



Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Optimización del diseño, cálculos y procesos para la fabricación de un vagón cisterna destinado al transporte de PROPANO de acuerdo con la directiva europea para el transporte internacional de mercancías peligrosas a través de ferrocarril (RID 2019)

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA DE LAS TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

Autor: Lope Martínez Jiménez

Director: Isidoro J. Martínez Mateo

Cartagena, Noviembre 2020



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Universidad
Politécnica
de Cartagena

DOCUMENTO 1.
MEMORIA

INDICE

1. Objetivo del trabajo.....	4
2. Definiciones.....	4
3. Producto a transportar: Propano.....	5
3.1. Usos del propano.....	6
3.2. Propiedades del propano.....	7
3.2.1. Propiedades físicas y químicas.....	7
3.2.2. Otras propiedades.....	7
3.3. Peligros del propano.....	8
3.3.1. Elementos a incluir en la etiqueta.....	8
3.3.2. NFPA 704 del propano.....	9
3.3.3. Descripción de los primeros auxilios.....	11
3.3.4. Principales síntomas y efectos, agudos y retardados.....	11
3.3.5. Medidas contra incendios.....	12
3.3.6. Medidas en caso de vertido accidental.....	13
3.3.7. Medidas para la manipulación y almacenamiento.....	13
3.4. Equipos de protección.....	14
3.4.1. Protección para el ojo/cara.....	14
3.4.2. Protección para la piel.....	15
3.4.3. Protección de las vías respiratorias.....	16
3.5. Código RID del propano.....	17
3.6. Presión del propano durante su transporte.....	18
4. Identificaciones de la Cisterna.....	19
4.1. Marcado.....	19
4.2. Etiquetado.....	21
4.2.1. Placas-Etiquetas.....	21
4.2.2. Panel naranja.....	22
4.3. Código de la cisterna.....	23
5. Material de la cisterna.....	23
5.1. Elección del material.....	24
5.2. Características del acero P355 NH.....	24
6. Tamaño y forma de la cisterna.....	26
6.1. Grado de llenado.....	26
6.2. Espesor de las virolas.....	27
6.3. Medidas de los fondos.....	29
6.4. Volumen de la cisterna.....	33
6.5. Cantidad de producto transportado.....	35

7.	Elementos de la cisterna.....	36
7.1.	Rompeolas.	36
7.2.	Boca de hombre.	36
7.2.1.	Bridas.	37
7.3.	Válvulas de fondo.	37
7.4.	Válvulas de presurización y descarga.....	38
7.5.	Tubería de retorno de vapor.	39
7.6.	Toma de tierra.	39
7.7.	Escaleras.....	39
7.8.	Plataformas.	40
7.9.	Pasarelas.....	40
8.	Proceso de fabricación.	41
8.1.	Fabricación del cuerpo de la cisterna.....	41
8.1.1.	Fabricación de las virolas.	41
8.1.2.	Fabricación de los fondos.....	42
8.1.3.	Fabricación de los rompeolas.	43
8.1.4.	Acabado final del cuerpo de la cisterna.	43
8.2.	Soldaduras.	44
8.2.1.	Tipos de soldaduras.	46
8.3.	Ensayos no destructivos para las soldaduras.	47
8.3.1.	Ensayo visual.	48
8.3.2.	Ensayo ultrasonido.	50
8.3.3.	Ensayo radiográfico.	52

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Botella de propano para uso doméstico.....	6
Figura 2.	Molécula del propano.....	7
Figura 3.	Pictogramas del propano: GHS02- GHS04.....	8
Figura 4.	Cuadro NAF.....	10
Figura 5.	Cuadro NAF del propano.	10
Figura 6.	Gafas protectoras.	15
Figura 7.	Traje con materiales que frenan las llamas.	16
Figura 8.	Filtro AX (marrón).	17
Figura 9.	Placa de identificación.	20
Figura 10.	Ejemplo de lugar para la placa de identificación.....	20
Figura 11.	Etiqueta de clase 2 inflamable.	21

Figura 12. Etiqueta de peligro para el medio ambiente.	22
Figura 13. Panel naranja del fenol fundido.	22
Figura 14. Placa de acero P355 NH.	24
Figura 15. Fondos Korbogen.	30
Figura 16. Medidas fondo korbogen.	34
Figura 17. Rompeolas en una cisterna.	36
Figura 18. Maquina curvadora de chapas.	42
Figura 19. Tipo de conformación en frío para los fondos.	43
Figura 20. Soldadura para cerramiento de una misma virola.	46
Figura 21. Soldadura virola-virola y virola-fondo.	46
Figura 22. Soldadura rompeolas-virola.	47
Figura 23. Tabla 2 de la norma UNE EN 17635.	47
Figura 24. Tabla 3 de la norma UNE EN 17635.	48
Figura 25. Pasos necesarios para el desarrollo de un procedimiento escrito de un ensayo de ultrasonidos.	52

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla A del RID, del propano.	18
Tabla 2. Condiciones de presión para el transporte de propano.	18
Tabla 3. Tabla de RID 2019 para clasificación de cisternas.	23
Tabla 4. Composición del P355 NH.	25
Tabla 5. Propiedades del P355 NH.	25
Tabla 6. Límites de espesor.	29
Tabla 7. Límites de espesores para los fondos.	33
Tabla 8. Características de las bridas.	37

1. Objetivo del trabajo.

El objetivo del proyecto se basa en optimizar el diseño, cálculo de las características, el proceso de fabricación y elaboración de un presupuesto de un vagón de ferrocarril para el transporte de propano licuado, siguiendo la normativa RID 2019 (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.

2. Definiciones.

- **Cisterna:** Deposito para el almacenamiento o transporte almacenado de fluidos (líquidos o gases).
- **Propano:** Hidrocarburo gaseoso derivado del petróleo, con tres átomos de carbono y ocho de hidrógeno, con enlaces simples. Que tiene usos domésticos e industriales.
- **Gas licuado:** Sustancia que en condiciones ambientales la encontramos en estado gaseoso, que disminuyendo la temperatura y/o aumentando la presión, cambiamos al estado líquido.
- **Refinerías:** Fábrica o instalación donde se refina (hacer más puro un producto) un producto. Nos referimos a refinerías que tienen el petróleo como el producto.
- **Combustible:** Material que puede arder y del que obtenemos energía calorífica.
- **Alcano:** Hidrocarburos (compuestos con solo átomos de carbono e hidrogeno) con solo enlaces simples entre sus átomos.
- **Hollín:** Partículas sólidas residuales formadas tras un proceso de combustión.
- **Inflamable:** Que arde con facilidad.
- **Pictograma:** Signo de la escritura de figuras o símbolos.
- **Fuentes de ignición:** Fuente de energía que provoca la combustión de un combustible. Como por ejemplo una chispa o llama.
- **Reactividad:** Capacidad que tiene una sustancia de provocar una reacción.
- **Inhalación:** Aspiración (introducción en los pulmones) de sustancias gaseosas.
- **Ingestión:** Introducción por la boca de sustancias.
- **Electricidad estática:** Electricidad que se manifiesta en un cuerpo cuando existe en él cargas eléctricas en reposo.
- **Filtros de gas:** Filtros que solo dejan pasar sustancias gaseosas.

- **Temperatura de fusión:** Temperatura a la que una sustancia pasa de estado sólido a líquido y viceversa.
- **Límite de elasticidad:** Es la tensión máxima que un material puede soportar sin sufrir deformaciones permanentes.
- **Resistencia a la tracción:** Máximo esfuerzo de tracción que un material puede soportar sin romperse.
- **Fondos Korboggen:** Tipo de fondos para cisternas elipsoidales con dos radios de curvatura.
- **Resistencia última:** Última tensión que soporta un material antes de su ruptura.
- **Acero austenítico:** Aceros formados a partir de hierro gamma, en la que el hierro tiene una estructura cúbica centrada en las caras.
- **Rompeolas:** Paredes con huecos que se ponen dentro de depósitos para permitir el paso del fluido interior solo parcialmente, con el fin de disminuir la fuerza que este ejerce en el caso del movimiento del fluido.
- **Boca de hombre:** Hueco de un depósito que permite la entrada de un operario para su inspección.
- **Bridas:** Reborde o placa circular plana en el extremo de los tubos metálicos para acopar unos a otros con tornillos o roblones.
- **Válvulas de presurización:** Válvulas que permiten el paso o no del fluido con el fin de controlar unos límites de presión interior.
- **Válvulas de descarga:** Válvulas que permite el paso o no del fluido, con el fin de permitir el vaciado del depósito cuando sea necesario.
- **Conformación en frío:** Tratamiento de un material, con el fin de cambiar su forma hasta conseguir la deseada, con una temperatura por debajo de la recristalización.
- **Cordón de soldadura:** Depósito continuo de metal de soldadura formado sobre la superficie del metal base.

3. Producto a transportar: Propano.

La cisterna que vamos a diseñar va a estar enfocada al transporte de propano licuado. El propano es un hidrocarburo, podemos encontrarlo como gas licuado en el petróleo y en el gas natural. El principal método para su obtención es el procesamiento de petróleo en crudo en las refinerías. El propano junto con el butano son fuentes de energías más baratas y eficientes que la electricidad o el gasoil, lo que hace que lo usemos para distintas actividades.

3.1. Usos del propano.

Al ser una fuente de energía barata sus usos principales tienen que ver con esta característica, por lo que se utiliza para calefacción en distintos espacios:

- Viviendas.
- Oficinas.
- Industrias.
- Consumo de agua caliente.
- Cocinas.
- Combustible interno en turbinas de gas para generación de energía eléctrica.

Además de la calefacción (su uso principal) también es utilizado para las siguientes actividades:

- Aires acondicionados
- En la síntesis del propeno (Industria química)
- Gas refrigerante (R290)
- Gas propulsor en aerosoles

El propano es un combustible muy usado en las viviendas, sin embargo, también tiene diferentes usos industriales.



Figura 1. Botella de propano para uso doméstico.

3.2. Propiedades del propano.

El propano pertenece a los Alcanos, hidrocarburos alifáticos con enlaces simples.

3.2.1. Propiedades físicas y químicas.

- Nombre comercial: Propano
- Fórmula: C_3H_8
- Peso molecular: 44 g/mol
- Estado físico a 15 °C: Gaseoso
- Densidad: 1,83 Kg/m³
- Color: Incoloro
- Olor: Olor muy fuerte, parecido al de los disolventes
- Punto de fusión (°C): -187,65 °C
- Punto de ebullición (°C): -42,1 °C
- Presión de vapor a 15 °C: 735.499 Pa
- Temperatura crítica: 94 °C
- Poder calorífico: 22.000 Kcal/m³

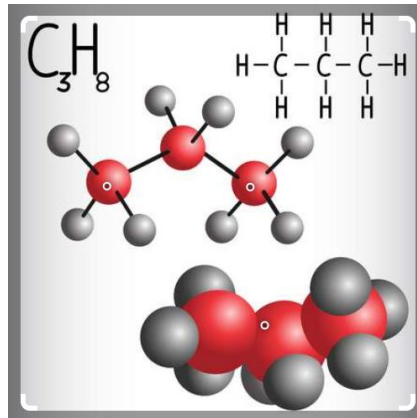


Figura 2. Molécula del propano.

3.2.2. Otras propiedades.

- Puede ser explosivo si se mezcla con aire.
- Quema con una llama amarillenta, liberando hollín.
- Es poco corrosivo.

- Es un gas asfixiante.

3.3. Peligros del propano.

El propano es un gas inflamable, el principal peligro para la salud es la asfixia producida por escapes del gas. Además del peligro de incendio si interactúa con calor llamas o chispas.

3.3.1. Elementos a incluir en la etiqueta.

3.3.1.1. Pictogramas.

Deberemos de colocar los pictogramas adecuados en la cisterna, para indicar los peligros del contenido de esta, en nuestro caso del propano, al que le corresponden los siguientes pictogramas.



Figura 3. Pictogramas del propano: GHS02- GHS04.

- GHS02: Materias inflamables.
- GHS04: Gas bajo presión.

3.3.1.2. Indicadores de peligro.

- H220: Gas extremadamente inflamable.
- H280: Contiene gas a presión: peligro de explosión en caso de calentamiento.

3.3.1.3. Consejos de prudencia.

- P102: Mantener fuera del alcance de los niños.
- P210: Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y cualquier otra fuente de ignición. No fumar.
- P377: Fuga de gas en llamas: No apagar, salvo si la fuga puede detenerse sin peligro.
- P381: En caso de fuga, eliminar todas las fuentes de ignición.
- P410: Proteger de la luz del sol.
- P403: Almacenar en un lugar bien ventilado.

3.3.2. NFPA 704 del propano.

La NFPA (National Fire Protection Association), Es una organización voluntaria de carácter internacional que promueve medidas tanto de prevención como de protección contra incendios, es famosa por sus símbolos, en los que se recomiendan las medidas a tener en cuenta para el trato de los distintos materiales, estas medidas han sido recomendadas por expertos en la lucha contra incendios.

La norma NFPA 704 explica mediante un código el “diamante del fuego”, un símbolo que identifica y clasifica los tipos de peligros de cada material. Para hacer un uso responsable de este diamante o rombo, implica que el personal de la industria debe saber tanto los criterios de clasificación de cada material como el significado de cada número sobre cada color.

La norma NFPA 704 nos indica los distintos grados de peligro de la sustancia clasificado a partir de un rombo con cuatro zonas diferenciadas por colores, cada color indica un tipo de peligro, y cada número del color su riesgo en ese peligro.



Figura 4. Cuadro NAF.

En el caso del propano está clasificado mediante el siguiente rombo:

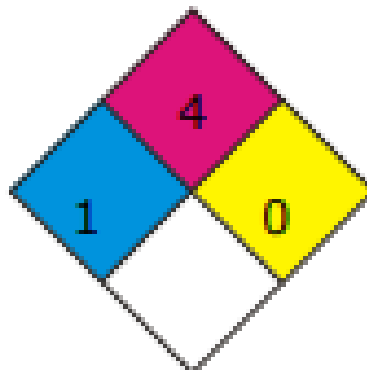


Figura 5. Cuadro NAF del propano.

- Azul (salud): 1-Ligeramente peligroso.
- Rosa (Inflamabilidad): 4-Extremadamente inflamable.
- Amarillo (Reactividad): 0-Estable.
- Blanco (Riesgo específico): Nada-Ningún riesgo específico.

Como podemos deducir por el pictograma el principal riesgo del propano es la inflamabilidad, por tanto, las principales medidas de seguridad irán dedicadas a evitar el contacto del propano con elevadas temperaturas, llamas o chispas. También habrá que cuidar medidas para evitar fugas y de protección del personal para evitar que sea inhalado, pues existe un cierto riesgo de asfixia. Por otro lado, el propano no es un gas muy reactivo ni corrosivo, lo que nos facilitará la elección del material de la cisterna, así como otros con los que pueda entrar en contacto.

3.3.3. Descripción de los primeros auxilios.

- **Inhalación:** Llevar a la persona afectada a una zona al aire libre. Controlar que la persona afectada no pueda autolesionarse por culpa del estado de confusión y desorientación, debido a la inhalación de la sustancia. Suministrar oxígeno en caso de dificultad respiratoria, en caso que esa dificultad llegue a parada respiratoria, asistir la respiración, preferiblemente con un método de exhalación de aire. Inmovilizar a la persona y mantener constante su temperatura corporal. Llamar a emergencias urgentemente.
- **Ingestión/aspiración:** Improbable en el caso del propano.
- **Contacto con la piel:** El contacto con propano no sería tan peligroso, pero esto se multiplica si tenemos en cuenta que irá licuado. Si se producen quemaduras por congelación deberemos lavarlas abundante agua con el fin de descongelar la zona afectada, quitar las prendas que hayan entrado en contacto con la sustancia, tras mojarlas abundantemente, si no están adheridas a la piel. No frotar las partes afectadas. Solicitar asistencia médica urgente.
- **Contacto con los ojos:** Como en el contacto con la piel no frotar las partes afectadas, lavar con abundante agua durante al menos 15 min. Solicitar asistencia médica urgente.

3.3.4. Principales síntomas y efectos, agudos y retardados.

- **Inhalación:** Conforme aumenta su concentración en el aire, adquiere propiedades narcóticas y asfixiantes producidas por la disminución del oxígeno disponible para la respiración. Puede causar distintos daños en el sistema nervioso central, estos daños se traducen en excitación, dolor de cabeza,

mareos, somnolencia, visión borrosa, fatiga, temblores, convulsiones, pérdida de conocimiento y fallo respiratorio. Si la concentración supera el 10% puede causar daños cardíacos.

- Ingestión/aspiración: Improbable en el caso del propano.
- Contacto con la piel: Puede producir quemaduras por congelación, siempre y cuando sea propano licuado.
- Contacto con los ojos: Puede producir quemaduras por congelación, siempre y cuando sea propano licuado, en el caso de los ojos estas quemaduras pueden derivar en pérdida de visión, y otros tipos de problemas graves.

3.3.5. Medidas contra incendios.

- Medios de extinción: Agua pulverizada, polvos químicos secos, espumas.
- Medidas especiales: Cerrar la fuga de propano antes de apagar el incendio. Alejar los elementos que contengan el propano del incendio, si no es peligroso. Mientras los elementos que contengan el propano estén expuestos a las llamas del incendio, se le mantendrán arrojando agua fría . Mantenerse alejado de los recipientes. En caso de fuego intenso en la zona de carga, utilizar mangueras o sistemas automáticos de extinción de incendios, sin manipulación directa por personas, para evitar riesgos. Si no es posible controlar el fuego, abandonar la zona y dejar que arda. Consultar y aplicar planes de seguridad y emergencia en caso de que existan.
- Peligros especiales: Es un material muy inflamable. Se puede incendiar por calor, chispas, electricidad estática o llamas. En estado gaseoso puede desplazarse largas distancias hasta alguna fuente de ignición, esto se debe a su menor densidad que el aire. Para evitar que los elementos con propano puedan explotar elevadas temperaturas se colocaran válvulas de. Los recipientes semivacíos o vacíos, presentan los mismos riesgos que los llenos. Peligro de explosión de vapores en espacios cerrados, exteriores o en conductos. Son especialmente peligrosos los vertidos al alcantarillado.
- Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios: Trajes y guantes resistentes al fuego y equipo de respiración autónoma.

3.3.6. *Medidas en caso de vertido accidental.*

- Precauciones personales: Aislar la zona afectada, solo podrá entrar el personal con justificación, mantener una distancia de seguridad de las posibles zonas donde puedan almacenarse el propano.
- Protección personal: Materiales que eviten el contacto con el propano, como trajes especiales y guantes protectores, además si se dan altas concentraciones de gas serán necesarios aparatos de respiración autónoma.
- Precauciones relativas al medio ambiente: La contaminación de aguas o suelo está descartada, esto se debe a que el propano al entrar en condiciones ambientales pasa totalmente a fase gaseosa.
- Métodos y material de contención y de limpieza: El propano al verterse a la atmósfera pasa inmediatamente a estado gaseoso, por lo que el principal riesgo serán las fuentes ignífugas, las cuales se deben evitar; como: chispas, llamas, electricidad estática o fumar en la zona de riesgo. Detener la fuga si puede hacerse sin riesgo. Emplear espuma de jabón para detectar pequeñas fugas. No buscar nunca fugas con llamas. Emplear agua pulverizada para reducir los vapores.

3.3.7. *Mediadas para la manipulación y almacenamiento.*

Precauciones generales: Evitar el contacto con el producto utilizando ropa de protección adecuada, y si es necesario por riesgo de inhalación protección respiratoria. No acercarse ningún tipo de fuente de ignición. Realizar las soldaduras, cortes o cualquier otro proceso que generen chispas lo más alejado posible de los recipientes con el producto. Evitar la acumulación de cargas electrostáticas, los equipos y las líneas deben estar correctamente conectadas a tierra.

Condiciones específicas: En locales cerrados emplear sistemas de ventilación local eficiente, bien sea fija y/o forzada (consultar normativa vigente). Equipos de trabajo y herramientas antichispas. En operaciones de llenado y manejo de cisternas de gas licuado, se deben emplear guantes, traje y calzado antiestático; es aconsejable, en estas operaciones el empleo de gafas o mascarillas protectoras, para evitar posibles proyecciones. La limpieza y mantenimiento de los recipientes debe ser realizado por personal cualificado bajo las normas de seguridad existentes (asegurarse de que los

contenedores están vacíos y exentos de vapores antes de realizar cualquier inspección, la cual será efectuada por personal especializado).

Reacciones peligrosas: Producto extremadamente inflamable y combustible. El líquido tiene una marcada tendencia a almacenar electricidad estática cuando se transporta por tubería, por lo que es imprescindible en operaciones de carga y descarga dotar tanto a los sistemas de tuberías como a los recipientes de transporte, de tomas a tierra adecuadas.

Condiciones de almacenamiento: Para el almacenamiento del producto, se deberán usar recipientes correctamente sellados hechos con materiales resistentes al producto, estos recipientes se guardar en lugares seguros con su respectiva identificación. En el caso del propano, es preferible guardarlo en zonas exteriores o interiores preparados para sustancias ignífugas, debiendo estar totalmente protegido de fuentes de ignición. Estos almacenajes deben cumplir la correspondiente normativa de lucha contra incendios, por lo que deberemos de añadir las especificaciones expuestas en la norma. Es recomendable el uso de detectores de gas. Materiales incompatibles: Sustancias oxidantes.

3.4. Equipos de protección.

Para cada tipo de exposición que pueda producirse por cada trabajo se debe hacer un análisis de riesgos relacionado con el uso del producto, que determine las medidas de protección que debemos llevar acabo, Estas medidas de protección los estándares recomendados por EN/ISO correspondientes.

3.4.1. Protección para el ojo/cara.

- Usar gafas con de seguridad con protecciones laterales.
- Usar gafas de seguridad con protecciones laterales o gafas cerradas sobre los ojos al hacer trasvases o al efectuar desconexiones.
- Estándar EN 166- Protección ocular-especificaciones.



Figura 6. Gafas protectoras.

3.4.2. Protección para la piel.

- Usar guantes de trabajo al manejar envases de gases.
- Standard EN 388- guantes que protegen contra riesgos mecánicos.
- Considerar el uso de prendas de seguridad resistentes a llama antiestática.
- Estándar EN ISO 14116- Materiales que limitan la difusión de llamas.
- Estándar EN ISO 1149-5- Ropa de protección: Propiedades electrostáticas.
- Usar zapatos de seguridad mientras se manejan envases.
- Estándar EN ISO 20345 - Equipos de protección personal-zapatos de seguridad.



Figura 7. Traje con materiales que frenan las llamas.

3.4.3. Protección de las vías respiratorias.

- Los filtros de gas deberemos usarlos solo cuando conozcamos todas las condiciones existentes, como la concentración de las sustancias y tiempo de uso necesario.
- Filtro recomendado AX (marrón).
- Consultar las especificaciones del fabricante sobre el producto, acerca del equipo adecuado que se debe usar.
- Los filtros de gas no protegen contra la insuficiencia de oxígeno Estándar EN 14387-filtros de gases, filtros combinados y mascarar que cubran toda la cara-EN 136.



Figura 8. Filtro AX (marrón).

3.5. Código RID del propano.

El documento guía de este proyecto es el RID 2019, del cuál de la Tabla A mercancías peligrosas, hemos obtenido las características del propano y las condiciones para la cisterna que lo transportará.

N.º ONU		1978
Nombre y descripción		PROPANO
Clase		2
Código de clasificación		2F
Grupo de embalaje		
Etiquetas		2.1
Disposiciones especiales		652 657 660 662
Cantidades limitadas y exceptuadas		0
		E0
Embalaje	Instrucciones de embalaje	P200
	Disposiciones especiales de embalaje	
	Disposiciones para el embalaje común	MP9
Cisternas portátiles y contenedores para granel.	Instrucciones de transporte	(M) T50
	Disposiciones especiales	
Cisternas ADR	Código cisterna	PxBN(M)

	Disposiciones especiales	TA4 TT9 TT11
Vehículos para transporte en cisternas		FL
Categoría de transporte (Código de restricción en túneles)		2 (B/D)
Disposiciones especiales de transporte	Bultos	
	Granel	
	Carga, descarga y manipulaciones	CV9 CV10 CV36
	Explotación	S2 S20
Número de identificación de peligro		23

Tabla 1. Tabla A del RID, del propano.

Vemos que el propano pertenece a la clase 2 lo que quiere decir que es un gas, y tiene un código de clasificación 2F, que es un gas inflamable, el resto de características se irán desarrollando en los siguientes apartados.

3.6. Presión del propano durante su transporte.

Durante el transporte de propano, la cisterna deberá mantenerse a una presión determinada para evitar incidentes, y que el transporte sea seguro. Las presiones que deben mantener las cisternas para el transporte de mercancías peligrosas están determinadas por el RID 2019, para el caso de gases licuados, como es este, tenemos que seguir las indicaciones del apartado 4.3.3.2.5.

En este apartado tenemos una tabla con las condiciones de presión para distintos gases licuados, a continuación, está la parte de la tabla con los datos de presión para el transporte del propano:

N.º ONU	Nombre	Código de clasificación	Presión mínima de prueba para las cisternas				Masa máxima admisible de contenido por litro de capacidad
			Con aislamiento térmico		Sin aislamiento térmico		
			MPa	bar	MPa	Bar	
1978	propano	2F	2,1	21	2,3	23	Kg
							0,42

Tabla 2. Condiciones de presión para el transporte de propano.

En nuestro caso tomaremos como indica la tabla una presión para el transporte de 21 bares.

4. Identificaciones de la Cisterna.

4.1. Marcado

Para el marcado de la cisterna hemos seguido las especificaciones tanto del capítulo 6 del RID 201, como las de las normas UNE EN 12561-1:2012. Las cuales nos determinan lo siguientes aspectos.

Dispondremos en la cisterna una placa, de chapa metálica con un espesor que no puede ser inferior a 3mm. Dicha placa estará fijada a la cisterna de forma permanente, en una zona de fácil acceso, de modo que se puede inspeccionar sin dificultades. La placa deberá estar provista de 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.

Estos aspectos estarán marcados en la chapa metálica bien por estampado, o bien por otro método semejante, estos estampados deberán tener una altura de 4 mm.

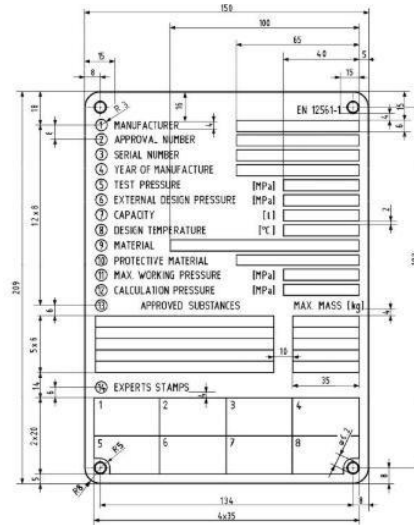
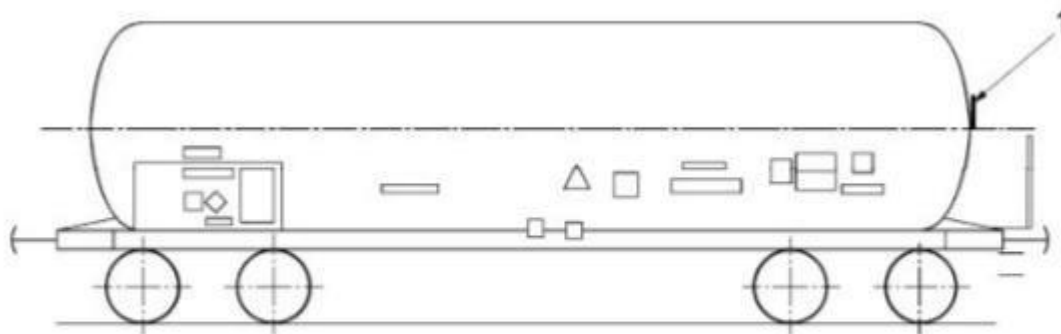


Figura 9. Placa de identificación.

Dispondremos de un soporte soldado a la cisterna, donde colocaremos la placa. La placa irá fijada a este soporte de la forma que hemos especificado, el soporte se colocara facilitando la inspección visual de la placa.



Leyenda

1 Placa de identificación

Figura 10. 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.
- Utilizando remaches de un material que debe ser compatible con el de la base.
- Se permite la fijación mediante soldadura.

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

4.2. Etiquetado.

Para determinar las características de las placas-etiquetas que deben llevar los vagones cisterna, así como del panel naranja que identifica el tipo de sustancia, hemos seguido las directrices del capítulo 5 del RID 2019

4.2.1. Placas-Etiquetas.

Las placa-etiqueta tendrá la forma de un rombo con ángulos rectos. La longitud del lado será de 250 mm como mínimo. Deberá tener una línea interior que rodee la placa, paralela a los bordes, separada de estos por 12.5 mm, esta línea será del mismo color que el símbolo interior que identifica la clase de materia peligrosa. En nuestro caso, la etiqueta para el propano, su etiqueta mostrara una llama blanca o negra sobre un fondo rojo, lo que indica que es inflamable, por lo que es un material peligroso y debajo un 2, lo que indica a que clase pertenece, en nuestro caso un gas.



Figura 11. Etiqueta de clase 2 inflamable.

Deberemos proveer a la cisterna también de la etiqueta para materias peligrosas para el medio ambiente. Esta etiqueta tendrá la forma de un rombo con ángulos rectos, y en su interior un símbolo de color negro sobre un fondo claro, que permita visualizar el dibujo. Esta etiqueta medirá un mínimo de 100 mm de lado, y la línea que la delimite tendrá una anchura mínima de 2 mm.

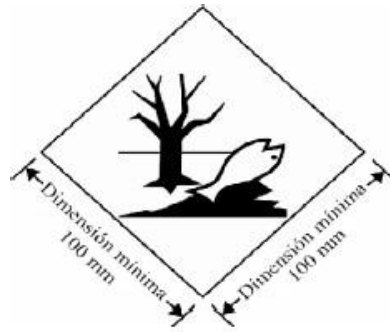


Figura 12. Etiqueta de peligro para el medio ambiente.

4.2.2. Panel naranja.

Dispondremos a la cisterna de un panel naranja, este panel tiene que tener unas dimensiones de 40 cm de base y 30 cm de altura; con un margen negro alrededor de 15 mm, y una línea negra del mismo espesor que lo seccione horizontalmente por la mitad.

El panel estará fabricado con un material que resista las condiciones ambientales que deba soportar el exterior de la cisterna. La sujeción del panel al cuerpo de la cisterna deberá soportar incendios durante 15min. Y permanecer sujeto a cualquier orientación de la cisterna.

En el panel pondremos la siguiente información:

- Número de identificación de peligro en la parte superior: 23
- Número ONU en la inferior: 1978

Estos números estarán constituidos por cifras negras de 15 mm de espesor y 10 cm de altura, los números deben permanecer visibles a pesar de las condiciones ambientales, y de un posible incendio de 15 minutos de duración.

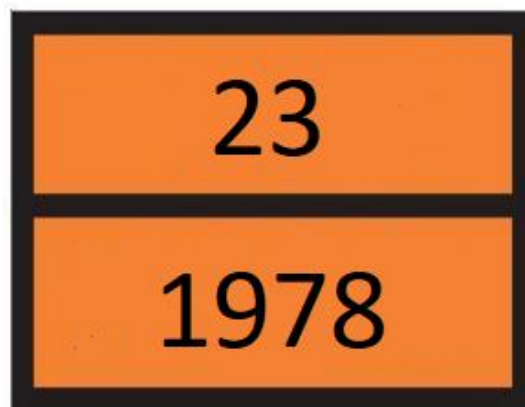


Figura 13. Panel naranja del fenol fundido.

4.3. 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:

Parte	Descripción	Código - cisterna
1	Tipos de cisterna, vagón batería o CGEM	C = cisterna, vagón batería o CGEM para gases comprimidos; P = cisterna, vagón batería o CGEM para gases licuados o disueltos; R = cisterna para gases licuados refrigerados.
2	Presión de cálculo	X = valor cifrado de la presión mínima de prueba pertinente según el cuadro del 4.3.3.2.5; o 22 = presión mínima de cálculo en bar.
3	Orificios (véase en 6.8.2.2 y 6.8.3.2)	B = cisterna con orificios de llenado o de vaciado por el fondo con 3 cierres, o vagón batería o CGEM con orificios por debajo del nivel del líquido o para gases comprimidos; C = cisterna con orificios de llenado o de vaciado por la parte superior con 3 cierres, que, por debajo del nivel del líquido, sólo tiene orificios de limpieza; D = cisterna con orificios de llenado o de vaciado por la parte superior con 3 cierres, o vagón batería o CGEM sin orificios por debajo del nivel del líquido.
4	Válvulas/dispositivos de seguridad	N = cisterna, vagón batería o CGEM con válvula de seguridad conforme al 6.8.3.2.9 o al 6.8.3.2.10 que no está cerrado herméticamente; H = cisterna, vagón batería o CGEM cerrado herméticamente (véase 1.2.1).

Tabla 3. Tabla de RID 2019 para clasificación de cisternas.

Nuestro código para la cisterna según hemos visto en la Tabla A es PxBN, lo que quiere decir que tiene las siguientes características:

- Parte 1 → P: Cisterna para gas licuado.
- Parte 2 → x: Valor de presión de la cisterna a determinar según cuadro del apartado 4.3.3.2.5. del RID 2019.
- Parte 3 → B: Cisterna orificios de llenado o de vaciado por el fondo con 3 cierres.
- Parte 4 → N: Cisterna con válvula de seguridad no cerrada herméticamente.

5. Material de la cisterna.

5.1. Elección del material.

Como la función de la cisterna va a ser el transporte de propano licuado, las principales características del material de esta vendrán determinadas a soportar las condiciones de presión y temperatura del propano licuado, en concreto una temperatura por debajo de la temperatura de fusión del propano (-42,1 °C).

Para la elección del material hemos seguido la normativa UNE EN 14025, esta norma regula el diseño y fabricación de cisternas destinadas al transporte de mercancías peligrosas y de cisternas metálicas sometidas a presión. También hemos tenido que seguir la normativa UNE EN 1552-2 la cual indica los requisitos de tenacidad para materiales que deben soportar temperaturas entre -20 °C y -80 °C.

Siguiendo ambas normas se ha concluido que el tipo de material para la cisterna debe de ser un acero de grano fino, con un límite de elasticidad $\leq 460 \text{ N/mm}^2$. Fijándonos en aceros que cumplieran estas condiciones, y que ya se hubieran usado para la construcción de cisternas para transporte, seleccionamos el acero P355 NH.

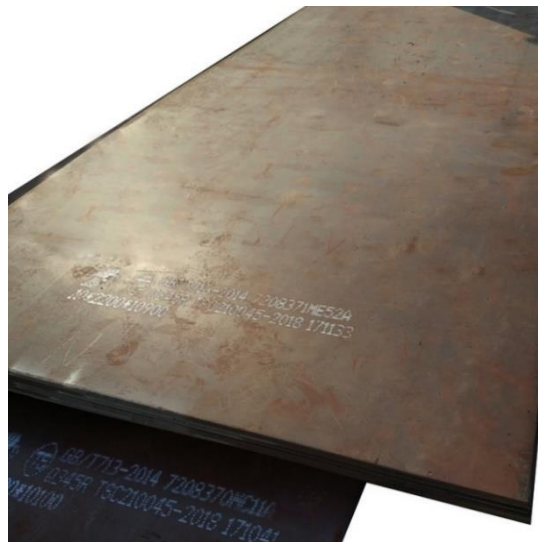


Figura 14. Placa de acero P355 NH.

5.2. Características del acero P355 NH.

Una vez elegido el material para la construcción de la cisterna, necesitamos conocer las características del mismo para diseñar los parámetros de la cisterna, procesos de fabricación y demás características.

Las características del material que necesitamos del material para el desarrollo del proyecto las encontramos en la norma UNE EN 10222-2. En esta norma encontramos las características los aceros de grano fino de alto límite elástico que se usan para aparatos a presión, entre ellos está el material elegido, el acero P355 NH.

La primero vamos a ver la composición del material:

Elemento	Porcentaje
C	≤ 0,18
Si	≤ 0,50
Mn	1,10 a 1,70
P	≤ 0,025
S	≤ 0,010
Al	≥ 0,020
N	≤ 0,015
Cr	≤ 0,30
Cu	≤ 0,30
Mo	≤ 0,08
Nb	≤ 0,05
Ni	≤ 0,50
V	≤ 0,1
Nb + V	≤ 0,12

Tabla 4. Composición del P355 NH.

A continuación, una tabla con las propiedades del acero P355 NH que vamos a necesitar para el desarrollo del resto del proyecto:

Propiedad	Valor/Característica
Designación simbólica	P355 NH
Designación Numérica	1,0566
Tratamiento térmico	+N
Temperatura de normalización	880 a 960 °C
Límite elástico (Re)	355 MPa
Resistencia a la tracción (Rm)	490 a 630 MPa
Alargamiento después de la rotura	23 %

Tabla 5. Propiedades del P355 NH.

Para futuros cálculos cuando tengamos que usar la resistencia a la tracción del material, usaremos el valor mínimo 490MPa, para mayor seguridad.

6. Tamaño y forma de la cisterna.

Una vez elegido el material, el cuerpo de la cisterna estará compuesto por 6 virolas de 2 m de longitud y 2300 mm de diámetro interior soldadas entre sí, a los bordes colocaremos dos fondos, uno a cada extremo, los fondos serán fondos abombados korboggen.

Para las virolas hemos elegidos unos parámetros que entran dentro de los usados comercialmente para el transporte de mercancías por ferrocarril, dentro de este apartado veremos el espesor que tendrá cada una. Cuando expliquemos el proceso de construcción de la cisterna veremos cómo hacer las virolas, además las características de las soldaduras que las unan entre sí.

Para los fondos hemos desarrollaremos en este punto las características de los mismos, así como sus parámetros. La construcción de los fondos y su unión con el resto del cuerpo de la cisterna, lo veremos durante el proceso de construcción más adelante.

En este punto además de ver cómo será el cuerpo de la cisterna, y vamos a calcular la cantidad de propano que transportará.

6.1. Grado de llenado.

Para el cálculo del grado de llenado hemos seguido las indicaciones del apartado del RID 4.3.2.2 que nos da las siguientes fórmulas para el cálculo del grado de llenado:

$$\text{Grado de llenado} = \frac{100}{1 + \alpha * (50 - t_f)} \% \text{ de capacidad}$$

Donde: $\alpha = \frac{d_{15} - d_{50}}{35 * d_{50}}$; $d_x \rightarrow$ Es la densidad del material a la temperatura x °C.

$$d_{15} = 510 \text{ kg/m}^3 \quad d_{50} = 477,49 \text{ kg/m}^3$$

Por lo tanto, queda $\alpha = 1,93 * 10^{-3}$ y el *Grado de llenado* = 94,53 %.

6.2. Espesor de las virolas.

Para el cálculo del espesor hemos seguido la norma UNE EN 14025, más en concreto en Anexo A de dicha norma, además de cumplir con los requisitos impuestos por el RID en los apartados 6.7 y 6.8.

Siguiendo los pasos indicados en el anexo A de la norma UNE EN 14025, tenemos cuatro ramas para el cálculo del espesor, cada rama nos proporcionará un espesor mínimo que debemos cumplir, como tiene que cumplir las condiciones de las cuatro ramas, el espesor mínimo permitido para nuestra cisterna, será el que resulte mayor entre las cuatro ramas:

- Rama A:

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

e → Es el espesor mínimo que debe tener la cisterna según la rama de cálculo A.

P_T → Presión para el cálculo, en nuestro caso 2,1 MPa.

D → Diámetro interior de la sección de la cisterna en nuestro caso 2300mm.

σ → mín. (0,75*Re, 0,5*Rm) = mín. (0,75*336, 0,5*490) = 245

λ → Coeficiente que tiene en cuenta posibles debilitaciones en las soldaduras tiene que ser menor que 1, en nuestro caso 0,8.

Por tanto, sustituyendo los valores de los parámetros en la fórmula:

$$e = \frac{2,1 * 2300}{2 * 245 * 0,8} = 12,32 \text{ mm.}$$

- Rama B:

$$e = \frac{464 * e_0}{\sqrt[3]{(Rm_1 * A_1)^2}}$$

Rm_1 → Resistencia última, como ya explicamos tomamos el valor 490 MPa.

A_1 → Reducción del área, en nuestro caso 23 %.

e_0 → 6mm.

Quedando para el espesor mínimo según la rama B:

$$e = \frac{464 * 6}{\sqrt[3]{(490 * 23)^2}} = 5,54 \text{ mm.}$$

- Rama C:

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

Para la rama C tenemos expuestos en la rama A todos los valores de los parámetros, quedando:

$$e = \frac{2,1 * 2300}{2 * 245 * 0,8 - 2,1} = 12,39 \text{ mm.}$$

- Rama D:

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

p → Presión máxima con la que se trabaja el material, el acero P355 NH. Tiene un valor de 0,3 MPa para aceros austeníticos.

f_d → máx. (Re/1,5; mín. (Re /1,2; Rm/3) = máx. (224; mín. (280; 163,33) = 245

Por tanto, es espesor mínimo permitido según la rama D será:

$$e = \frac{0,3 * 2300}{2 * 224 * 0,8 - 0,3} = 1,93 \text{ mm.}$$

Para elegir un espesor adecuado tienen que cumplir las condiciones de las cuatro ramas:

Rama	Espesor mínimo
A	≥ 12,32 mm
B	≥ 5,54 mm
C	≥ 12,39 mm
D	≥ 1,93 mm

Tabla 6. Límites de espesor.

Para cumplir con las cuatro ramas, basta con cumplir con la condición más restrictiva. El espesor de la cisterna debe ser mayor a 12,39 mm. Vamos a coger un espesor = 12,5 mm.

6.3. Medidas de los fondos.

Para los fondos de la cisterna hemos elegido los fondos abombados Korbogen. Estos fondos están formados por una figura de revolución, cuyo perfil interno se obtiene mediante la unión de 2 radios de curvatura con centros situados en puntos diferentes, en el siguiente esquema podemos ver visualmente sus características, aunque lo veremos más desarrollado en los planos.

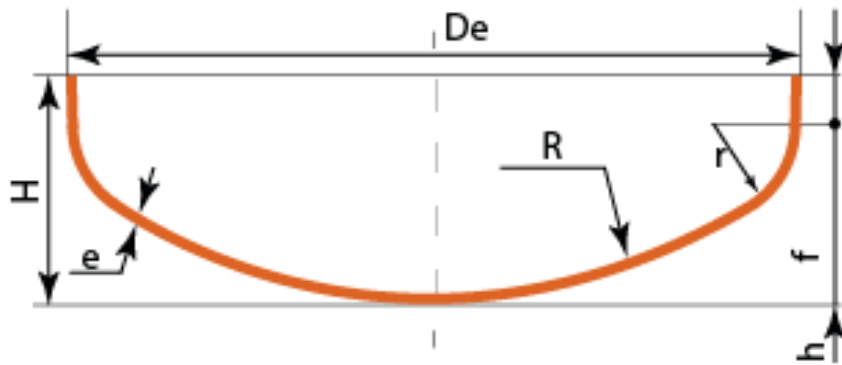


Figura 15. Fondos Korbogen.

Para el cálculo del espesor de los fondos, hemos tenido que ir a la misma norma que para las virolas, la norma UNE EN 14025, y en el mismo anexo el A seguir los pasos de la rama C, la tercera que hemos seguido para el cálculo del espesor en las virolas. Como en el anterior apartado obtendremos un espesor mínimo y por encima de ese valor escogeremos un espesor que cumpla esta condición.

Primero vamos a calcular los radios de curvatura del fondo que vienen dados por las siguientes expresiones:

$$R = 0,8 * D_e$$

$$r = 0,154 * D_e$$

En nuestro caso tomamos un diámetro exterior de 2300 mm, resultando los valores de los radios de curvatura:

$$R = 0,8 * 2300 = 1.840 \text{ mm.}$$

$$r = 0,154 * 2300 = 354,2 \text{ mm.}$$

Para calcular el espesor mínimo, debe de cumplir que sea mayor que tres espesores. El espesor mínimo del fondo para limitar la tensión de la membrana en la parte central

(e_s). El espesor mínimo de radio con el objetivo de evitar deformaciones (e_b). El espesor mínimo del radio para evitar límites elásticos axisimétricos (e_y).

Cálculos de espesores mínimos para cada criterio:

- e_s :

$$e_s = \frac{P_T * R}{2 * f_d * \lambda_s - 0,5 * P_T}$$

$\lambda_s \rightarrow$ En este caso el coeficiente de soldadura para los fondos es 1, puesto que serán soldaduras a las que revisaremos más a fondo.

El resto de variables ya hemos visto en puntos anteriores y conocemos su valor, sustituyendo obtenemos el siguiente espesor:

$$e_s = \frac{2,1 * 1840}{2 * 245 * 1 - 0,5 * 2,1} = 10,81 \text{ mm.}$$

- e_b :

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

$D_i \rightarrow$ Es el diámetro interior, será igual al exterior menos dos veces el espesor, resultando 2.275 mm.

El resto de parámetros ya se han visto, en este caso el espesor resulta:

$$e_b = (0,75 * 1.840 + 0,2 * 2.275) * \left[\frac{2,1}{111 * 245} * \left(\frac{2.275}{354,2} \right)^{0,825} \right]^{\left(\frac{2}{3} \right)} = 9,25 \text{ mm.}$$

- e_y :

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

Conocemos todos los parámetros menos β_e , para su cálculo hemos seguido un desarrollo de fórmulas según la rama C del anexo A de la norma UNE EN 14025:

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

$$X = \frac{r}{D_i} = \frac{354,2}{2275} = 0,156.$$

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

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

$$Y = \text{mín.}\left(\frac{e}{R}, 0,04\right) = \text{mín.}\left(\frac{12,5}{1.840}, 0,04\right) = \text{mín.}(0,0068, 0,04) = 0,0068.$$

$$Z = \log_{10}(1/Y) = \log_{10}(1/0,0068) = 2,17.$$

$$N = 1,006 - \frac{1}{6,2 + (90 * Y)^4} = 1,006 - \frac{1}{6,2 + (90 * 0,0068)^4} = 0,86.$$

$$\beta_{e0,1} = 0,86 * (-0,1833 * 2,17^3 + 1,0383 * 2,17^2 - 1,2943 * 2,17 + 0,837) = 0,9.$$

$$\beta_{e0,2} = \text{máx.}(0,95 * (0,56 - 1,94 * 0,0068 - 82,5 * 0,0068^2), 0,5) = 0,516.$$

$$\beta_e = 10[(0,2 - 0,156) * 0,9 + (0,156 - 0,1) * 0,516] = 0,67.$$

Una vez tenemos β_e y el resto de parámetro vistos en puntos anteriores, el espesor queda:

$$e_y = 0,67 * \frac{2,1 * (0,75 * 1.840 + 0,2 * 2.275)}{245} = 10,51 \text{ mm.}$$

Espesor	Espesor mínimo
e_b	$\geq 10,81 \text{ mm}$
e_b	$\geq 9,25 \text{ mm}$
e_y	$\geq 10,52 \text{ mm}$

Tabla 7. Límites de espesores para los fondos.

Resulta que el espesor debe de ser como mínimo de 10,81 mm para los fondos, pero para simplificar el desarrollo del proyecto cogemos en mismo espesor que las virolas, de modo que el espesor será también de 12,5 mm.

6.4. Volumen de la cisterna.

Para el cálculo del volumen de la cisterna tenemos que sumar los volúmenes de sus partes, que son los de las seis virolas más los de los fondos.

$$V_{cisterna} = 6 * V_{virolas} + 2 * V_{fondos}$$

Los volúmenes de las virolas son sencillos, se tratan de cilindros. Para calcular su volumen, aplicamos la fórmula del volumen de los cilindros:

$$V_{virola} = A_{sección} * L = \pi * \frac{D_i^2}{4} * 2 = \pi * \frac{(2.275 * 10^{-3})^2}{4} * 2 = 8,13 \text{ m}^3.$$

Para el cálculo de los fondos hemos seguido las indicaciones de la DIN-28013. Para entender que significa cada medida, ponemos otra imagen en la que podemos ver las medidas más claras:

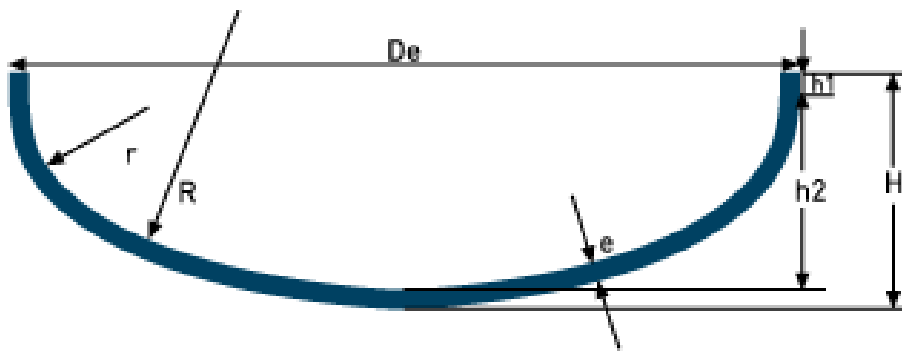


Figura 16. Medidas fondo korbboogen.

$$H = h_1 + h_2 + e$$

$$h_1 \geq 3 * e = 37,5 \text{ mm.}$$

$$h_2 = 0,255 * D_e - 0,635 * e = 577,45 \text{ mm.}$$

$$H = 37,5 + 578,5625 + 12,5 = 627,45 \text{ mm.}$$

$$V_{fondos} = 0,1298 * D_i^3 = 0,1298 * (2.275 * 10^{-3})^3 = 1,53 \text{ m}^3.$$

Aunque para el cálculo del volumen de los fondos no necesitábamos saber su altura, mejor hacer todos los cálculos previamente juntos, y tenerlos disponibles para posteriormente hacer los planos.

Una vez calculado los volúmenes de las virolas y los fondos, el volumen total de la cisterna queda:

$$V_{cisterna} = 6 * 8,13 + 2 * 1,53 = 51,84 \text{ m}^3.$$

Para interés futuro vamos a calcular también la longitud total de la cisterna:

$$L_{cisterna} = 2 * H + 6 * L_{virola} = 2 * (627,45 * 10^{-3}) + 6 * 2 = 13,25 \text{ m}.$$

6.5. Cantidad de producto transportado.

Para calcular la cantidad de producto transportado, solo tenemos que multiplicar el grado de llenado de la cisterna por su volumen, dos datos que hemos calculado en apartados anteriores, con lo que la cantidad de propano que transportaremos será:

$$V_{propano} = \text{Grado de llenado} * V_{cisterna} = (94,53 \%) * 51,84 = 49 \text{ m}^3 = 49.000 \text{ l}.$$

Para la masa total de propano, despejamos de la fórmula de la densidad, y obtenemos que la masa será igual al volumen por la densidad del propano (valor que podemos encontrar en puntos anteriores, $\rho_{propano} = 493 \text{ Kg/m}^3$):

$$M_{propano} = V_{propano} * \rho_{propano} = 49 * 493 = 24.157,18 \text{ Kg} = 24,16 \text{ toneladas}.$$

7. Elementos de la cisterna.

7.1. Rompeolas.

Los rompeolas son paredes parciales que se colocan a lo largo de la sección de la cisterna, tanques o depósitos con fluidos. Su función es amortiguar el movimiento del fluido interior.

En nuestro caso son necesaria para frenar la inercia que provoca el fluido al hacer cambios bruscos en su movimiento, como en el arranque, frenados o giros del ferrocarril.

Los rompeolas no deben parar el movimiento total del fluido, sino disminuir el caudal de fluidos en movimiento y por lo tanto su fuerza. Además, en el caso de que fueran paredes lisas formando distintos compartimentos, tendríamos que llenar cada compartimento de forma independiente. Hay dos tipos de rompeolas según dispongamos los huecos que conectan los compartimentos, Por un lado, tenemos los que tienen un agujero central y los que deja los huecos en las zonas en contacto con las paredes, como son las que usaremos en nuestro caso.

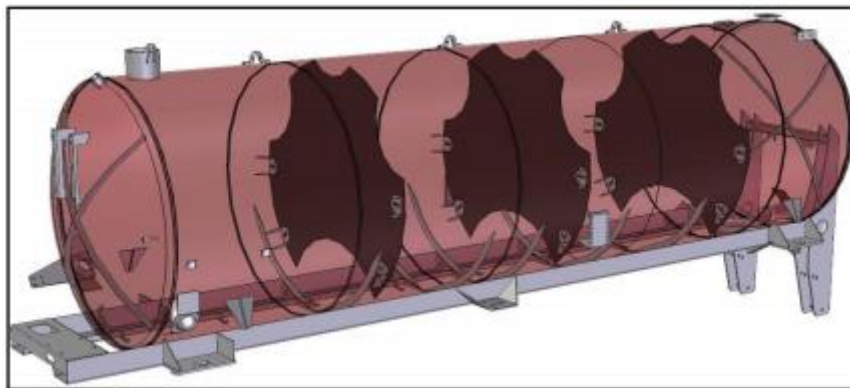


Figura 17. Rompeolas en una cisterna.

7.2. Boca de hombre.

En la parte superior de la cisterna colocaremos una boca de hombre, una apertura que permita la entrada de un operario con distintos dispositivos que necesite incluyendo un aparato de respiración autónomo.

Según la norma UNE EN 14025, todas las cisternas deben de tener este elemento, para poder ser inspeccionadas, y poder acceder a ellas en caso de necesidad de mantenimiento o reparación. O aberturas de inspección, estas son más pequeñas lo suficiente para que no puedan entrar personas, pero con un tamaño que permitan su inspección.

Para nuestra cisterna por su tamaño y capacidad incluiremos una boca de hombre que debe cumplir las siguientes especificaciones según la norma UNE EN 14025:

- Un diámetro no inferior a 500mm en caso de ser circulares.
- En caso de no circulares, que ninguna dimensión sea inferior a 500mm.

El resto de especificaciones bocas de hombre las encontramos en la norma UNE EN 12561-6. En la cual encontraremos las medidas de la boca de hombre y donde se determinan las características de las bridas.

7.2.1. Bridas.

Las características de las bridas que usaremos para la boca de hombre, vienen determinadas en la norma ISO 7005-1:1992, para bridas DN50, de la que hemos sacado las principales medidas y resumido en la siguiente tabla:

DN	50
Diámetro exterior de la brida (D)	165
Distancia de los centros de los agujeros de los pernos (a)	125
Espesor de la brida (b)	20
Altura del asiento (e)	2
Diámetro del asiento de la junta (c)	99
Diámetro de los agujeros de los pernos (f)	18
Número de agujeros de los pernos	4
Dimensión nominal de los pernos	M16

Tabla 8. Características de las bridas.

7.3. Válvulas de fondo.

Para la carga y descarga del propano, colocaremos una válvula la parte inferior de la cisterna. Las especificaciones para este tipo de válvulas se recogen en la norma UNE EN 14433, y son las siguientes:

- Colocaremos un obturador en la envolvente de la cisterna, de tal forma que actúe incrementando la fuerza sobre el asiento de la válvula y debe evitar la auto-apertura de esta.
- La abertura tiene que tener unas dimensiones adecuadas para asegurar un caudal mínimo de carga y descarga.
- El mecanismo de accionamiento de la válvula deberá indicar la dirección de apertura y cierre.
- El cuerpo exterior de la válvula deberá tener una sección con menor resistencia a la rotura, para que, en caso de choque, se rompa esa superficie y la capacidad de sellado de la válvula no se vea comprometida.
- El fabricante debe suministrar los materiales para las partes que estarán en contacto con el propano.
- Los materiales deberán tener una resistencia al alargamiento mínima del 12%.
- Se etiquetará en la cubierta de la válvula las referencias a las normas EN, por las que deben regirse los materiales de la misma.
- Para los cálculos del espesor de las bridas y del cuerpo se seguirán las normas UNE EN 12516 y 13445.
- Se realizarán ensayos neumáticos e hidráulicos según la norma UNE EN 12266-2.

7.4. Válvulas de presurización y descarga.

Según la norma UNE EN 736-1, la válvula de descarga viene equipada con un obturador en la parte delantera o trasera, con un ramal que usaremos para purgar parte del sistema de tuberías aguas arriba o abajo.

Las especificaciones que deben cumplir estas válvulas, las encontramos en las normas 14432 y 12561-2 son las siguientes:

- Las mismas especificaciones que para la válvula de fondo ya mencionadas en el apartado anterior. (14432).
- El diámetro de la válvula no será menor a 100mm. (12561-2).
- Por seguridad dispondremos de un tubo exterior bifurcado, con su propia válvula, (12561-2).

7.5. Tubería de retorno de vapor.

Las características que debe cumplir la tubería de retorno de vapor, las encontramos en la norma UNE EN 12561-2:

- Debe tener una válvula de ventilación automática.
- Debe tener un tubo bifurcado.
- Debemos colocar una brida DN 80 PN 16 en cada extremo del tubo.
- La tubería deberá tener un área que no sea menor a 1960 mm^2 .
- Dispondremos a la tubería de dispositivos de alivio, que funcionaran durante lo que dure la descarga, aunque no se esté usando el retorno.

7.6. Toma de tierra.

Según la norma ENE EN 12561-2, soldaremos a cada lado de la cisterna dos tomas a tierra, estas tomas serán unas placas de acero inoxidable, las cuales deberán tener unas dimensiones mínimas de 40mm X 80mm X 5mm.

7.7. Escaleras.

Según la norma UNE EN 12651-7, el vagón de la cisterna deberá estar provisto de una escalera fija en el extremo o en su defecto dos, una por cada lado de la cisterna.

Para nuestra cisterna colocaremos una fija en el extremo, la cual deberá cumplir con:

- Deben contener un pasa manos a cada lado.
- El ángulo de inclinación estará comprendido entre 70° y 90° .
- Todos los travesaños estarán soldados a las barras horizontales de la escalera y presentarán un acabado antideslizante.
- Se mantendrá un espacio uniforme entre los travesaños.
- La sección de los pasamanos será circular, con un diámetro igual o superior 20mm.
- Los pasamos estarán sujetos a otras estructuras, ya sea a la plataforma o una de las pasarelas.
- Habrá un espacio desocupado alrededor del pasamanos como mínimo de 100mm.

- Deberán soportar una carga estática de 2,0kN en el centro de todos los travesaños. La deformación elástica permisible bajo esta carga no debe superar 1/22 de anchura.
- La señal de peligro eléctrico de la cisterna, deberá ponerse cerca de la escalera, siempre en la parte superior de la cisterna.

7.8. Plataformas.

Los requisitos que deben cumplir las plataformas están recogidos en la norma UNE EN 12651-7, y son los siguientes:

- Se dispondrán alrededor tanto de la boca de hombre, como de tapas protectoras y resto de bocas.
- Serán planas y se dispondrán de forma horizontal.
- Se dispondrán con una altura libre que no sea menor a 300mm.
- Se dejará suficiente espacio, con los pernos de la boca de hombre de modo que la boca de hombre quede accesible.
- Estará compuesta con un punto fijo, cuya función será la de poder acoplar un cable que permita el acceso del operario al interior de la cisterna por la boca de hombre.
- Se dispondrá una rejilla, por la que puedan desplazarse los operarios.
- Tiene que soportar una carga de 3kN uniformemente distribuida por una superficie de 600mm X 300mm. Bajo esta carga, la flecha no debe sobrepasar entre 10mm o 1/200 de la luz.

7.9. Pasarelas.

Las pasarelas deben de cumplir las siguientes especificaciones, que se recogen en la norma UNE EN 12651-2:

- Tienen que ser planas, y su pendiente no debe superar los 5°.
- Contarán con un rodapié de 20mm de longitud mínima, que las rodearán.
- Deben estar dotadas de un guarda-pies con un espacio mínimo de 100mm alrededor.
- Estarán provistas de una rejilla, en la parte inferior para pasar por ellas.

- Deben de tener una anchura no inferior a 50mm.
- Tiene que soportar una carga de 3kN uniformemente distribuida por una superficie de 600mm X 300mm. Bajo esta carga, la flecha no debe sobrepasar entre 10mm o 1/200 de la luz.

8. Proceso de fabricación.

8.1. Fabricación del cuerpo de la cisterna.

El cuerpo de la cisterna estará compuesto por seis virolas de 2 m de longitud cada una, lo que hace un total de 12 m. Además, las virolas tienen una sección circular, con un diámetro interior de 2,275 m, por lo que la sección será de $4,065 m^2$. A los 12 m de las virolas hay que añadirle los fondos abombados Korbbogen, que miden 0,63 m de longitud cada uno, haciendo una longitud total de la cisterna de 13,26m.

El espesor de toda la cisterna es de 12,5 m, por lo que el diámetro exterior de las virolas es de 2,3 m, siendo la sección de la cisterna de $4,155 m^2$.

El cuerpo de la cisterna lleva en su interior siete rompeolas que estarán distanciados 1,53 m de los fondos, y 1,7 m entre cada rompeolas. Cumpliendo con la condición de no haber más de 1,75 m de distancia entre los rompeolas, ni que haya entre ellos más de 7.500 l, en nuestro caso habrá 6.910,37 l entre cada rompeolas.

Todos estos elementos estarán en contacto con el propano, por lo que estarán fabricados con el mismo material, acero P355 NH.

8.1.1. Fabricación de las virolas.

Para la fabricación de las virolas, se cortarán chapas de acero P355 NH que pasaran por unos rodillos que le darán la curvatura necesaria, para que alcance los 2.300 mm de diámetro exterior. Las medidas de las chapas originales tendrán la anchura y el espesor que deben tener las virolas 2 m y 12,5 mm respectivamente, y el ancho será de largo como la circunferencia de la virola, $b = \pi * D_e = 7.225,66 mm$.



Figura 18. Máquina curvadora de chapas.

En la imagen podemos ver cómo funciona el proceso para la curvatura de la virola. En nuestro caso tratamos con una pieza con un diámetro mucho mayor, por tanto, usaremos una máquina más avanzada que permita hacer piezas de mayores tamaños, y que vaya automatizada.

Cuando las chapas tengan la forma de circunferencia, se soldarán los bordes de estas para que queden cilindros cerrados.

Una vez estén las seis virolas con forma cilíndrica y cerradas por soldadura, se procederá a la soldadura de las virolas entre sí. Las características de todas soldaduras del proceso las veremos dentro de este apartado en otro punto.

8.1.2. Fabricación de los fondos.

Para la fabricación de los fondos, trabajaremos a partir de una chapa circular, y llegaremos a la forma de estos mediante conformación en frío.

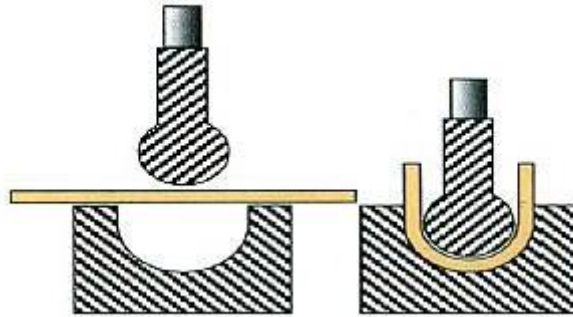


Figura 19. Tipo de conformación en frío para los fondos.

En la imagen podemos ver como será el proceso de fabricación de los fondos, colocaremos una chapa circular en una matriz con la forma de los fondos, y la presionaremos en frío para que adquiera la forma deseada.

Una vez tengamos los fondos, soldaremos cada uno de ellos a los extremos de las virolas, el proceso de soldadura lo veremos posteriormente.

8.1.3. Fabricación de los rompeolas.

Para los rompeolas, trabajaremos con chapas circulares de 2.275 mm de diámetro y 12,5 mm de espesor, como el resto de elementos. A las chapas les realizaremos agujeros para permitir el paso del propano, las dimensiones y colocación de los agujeros vienen definidas en los planos.

Una vez estén finalizados los siete rompeolas los soldaremos donde corresponda a cada virola. Las soldaduras de los rompeolas se harán antes que el de las virolas entre sí, posteriormente se unirán las virolas y por último los fondos.

8.1.4. Acabado final del cuerpo de la cisterna.

Cuando tengamos el cuerpo de la cisterna completo, tendremos que realizar dos agujeros en la cisterna:

- Agujero en la parte superior para la colocación de la boca de hombre.

- Agujero en la parte posterior para la colocación de las válvulas de descarga del propano.

8.2. Soldaduras.

Para la soldadura de recipientes metálicos a presión, se recomienda la soldadura por fusión, es la que vamos a usar para unir los distintos elementos del cuerpo de nuestra cisterna.

Para la realización de las soldaduras, tenemos que cumplir con las especificaciones del RID 2019, como estamos haciendo durante todo este proyecto. Las especificaciones sobre las soldaduras las podemos encontrar en el apartado 6.8.2.1.23. Este apartado recoge que la habilidad de los soldadores tiene que ser demostrada mediante ensayos, deben de demostrar la realización de cualquier técnica que se necesite para el proyecto, La verificación de la capacidad de los soldadores recae en la autoridad competente (el constructor encargado) o un organismo designado por ella.

Este mismo apartado especifica los controles a los que deberán someterse las soldaduras efectuadas, estos dependerán del valor del coeficiente λ que usamos para el cálculo del espesor. Si recordamos escogimos diferentes valores del coeficiente para las uniones de soldadura, por lo que vamos a ver previamente los valores que puede tener y lo que conlleva.

- “ $\lambda = 0,8$ ”: Los cordones de soldadura se verificarán por las dos caras visualmente y se someterán a controles no destructivos en las zonas con nudos de soldadura en “T”, y todas las inserciones utilizadas para evitar soldaduras en cruz y todas las soldaduras de la zona angulada de los fondos de la cisterna. La longitud total de los cordones a controlar no debe ser inferior a un:
 - 10 % de la longitud de todas las soldaduras longitudinales.
 - 10 % de la longitud de todas las soldaduras circulares.
 - 10 % de la longitud de todas las soldaduras circulares en los fondos de la cisterna.
 - 10 % de la longitud de todas las soldaduras radiales en los fondos de la cisterna.

- $\lambda = 0,9$: Todos los cordones de soldadura se verificarán por las dos caras y se someterán a controles no destructivos. Los controles no destructivos deberán comprender todos los nudos de soldadura, todas las inserciones utilizadas para evitar las soldaduras en cruz, todas las soldaduras de la zona angulada de los fondos de la cisterna y todas las soldaduras de montaje de los equipos de dinámetro importante. La longitud total de los cordones a controlar no debe ser inferior a un:
 - 100 % de la longitud de todas las soldaduras longitudinales.
 - 25 % de la longitud de todas las soldaduras circulares.
 - 25 % de la longitud de todas las soldaduras circulares en el fondo de la cisterna.
 - 25 % de la longitud de todas las soldaduras radiales en el fondo de la cisterna.

- $\lambda = 1$: todos los cordones de soldadura deberán ser objeto de controles no destructivos y deberán ser verificados visualmente en la medida de lo posible por las dos caras. Deberá tomarse una probeta de soldadura.”

Además de las especificaciones del RID 2019, hemos tenido que cumplir con requisitos que dictan varias normas para las soldaduras.

Para asegurarnos de que las soldaduras cumplan con la calidad exigida hemos seguido lo descrito en las normas UNE EN 3834-1 y EN 3834-2.

La norma UNE EN 9712 define la cualificación que debe tener el personal encargado de la realización de los ensayos no destructivos.

Por último, en la norma UNE EN 14025, la cuál ya hemos usado para distintas partes del trabajo, nos expone las especificaciones para las reparaciones ante la presencia de defectos. Hay que tener en cuenta que tras la reparación de algún defecto se debe cumplir las tolerancias de espesores, y no ser nunca inferior a 12,5 mm. Además, la zona reparada deberá someterse al mismo examen no destructivo que se aplicó originalmente.

8.2.1. Tipos de soldaduras.

Para la construcción del cuerpo de la cisterna, nos encontraremos con cuatro tipos de soldadura: cerramiento de una misma virola, virola-virola, virola-fondo y rompeolas-fondos. Las características para cada tipo son:

- Cerramiento de una misma virola: Este tipo de soldadura se realizará seis veces, una para cada virola, su coeficiente de soldadura es $\lambda = 0,8$, conlleva las especificaciones que hemos visto en el punto anterior. La unión se hará mediante una soldadura a tope, viéndose de la siguiente manera.



Figura 20. Soldadura para cerramiento de una misma virola.

- Soldadura virola-virola: Esta soldadura es de mismo tipo que la anterior a tope y con un coeficiente de soldadura igual $\lambda = 0,8$. La forma visual de la soldadura es la misma que la de virola-fondo veremos la imagen en el siguiente apartado.
- Soldadura virola-fondo: Es soldadura también es a tope, pero cambia su coeficiente de soldadura, $\lambda = 1$. Tomamos otro coeficiente porque la unión con los fondos son las que mas sufren, y es preferible que pasen ensayos no destructivos mas estrictos. La forma visual de la soldadura quedará:

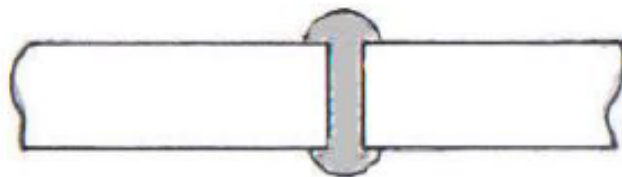


Figura 21. Soldadura virola-virola y virola-fondo.

- Soldadura rompeolas-virola: Este tipo de soldadura mantiene el coeficiente de las dos primeras $\lambda = 0,8$. Pero el tipo de unión es distinta, se trata de una soldadura en ángulo, con un ángulo de 90° . La unión rompeolas-virola quedará:

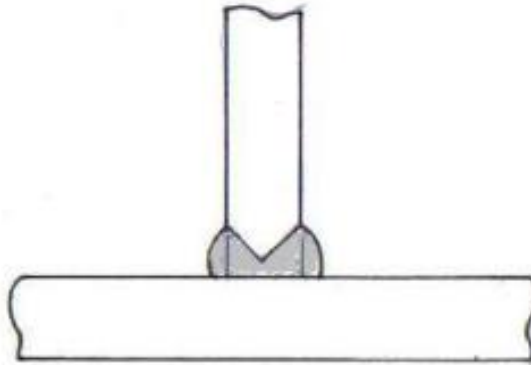


Figura 22. Soldadura rompeolas-virola.

8.3. Ensayos no destructivos para las soldaduras.

Los ensayos no destructivos que deben hacerse a cada tipo de soldadura vienen definidos en la norma UNE EN 17635.

En la tabla 2 de la norma encontramos los ensayos que debemos realizar para las soldaduras con uniones en ángulos.

Material	Métodos de ensayo
Acero ferrítico	VT VT y MT VT y PT VT y (ET)
Acero austenítico	VT
Aluminio, níquel	VT y PT
Cobre y titanio	VT y (ET)
NOTA Los métodos entre paréntesis son aplicables únicamente con limitaciones.	

Figura 23. Tabla 2 de la norma UNE EN 17635.

En la tabla 3 de la misma norma encontramos los ensayos que debemos realizar para las soldaduras a tope.

Material y tipo de unión	Espesor nominal del metal base a soldar <i>t</i> mm		
	$t \leq 8$	$8 < t \leq 40$	$t > 40$
Uniones a tope de acero ferrítico	RT o (UT)	RT o (UT)	UT o (RT)
Uniones en T de acero ferrítico	(UT) o (RT)	UT o (RT)	UT o (RT)
Uniones a tope de acero austenítico	RT	RT o (UT)	RT o (UT)
Uniones en T de acero austenítico	(UT) o (RT)	(UT) y/o (RT)	(UT) o (RT)
Uniones a tope de aluminio	RT	RT o UT	RT o UT
Uniones en T de aluminio	(UT) o (RT)	UT o (RT)	UT o (RT)
Uniones a tope de aleaciones de níquel y de cobre	RT	RT o (UT)	RT o (UT)
Uniones en T de aleaciones de níquel y de cobre	(UT) o (RT)	(UT) o (RT)	(UT) o (RT)
Uniones a tope de titanio	RT	RT o (UT)	-
Uniones en T de titanio	(UT) o (RT)	UT o (RT)	-
NOTA 1 Los métodos entre paréntesis son aplicables únicamente con limitaciones.			
NOTA 2 Para las pruebas ultrasónicas de las juntas austeníticas, véase la Norma ISO 22825.			

Figura 24. Tabla 3 de la norma UNE EN 17635

Como el acero P355 NH, del que están hechos todas las partes de la cisterna que se van a soldar, es un acero austenítico, deberemos de realizar tres ensayos:

- VT: Ensayo visual, se realizarán a las soldaduras en ángulo, las uniones rompeolas-virolas.
- UT: Ensayos ultrasonido, se realizarán a las soldaduras a tope, resto del cuerpo de la cisterna.
- RT: Ensayos radiográficos, se realizarán también a las soldaduras a tope, las mismas a las que les hagamos el ensayo de ultrasonido.

8.3.1. Ensayo visual.

Las especificaciones de cómo se debe llevar a cabo este ensayo vienen definidas en la norma UNE EN 17637.

Según esta norma, el operario a cargo de la inspección visual, tendrá acceso previo a toda la documentación de producción e inspección necesaria. La inspección se hará

mientras el acceso a la zona a inspeccionar sea asequible, esta inspección conlleva cuatro apartados.

- Inspección visual de la preparación de la unión: Esta fase verifica que las características previas al soldeo son las adecuadas, los acabados de los bordes están limpios y dentro de los parámetros previamente establecidos, así como los acabados de las caras adyacentes a los mismos estén limpias también, y se les haya aplicado el tratamiento superficial que especifique la norma de aplicación o producto, finalmente, hay que asegurar las uniones de las piezas a soldar, asegurando que se cumplen las especificaciones que dictan los planos o instrucciones.
- Inspección visual durante el soldeo: Este apartado verifica el cumplimiento de las normas durante la propia fase de soldeo, antes de cada pasada nueva en la soldadura, ésta debe estar limpia y sin imperfecciones visibles, en caso de haberlas se deben corregir antes de la nueva pasada. El tiempo entre pasadas también debe ser el adecuado para que la fusión entre pasadas quede de acuerdo a las especificaciones previamente establecidas, en caso de que sea una reparación el acabado de la pieza quede conforme a los requisitos originales de la especificación del procedimiento por soldeo.
- Inspección visual de la soldadura terminada: Esta parte es la final dentro del proceso de soldadura original, repasaremos la pieza una vez soldada, limpiaremos la misma de la escoria que pueda tapar las imperfecciones, repasaremos que no queden huellas de herramientas, encendidos de arco, sobrecalentamiento por esmerilado, acabados irregulares y la transición en las soldaduras en ángulo y a tope, se repasen a paño sin que haya reducción de espesor. Comprobaremos que las medidas de las soldaduras estén dentro de las tolerancias establecidas, y la misma haya quedado uniforme, también comprobaremos que se han cumplido las especificaciones de los planos. Finalmente, se debe examinar visualmente las zonas accesibles de la soldadura para detectar que no haya grietas u otras imperfecciones, y que la soldadura está dentro de las tolerancias establecidas.
- Inspección visual de soldaduras reparadas: No siempre se dará esta fase de inspección, puesto que se realizará cuando el desgaste produzca que la soldadura ya no cumple los requisitos establecidos. Este desgaste puede producir

un fallo parcial de la soldadura, en este caso podremos repararla, compensando las imperfecciones hasta que vuelva a tener los parámetros. En caso de que el fallo se total, realizaremos la soldadura de nuevo, con las mismas especificaciones que se usaron la primera vez.

8.3.2. *Ensayo ultrasonido.*

La norma a seguir en este tipo de ensayos es la UNE EN 22825.

Antes del ensayo se requerirá la siguiente información:

- Aspectos que deben definirse en la especificación:
 - a. El tipo y grado del material.
 - b. El objeto y el alcance del ensayo.
 - c. Los niveles de examen.
 - d. El estado de fabricación o de operación en que se deben realizarse los ensayos.
 - e. Los requisitos para el acceso, el estado superficial y temperatura.
 - f. Si hay que ensayar o no el metal base antes y/o después de la soldadura.
 - g. Bloques de referencia.
 - h. Cualificaciones personales.
 - i. Requisitos del informe.
 - j. Criterios de aceptación y/o nivel de registro.

- Información requerida por el operador antes del ensayo:
 - a. El procedimiento escrito del ensayo.
 - b. El tipo de material base y forma de producto.
 - c. La preparación de la unión y dimensiones.
 - d. El procedimiento de soldeo o información relevante acerca del proceso de soldeo.
 - e. El momento en el que debe realizarse la inspección respecto a cualquier tratamiento térmico post soldadura.
 - f. El resultado de cualquier ensayo de metal base realizado antes y/o después del soldeo.
 - g. Puntos de referencia y detalles del sistema de coordenadas para el objeto de ensayo.

Finalmente, el documento que recoja el ensayo debe incluir como mínimo los siguientes apartados:

- a. El objeto y alcance del ensayo.
- b. Las técnicas del 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.
- 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 registro.
- o. Los requisitos del informe.
- p. Los aspectos relativos al medio ambiente y la seguridad.

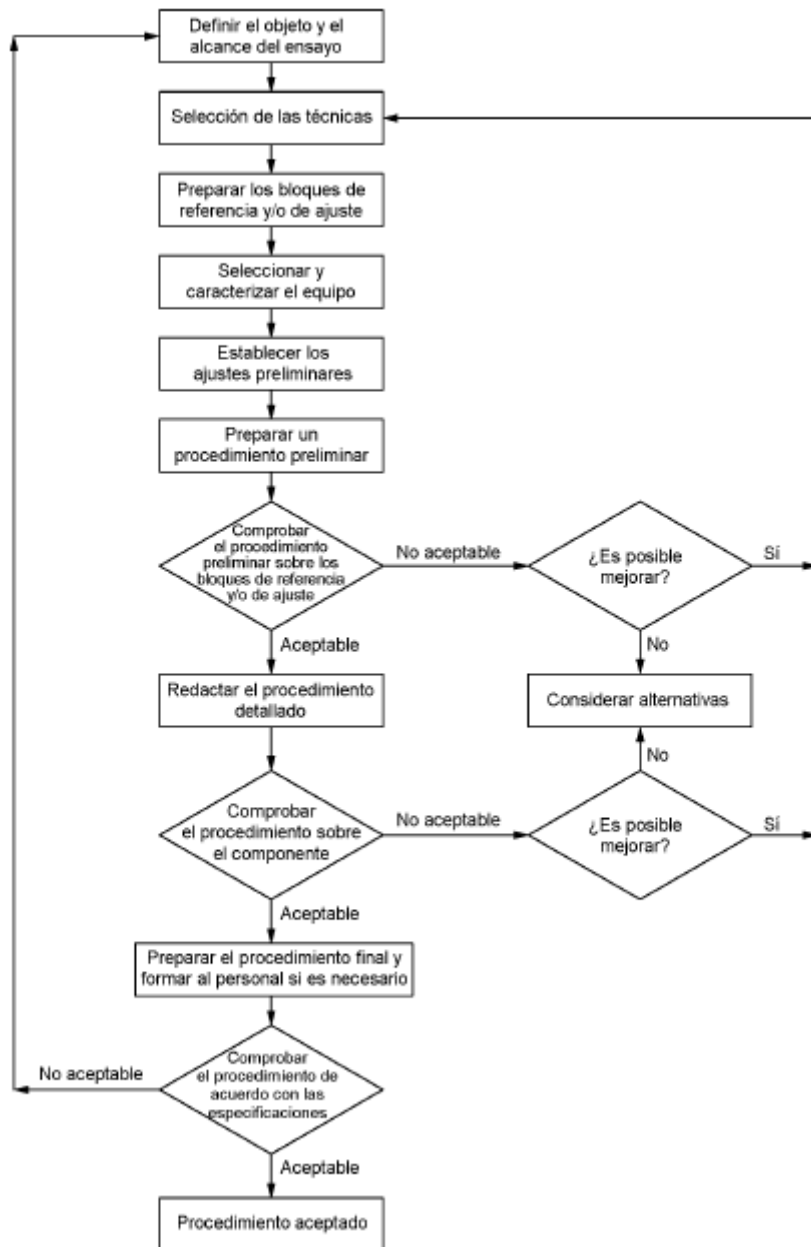


Figura 25. Pasos necesarios para el desarrollo de un procedimiento escrito de un ensayo de ultrasonidos.

8.3.3. Ensayo radiográfico.

La norma a seguir en este tipo de ensayos es la UNE EN 17636-2. Este ensayo trata de la obtención de rayos X y rayos gamma, ya sea mediante radiografía digital (RD) o radiografía mediante paneles detectores digitales (DDA).

Los detectores dan una imagen digital de valores de gris (VG), la cual es visualizada y evaluada por ordenador.

Los requisitos generales y preparativos para el ensayo son los siguientes:

- La utilización de los equipos de rayos X o gamma deben estar sujetos a las disposiciones legales adecuadas. La exposición de cualquier parte del cuerpo puede ser muy perjudicial para la salud.
- Cuando las imperfecciones superficiales o revestimientos supongan un problema para el ensayo, las imperfecciones deberán amoldarse o los revestimientos deben eliminarse.
- Cuando la radiografía no muestre el contorno de la soldadura, deben colocarse a cada lado de ella marcadores de alta densidad.
- Deben posicionarse símbolos en cada sección del objeto radiografiado, que aseguren la identificación de la sección.
- Deben hacerse marcas continuamente en el objeto con el fin de situar la posición de cada radiografía, en caso de no poderse marcar puede registrarse por medio de croquis adecuados o fotografías.
- Cuando la radiografía digital de una zona tenga dos o más detectores separados, cada imagen deberá solaparse para asegurar que en la radiografía salga toda la zona de interés.

Este ensayo se realizará para las soldaduras entre virola-virola, y virola-fondo, las soldaduras a tope.



Universidad
Politécnica
de Cartagena

DOCUMENTO 2. PRESUPUESTO

ÍNDICE

1. Mediciones.....	2
2. Cuadros de precios.....	3
2.1. Cuadro de precios número 1.....	3
2.1.1. Materiales de trabajo.....	3
2.1.2. Maquinaria.....	4
2.1.3. Recursos humanos.....	4
2.1.4. Componentes.....	4
2.1.5. Costes de oficina.....	5
2.2. Cuadro de precios número 2.....	5
3. Presupuesto total.....	8

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materiales de trabajo.....	3
Tabla 2. Maquinaria necesaria.....	4
Tabla 3. Recursos humanos.....	4
Tabla 4. Componentes necesarios.....	5
Tabla 5. Costes de oficina.....	5

1. Mediciones.

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1.1.1	<p>CAPITULO 01. DISEÑO DEL PROYECTO</p> <p>Diseño de la cisterna conforme los requisitos del cliente. Cálculos necesarios para el desarrollo del proyecto. Realización de los planos pertinentes. Estudio de los materiales y servicios y así como las empresas proveedoras de los mismos.</p>	1,00
1.1.2	<p>CAPITULO 02. COMPROBACIÓN DEL MATERIAL RECIBIDO</p> <p>Comprobación de los materiales recibidos de los proveedores es el especificado. Comprobación de que la maquinaria y otros servicios que han sido recibidos también cumplen con las especificaciones solicitadas. Este desempeño lo llevará a cabo un operario.</p>	1,00
1.1.3	<p>CAPITULO 03. FABRICACIÓN VIOLAS</p> <p>Fabricación de las violas a partir de la chapa de acero.</p>	1,00
1.1.4	<p>CAPITULO 04. FABRICACIÓN FONDOS</p> <p>Fabricación de los fondos a partir de la chapa de acero.</p>	1,00
1.1.5	<p>CAPITULO 05. MONTAJE ESTRUCTURAL</p> <p>Montaje de los distintos elementos de la estructura de la cisterna, ensamblaje de los mismos elementos mediante soldaduras de tipo TIG. Comprobación de la estructura e inspección de las soldaduras según los ensayos correspondientes.</p>	1,00
1.1.6	<p>CAPITULO 06. MONTAJE DEL RESTO DE ELEMENTOS</p> <p>Montaje del resto de elementos, que no pertenecen a la estructura de la cisterna: bocas de hombre, válvulas, soportes o tabiques rompeolas.</p>	1,00
1.1.7	<p>CAPITULO 07. COMPROBACIÓN SEGÚN REQUISITOS PREVIOS</p> <p>Certificación de que la cisterna cumple las cualidades requeridas de la misma en los documentos previos, en el diseño, a partir de ensayos especificados en el mismo.</p>	1,00
1.1.8	<p>CAPITULO 08. INSPECCIÓN FINAL Y MARCADO</p> <p>Inspección visual final.</p>	1,00

2. Cuadros de precios.

2.1. Cuadros de precios número 1.

2.1.1. Materiales de trabajo.

CÓDIGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN	EMPRESA	PRECIO (€)
MT001	Ud	Cajones herramientas	Aceros Equipajes Méndez Badajoz	380,59
MT002	Ud	Ropa taller	Masuuniformes	15,99
MT003	Ud	Guantes trabajo	Mechanix	11,35
MT004	Ud	Botas de taller	Profertop	25
MT005	Ud	Protectores auditivos	Dolomit	13,49
MT006	Ud	Pantalla protectora	Arda Protecciones	44,09
MT007	Ud	Manta protectora alta soldadura	Destipex	57,28
MT008	Ud	Guantes soldadura	BT igenieros	18,6
MT009	Ud	Kit tornillería 100	ALM.WEIDRG.MEG	74,99
MT010	Ud	Varilla acero inox para soldadura TIG	AIR PRODUCT	74,90
MT011	Ud	Señales de marcado	Carteling.com	25
MT012	Ud	Kit metrología	LB COMPONENTES	632,14

Tabla 6. Materiales de trabajo.

2.1.2. Maquinaria.

CÓDIGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN	EMPRESA	PRECIO (€)
MAQ01	Ud	Soldador eléctrico aluminio 140HK Acs y complementos	ALM.WEIDRG.MEG	500
MAQ02	Ud	Lijadora	Pinturas Britz	114,14
MAQ03	Ud	Cortador láser	Alquiler a empresa externa	40

Tabla 7. Maquinaria necesaria.*2.1.3. Recursos humanos.*

CÓDIGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN	PRECIO (€)
RH001	Día	Operario cualificado	50
RH002	Día	Operario cualificado	50
RH003	Día	Operario cualificado	100

Tabla 8. Recursos humanos.*2.1.4. Componentes.*

CÓDIGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN	PRECIO (€)
CP001	Ud	Tabique rompeolas	300
CP002	Ud	Válvula de fondo	1.228,32
CP003	Ud	Válvula de vaciado	386,15
CP004	Ud	Válvula de cinco efectos	789,99

CP005	Ud	Dispositivo de descompresión	124
CP006	Ud	Soportes	140
CP007	Ud	Barras antivuelco	70
CP008	Ud	Bocas de hombre	174
CP009	Ud	Plancha de acero virolas (2500*12000)	2.610,87
CP010	Ud	Plancha de acero fondos (3000*12000)	3.133,05

Tabla 9. Componentes necesarios.

2.1.5. Costes oficina.

CÓDIGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN	PRECIO (€)
CT001	Mes	Luz	300
CT002	Mes	Agua	100
CT003	Mes	Teléfono	12
CT004	Mes	Internet	25
CT005	Ud	Costes de oficina	50
CT006	Mes	Limpieza	120
CT008	Mes	Alquiler de la nave	600

Tabla 10. Costes de oficina.

2.2. Cuadro de precios número 2.

NUM.CODIGO	UD	DESCRIPCIÓN	IMPORTE
0001 D01		Diseño del proyecto	
		25 días de trabajo del ingeniero, gastos de oficina (tanto de servicios como de material).	
		Recursos humanos.....	1.500,00
		Maquinaria.....	0,00
		Componentes.....	0,00
		Material.....	1.207,00

Material de trabajo..... 0,00
 Suma de la partida.... 2.707,00
 Coster indirectos..... 3%
TOTAL DE LA PARTIDA.... 2.788,21

NUM.CODIGO	UD	DESCRIPCIÓN	IMPORTE
0002 CMR		Comprobación del material recibido	
		2 monos de trabajo, 2 pares de guantes, 2 botas de seguridad. Kit metrología, una jornada de trabajo de dos operarios, una jornada de trabajo del ingeniero	
		Dispondremos en este apartado de gastos totales de servicios que empezamos a usar en este apartado pero continúan para los próximos.	
		Recursos humanos.... 200,00	
		Maquinaria..... 0,00	
		Componentes..... 0,00	
		Material..... 0,00	
		Material de trabajo..... 736,82	
		Suma de la partida..... 936,82	
		Coster indirectos..... 3%	
		TOTAL DE LA PARTIDA.... 964,92	

NUM.CODIGO	UD	DESCRIPCIÓN	IMPORTE
0003 FVF		Fabricación virolas.	
		Se requiere la placa de acero, la cortadora laser para cortar la placa según las medidas necesarias, la lijadora, herramientas y una jornada de trabajo de los dos operarios. Además de costea materiales han sido incluidos en el código anterior, añadimos los costes de los protectores auditivos.	
		Recursos humanos.... 1.500,00	
		Maquinaria..... 514,14	
		Componentes..... 0,00	
		Material..... 0,00	
		Material de trabajo.... 2.610,87	
		Suma de la partida.... 4.625,01	
		Coster indirectos..... 3%	
		TOTAL DE LA PARTIDA.... 4.763,76	

NUM.CODIGO	UD	DESCRIPCIÓN	IMPORTE
0004 FVF		Fabricación fondos.	
		Se requiere la placa de acero, la cortadora laser para cortar la placa según las medidas necesarias, una máquina de extrusión la lijadora, herramientas y una jornada de trabajo de los dos operarios. Además de costea materiales han sido incluidos en el código anterior, añadimos los costes de los protectores auditivos.	
		Recursos humanos.....	1.500,00
		Maquinaria.....	0,00
		Componentes.....	0,00
		Material.....	0,00
		Material de trabajo.....	3.133,05
		Suma de la partida.....	4.633,05
		Coster indirectos.....	3%
		TOTAL DE LA PARTIDA.....	4.772,04

NUM.CODIGO	UD	DESCRIPCIÓN	IMPORTE
0005 EST		Montaje estructural	
		Se requiere la maquina soldadora, las varillas del material de aporte y la carreta de soldadura. Además de la protección necesaria de taller, y dos operarios cualificados para soldar.	
		Recursos humanos.....	1500,00
		Maquinaria.....	0,00
		Componentes.....	0,00
		Material.....	0,00
		Material de trabajo.....	235,86
		Suma de la partida.....	3.050.00
		Coster indirectos.....	3%
		TOTAL DE LA PARTIDA.....	3.141,50

NUM.CODIGO	UD	DESCRIPCIÓN	IMPORTE
0006 MTC		Montaje del resto de elementos	
		Recursos humanos: Dos operarios trabajando durante 4 días y un soldador durante dos.	
		En los costes incluimos las válvulas, rompeolas, boca de hombre, barras anti vuelco, soportes y tornillería.	

Recursos humanos..... 3000,00
 Maquinaria..... 0,00
 Componentes..... 162.624,8635
 Material..... 0,00
 Material de trabajo..... 74,99
 Suma de la partida.... 165.699,8535
 Coster indirectos..... 3%
TOTAL DE LA PARTIDA.... 170.670,849

NUM.CODIGO	UD	DESCRIPCIÓN	IMPORTE
0007 CEF		Comprobación según requisitos previos	
		Media jornada de inspección del ingeniero y soldador.	
		Recursos humanos....	100,00
		Maquinaria.....	0,00
		Componentes.....	0,00
		Material.....	0,00
		Material de trabajo.....	0,00
		Suma de la partida....	100,00
		Coster indirectos.....	3%
		TOTAL DE LA PARTIDA....	103,00

NUM.CODIGO	UD	DESCRIPCIÓN	IMPORTE
0008 IFM		Inspección final y marcado	
		Coste de las señales de marcado y su colocación.	
		Recursos humanos....	200,00
		Maquinaria.....	0,00
		Componentes.....	0,00
		Material.....	0,00
		Material de trabajo.....	25,00
		Suma de la partida	225,00
		Coster indirectos.....	3%
		TOTAL DE LA PARTIDA....	231,75

3. Presupuesto total.

Coste total de las distintas partidas:

SUMA DE GASTOS GENERALES: 187.435,73 €

Cálculo de otros gastos derivados del coste inicial:

BENEFICIO INDUSTRIAL: 10%: 18.743,57 €

IMPUESTOS, TASAS Y SEGUROS:

Seguridad social: 35% del sueldo: 3.325,00 €

Impuesto sobre sociedades: 25% del beneficio industrial: 4.685,89 €

Presupuesto sin IVA:

SUMA DE GASTOS GLOBALES: 214.190,20 €

IVA: 21% de los gastos totales.

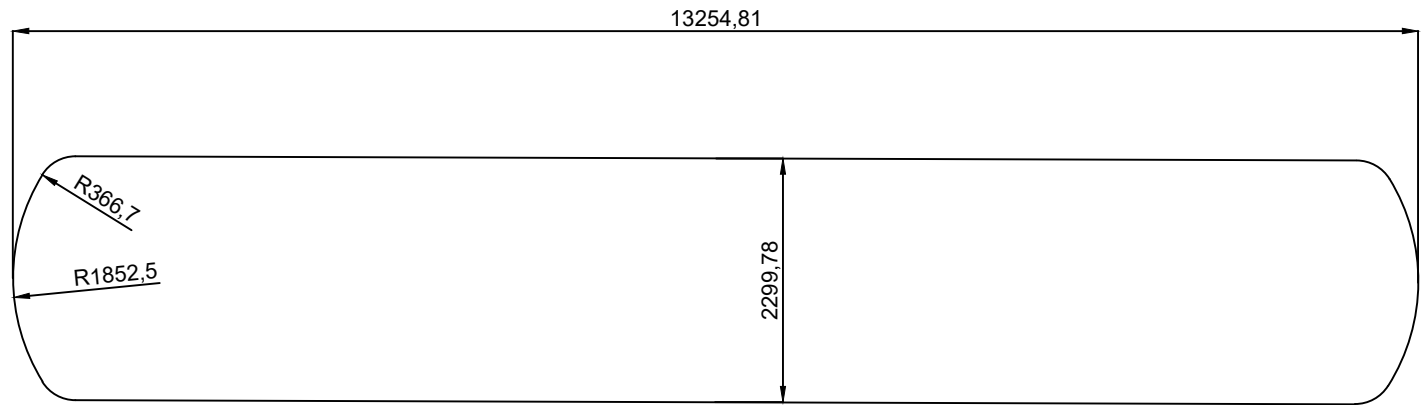
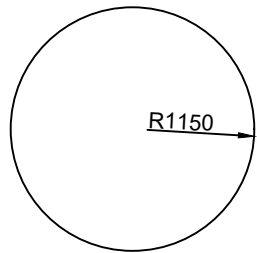
Presupuesto con IVA:

$$214,190.20 * \left(1 + \frac{21}{100}\right) = 259.170,14 \text{ € €}$$

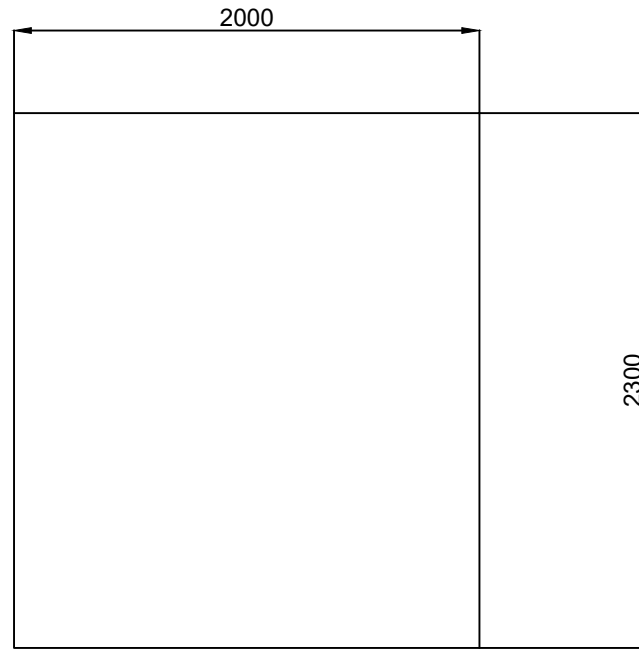
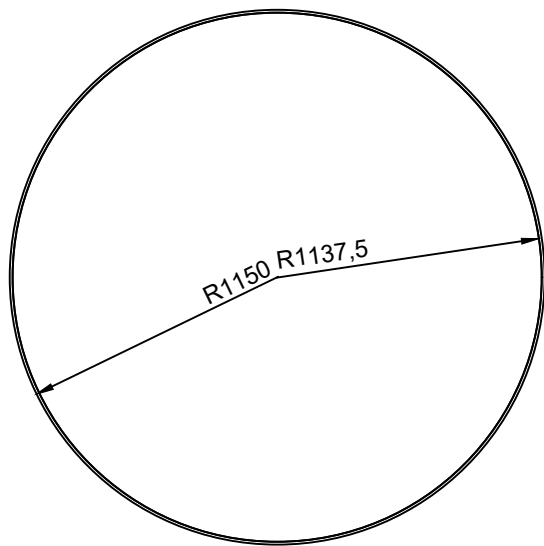


Universidad
Politécnica
de Cartagena

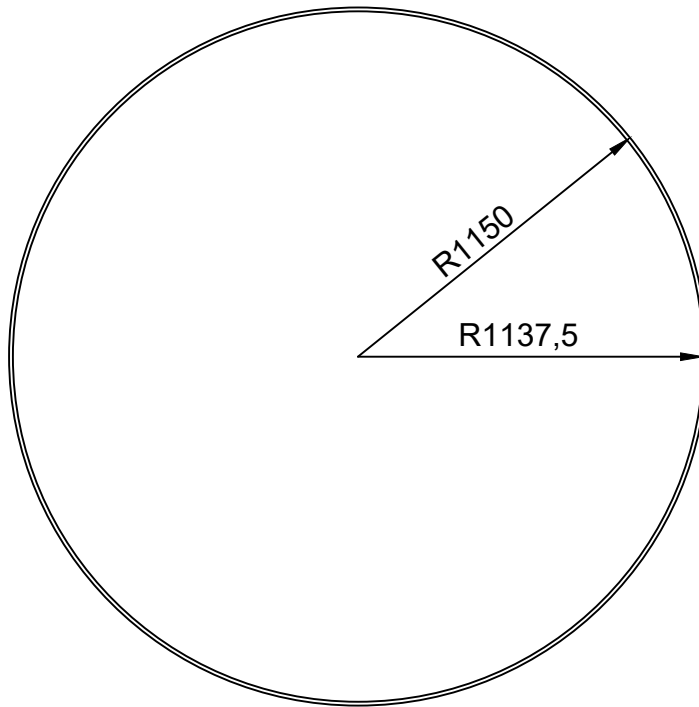
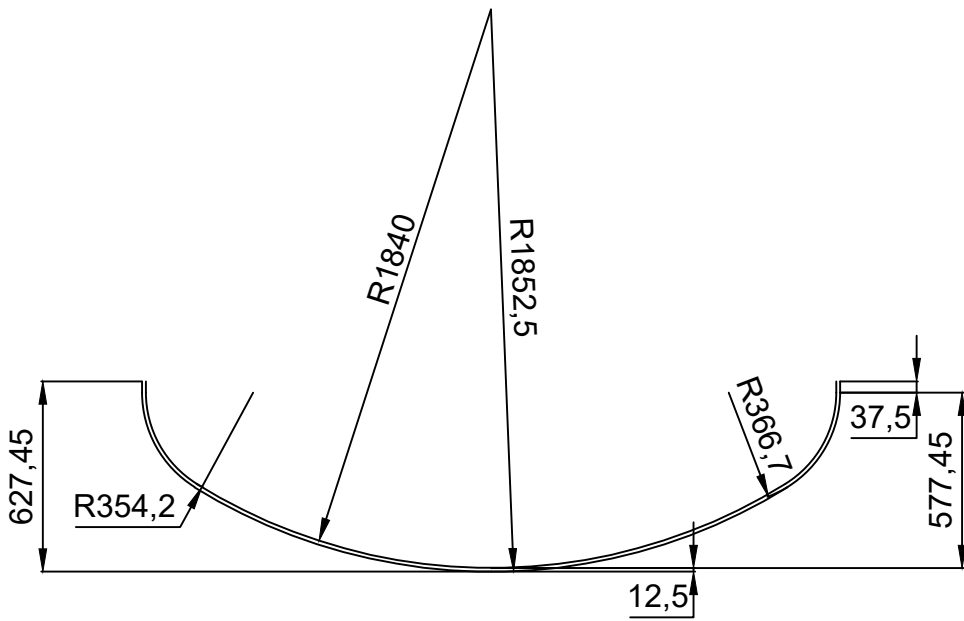
DOCUMENTO 3. PLANOS



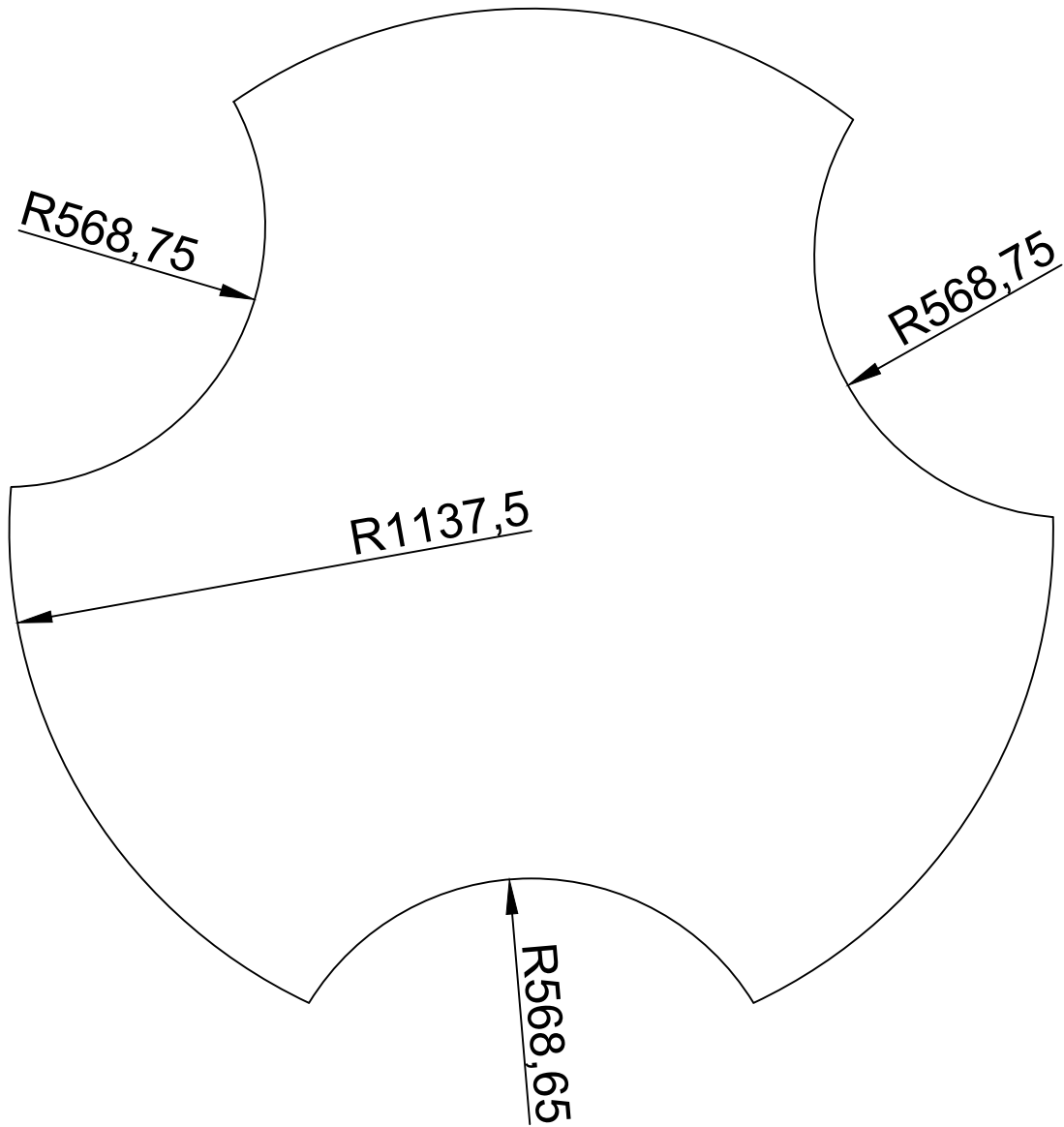
CISTERNA COMPLETA				PLANO N°
				1
	Fecha	Nombre	Firma	Universidad Politécnica de Cartagena Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial
Dibujado	12/11/12	L.M.J..		
Comprobado				
Revisado				
ESCALA	Cisterna para transportar mercancías peligrosas			Nombre alumno: Lope Apellidos: Martínez Jiménez Especialidad: GITI.
1/1	SUSTITUYE AL PLANO		SUSTITUIDO POR	
CÓDIGO	FECHA	15/11/20	Nº HOJAS	



VIROLA				PLANO N°
				2
Fecha	Nombre	Firma		Universidad Politécnica de Cartagena Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial
Dibujado	12/11/12	L.M.J..		
Comprobado				
Revisado				
ESCALA	Cisterna para transportar mercancías peligrosas			Nombre alumno: Lope Apellidos: Martínez Jiménez Ingeniería Técnica Industrial. Especialidad: GITI.
1/1	SUSTITUYE AL PLANO	SUSTITUIDO POR		
CÓDIGO	FECHA	15/11/20	N° HOJAS	



FONDO				PLANO N°
				3
	Fecha	Nombre	Firma	Universidad Politécnica de Cartagena Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial
Dibujado	12/11/12	L.M.J.		
Comprobado				
Revisado				
ESCALA	Cisterna para transportar mercancías peligrosas			Nombre alumno: Lope Apellidos: Martínez Jiménez Ingeniería Técnica Industrial. Especialidad: GITI.
1/1	SUSTITUYE AL PLANO	SUSTITUIDO POR		
CÓDIGO	FECHA	15/11/20	N° HOJAS	



ROMPEOLAS				PLANO N° 4
	Fecha	Nombre	Firma	Universidad Politécnica de Cartagena <u>Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial</u>
Dibujado	12/11/12	L.M.J..		
Comprobado				
Revisado				
ESCALA	Cisterna para transportar mercancías peligrosas			Nombre alumno: Lope Apellidos: Martínez Jiménez Ingeniería Técnica Industrial. Especialidad: GITI.
1/1	SUSTITUYE AL PLANO	SUSTITUIDO POR		
CÓDIGO	FECHA	15/11/20	N° HOJAS	

Bibliografía.

1. Normativas.

- RID 2019
- NFPA (704)
- UNE EN 736-1
- UNE EN 1552-2
- UNE EN 3834-1
- UNE EN 3834-2
- UNE EN 7005-1
- UNE EN 10222-2
- UNE EN 12266-2
- UNE EN 12516
- UNE EN 12561-1
- UNE EN 12561-2
- UNE EN 12651-2
- UNE EN 12651-7
- UNE EN 13445
- UNE EN 14025
- UNE EN 14432
- UNE EN 14433
- UNE EN 17635
- UNE EN 17637
- UNE EN 22825

2. Páginas de internet.

<https://www.ecured.cu/Propano>

https://es.123rf.com/photo_79575962_f%C3%B3rmula-qu%C3%ADmica-y-modelo-de-mol%C3%A9cula-de-propano-c3h8-ilustraci%C3%B3n-vectorial.html

<https://propanogas.com/faq/que-es-gas-propano>

<https://app.tecsup.edu.pe/file/intranet/sso/msds/Propane.pdf>

<https://www.cepsa.es/stfls/comercial/FICHEROS/PROPANO.PDF>

https://www.arlsura.com/index.php?option=com_content&view=article&id=739#:~:text=La%20norma%20NFPA%20704%20es,pe%C3%B1igros%20de%20los%20materiales%20pe%C3%B1igr osos.&text=La%20norma%20NFPA%20704%20pretende,de%20la%20sustancia%20a %20clasificar.

<http://www.zimmerlin->

[spain.com/?gclid=Cj0KCQjw3Nv3BRC8ARIsAPh8hgKcyvfgYGCGfMtu1AbNRWEwhCpOk2sdsDYhRN3B1Oo_nHnQte56xEOAID2EALw_wcB](http://www.zimmerlin-spain.com/?gclid=Cj0KCQjw3Nv3BRC8ARIsAPh8hgKcyvfgYGCGfMtu1AbNRWEwhCpOk2sdsDYhRN3B1Oo_nHnQte56xEOAID2EALw_wcB)

<https://www.rae.es/>

<https://www.casider.com/acero-p355nh-p-16-es>