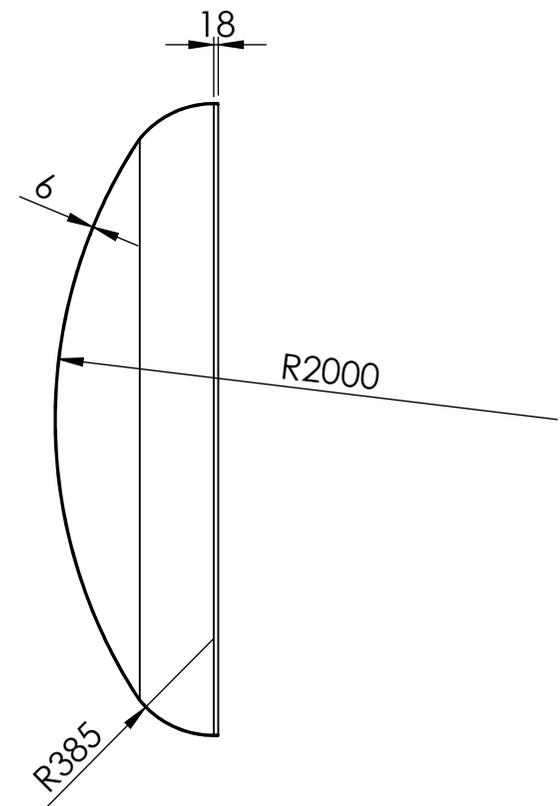
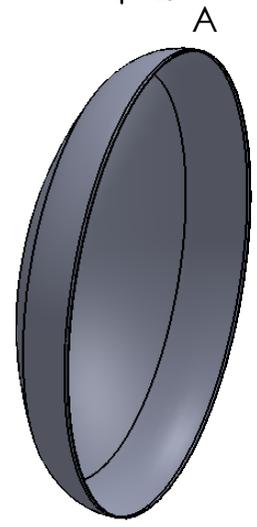
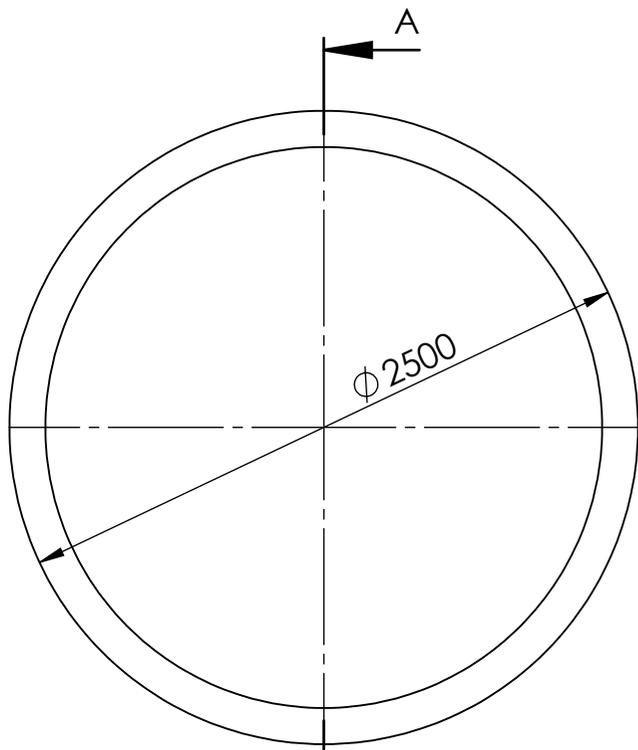
Título: Virola

PLANO 1

Nombre: Alberto Navarro Melero

JUNIO 2019

6 5 4 3 2 1



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA		
Título:	Fondo Korbogen	PLANO 2
Nombre:	Alberto Navarro Melero	JUNIO 2019

6 5 4 3 2 1

D

D

C

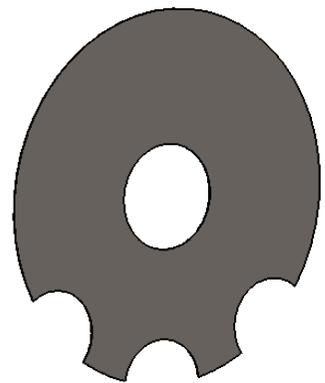
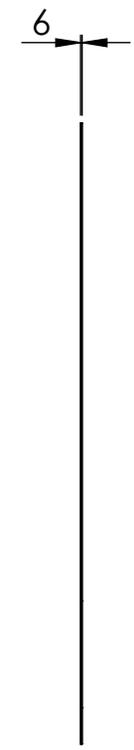
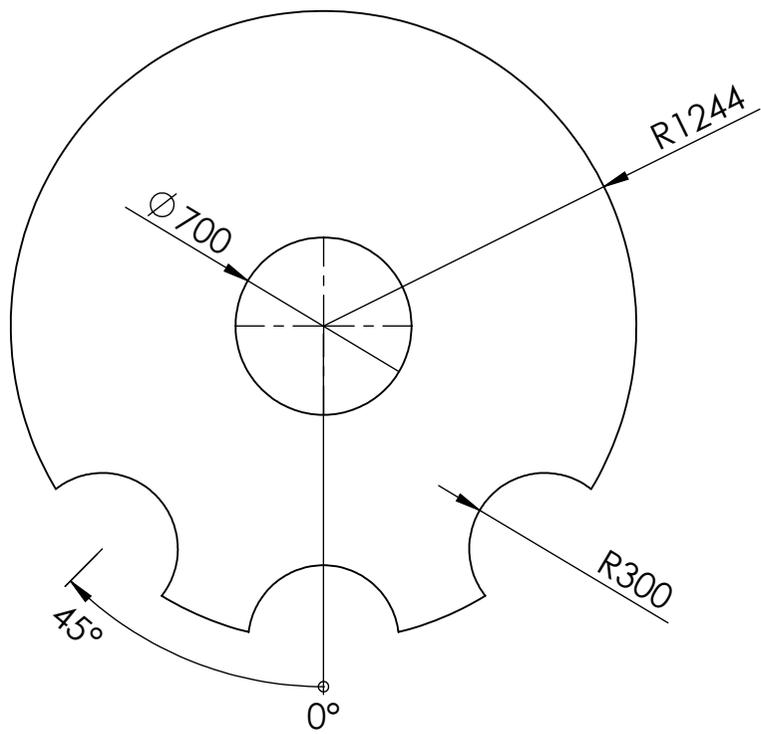
C

B

B

A

A



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA		
Título:	Rompeolas	PLANO 3
Nombre:	Alberto Navarro Melero	JUNIO 2019

6 5 4 3 2 1

6

5

4

3

2

1

D

D

C

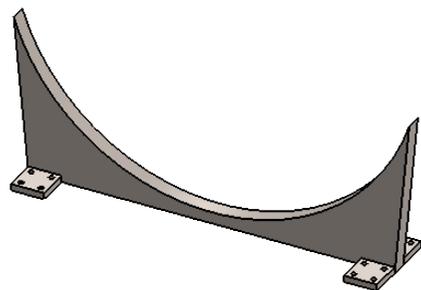
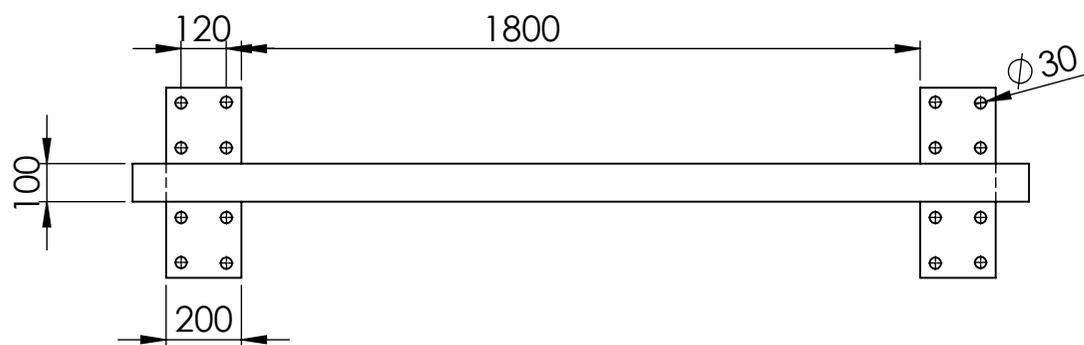
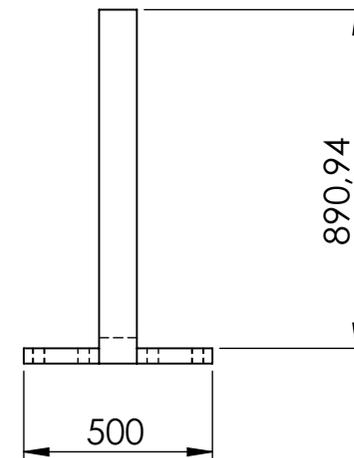
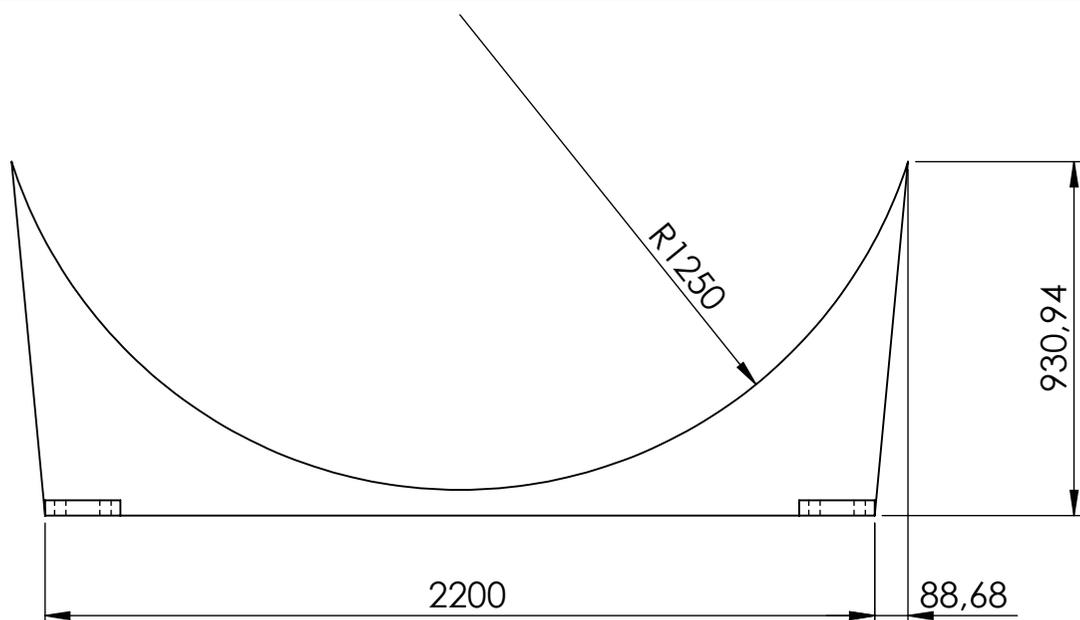
C

B

B

A

A



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE CARTAGENA**



Título: Placa de anclaje

PLANO 4

Nombre: Alberto Navarro Melero

JUNIO 2019

6

5

4

3

2

1

6

5

4

3

2

1

D

D

C

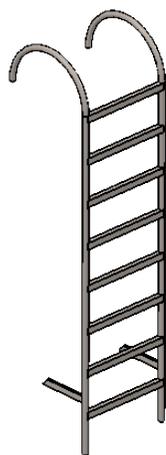
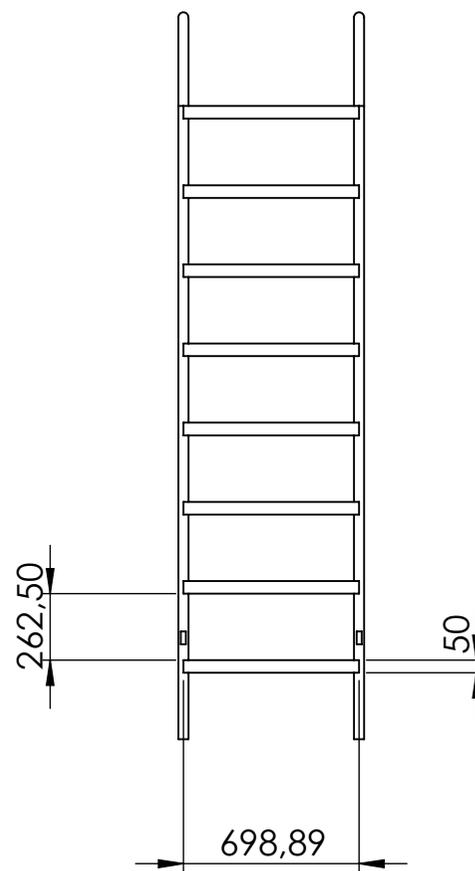
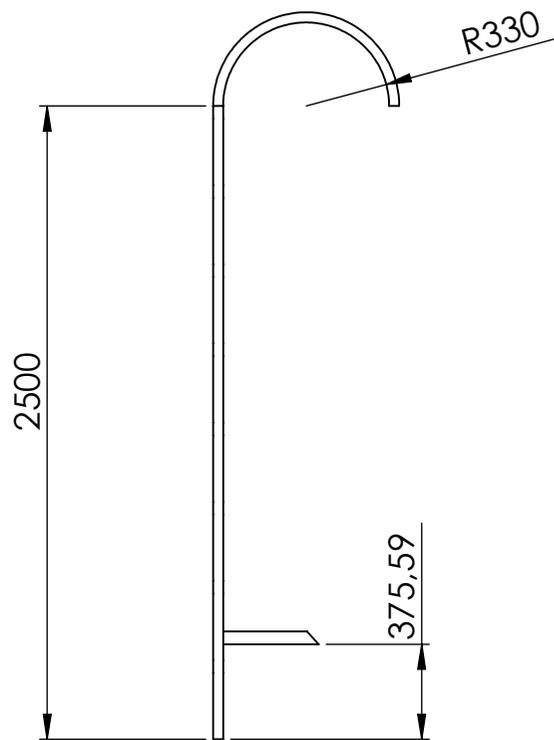
C

B

B

A

A



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE CARTAGENA**



Título: Escalera

PLANO 5

Nombre: Alberto Navarro Melero

JUNIO 2019

6

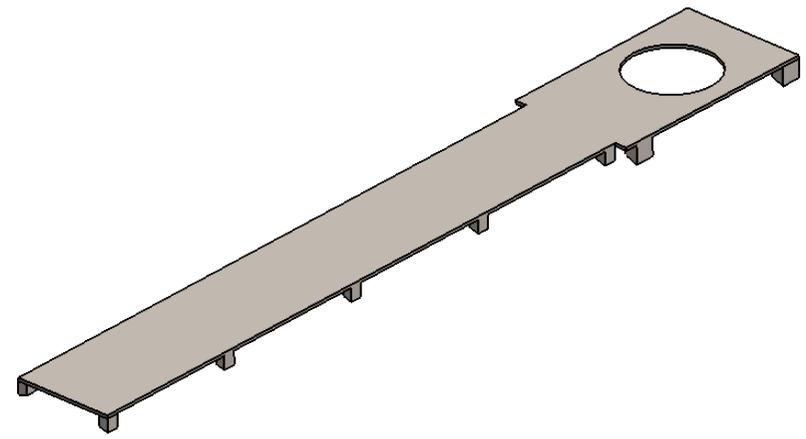
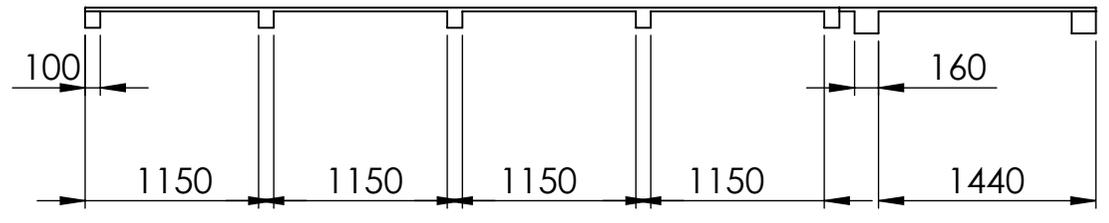
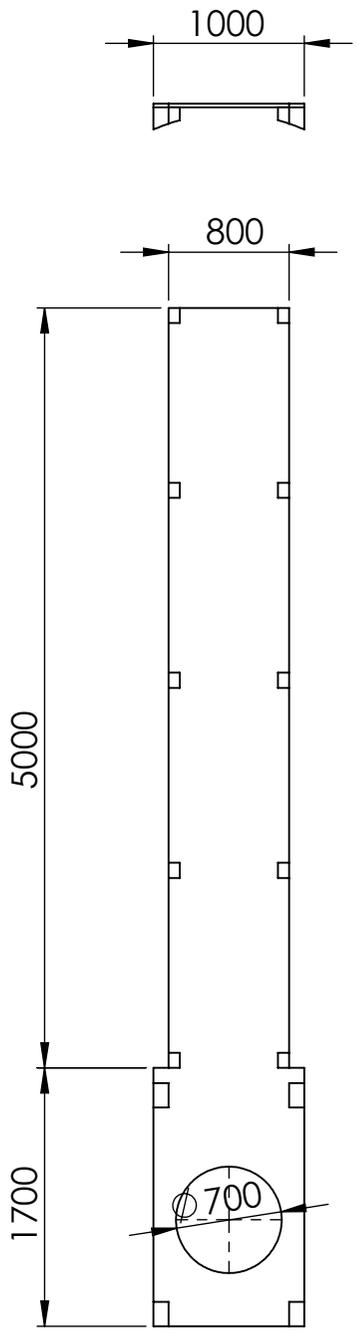
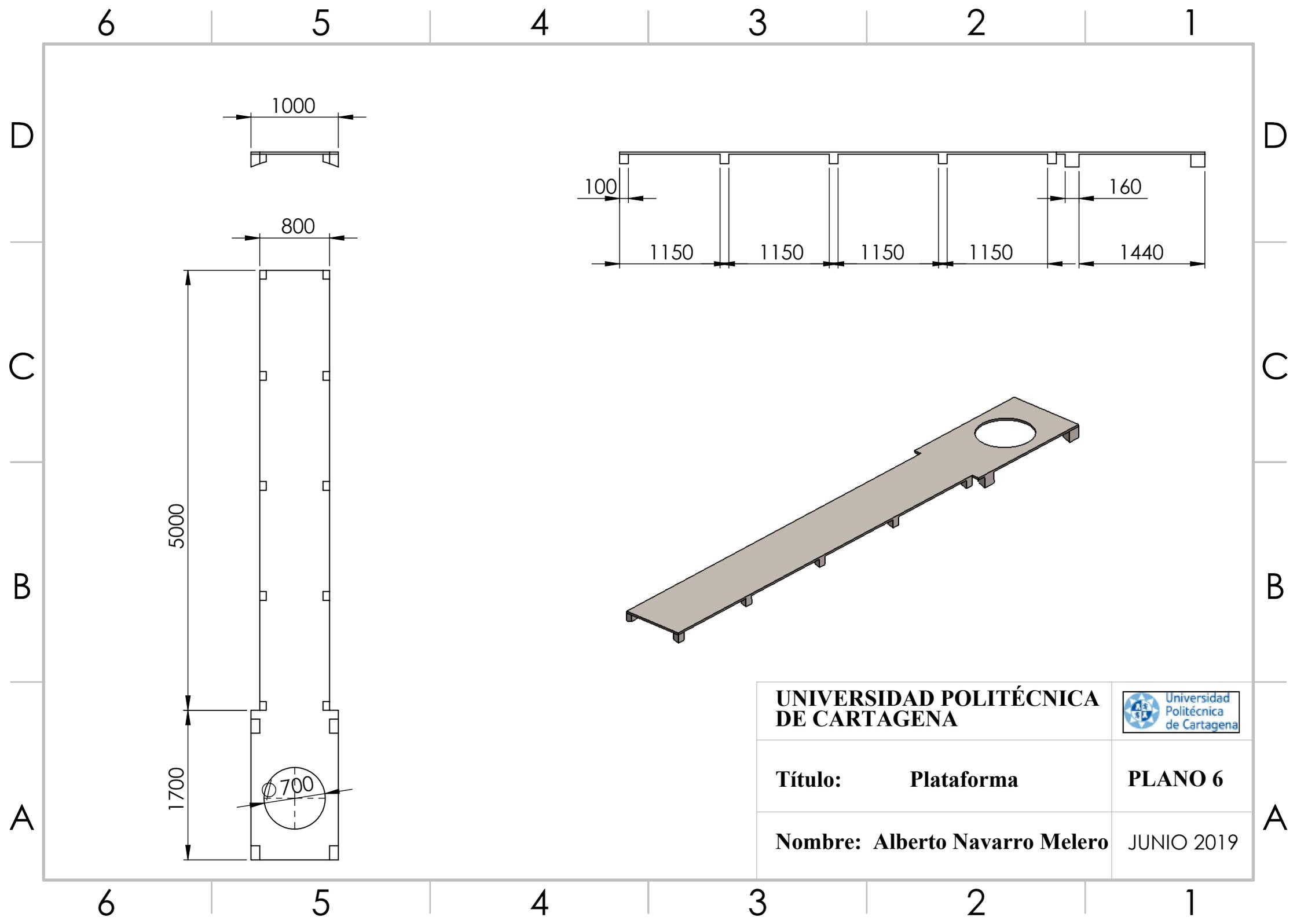
5

4

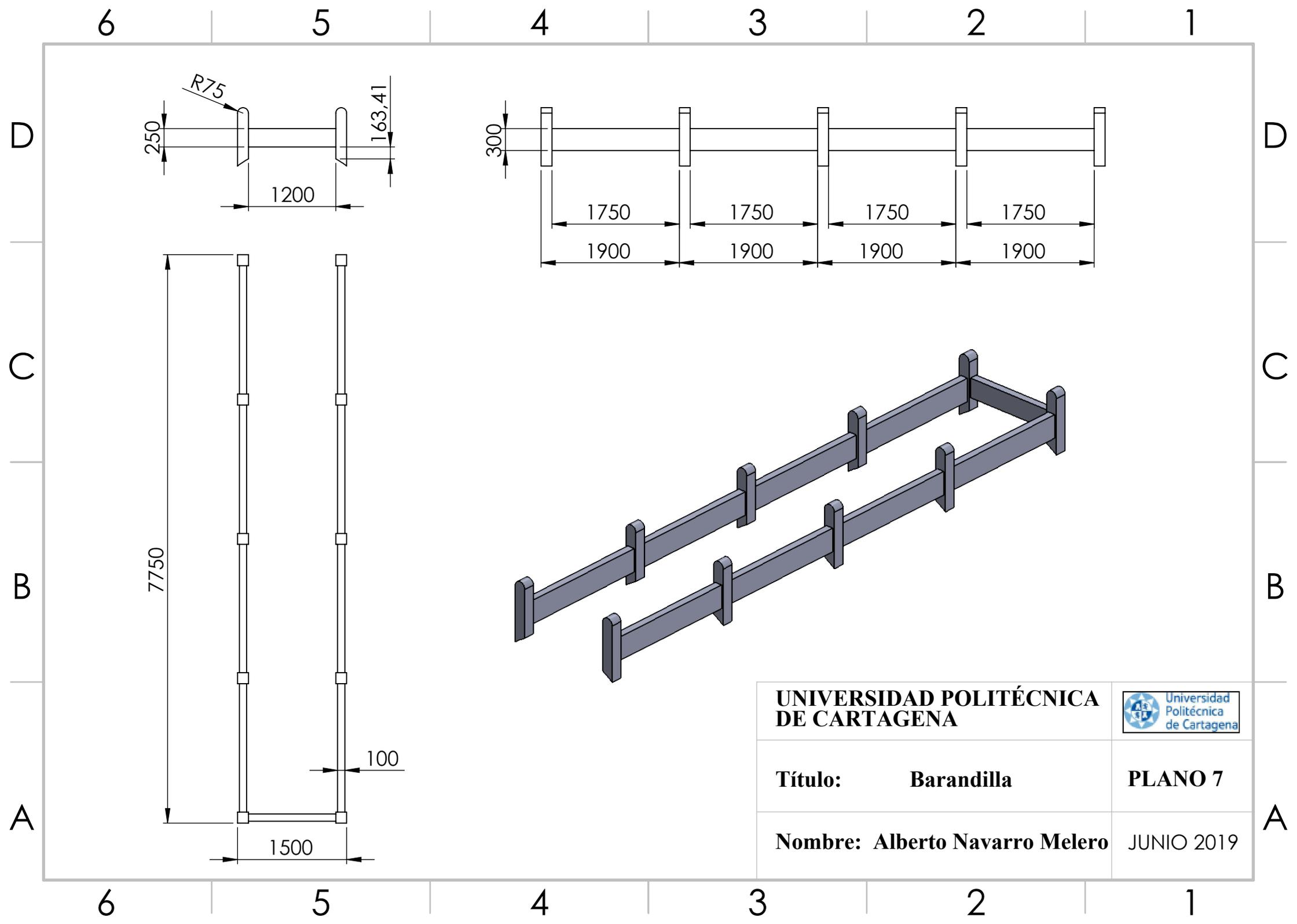
3

2

1



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA		
Título:	Plataforma	PLANO 6
Nombre:	Alberto Navarro Melero	JUNIO 2019



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Título: Barandilla

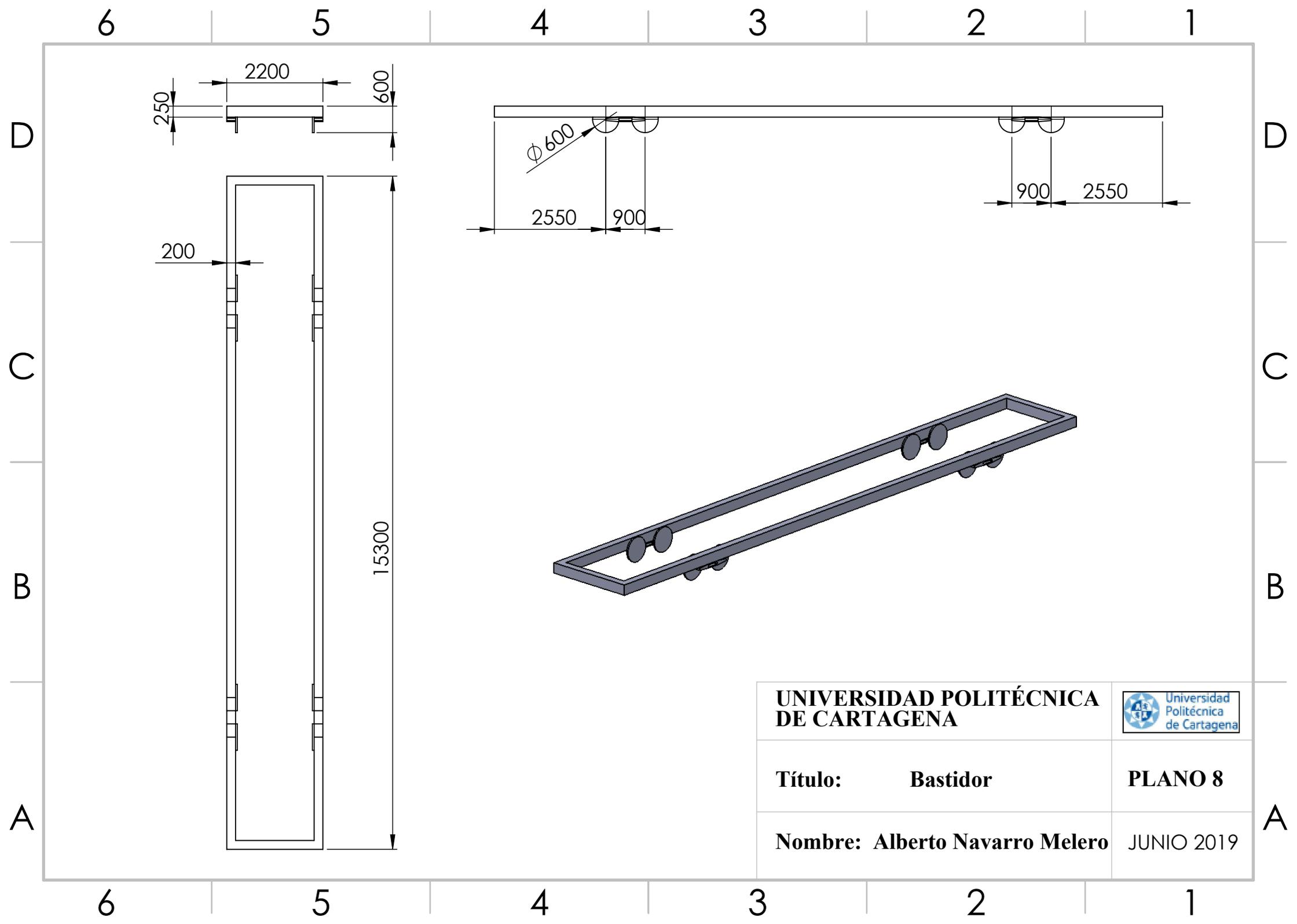
Nombre: Alberto Navarro Melero



Universidad Politécnica de Cartagena

PLANO 7

JUNIO 2019



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE CARTAGENA**

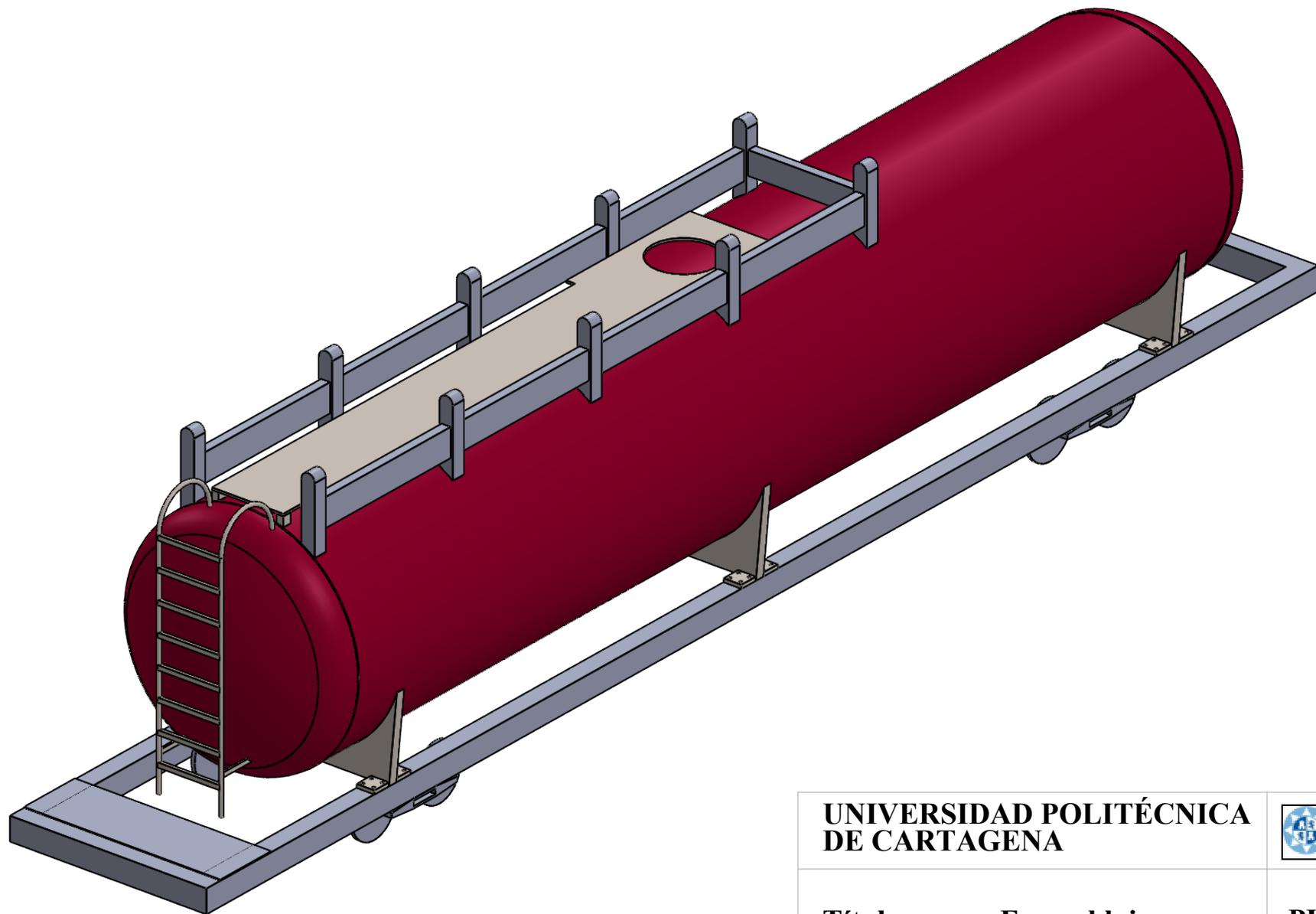


Título: Bastidor

PLANO 8

Nombre: Alberto Navarro Melero

JUNIO 2019



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE CARTAGENA**



Título: Ensamblaje

PLANO 9

Nombre: Alberto Navarro Melero

JUNIO 2019