



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena



**industriales**

etsii UPCT

# **Diseño, cálculo y fabricación de una cisterna destinada al transporte de mercancías peligrosas (queroseno) acogida al cuerpo Europeo sobre el Transporte de Mercancías Peligrosas por carretera (ADR)**

**Titulación:** Grado Ingeniería Mecánica

**Intensificación:**

**Alumno/a:** Javier Ander Berrueta Muñoz

**Director/a/s:** Federico Cerón de Lara

Cartagena, 20 de Julio de 2014

## AGRADECIMIENTOS

Al director del proyecto por su paciencia y por indicar que camino coger cuando no encuentras la salida a un problema.

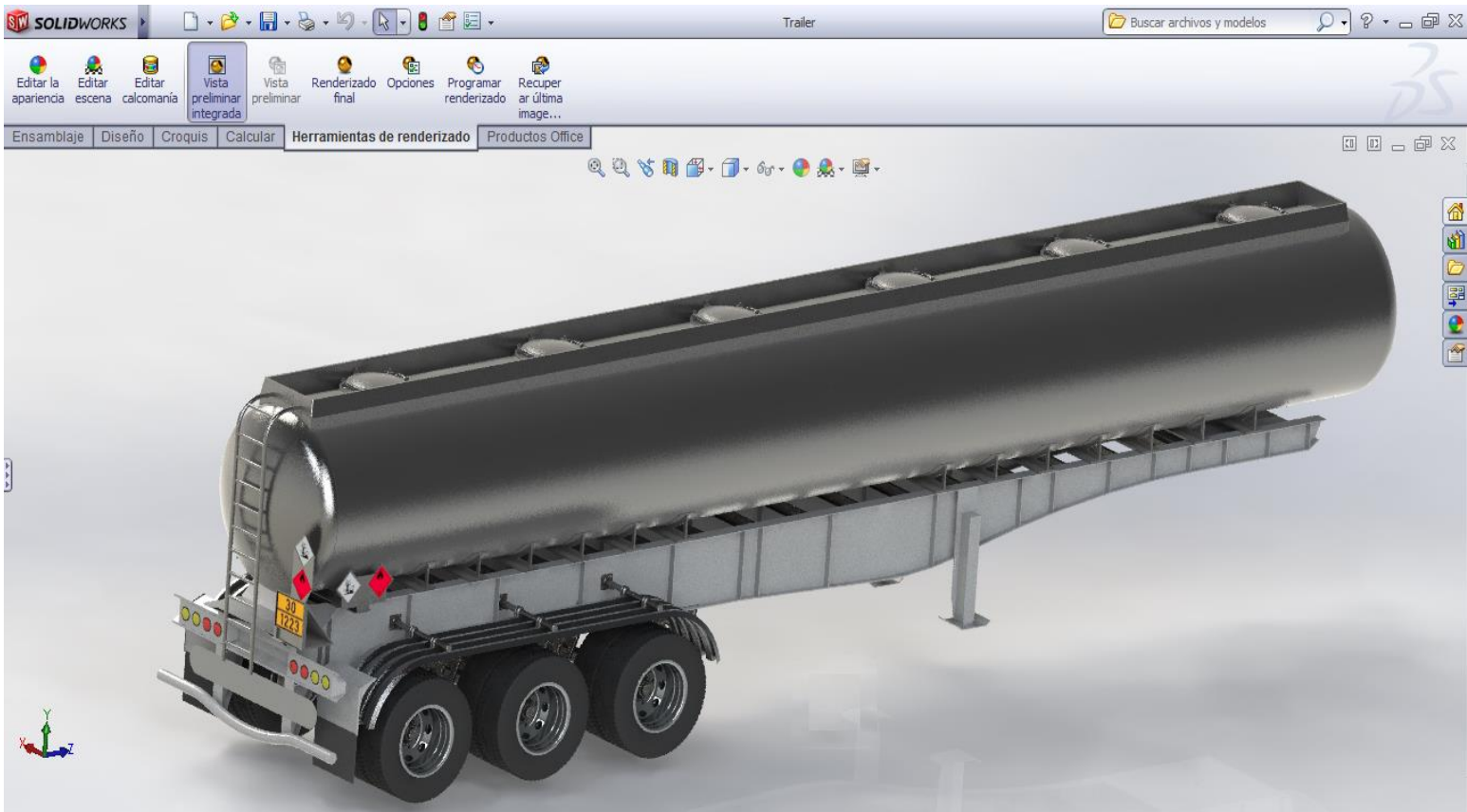
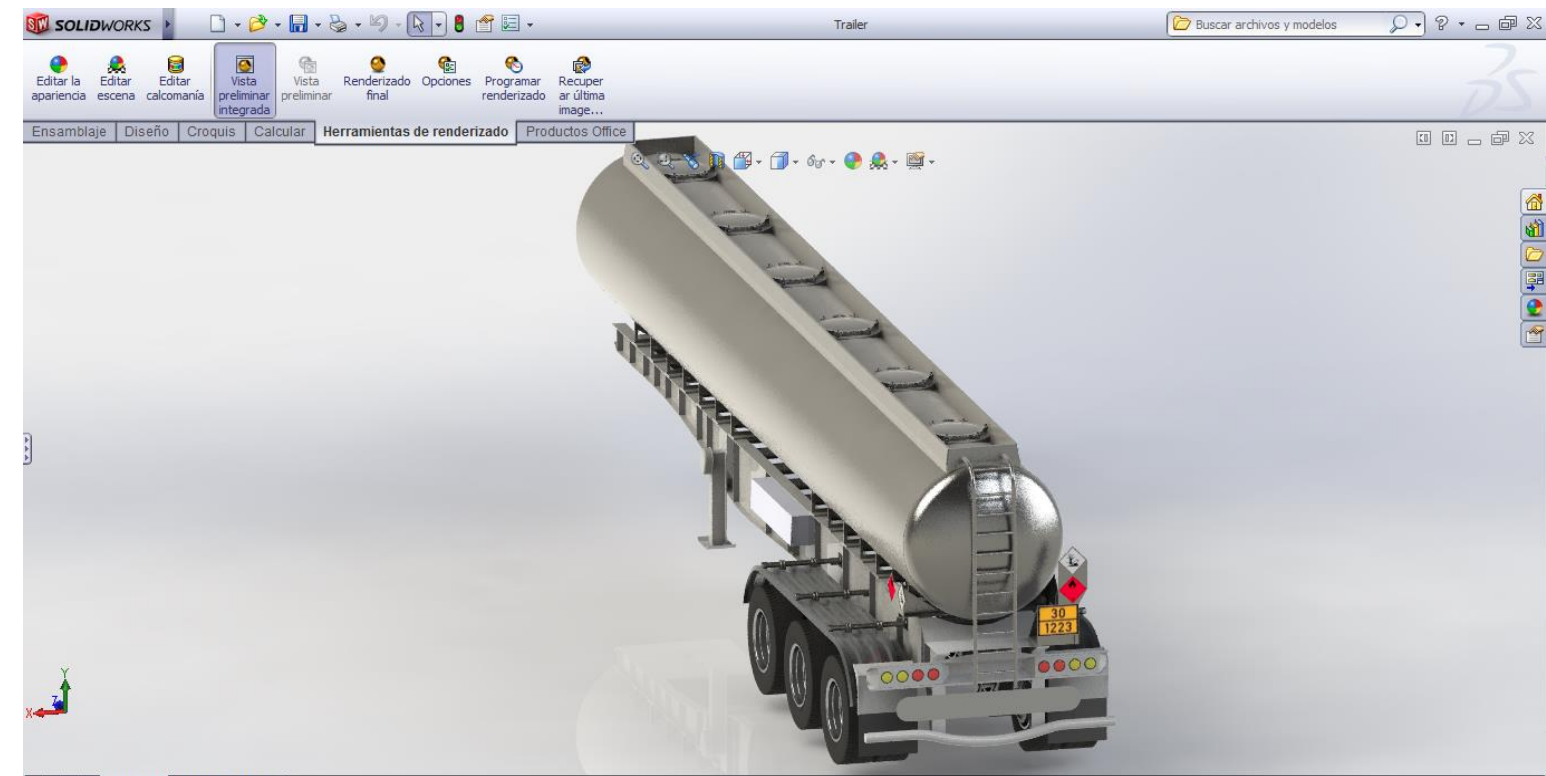
A los compañeros de piso y de clase que han sido compañeros de golferías y borracheras, en los que he podido apoyarme cuando más lo he necesitado.

Especial agradecimiento a mi familia por su apoyo incondicional y por estar siempre ahí, tanto en los momentos de alegría como en los momentos de tristeza.

Este proyecto es dedicado a mi padre, el cual me enseñó parte de lo que sé desde pequeño, siempre estuvo cuando más lo necesité y por ello le dedico este proyecto en su memoria.

## Índice

I. MEMORIA.....	5
1. Objetivo:.....	5
2. Normativa:.....	5
3. Definiciones y símbolos:.....	6
4. Caracterización de la cisterna:.....	9
4.1. Diseño del depósito:.....	9
4.1.1. Productos a contener:.....	9
4.1.2. Tipo de depósito:.....	14
4.1.3. Especificaciones del depósito:.....	16
4.1.4. Estructura y elementos del depósito:.....	22
4.2. Equipos de servicio.....	24
4.2.1. Memoria de los equipos.....	24
4.3. Remolque-vehículo:.....	25
5. Marcado.....	26
6. Equipamiento de la cisterna.....	27
II. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS.....	29
1. Determinación de paredes, fondos, cierres y aberturas.....	29
2. Determinación del esfuerzo en los accesorios de la cisterna.....	39
2.1. Determinación del número y cálculo de durmientes.....	39
2.2. Estabilidad de la cisterna.....	40
2.3. Aislamiento térmico.....	43
III. PLANOS.....	44
IV. PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN Y SOLDADURA.....	45
1. Fases de fabricación y montaje.....	45
2. Unión con el vehículo.....	47
3. Soldaduras. Procedimientos y técnicas.....	47
V. INSPECCIONES, ENSAYOS Y PRUEBAS.....	50
VI. DOCUMENTACIÓN Y CERTIFICACIÓN.....	53
VII. EVALUACIÓN DE RIESGOS DE LA SEGURIDAD Y DEL MEDIO AMBIENTE.....	56



# I. MEMORIA.

## 1. Objetivo:

El objetivo de este proyecto es realizar el diseño, el cálculo y el proceso de fabricación de una cisterna. Esta cisterna se utilizará para el transporte de mercancías peligrosas según las normativas vigentes. Se seguirán las normas como el ADR, norma en la que se indican las características de cada una de las sustancias catalogadas como peligrosas. Se seguirán además más normas como en el apartado 2 se indicará.

Se pidió en un principio escoger entre una de las sustancias que son catalogadas como clase dos, tres u ocho. La materia a transportar en la cisterna será el queroseno, de la clase 3.

Se pretende dar una solución al diseño y la fabricación de la cisterna de tal forma que con estos factores se pueda obtener el marcado CE para su posible uso.

## 2. Normativa:

La normativa que se ha seguido y se ha utilizado para el diseño, la fabricación y el diseño de las soldaduras son las siguientes:

- ADR 2013 y sus correcciones.
- Directiva 2008/68/CE.
- R.D. 97/2014 (anexo 5).
- Reglamento UE 305/2011.
- R.D. 340/2010.
- R.D. 1437/2002.
- R.D. 749/2001.
- Orden de Industria 16/10/96.
- Orden de Industria 30/12/85.
- Norma UNE EN 13094 de 2009.
- R.D. 1388/2011.
- R.D. 202/2001.
- Órdenes Ministeriales 85/94/96.
- ITC MIE / AP07.
- ITC MIE EP-6.
- UNE EN 14432 de 2007.

- UNE EN 12972 de 2009.
- R.D. 750 de 2010.
- R.D. 948 de 2005.

### 3. Definiciones y símbolos:

Las definiciones que se darán a continuación son definiciones que se han utilizado en el proceso de diseño y en los cálculos que se realizarán:

“*Cisterna*”: un depósito, incluidos sus equipos de servicio y de una estructura. Cuando la palabra se utilice sola, engloba los contenedores cisterna, las cisternas portátiles, las cisternas desmontables y las cisternas fijas, como se definen en esta sección, así como las cisternas que constituyen elementos de vehículos batería o CGEM.

“*Cisterna fija*”: cisterna de una capacidad de superior a 1000 litros que está fijada sobre un vehículo (que se convierte así en un vehículo cisterna) o que forma parte integrante del chasis de tal vehículo.

“*Cuerpo*”: el recipiente propiamente dicho, comprendidos los orificios y sus cierres, excluyendo el equipo de servicio.

“*Depósito*”: la envoltura que contiene la materia (inclusive la apertura y sus medios de obturación). Carcasa que contiene la sustancia a transportar.

“*Empresa*”: toda persona física o jurídica con o sin fin lucrativo, toda asociación o todo grupo de personas sin personalidad jurídica y con o sin fin lucrativo, así como todo organismo de la autoridad pública tanto si está dotado de una personalidad jurídica propia como si depende de una autoridad que tiene esta personalidad.

“*Equipo de estructura*”: de la cisterna de un vehículo cisterna, los elementos de reforzamiento, de fijación, de protección o de estabilidad que sean exteriores al depósito.

“*Equipo de servicio*”: de la cisterna, los dispositivos de llenado, de vaciado, de aireación, de seguridad, de calefacción y de aislamiento térmico, cuando proceda.

“*Grado de llenado*”: la relación de 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*”: a los fines de embalaje, un grupo al que pertenecen algunas materias en función del grado de peligrosidad que presentan para el transporte.

“*Mercancías peligrosas*”: las materias y objetos cuyo transporte está prohibido según el ADR o autorizado únicamente en las condiciones que éste prevé.

“*Número ONU o N° ONU*”: el número de identificación de cuatro cifras de las materias u objetos extraídos del Reglamento Tipo ONU.

“*Presión de cálculo*”: una presión ficticia como mínimo igual a la presión de prueba, pudiendo rebasar más o menos la presión de servicio según el grado de peligro representado por la materia transportada, y que únicamente sirve para determinar el espesor de las paredes del depósito, independientemente de todo dispositivo de refuerzo exterior o interior.

“*Presión de llenado*”: la presión máxima efectivamente alcanzada en la cisterna durante el llenado a presión.

“*Presión de prueba*”: la presión debe ejercerse en el transcurso de la prueba de presión de la cisterna 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 de vaciado*”: la presión de máxima efectivamente alcanzada en la cisterna durante el vaciado a presión.

“*Presión máxima de servicio*”: el más alto de los tres valores siguientes:

- 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.
- Presión manométrica efectiva a que está sometido por su contenido a la temperatura máxima de servicio.

Salvo en condiciones particulares el valor numérico de esta presión de servicio no debe ser inferior a la tensión de vapor de la materia de llenado a 50°C.

También se puede denominar como la presión más elevada entre las cuatro siguientes,  $P_d$ ,  $P_r$ ,  $P_v$  y  $P_{ts}$ .

“*Punto de inflamación*”: la temperatura más baja de un líquido en la que sus vapores forman con el aire una mezcla inflamable.

“*Deflector*”: cualquier estructura, distinta de un tabique rompeolas, destinada a evitar el movimiento del contenido del depósito.

“*Capacidad*”: volumen en bruto del depósito completo o del compartimento del depósito.

“*Módulo de sección*”: segundo momento de área de una estructura sobre su eje principal dividido por la distancia máxima comprendida entre el eje principal y la fibra del extremo de la sección empleada en los cálculos.

“Resiliencia específica”: integral de la fuerza aplicada y de la flexión medida en una probeta hasta el punto en el que la barra de ensayo penetra en la probeta, como viene indicado en el punto de fuerza máxima.

“Resiliencia global”: Habilidad de un depósito con divisiones múltiples o tabique rompeolas para soportar un impacto lateral con una viga.

“Tabique rompeolas”: pared no sellada herméticamente en cisternas o compartimientos de los depósitos destinada a reducir el efecto del oleaje, montada perpendicularmente al sentido de la marcha, con un área de, al menos, el 70% del área transversal de los depósitos en las que se sitúa el tabique rompeolas.

“Presión de ensayo”: presión efectiva más elevada que se produce en el tanque durante el ensayo de presión.

Los símbolos que se utilizará en los cálculos se exponen su significado a continuación.

$A$	→	porcentaje de alargamiento hasta la rotura.
$A_l$	→	porcentaje mínimo de alargamiento después de la rotura del metal empleado.
$e$	→	espesor del depósito (mm) .
$e_v$	→	espesor de una virola (mm).
$e_{vmin}$	→	espesor mínimo del depósito de acuerdo con el apto 6.9.1. de la norma UNE EN 13094. Expresado en mm.
$e_0$	→	espesor mínimo del depósito de acero de referencia, en (mm).
$e_1$	→	espesor de la parte de mayor espesor de un depósito en (mm).
$e_2$	→	espesor de la parte de menor espesor de un depósito en (mm).
$g$	→	aceleración debida a la gravedad, en (m/s <sup>2</sup> ).
$N$	→	factor de seguridad.
$P_d$	→	presión efectiva más alta admisible en un depósito durante la descarga (MPa).
$P_r$	→	presión efectiva más alta admisible en un depósito durante el llenado (MPa).
$P_{ts}$	→	presión de apertura de del sistema de venteo (MPa).
$P_v$	→	presión efectiva a la que se somete un depósito por la sustancia transportada a la temperatura de diseño (MPa).
$P_x$	→	presión de diseño del tanque.
$R$	→	radio interior del cierre abombado en (mm).
$R_d$	→	resistencia a la tracción determinada en (N/mm <sup>2</sup> ).
$R_{et}$	→	límite de elasticidad aparente para los aceros con un punto de fluencia definido claramente o resistencia a la tracción para un alargamiento del 0,2% garantizada para aceros con un punto de fluencia que no esté claramente definido a la temperatura de diseño mínima.
$R_m$	→	resistencia a la tracción en (N/mm <sup>2</sup> ).
$R_{mt}$	→	resistencia a la tracción a la temperatura de diseño mínima en (N/mm <sup>2</sup> ).
$R_{ml}$	→	resistencia a la tracción del metal empleado en (N/mm <sup>2</sup> ).



$S_b$	→	área de tracción total en (mm <sup>2</sup> ).
$S_0$	→	área transversal inicial de una probeta empleada en el ensayo de tracción en (mm <sup>2</sup> ).
$Z_0$	→	módulo de sección mínimo en el acero de referencia en (cm <sup>3</sup> ).
$Z_l$	→	módulo de sección mínimo en el meta empleado en (cm <sup>3</sup> ).
$\sigma_c$	→	esfuerzo de diseño para el material de la cubierta en (N/mm <sup>2</sup> ).
$\sigma_r$	→	esfuerzo de diseño para el material de la brida en (N/mm <sup>2</sup> ).

## 4. Caracterización de la cisterna:

### 4.1. Diseño del depósito:

#### 4.1.1. Productos a contener:

El producto que contendrá la cisterna es el Queroseno con número ONU 1223, a continuación se presentará la ficha técnica de dicho producto.

##### a) Rasgos generales del Queroseno:

Es un líquido transparente (o con ligera coloración amarillenta) obtenida por destilación del petróleo. De densidad intermedia entre la gasolina y el gasóleo o diesel, se utiliza como combustible, el JP que es una abreviatura de Jet Petrol utilizado en los motores a reacción y en turbinas de as o bien se añade al gasóleo de automoción en las refinerías. Se utiliza también como disolvente y para calefacción doméstica, como dieléctrico en procesos de mecanizado por descargas eléctricas y antiguamente se utilizaba para iluminación. Es insoluble e agua.

##### b) Descripción y usos del Queroseno:

El queroseno es una fracción refinada del petróleo crudo utilizada normalmente para alumbrar, calentar, cocinar, así como para motores diesel, cohetes, mecheros, encendedores y además se utiliza como base para insecticidas. Por mucho tiempo fue empleado para la iluminación conocido como combustible para lámparas.

Este producto es obtenido del petróleo crudo por destilación y su porcentaje de pureza varía con respecto al crudo. Es utilizado frecuentemente como desinfectante e insecticida.

c) **Propiedades del Queroseno:**

El queroseno es un hidrocarburo derivado del petróleo y un líquido oleaginoso inflamable, viscoso y liviano, su color varía de incoloro a negro y consiste en una mezcla de ciertos compuestos diferentes, la mayoría de estos son los hidrocarburos compuestos que contienen átomos de carbono e hidrógeno formando moléculas de hasta 50 átomos de carbono (presentan pequeñas cantidades de azufre, nitrógeno, oxígeno y metales pesados, los cuales no se encuentran en estado libre sino formando parte de las moléculas de los varios hidrocarburos).

La masa molecular del queroseno es de aproximadamente 170 g/mol.

La composición aproximada que presenta el queroseno se mueve en el rango de C-12 y C-16, normalmente hierve entre los 150°C y los 235 - 315°C. Sus propiedades difieren según la zona substancial en composición, sulfuro, cicloparafinas y contenido aromático, por ejemplo el queroseno utilizado para iluminación es un destilado inmediato de crudos parafinados o mezclados y destilados tratados con solventes de los crudos aromáticos.

d) **Composición y características del Queroseno:**

La composición del queroseno que se utiliza como aceite combustible es de

Carbono → 84%      y de      Hidrógeno → 16%

La proporción de azufre no debe superar los 0.125%.

Su potencia calorífica se encuentra entre un rango de valores desde 11.000 a 11.700 kcal/Kg. Se aconseja que el punto final de destilación sea de 529°C como máximo, con un punto de inflamación de 46,1°C como mínimo (reducir riesgo de explosión).

- El queroseno presenta un olor característico.
- Es insoluble en agua.
- Densidad de 0,8 g/cm<sup>3</sup>.
- Densidad de vapor 4,5 g/ cm<sup>3</sup>.
- Presión de vapor 0,5 mm de Hg a 20°C → 12,3 kPa a 20°C.
- Punto de congelación a -18°C.
- Punto de ebullición 65°C.
- Punto de fusión -94°C.
- Peso molecular 32.
- Temperatura de autoignición 220°C.
- Límites de explosividad % en volumen en el aire 0,6 - 0,8.

e) **Riesgos de salud y medioambiente:**

Para la salud humana es un elemento tóxico, puede causar daños a los pulmones si es ingerido, su aspiración puede causar neumonía química que puede provocar la muerte. El contacto por tiempo prolongado puede reseca la piel originando dermatitis, en condiciones de poca higiene personal, una exposición excesiva puede originar irritación, acné, funiculitis y verrugas que podrían ser malignas. La exposición prolongada a concentraciones puede afectar al sistema nervioso central.

Es un elemento inflamable, puede flotar y reencenderse sobre la superficie del agua, el vapor es más pesado que el aire, se propaga a nivel del suelo, siendo posible la ignición en un lugar alejado del punto de emisión.

El queroseno es tóxico para todos los organismos que viven en el agua. A largo plazo puede causar efectos adversos al medio ambiente. En grandes cantidades puede penetrar en el suelo y contaminar las aguas subterráneas. No es fácilmente biodegradable y posee un potencial bioacumulativo.

TIPOS DE PELIGRO	PELIGROS	PREVENCIÓN
INCENDIO	Inflamable	Evitar llama abierta, no producir chispa, no fumar y no poner en contacto con superficies calientes.
EXPLOSIÓN	Las mezclas de vapor/aire son explosivas	Evitar la generación de cargas electrostáticas (por ejemplo, mediante conexión a tierra) si se encuentra en estado líquido

EXPOSICIÓN	SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS
INHALACIÓN	Confusión mental, vértigo, dolor de cabeza.	Ventilación.	Aire limpio, reposo, respiración artificial si estuviera indicada y someter a atención médica
PIEL	¡Puede absorberse! Piel seca, aspereza, (para mayor información véase Inhalación).	Guantes protectores.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar y lavar la piel con agua y jabón y solicitar atención médica. Utilizar guantes protectores cuando se administren primeros auxilios.
OJOS	Enrojecimiento.	Gafas de protección de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después consultar a un médico.
INGESTIÓN	Dolor abdominal, diarrea, náuseas, vómitos, (para mayor información véase Inhalación).	No comer, beber ni fumar durante el trabajo.	NO provocar el vómito, reposo y someter a atención médica.

**f) Medidas de primeros auxilios:**

En caso de haber ingerido actuar de forma rápida no provocando el vómito. Proteger las vías respiratorias si se inicia el vómito. No administrar nada vía oral. Si el paciente está inconsciente pero mantiene la respiración, colocarlo en posición de recuperación, si se detiene la respiración aplicar respiración artificial. Obtener atención médica inmediatamente.

Si ha existido contacto con la vista ojos: Lavar los ojos con agua. Si la irritación continúa, obtener atención médica.

En caso de inhalación trasladar a una atmósfera no contaminada. Si la respiración continúa, pero la persona afectada está inconsciente, colocarla en posición de recuperación. Si la respiración se detuviera, practicar la respiración artificial. Si los latidos del corazón desaparecen, aplicar masaje cardíaco,

controlar la respiración y el pulso. Obtener atención médica inmediatamente.

En caso de existir contactos prolongados en la piel: Lavar la piel con agua y jabón. Quitar la ropa contaminada lo antes posible. Lavarla antes de un nuevo uso.

**g) Medidas contraincendios:**

- Las medidas de extinción que se emplean para este producto son: polvo, espuma resistente al alcohol, agua en grandes cantidades, dióxido de carbono.
- En caso de incendio en el entorno están permitidos todos los agentes extintores.
- En caso de explosión y de incendio cercano deberá mantenerse fríos los bidones y demás instalaciones por pulverización con agua.
- Productos de descomposición: monóxido de carbono y formaldehído.
- Equipos de protección personal especial: trajes aluminados y equipo de respiración autónomo
- Mantener fríos los recipientes de almacenamiento y demás instalaciones con agua.
- Evitar las llamas, no producir chispas y no fumar, no poner en contacto con oxidantes. Sistema cerrado, ventilación, no expuesto a equipos eléctricos de alumbrado ni a prueba de explosiones. Extracción localizada y protección respiratoria.
- Condiciones de almacenamiento: A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes. Mantener en lugar fresco.

**h) Estabilidad y reactividad:**

El vapor se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas. La sustancia se descompone al calentarla intensamente, produciendo monóxido de carbono y formaldehído.

Reacciona violentamente con oxidantes, originando peligro de incendio y explosión. Ataca al plomo y al aluminio.

Condiciones que deben evitarse: Fuentes de calor e ignición.

Materiales a evitar: Oxidantes, plomo y aluminio.

Productos de descomposición: monóxido de carbono y formaldehído.

Polimerización: No aplicable.

**i) Derrames y fugas:**

Evacuar la zona de peligro. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes herméticos, absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. NO verter en el alcantarillado. NO absorber en

serrín u otros absorbentes combustibles. (Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).

El grado de llenado que presenta el queroseno según apunta en la normativa ADR en el capítulo 4.3.2.2.1 y como el queroseno es inflamable y tóxico, entonces tenemos que el grado de llenado es el siguiente:

$$\text{grado de llenado} = \frac{98}{1 + \alpha(50 - t_f)}$$

teniendo en cuenta que:

$t_f$  es la temperatura media del líquido en el momento de llenado.

$\alpha$  es el coeficiente medio de la dilatación cúbica del líquido entre 15°C y 50°C, con una variación máxima de temperaturas hasta 35°C, se obtiene de la siguiente ecuación:

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

Siendo  $d_{15}$  y  $d_{50}$  las densidades del líquido a 15°C y a 50°C y  $t_f$  la temperatura media del líquido en el momento del llenado.

#### 4.1.2. Tipo de depósito:

##### a) Caracterización del depósito:

Primero se escogerá el remolque en el que se montará el depósito o la cisterna, así se ahorrará el diseño del remolque. Para ello se investigarán varios fabricantes y se les pedirá los catálogos. Viendo varios de los fabricantes de remolques, se ha decidido optar por el remolque que ofrece la empresa ROJO. Para caracterizar el depósito ahora se puede indicar que el depósito será completamente circular, no tendrá forma elíptica, únicamente será circular.

El depósito se realizará bajo las normas que se han expuesto en el apartado 2, en concreto la mayor parte se realizará mediante la normativa ADR y de la norma UNE EN 13094, las cuales indican las presiones, las tensiones y las indicaciones que hay que seguir para la realización.

## b) Código de la Cisterna:

La codificación de la cisterna viene dada en la normativa ADR, concretamente en el capítulo 4.3.1.1 sabiendo que en la Tabla A del capítulo 3.2, en la columna 12, se indica que la cisterna está clasificada como LGBF, la cual significa:

- Tipos de cisternas: L → cisternas para materiales en estado líquido (materias líquidas o materias sólidas entregadas para el transporte en estado fundido).
- Presión de cálculo: G → presión mínima de cálculo según las disposiciones generales del apto 6.8.2.1.14 del ADR o 1,5; 2,65; 4; 10; 15 ó 21 (presión dada en bares).  
Según el apto 6.8.2.1.14 del ADR se tiene que cuando se indica la letra G, los depósitos de vaciado por gravedad destinados al transporte de materias cuya presión de vapor a 50°C no sobrepase 110kPa (1,1bar) (presión absoluta), se calcularán para resistir una presión doble de la presión estática de la materia a transportar, sin que sea inferior a dos veces la presión estática del agua.
- Aberturas: B → cisterna con aberturas de llenado y vaciado situadas en la parte inferior con 3 cierres.
- Válvulas/dispositivos de seguridad: F → cisterna con dispositivo de protección contra la propagación del fuego o cisterna resistente a la presión generada por una explosión.
- En el apto 4.2.1.9.3 del ADR se indica que las disposiciones especiales de la cisterna es TP2, lo cual indica que la cisterna no debe superarse el grado de llenado dado en el apto anterior.
- Categoría de transporte 3, es decir, líquidos inflamables.
- Clasificación F1, el líquido a transportar es inflamable con un punto de inflamación inferior o igual a 60°C.
- Categoría de embalaje hace parte del grupo de embalaje III, estas materias presentan un grado menor de peligrosidad.
- El código de identificación del peligro para la cisterna que transporta queroseno deberá indicarse en la parte delantera del vehículo que arrastre la cisterna y en la parte trasera de la cisterna. Este panel debe ser anaranjado y tendrá como número en la parte de arriba el número 30 y en la parte de abajo tendrá el número de identificación ONU (ver figura 1).
- Además deberá fijarse en la parte trasera y en ambos laterales dos placas de identificación de clase 3 y de contaminación de agua (ver figura 2 y 3).



Figura 1



Figura 2



Figura 3

El número 30 significa que el queroseno es materia líquida inflamable.

#### 4.1.3. Especificaciones del depósito:

Al escoger el remolque de la empresa ROJO y viendo la longitud del propio remolque, podemos indicar la longitud que va a presentar la cisterna. La longitud de la cisterna serán 13 metros de largo y a partir de este dato podemos obtener el diámetro de la cisterna, como se ha indicado antes la cisterna será totalmente circular.

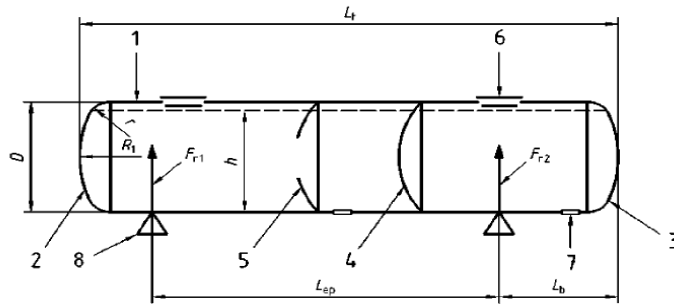
Con la capacidad o carga útil que puede resistir el remolque podemos calcular la capacidad que se puede transportar. Se divide una parte para lo que es en sí el peso de la materia o sustancia peligrosa y la otra parte para los diversos elementos de los que va a constar la cisterna, como lo es la propia cisterna, el equipo de protección y de más.

La cisterna se compone de virolas circulares y dos fondos que serán abombados, éstos irán unidos entre sí mediante soldadura.

Se expondrán los valores de las dimensiones que vienen dados en la Tabla A.1 de la norma UNE EN 13094 del 2009.

Para que quede un poco más claro las dimensiones y parámetros que se van a utilizar se presenta la figura 4 en la que se expone una cisterna con ciertas variables:





Leyenda

- 1 Pared del depósito
- 2 Fondo delantero
- 3 Fondo trasero
- 4 Separaciones
- 5 Tabiques rompeolas
- 6 Abertura superior
- 7 Abertura inferior
- 8 Soportes

Figura 4

El diámetro de la cisterna es de 1.600 mm.

La carga útil del remolque son 33.900 Kg, que si lo indicamos en Newtons (fuerza) pues lo multiplicamos por la constante de la gravedad (g) que se tomará como  $9,81 \text{ m/s}^2$ .

$$33.900 \text{ kg} * 9.81 \text{ m}^2/\text{s} = 332.559 \text{ N}$$

Ahora se pretende calcular el grado de llenado de la cisterna, tal como se indicó en uno de los apartados anteriores la fórmula viene dada por:

$$\text{grado de llenado} = \frac{98}{1 + \alpha(50 - t_f)}$$

de donde se sabe que

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

Siendo  $d_{15}$  y  $d_{50}$  las densidades del líquido a  $15^\circ\text{C}$  y a  $50^\circ\text{C}$  y  $t_f$  la temperatura media del líquido en el momento del llenado.

Sabemos que  $d_{15} = 940 \text{ kg/m}^3$  y que  $d_{50} = 775 \text{ kg/m}^3$  y  $t_f = 26^\circ\text{C}$

$$\alpha = \frac{d_{15} - d_{50}}{35 * d_{50}} = \frac{940 - 775}{35 * 775} = 6,083 * 10^{-3}$$

$$\text{grado de llenado} = \frac{98}{1 + \alpha(50 - t_f)} = \frac{98}{1 + 6,083 * 10^{-3}(50 - 26)} = 85,5\%$$

Ahora sabemos la altura de llenado de la cisterna es de 85%, es decir, no puede superar este valor.

A continuación se calcula la altura de llenado, sabiendo el grado llenado y las dimensiones de la cisterna, en este caso la altura máxima de llenado sería 1.600 mm, con lo cual la altura de llenado es la siguiente:

$$h = 85\% \text{ de } 1.600 \text{ mm} = 0,85 * 1.600 \text{ mm} = 1.360 \text{ mm}$$

Con lo que la altura de llenado es de 1.360 mm, este valor no puede sobrepasarse cuando se realicen las operaciones de llenado y transporte.

A continuación se calcula el peso del producto que se transporta, como el queroseno es líquido en condiciones ambiente y en condiciones de transporte, entonces se puede decir que sólo se transporta líquido, pero para los cálculos se considerará que el 15% restante será gaseoso. Con esto calculamos el volumen que ocupa el líquido y a continuación la masa del líquido, por último calculamos el volumen del gas y la masa del mismo.

Sabemos que el volumen total de la cisterna es de  $26,25 \text{ m}^3$ , con lo cual el 85% será líquido y el restante lo consideraremos gas (15%).

$$V_{\text{liq.}} = 0,85 * 26,25 \text{ m}^3 = 22,3125 \text{ m}^3 \quad \text{el líquido estará al } 85\%$$

$$V_{\text{gas}} = 0,15 * 26,25 \text{ m}^3 = 3,9375 \text{ m}^3 \quad \text{el gas estará a } 15\%$$

La masa del líquido será:

$$m_{\text{liq.}} = \rho_{\text{liq.}} * V_{\text{liq.}} = 800 \text{ kg/m}^3 * 22,3125 \text{ m}^3 = 17.850 \text{ kg}$$

Masa del gas en el depósito, primero debemos calcular los moles que tenemos, es:

$$n_{\text{gas}} = \frac{P * V}{R * T} = \frac{0,232 \text{ atm} * 3937,5 \text{ l}}{0,08206 \text{ l} * \text{ atm} / (\text{mol} \cdot \text{K}) * 323 \text{ K}} = 34,465 \text{ mol gas}$$

Obtenemos la masa del gas:

$$m_{\text{gas}} = n_{\text{gas}} * P_{m_{\text{gas}}} = 34,465 \text{ mol} * 170 \text{ g/mol} = 5858,999 \text{ g} = 5,859 \text{ kg de gas}$$

La masa total es la suma de ambas fases:

$$m_{\text{total}} = m_{\text{gas}} + m_{\text{liq.}} = 5,859 \text{ kg} + 17.850 \text{ kg} = 17.855,859 \text{ kg}$$

$$\text{y el peso} \quad M_p = m_{\text{total}} * g = 17.855,859 \text{ kg} * 9,81 \text{ m}^2/\text{s} = 175.165,9768 \text{ N}$$

La posición del soporte trasero con respecto a la parte trasera del remolque está a 4.159 mm, esta longitud es la variable que viene en la figura 4 como  $L_b$ :

$$L_b = 4.159 \text{ mm}$$

La distancia que existe entre los soportes del remolque son:

$$L_{ep} = 7.806 \text{ mm}$$

Los radios internos del reborde son de 200 mm, viene a ser la variable  $r$ .

Los radios internos de la corona ( $R_1$ ) son de 2.500 mm.

Se presenta la tabla en forma de resumen de todas las variables que se corresponden con las dimensiones del depósito.

**TABLA A.1. Parámetros dimensionales**

Nº	Elemento	Símbolo	Unidad	Valor
1	Longitud de la cisterna	$L_t$	mm	13.000
2	Peso bruto máximo (cisterna llena y vehículo)	$M$	N	490.500
3	Carga útil (peso bruto máximo – tara)	$Q$	N	332.559
4	Posición del soporte trasero	$L_b$	mm	4.159
5	Distancia entre soportes	$L_{ep}$	mm	7.806
6	Reacción del soporte delantero	$F_{r1}$	N	99.733,62
7	Reacción del soporte trasero	$F_{r2}$	N	232.825,38
8	Gravedad específica máxima del producto transportado	$d$	kg/m <sup>3</sup>	808,664
9	Altura máxima de llenado	$h$	mm	1.360
10	Diámetro interior máximo o diámetro equivalente para secciones transversales no circulares	$D$	mm	1.600
11	Radio interno del reborde	$r$	mm	200
12	Radio interno de la corona	$R_1$	mm	2.500
13	Límite de elasticidad aparente a la temperatura de diseño	$R_{et}$	N/mm <sup>2</sup>	410
14	Resistencia a la tracción a la temperatura de diseño	$R_{mt}$	N/mm <sup>2</sup>	475
15	Peso del producto transportado en el compartimento	$M_p$	N	175.165,9768
16	Módulo elástico de tracción (módulo de Young)	$E$	N/mm <sup>2</sup>	210.000
17	Distancia desde la parte trasera de la cisterna hasta el punto con el momento de flexión máxima	$X$	mm	6.170,703
18	Mitad del ángulo de la envoltura cónica	$\beta$	°	0

Las presiones a las que va a estar sometido el depósito serán las expuestas en la Tabla A.2 de la norma UNE EN 13094 de 2009.

**TABLA A.2. Presiones**

Nº	Presión	Símbolo	Unidad	Valor
1	Presión de vapor a la presión de diseño (presión manométrica)	$P_{vd}$	MPa	0,0237
2	Presión de apertura de la válvula de seguridad o del venteo (presión manométrica)	$P_{ts}$	MPa	0,0264
3	Presión de descarga (presión manométrica)	$P_d$	MPa	0,0251
4	Presión de llenado (presión manométrica)	$P_r$	MPa	0,0242
5	Presión de servicio máxima	$P_{ms}$	MPa	0,0264
6	Presión estática (presión manométrica)	$P_{ta}$	MPa	0,0108
7	Presión dinámica	$P_{dyn}$	MPa	0,08712
8	Presión de ensayo de la cisterna (presión manométrica) (6.5.1)	$P_e$	MPa	0,04615
9	Presión de ensayo en cada compartimento (6.5.2)	$P_{ec}$	MPa	Solo uno
10	Presión de cálculo conforme al apartado 6.5	$P_c$	MPa	0,048

La presión de vapor a la presión de diseño se calcula mediante la ecuación de Antoine y con los parámetros A, B y C. Al ver que los parámetros no se encontraban en tablas de los libros ni por internet le pedí a la empresa Repsol YPF si podían facilitar estos datos. La empresa indicó la presión de vapor a la temperatura de diseño que es 50°C.

La presión de servicio máxima es la mayor entre las cuatro primeras presiones. La presión dinámica se calcula con la siguiente expresión:

$$P_{dyn} = \frac{M_c}{S_t} = \frac{175.165,9768}{2.010.619,298} = 0,08712 \text{ MPa}$$

La presión de cálculo según el apto 6.5 de la norma UNE EN 13094, el que se indica que la presión de ensayo máxima que debe ser superior a la presión creada por una columna de agua de iguala dos veces la profundidad de la altura de la cisterna, o la presión creada por una columna de agua igual a dos veces la profundidad de la cisterna o 1,3 veces la presión de servicio máxima.

Para el cálculo de presiones se presenta la Tabla A.3 de la norma UNE EN 13094 de 2009, en la que se presenta las presiones que se han de calcular para obtener la presión en las condiciones de servicio, conforme el apartado 6.5 de la misma norma.

**TABLA A.3 Presión de cálculo en las condiciones de servicio**

	Unidades	Pared del depósito				Fondo delantero	Fondo trasero	Separaciones			
		1	2	3	4			1	2	3	4
Área transversal interna S <sub>t</sub>	mm <sup>2</sup>					2.010.619,298					
Diámetro D	mm					1.600					
Peso máximo de la sustancia en el compartimento M <sub>c</sub>	N					175.165,9768					
Densidad máxima d	Kg/m <sup>3</sup>					808,664					
Altura máxima h	mm					1.360					
1 P <sub>ta 1</sub>	Mpa					0,0108					
2 2*P <sub>ta 1</sub>	Mpa					0,0216					
3 2*P <sub>ta</sub> agua	Mpa					0,02668					
4 P <sub>ms</sub>	Mpa					0,0264					
5 P <sub>ms</sub> + P <sub>ta 1</sub>	Mpa					0,0372					
6 P <sub>ms</sub> + 2*P <sub>ta 1</sub>	Mpa					0,048					
7 P <sub>ms</sub> + P <sub>ta 1</sub> + 2*P <sub>dyn</sub>	Mpa					Para secciones no circulares					
8 P <sub>c</sub>	Mpa					0,048					

Se exponen las ecuaciones y la forma en las que se obtienen las presiones presentadas en la tabla anterior.

Para la presión denominada P<sub>ta 1</sub>:

$$P_{ta1} = \frac{g * d * h}{10^9} = \frac{9,81 * 808,664 * 1.360}{10^9} = 0,0108 MPa$$

donde d es la densidad de la materia a transportar, la del queroseno.

Para la presión P<sub>ta</sub> agua viene dada por la misma expresión, lo único que hay que hacer es cambiar la densidad del queroseno por la densidad del agua.

La presión de la cuadrícula 7 de la tabla anterior no hace falta calcularla puesto que la cisterna es circular.

En cuanto a los materiales, toda la cisterna se fabricará con un solo tipo de acero, este será Acero AISI 316 L, tanto el cuerpo de la cisterna como el de los accesorios o equipos de la cisterna. Las características de este acero son:

$$R_{et} = 410 \text{ N/mm}^2 \quad \text{límite elástico a la temperatura de diseño}$$

$$R_{mt} = 460 - 860 \text{ N/mm}^2 \quad \text{resistencia a la tracción ala temperatura de diseño}$$

$$E = 190.000-210.000 \text{ N/mm}^2 \quad \text{módulo de Young a la temperatura de diseño}$$

Se expone la Tabla A.5 de la norma UNE EN 13094 de 2009, donde se indica los valores característicos del acero escogido.

**TABLA A.5. Materiales**

	<b>Unidades</b>	<b>Pared del depósito, fondo delantero, fondo trasero, separaciones</b>
Tipo de material		Acero inoxidable austenítico
Grado		316 (L)
Normas o especificaciones		
R <sub>m</sub>	N/mm <sup>2</sup>	475
R <sub>mt</sub> a la temp. de diseño	N/mm <sup>2</sup>	480
R <sub>e</sub>	N/mm <sup>2</sup>	410
R <sub>et</sub> a la temp. de diseño	N/mm <sup>2</sup>	415
E	N/mm <sup>2</sup>	210.000

#### **4.1.4. Estructura y elementos del depósito:**

Los elementos estructurales de la cisterna serán las virolas que contendrán la materia a transportar. Éstas descansarán en los soportes, a los que irá soldado el depósito y éstos mismos descansarán sobre el chasis del remolque.

Como se ha indicado antes las virolas serán completamente circulares de diámetro 1.600 mm y las primeras cinco tendrán una longitud de 2.040 mm y la última de éstas tendrá una longitud de 2.023,43 mm, y los fondos tanto trasero como delantero que tienen las mismas dimensiones son de diámetro de unión con las virolas el mismo de las mismas, 1.600 mm, con un radio de paso de la corona interna de 2.500 mm y de radio interno del reborde de 200 mm.

La cisterna está provista de varios elementos para la protección de la misma contra el vuelco y a los laterales.

##### a) Protección contra daños:

Según el ADR en el capítulo 6.8.2.1.20 existirá protección contra daños para los depósitos de sección circular o elíptica con un radio de curvatura máximo que no supere los dos metros, el depósito estará provisto de refuerzos formados por mamparos, rompeolas, o de anillos exteriores o interiores. El espesor de los mamparos y rompeolas no será, en ningún caso, inferior al del depósito. Los rompeolas y los mamparos serán de forma cóncava, con una profundidad mínima de la concavidad de 10 cm, o de forma ondulada, perfilado o reforzados de otro modo hasta alcanzar una resistencia equivalente. La superficie del rompeolas será, como mínimo, un 70% de la superficie de la sección recta del depósito en el punto en que se instalen.

Se dispondrá de un sistema de protección para los elementos que se encuentren en la parte superior de la cisterna, ya sea protección contra vuelco o por algún golpe. Éste dispositivo irá soldado a la cara exterior del depósito cubriendo los elementos superiores. Debe diseñarse de modo que estos elementos sobresalgan por unos 25 mm más que los elementos para su debida protección.

Los elementos longitudinales y transversales, en este caso la caja, debe ser cerrada, la parte superior de la caja no debe ser inferior a un tercio de la altura de la misma, la altura de los elementos longitudinales no debe ser inferior a 30 mm del elemento más alto. Los miembros estructurales deben extenderse al menos 50 mm por la parte frontal del primer elemento y 50 mm más desde el último elemento. La distancia vertical de los miembros transversales y la envolvente en la línea del centro de la cisterna no debe ser inferior a 10 mm. El espesor de la caja no debe ser inferior a 2 mm para el acero austenítico. Para dar una idea más o menos de como debería ser se presenta la siguiente figura 5.

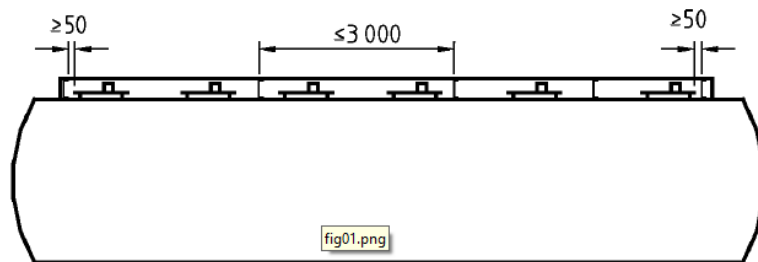


Figura 5

La caja debe ser fabricada con el mismo material que la cisterna y soldadas al depósito, formando secciones cerradas con éste. Como no se cerrará por la parte superior la caja, no se dispondrá de cubetas de derrame.

## 4.2. Equipos de servicio.

### 4.2.1. Memoria de los equipos.

La cisterna para queroseno irá provista de bocas de hombre para facilitar su inspección en los distintos tipos de ensayos e inspecciones que se le practicarán. También contará con varias válvulas de cierre y apertura para el proceso de llenado y vaciado de la cisterna. En los siguientes apartados se especificará más sobre los distintos elementos que llevará la cisterna.

#### a) Boca de Hombre:

Cada cisterna deberá estar provista de una boca de hombre para permitir la inspección interior, en este caso se dispondrá una boca de hombre que suministra la empresa Fort Vale. Después de ver los catálogos y los distintos tipos de elementos de los que disponía, se opta por la boca de hombre denominada 500 mm Pendle 3bar Manlid/ Deep Pressed Neck Assembly, y el modelo de estas será E3X/63XX051X.

Las características de esta boca de hombre son las siguientes:

Tiene seis puntos de sujeción, la cual puede abrirse hasta 135°, es adaptable al cuerpo de la cisterna, con una presión de servicio máxima de hasta 3 bares, la partes de la boca de hombre, toda ella, está fabricada con acero 316 acero inoxidable con orejas de pestillo oscilante también de acero inoxidable. Se aprecia en la figura 6. El peso de la misma es de 42 Kg, la temperatura de diseño de -40°C hasta 200°C. La boca de hombre ha sido diseñada y aprobada de forma que se cumple la norma UNE EN 14025.



Figura 6



#### Válvula de apertura y cierre:

En este tipo de cisterna se debe disponer de otra válvula de cierre y apertura a demás de la válvula que se ha presentado anteriormente. Esta válvula hace parte de los accesorios de carga y descarga de la materia a transporta. Es de accionamiento manual y es también, a lo igual que los elementos anteriores descritos, suministrada por la empresa Fort Vale, se denomina 3" Blacko Ball Valve 3" BSP outlet. Las especificaciones de la válvula son las siguientes.

Pesa 15,9 Kg, la presión de diseño son 7 bares, pero la presión de ensayo ha sido de 10,5 bares, la temperatura de diseño -29°C hasta 200°C y el material con el que está fabricado, todas las piezas, es acero inoxidable 316. La válvula está diseñada y aprobada según norma UNE EN 14432. La figura 8 muestra esta válvula.



Figura 8

#### 4.3. Remolque-vehículo:

El vehículo que transporte esta cisterna tendrá denominación vehículo FL, lo cual en el ADR se indica que es un vehículo destinado al transporte de líquidos con un punto de inflamación inferior a los 60°C en cisternas fijas o desmontables.

El vehículo no podrá pasar por los túneles con categoría E siempre y cuando lleve la cisterna consigo.

Las instrucciones de transporte según normativa ADR las disposiciones especiales aplicables a esta cisterna es TP2, la cual indica que para su transporte no debe superarse el grado de llenado.

El vehículo de transporte debe satisfacer las siguientes disposiciones:

Respecto al equipamiento eléctrico que debe llevar son, canalizaciones, desconector de batería lo más cercano a la batería que permite cortar los circuitos eléctricos. Baterías y sus bornes deberán estar aislados o cubiertos por la tapa del cofre de la batería. Circuitos con alimentación permanente e instalación eléctrica en la parte posterior de la cabina.

Respecto al equipamiento de frenado debe tener, dispositivo de frenado antibloqueo, dispositivo de frenado de resistencia.

Respecto a la prevención de riesgo de incendio, depósito de carburante para la alimentación del motor si sufriera una fuga el carburante debería filtrarse hasta llegar al suelo sin entrar en contacto con las partes calientes y debe llevar un dispositivo de cortallamas. El motor deberá disponerse en un lugar de modo que se evite cualquier peligro para el cargamento. Dispositivo de escape debe disponerse de modo que no se dirijan los gases de escape a la carga. Debe de tenerse en cuenta la calefacción a combustión.

Debe disponerse de un limitador de velocidad según la normativa vigente. Por último debe disponer de un dispositivo de enganche del remolque.

## 5. Marcado

La cisterna lleva marcado las letras LGBF que como se ha especificado anteriormente

- Tipos de cisternas: L → cisternas para materiales en estado líquido (materias líquidas o materias sólidas entregadas para el transporte en estado fundido).
- Presión de cálculo: G → presión mínima de cálculo según las disposiciones generales del apto 6.8.2.1.14 del ADR o 1,5; 2,65; 4; 10; 15 ó 21 (presión dada en bares). Según el apto 6.8.2.1.14 del ADR se tiene que cuando se indica la letra G, los depósitos de vaciado por gravedad destinados al transporte de materias cuya presión de vapor a 50°C no sobrepase 110kPa (1,1bar) (presión absoluta), se calcularán para resistir una presión doble de la presión estática de la materia a transportar, sin que sea inferior a dos veces la presión estática del agua.
- Aberturas: B → cisterna con aberturas de llenado y vaciado situadas en la parte inferior con 3 cierres.
- Válvulas/dispositivos de seguridad: F → cisterna con dispositivo de protección contra la propagación del fuego o cisterna resistente a la presión generada por una explosión.

Todas las cisternas llevarán una placa metálica resistente a la corrosión, fijada de modo permanente sobre la cisterna, en un lugar de fácil acceso para su sujeción. En esta placa se mostrarán, por estampado o por cualquier otro método semejante, los datos que se indican a continuación:

- número de aprobación.
- designación o marca del fabricante.
- número de serie de fabricación.
- año de construcción.

- presión de prueba.
- presión de exterior de cálculo.
- capacidad del depósito.
- temperatura de cálculo (si es inferior a  $-20^{\circ}\text{C}$  o superior a  $+50^{\circ}\text{C}$ )
- fecha y tipo de la última prueba sufrida “mes/año” seguido de una “P” si es la prueba inicial o periódica, si fuese una prueba de estanqueidad intermedia con la letra “L”.
- cuño del perito que ha realizado las pruebas
- material del depósito y referencia a las normas de los materiales, si fueran posible, y en su caso del revestimiento de protección.
- presión de prueba del conjunto del depósito de prueba por compartimentos en MPa o en bar.

## 6. Equipamiento de la cisterna

Los dispositivos de seguridad de la cisterna que irán en la cisterna están indicados en los equipos de servicio de la misma, así como son la caja de protección ante un posible vuelco, así como el dispositivo de seguridad de la válvula de apertura y cierre. Se dispondrá de un manómetro el cual siempre indicará la presión existente en el interior del depósito.

En cuanto la señalización la cisterna y el vehículo deberán ir provistos de los correspondientes carteles, además de las obligatorias luces que debe portar la cisterna, de frenado, intermitentes direccionales y de marcha atrás.

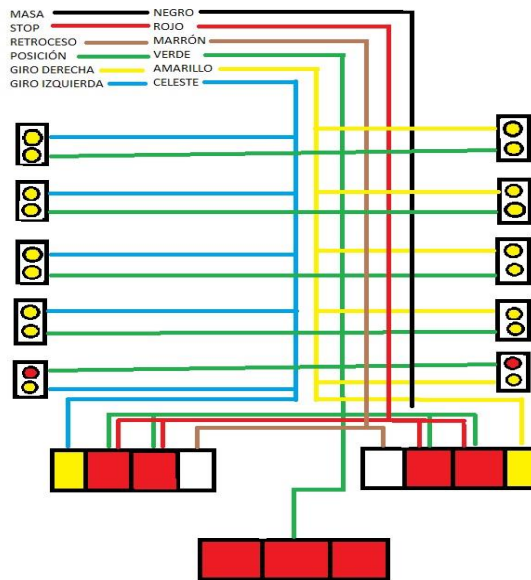
En la parte delantera, en el vehículo, debe colocarse un cartel de fondo naranja con una línea horizontal negra que atraviesa el cartel por la mitad, en la parte superior debe indicarse el número de identificación de peligro, en este caso es el número 30 que hace referencia a materia líquida inflamable con su punto de inflamación entre  $23^{\circ}\text{C}$  hasta  $60^{\circ}\text{C}$ . En la parte inferior deberá llevar el número de identificación ONU, que en este caso al tratarse de queroseno es el número 1223, (ver figura 3).

En los laterales y en la parte trasera de la cisterna deberá indicarse con paneles rómbicos la clase de peligro que supone, como lo es la identificación del peligro por contaminación del agua por acción del queroseno, este panel es de fondo blanco con un árbol seco y un pez muerto, (ver figura 3). Así como la clase de peligro por ser un producto inflamable, este panel también es rómbico, con fondo rojo y con una llama en el centro con el número 3 en la parte inferior, (ver figura 2).

Al ser un remolque que mide más de 12 metros debe disponerse de un rectángulo de fondo amarillo con los extremos rojos, además este rectángulo debe ser reflectante para indicar su estado en la oscuridad de la noche.

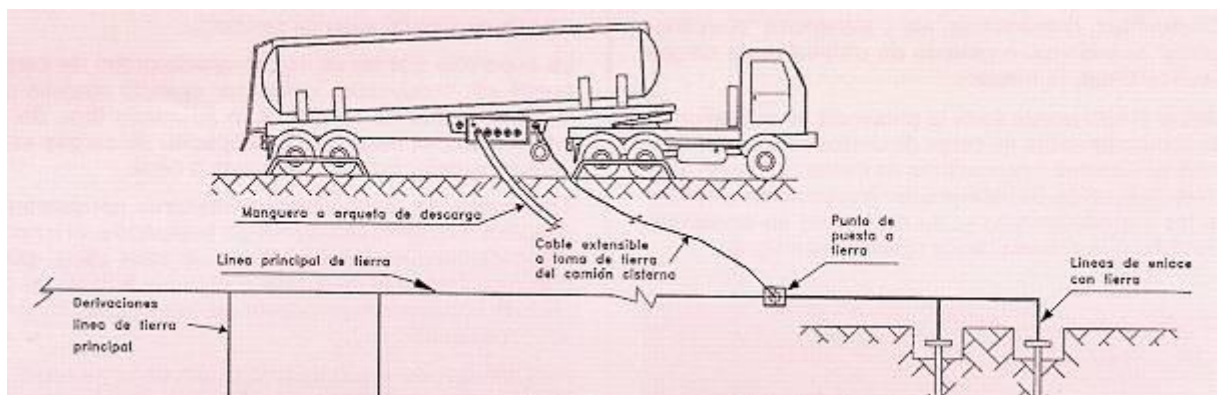
El sistema eléctrico debe ser igual que en una cisterna normal, se mostrará en el siguiente esquema 1, el cual indica también todos los indicadores luminosos. La cisterna tiene indicadores intermitentes luminosos en los laterales, tiene uno en el principio de la cisterna y uno al final, teniendo varios intermedios y por último en la parte posterior de la cisterna

dispondrá dos intermitentes direccionales, uno a cada lado, dispone de luces de marcha atrás y de frenado.



Esquema 1

La cisterna estará provista de conexión a tierra la cual impedirá que se cree electricidad estática, en las cargas y descargas se conectará la cisterna a una conexión que se encuentra en las inmediaciones del lugar en el que se pretende realizar la carga y descarga de la materia a transportar. Se incluye un esquema en el que se indica como irán las conexiones tanto las de toma a tierra como la de carga y descarga.



Esquema 2

## II. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

### 1. Determinación de paredes, fondos, cierres y aberturas.

Para la realización de este apartado, los cálculos se realizarán de forma que se cumplan las normativas vigentes, en este caso serán el ADR y la norma UNE EN 13094 de 2009.

Los valores que se van a utilizar para el cálculo de los espesores serán los recogidos en la Tabla A.6 de la dicha norma, los datos son los siguientes:

**TABLA A.6 Valores para el cálculo del espesor equivalente:**

		<b>Pared del depósito, fondo delantero, fondo trasero, separaciones</b>
$R_{m1}$ (véase 3.2)	$N/mm^2$	460
$A_1$ (véase 3.2)	%	40
$R_m * A$		$475*40 = 19.000$

donde

$R_{m1}$  es la resistencia a la tracción mínima del metal empleado en las unidades correspondientes.

$A_1$  es el porcentaje mínimo de alargamiento después de la rotura del metal empleado.

A continuación se calculan los esfuerzos máximos que puede aguantar el material escogido, acero inoxidable 316 y se recogerán en la Tabla A.7 de dicha norma.

**TABLA A.7. Esfuerzos máximos**

	<b>Unidades</b>	<b>Pared del depósito, fondo delantero, fondo trasero, separaciones</b>
$0,5 \cdot R_m$	N/mm <sup>2</sup>	237,5
$0,75 \cdot R_e$	N/mm <sup>2</sup>	307,5
$0,5 \cdot R_{mt}$	N/mm <sup>2</sup>	240
$0,75 \cdot R_{et}$	N/mm <sup>2</sup>	311,25
$R_e/1,5$	N/mm <sup>2</sup>	273,333
$R_{et}/1,5$	N/mm <sup>2</sup>	276,667
Valor seleccionado $\sigma$ en las condiciones de ensayo	N/mm <sup>2</sup>	237,5
Valor seleccionado $\sigma$ en las condiciones de servicio	N/mm <sup>2</sup>	237,5
Valor seleccionado $\sigma$ en las condiciones de servicio para los contenedores cisterna	N/mm <sup>2</sup>	237,5
E a temperatura ambiente	N/mm <sup>2</sup>	210.000

El valor de la séptima casilla, es decir, el valor seleccionado en las condiciones de ensayo es el menor valor de los dos primeros obtenidos.

El valor de la octava casilla, es decir, el valor seleccionado en las condiciones de servicio es el menor valor entre los cuatro primeros valores obtenidos.

Por último, el valor seleccionado en las condiciones de servicio para los contenedores de cisterna es el menor de todos los valores.

A continuación se procederá al cálculo de los espesores mínimos adoptados, se resumirán en una tabla que es la Tabla A.8 de la norma antes dicha.

**TABLA A.8. Espesores mínimos.**

<b>Designación</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
Pared del depósito 1	$e_{v1}$	mm	3,5
Pared del depósito 2	$e_{v2}$	mm	NO
Fondo delantero	$e_{fav}$	mm	3,5
Fondo trasero	$e_{far}$	mm	3,5
Separación 1	$e_{f1}$	mm	NO
Separación 2	$e_{f2}$	mm	NO

Únicamente tenemos un depósito, con lo cual sólo se calcula la pared del depósito 1. Tampoco se disponen de separaciones, con lo cual no se calculan.

Para el cálculo del espesor del depósito se tiene que para aceros dulces el espesor mínimo es de 5 mm, pero utilizando acero inoxidable austenítico debemos tomar el espesor mínimo

equivalente de acuerdo con la ecuación (3) del apartado 6.9.1 de la Norma UNE EN 13094, además debemos tener en cuenta que no puede ser inferior al espesor indicado en Tabla 1 de la misma norma, es decir 2,5 mm.

$$e = \frac{464 * e_0}{\sqrt[3]{(R_{m1} * A_1)^2}}$$

Sabiendo que  $e_0 = 5 \text{ mm}$ ;  $R_{m1} * A_1 = 19.000$ ; con lo cual se tiene que

$$\mathbf{e = 3,258 \text{ mm}}$$

Para los cálculos se tomará 3,5mm de espesor.

Acto seguido se calcularán los espesores, que son los obligados a tener. Se recogen en una tabla que coincide con la Tabla A.9 de la norma UNE EN 13094.

**TABLA A.9. Espesores calculados:**

	<b>D</b> mm	$\sigma$ N/mm <sup>2</sup>	$\lambda$	$P_c$ MPa	$P_e$ MPa	<b>e</b> mm
Pared del depósito 1	1.600	237,5	1	0,048	0,04615	0,1617
Fondo delantero 2						
Fondo trasero 3						

Para el cálculo del espesor tenemos la siguiente ecuación, el espesor debe ser mayor al obtenido en esta ecuación:

$$e = \frac{P_c * D}{2 * \sigma} \text{ o } \frac{P_e * D}{2 * \sigma * \lambda}$$

$$e = \frac{P_c * D}{2 * \sigma} = \frac{0,048 * 1.600}{2 * 237,5} = 0,16168 \text{ mm}$$

$$e = \frac{P_e * D}{2 * \sigma * \lambda} = \frac{0,046 * 1.600}{2 * 237,5 * 1} = 0,15495 \text{ mm}$$

Aún si hemos obtenido estos espesores tenemos que tener en cuenta los demás, con lo cual el espesor que vamos utilizar en principio es el de 3,5 mm. Como los espesores equivalentes los he calculado antes, no hace falta que los vuelva a poner.

\*Los valores utilizados en este apartado son en parte dados anteriormente, el valor de  $\lambda$  se ha tomado como valor unitario, es un coeficiente de soldadura, debido a que la presión de diseño es superior a la presión de ensayo.

A continuación se verificarán los esfuerzos a la presión de ensayo, se seguirán los pasos de la norma, recogiendo los datos obtenidos en la Tabla A.11 de la misma norma.

**TABLA A.11. Verificación a la presión de ensayo**

<b>Designación</b>	<b><math>\sigma</math> calculado</b> N/mm <sup>2</sup>	<b><math>\sigma</math> máx. Permitido en las condiciones de ensayo</b> N/mm <sup>2</sup>
Pared del depósito	10,514	237,5

Para obtener el esfuerzo ( $\sigma$ ) calculado se tiene que:

$$\sigma = \frac{P_e * D}{2e_v * \lambda} = \frac{0,046 * 1.600}{2 * 3,5 * 1} = 10,514 \text{ N/mm}^2$$

Ahora se calculará el esfuerzo en los fondos abombados. Se calcularán de la forma que se indica en la normativa, en concreto en la Tabla A.13.

**TABLA A.13. Datos para el cálculo para fondos abombados, cara cóncava.**

	<b>Unidades</b>	<b>Fondo delantero</b>	<b>Fondo trasero</b>
P <sub>e</sub>	MPa	0,04615	0,04615
R <sub>1</sub>	mm	2.500	2.500
r	mm	200	200
$C = \frac{1}{4} \left[ 3 + \sqrt{\frac{R_1}{r}} \right]$		1,6339	1,6339
$\lambda$		1	1
e <sub>fv</sub> adoptados	mm	3,5	3,5

El esfuerzo se calcula con la siguiente ecuación y con los datos de la tabla anterior:

$$\sigma = \frac{P_e * R_1 * C}{2\lambda * e_f} = \frac{0,04615 * 2.500 * 1.6339}{2 * 3,5} = 26,93 \text{ N/mm}^2$$

Se calculan los esfuerzos a la presión de ensayo, según se representan en la Tabla A.14 de dicha normativa.



**TABLA A.14. Esfuerzos a la presión de ensayo:**

	<b><math>\sigma</math> calculado</b> N/mm <sup>2</sup>	<b><math>\sigma</math> máx. permitido en las condiciones de ensayo</b> N/mm <sup>2</sup>
Fondo delantero Fondo trasero	26,93	237,5

Se calculan también los esfuerzos que se generan en la cara convexa de los fondos y se recogen los datos en la Tabla A.15 (13094).

**TABLA A.15. Datos a utilizar para cálculos.**

	<b>Unidades</b>	<b>Fondo delantero</b> ( $e_{fav}$ )	<b>Fondo trasero</b> ( $e_{far}$ )
$P_e$	MPa	0,04615	0,04615
$R_1$	mm	2.500	2.500
$e_f$ adoptado	mm	3,5	3,5

Se expondrá a continuación el módulo de elasticidad en las condiciones de ensayo debido a que en la ecuación se necesita este dato. Tabla A.16.

**TABLA A.16. Módulo de elasticidad en las condiciones de ensayo**

A partir de la siguiente ecuación se obtiene el módulo de elasticidad en las condiciones de ensayo:

$$E_c = \frac{100 * R_1^2 * 2,2 * P_e}{36,6 * e_f^2} = \frac{100 * 2.500^2 * 2,2 * 0,04615}{36,6 * 3,5^2} = 141.532,8426 \text{ N/mm}^2$$

	<b>E calculado <math>\rightarrow E_c</math></b> N/mm <sup>2</sup>	<b>E máx. a temperatura ambiente</b> N/mm <sup>2</sup>
Fondo delantero	141.532,8426	210.000
Fondo trasero	141.532,8426	210.000

Como se puede corroborar es menor el E calculado que el E máxima a temperatura ambiente.

A continuación se pretende verificar los esfuerzos en las condiciones de servicio, para ello se recogerán los datos en la Tabla A.17, de la normativa especificada antes.

**TABLA A.17. Esfuerzos en condiciones de servicio**

<b>Designación</b>	<b><math>\sigma</math> calculado</b> N/mm <sup>2</sup>	<b><math>\sigma</math> máx. permitido en las condiciones de ensayo</b> N/mm <sup>2</sup>
Pared del depósito	10,971	237,5

Para el cálculo del esfuerzo se tiene la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{P_c * D}{2 * e_v * \lambda} = \frac{0,048 * 1.600}{2 * 3,5 * 1} = 10,971 \text{ N/mm}^2$$

Seguido de esto se debe calcular los esfuerzos dinámicos, en las condiciones normales de transporte. Se calculan los esfuerzos a flexión como se procede a continuación y siempre como guía la norma UNE EN 13094 de 2009.

a) Posición en momento de flexión máximo:

$$X = \frac{F_{r2} * L_t}{M} = \frac{232.825,38 * 13.000}{490.500} = 6.170,703 \text{ mm}$$

b) Valor del momento de flexión máximo ( $B_m$ ):

$$\begin{aligned} B_{m\text{máx}} &= F_{r2} * (X - L_b) - \frac{M * X^2}{2 * L_t} = \\ &= 232.825,38 * (6.170,703 - 4.159) - \frac{490.500 * 6.170,703^2}{2 * 13.000} \\ &= 249.972.591,9 \text{ N * mm} \end{aligned}$$

c) Área transversal interna de la pared del depósito en el punto en el que se produce el momento de flexión máximo:

$$S_t = 2.010.619,298 \text{ mm}^2$$

d) Espesor de la pared del depósito:

$$e_v = 3,5 \text{ mm}$$

e) Módulo de sección mínimo de la sección transversal de la pared del depósito sobre el eje neutro horizontal en el que se produce el momento de flexión máximo:

$$Z_t = \frac{\pi * (D_{ext}^4 - D_{int}^4)}{32 * D_{ext}} = \frac{\pi * (1.607^4 - 1.600^4)}{32 * 1.607} = 7.052.628,549 \text{ mm}^3$$

f) Esfuerzo de flexión:

$$\sigma_x = \frac{B_m \text{máx}}{Z_t} = \frac{249.972.591,9}{7.052.628,549} = 35,444 \text{ N/mm}^2$$

A continuación se calcula la resistencia a tracción debida a la presión durante el transporte, como se indica en la dicha normativa.

a) Fuerza:

$$T_1 = P_m * S_t = 0,0264 * 2.010.619,298 = 53.080,349 \text{ N}$$

b) Longitud del perímetro de la pared de la envolvente en la sección transversal correspondiente al punto en el que se produce el momento de flexión máximo:

$$l = 2 * \pi * R_{int} + L = \pi * 1.600 + 12.223,37 = 17.249,918 \text{ mm}$$

c) Esfuerzo bajo esta fuerza:

$$\sigma_{tr} = \frac{T_1}{l * e_v} = \frac{53.080,349}{17.249,918 * 3,5} = 0,8792 \text{ N/mm}^2$$

Acto seguido se realizarán los cálculos correspondientes a la resistencia a la tracción debida a la presión estática. Siguiendo la norma dicha anteriormente.

a) Fuerza:

$$T_2 = P_{ta1} * S_t = 0,0108 * 2.010.619,298 = 21.714,688 \text{ N}$$

b) Esfuerzo bajo esta fuerza:

$$\sigma_{ta} = \frac{T_2}{l * e_v} = \frac{21.714,688}{17.249,918 * 3,5} = 0,1275 \text{ N/mm}^2$$

Por consiguiente se calculará el esfuerzo combinado en las condiciones normales de transporte, como se indica en la normativa.

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_{tr} + \sigma_{ta}}{\lambda} = \frac{35,444 + 0,8792 + 0,1275}{1} = 36,4507 \text{ N/mm}^2$$

Comprobamos que  $\sigma_1 \leq \sigma_{\text{máx}}$ . en condiciones de servicio

$$\sigma_1 \leq \sigma_{\text{máx}} \rightarrow 36,4507 \text{ N/mm}^2 \leq 237,5 \text{ N/mm}^2$$

A continuación se calculará los esfuerzos combinados de presión durante el transporte con presión estática y dos veces la gravedad (2g) en vertical:

$$\sigma_2 = \frac{2 * \sigma_x + \sigma_{tr} + \sigma_{ta}}{\lambda} = \frac{2 * 35,444 + 0,8792 + 0,1275}{1} = 71,8867 \text{ N/mm}^2$$

Comprobamos que este esfuerzo es menor al esfuerzo máximo en condiciones de servicio

$$\sigma_2 \leq \sigma_{\text{máx}} \rightarrow 71,8867 \text{ N/mm}^2 \leq 237,5 \text{ N/mm}^2$$

Se calcula la resistencia a la tracción debida a la fuerza longitudinal del producto en la cisterna con 2g, como se indica en la norma.

Carga útil  $\rightarrow Q = 332.559 \text{ N}$

$$\sigma_t = \frac{2 * Q}{l * e_v} = \frac{2 * 332.559}{170.249,918 * 3,5} = 1,1162 \text{ N/mm}^2$$

Por último se calcula el esfuerzo combinado en condiciones de presión durante el transporte con 1g vertical y 2g longitudinal, como se indica en el apartado de la norma.

$$\sigma_3 = \frac{2 * \sigma_{tr} + \sigma_x + \sigma_t}{\lambda} = \frac{2 * 0,8792 + 35,444 + 1,1162}{1} = 38,3186 \text{ N/mm}^2$$

Comprobamos que este esfuerzo calculado sea menor que el esfuerzo máximo en condiciones de servicio

$$\sigma_3 \leq \sigma_{\text{máx}} \rightarrow 38,3186 \text{ N/mm}^2 \leq 237,5 \text{ N/mm}^2$$

Ahora se calculan los esfuerzos en los fondos abombados, con la presurización en la cara cóncava, se recogen los datos en la tabla siguiente, como se indica en la Tabla A.19 y en la Tabla A.20 de dicha norma.

**TABLA A.19. Datos:**

	<b>Unidades</b>	<b>Fondo delantero</b>	<b>Fondo trasero</b>
$P_c$	MPa	0,048	0,048
$R_1$	mm	2.500	2.500
$r$	mm	200	200
$C = \frac{1}{4} \left[ 3 + \sqrt{\frac{R_1}{r}} \right]$		1,6339	1,6339
$\lambda$		1	1
$e_f$ adoptados	mm	3,5	3,5

Con la ecuación siguiente se puede obtener el esfuerzo de presurización sobre la cara cóncava:

$$\sigma = \frac{P_c * R_1 * C}{2 * e_f * \lambda} = \frac{0,048 * 2.500 * 1,6339}{2 * 3,5 * 1} = 28,01 \text{ N/mm}^2$$

**TABLA A.20. Esfuerzo en condiciones de servicio:**

	<b><math>\sigma</math> calculado</b>	<b><math>\sigma</math> máx. permitido en las condiciones de ensayo</b>
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
Fondo delantero	28,01	237,5
Fondo trasero		

A continuación se calculará la tensión generada por la presión en la cara convexa, los datos a utilizar vienen recogidos en la Tabla A.21 y A.22

**TABLA A.21. Datos:**

	<b>Unidades</b>	<b>Fondo delantero</b>	<b>Fondo trasero</b>
		<b>(<math>e_{fav}</math>)</b>	<b>(<math>e_{far}</math>)</b>
$P_c$	MPa	0,048	0,048
$R_1$	mm	2.500	2.500
$e_f$ adoptado	mm	3,5	3,5

Se compara el módulo de elasticidad con las condiciones de servicio.

**TABLA A.22. Comparación del módulo de elasticidad en las condiciones de servicio**

Para calcular el módulo de elasticidad en las condiciones de servicio se obtiene de la siguiente ecuación:

$$E_c = \frac{100 * R_1^2 * 2,2 * P_c}{36,6 * e_f^2} = \frac{100 * 2.500^2 * 2,2 * 0,048}{36,6 * 3,5^2} = 147.206,4236 \text{ N/mm}^2$$

	<b>E calculado → E<sub>c</sub></b> N/mm <sup>2</sup>	<b>E</b> N/mm <sup>2</sup>
Fondo delantero	147.206,4236	210.000
Fondo trasero	147.206,4236	210.000

Como se puede apreciar el módulo de elasticidad calculado no sobrepasa en ningún momento al módulo de elasticidad en las condiciones de servicio.

Por último se precede al cálculo de cierres, collarines y bridas como se indica en l anexo C de la norma UNE EN 13094 de 2009.

<b>Parámetros</b>	<b>Requisitos</b>	<b>Valor mayor (mm)</b>
e <sub>c</sub>	El espesor de un cierre plano, e <sub>c</sub> (mm), no debe ser inferior a (0,03*B <sup>2</sup> *P <sub>x</sub> /σ <sub>c</sub> ) <sup>0,5</sup> o e <sub>v</sub> , cualquiera que sea mayor	2,73 ó 3,5
e <sub>d</sub>	El espesor de un cierre abombado, e <sub>d</sub> (mm), no debe ser inferior a ((P <sub>x</sub> *R)/(20*σ <sub>c</sub> )) o e <sub>v</sub> , cualquiera que sea el mayor	1,07 ó 3,5
e <sub>r</sub>	El espesor de una brida, e <sub>r</sub> (mm), no debe ser inferior a (0,0445*B <sup>2</sup> *P <sub>x</sub> /σ <sub>c</sub> ) <sup>0,5</sup> o e <sub>v</sub> , cualquiera que sea el mayor	2,047 ó 3,5
e <sub>rd</sub>	El espesor de una brida de cierre abombada, e <sub>rd</sub> (mm), no debe ser inferior a (0,083*P <sub>x</sub> *R/σ <sub>c</sub> ) o el valor de e <sub>c</sub> calculado, cualquiera que sea mayor	1,745 ó 3,5
S <sub>B</sub>	El área total de tracción S <sub>B</sub> , en milímetros cuadrados (mm <sup>2</sup> ) de todos los pernos del diámetro circular de paso B no debe ser inferior a (N*B <sup>2</sup> *P <sub>x</sub> *10 <sup>-4</sup> ) donde N=8	24,576 mm <sup>2</sup>

Como puede verse los espesores que se han obtenido son de 3,5 mm, pero por cuestiones de seguridad, los espesores se optará por darle un valor de 5 mm. Como se ha variado los espesores, las tensiones que sufrirá el material serán inferiores que las calculadas en los apartados anteriores, con lo cual se puede decir que le hemos introducido un coeficiente de seguridad al depósito.

### Tabla resumen de cálculos:

Presión máxima	0,048 MPa	Esfuerzo de flexión	35,444 MPa
Presión de prueba	0,046 MPa	Esfuerzo combinado en condiciones normales	36,4507 MPa
Espesor mínimo	3,5 mm	Esfuerzo combinado de presión, estática y 2g	71,8867 MPa
Esfuerzo a presión de prueba	10,541 MPa	Esfuerzo con 1g vertical y 2g longitudinal	38,3186 MPa
Esfuerzos en fondos abombados	26,93 MPa	Esfuerzo de presurización	28,01 MPa
Esfuerzo en condiciones de servicio	10,97 MPa	Módulo de elasticidad en condiciones de ensayo	141.532,8426 MPa
		Módulo de elasticidad en condiciones de servicio	147.206,4236 MPa

Teniendo en cuenta que los valores que no pueden ser superados son los siguientes:

Esfuerzo máx. permitido	237,5 MPa	Módulo de elasticidad	210.000 MPa
-------------------------	-----------	-----------------------	-------------

## 2. Determinación del esfuerzo en los accesorios de la cisterna.

### 2.1. Determinación del número y cálculo de durmientes.

En primera instancia se debe calcular las fuerzas actuantes en la cisterna y a continuación se debe tener en cuenta las reacciones de la misma en los soportes. Se expondrán los valores del momento máximo y el lugar en el que se encuentra.

El momento máximo de flexión y el lugar en el que se encuentra se ha indicado en uno de los apartados anteriores.

Momento de flexión máximo:

$$\begin{aligned} B_m \text{máx} &= F_{r2} * (X - L_b) - \frac{M * X^2}{2 * L_t} = \\ &= 232.825,38 * (6.170,703 - 4.159) - \frac{490.500 * 6.170,703^2}{2 * 13.000} \\ &= 249.972.591,9 \text{ N} * \text{mm} \end{aligned}$$

Posición del momento máximo de flexión:

$$X = \frac{F_{r2} * L_t}{M} = \frac{232.825,38 * 13.000}{490.500} = 6.170,703 \text{ mm}$$

Haciendo un equilibrio de momentos en cada soporte se tienen los valores de cada reacción de cada soporte.

Reacción del soporte delantero:  $F_{r1} = 99.733,62 \text{ N}$

Reacción del soporte trasero:  $F_{r2} = 232.825,38 \text{ N}$

Viendo que el soporte trasero debe de soportar más de dos toneladas, he optado por poner varios soportes a lo largo de la cisterna que descansarán sobre la estructura del remolque para así dividir las cargas en varios soportes.

Esta variación no supone ningún cambio drástico en los cálculos antes expuestos, solo que no sufrirá tanto un único soporte, distribuyéndose así la carga por los demás soportes.

Para anclar la cisterna al chasis del remolque se atornillarán los soportes de la cisterna al propio remolque.

En cuanto al izado de la cisterna no se disponen de orejas de izado, por lo que debe izarse con correas de izado que abrazarán a la cisterna por la parte inferior y por la parte de arriba se dispondrá de un enganche el cual se unirá con el enganche de la pluma o el elevador para montar la cisterna al chasis del remolque.

## 2.2. Estabilidad de la cisterna.

Para el cálculo de la estabilidad se tendrá en cuenta tanto la estabilidad de lateral como la estabilidad longitudinal, para ello se seguirá unas pautas dadas por el director del proyecto.

a) Estabilidad lateral.

Para ello se ilustra con la siguiente imagen (figura 9) para que los datos utilizados sean claros.



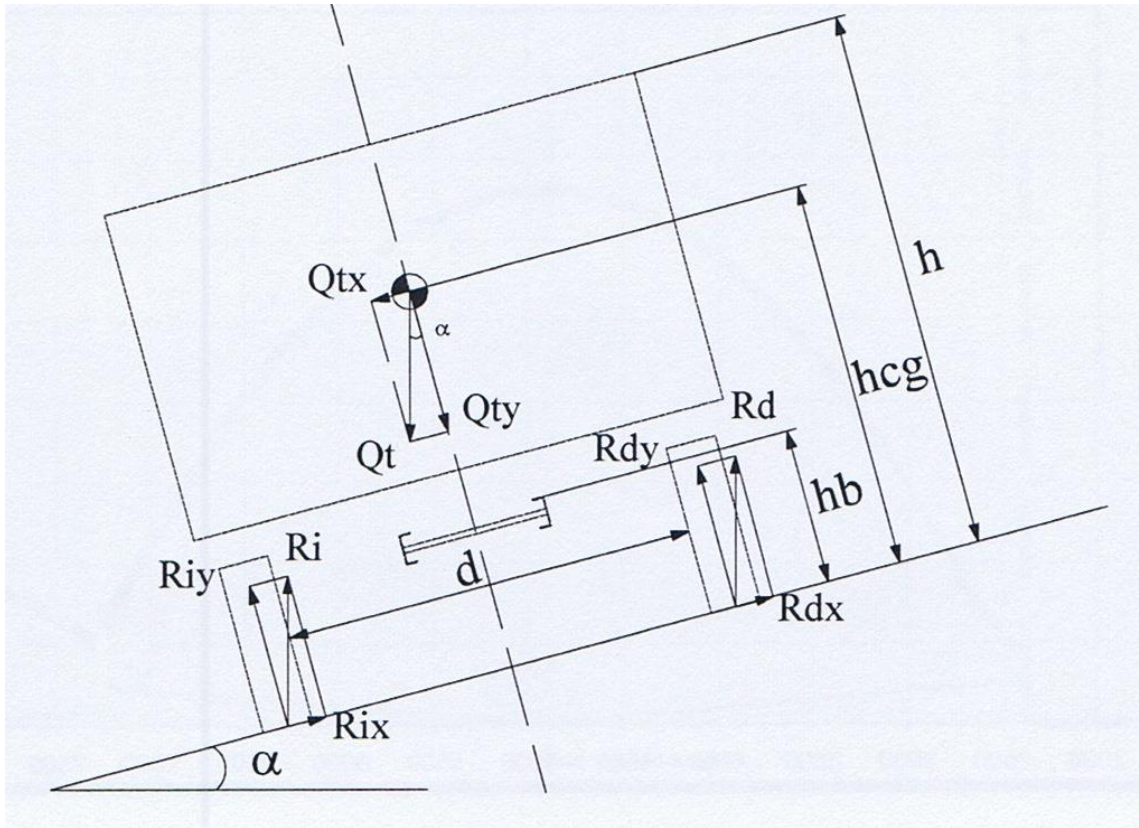


Figura 9

La pendiente máxima superable para que el vehículo no vuelque viene dada por la siguiente expresión:

$$\alpha = \arctang \left( \frac{d}{2 * hcg} \right)$$

Donde:

- d es el ancho de vías menor en mm.
- hcg es la altura del centro de gravedad en mm y se calcula con la siguiente expresión.

$$hcg = \frac{hb * Tara + hcu * Qutil}{MMA}$$

Sabiendo que

- hb es la altura del suelo plano al bastidor, en mm.
- Qutil el valor de la carga útil, en las mismas unidades que se ponga la Tara y la MMA.
- hcu es la altura del centro de gravedad de la carga útil, en mm, y se calcula según la expresión que se dicta abajo

$$hcu = hb + \frac{h - hb}{2}$$

Con lo cual calculamos primero hcu y a continuación obtenemos hcg y por último obtenemos el valor de la pendiente máxima.

$$hcu = hb + \frac{h - hb}{2} = 1.135 + \frac{3.040,2 - 1.135}{2} = 2.087,6 \text{ mm}$$

Sabemos que

hb = 1.135 mm  
h = 3.040,2 mm  
hcu = 2.087,6 mm  
Tara = 7.100 kg  
Qutil = 33.000 kg  
MMA = 40.100 kg

Con lo que

$$hcg = \frac{hb * Tara + hcu * Qutil}{MMA} = \frac{1.135 * 7.100 + 2.087,6 * 33.000}{40.100} = 1.918,935 \text{ mm}$$

Ahora podemos calcular el valor máximo de la pendiente:

$$\alpha = \arctang \left( \frac{d}{2 * hcg} \right) = \arctang \left( \frac{2.040}{2 * 1.918,935} \right) = 30^\circ$$

Con lo cual la inclinación máxima para el vehículo no vuelque lateralmente es de 30°.

b) Estabilidad longitudinal:

A continuación se procede a calcular la estabilidad de la cisterna longitudinalmente, se incluye la figura para que los daos queden mejor explicados, ver figura 10.

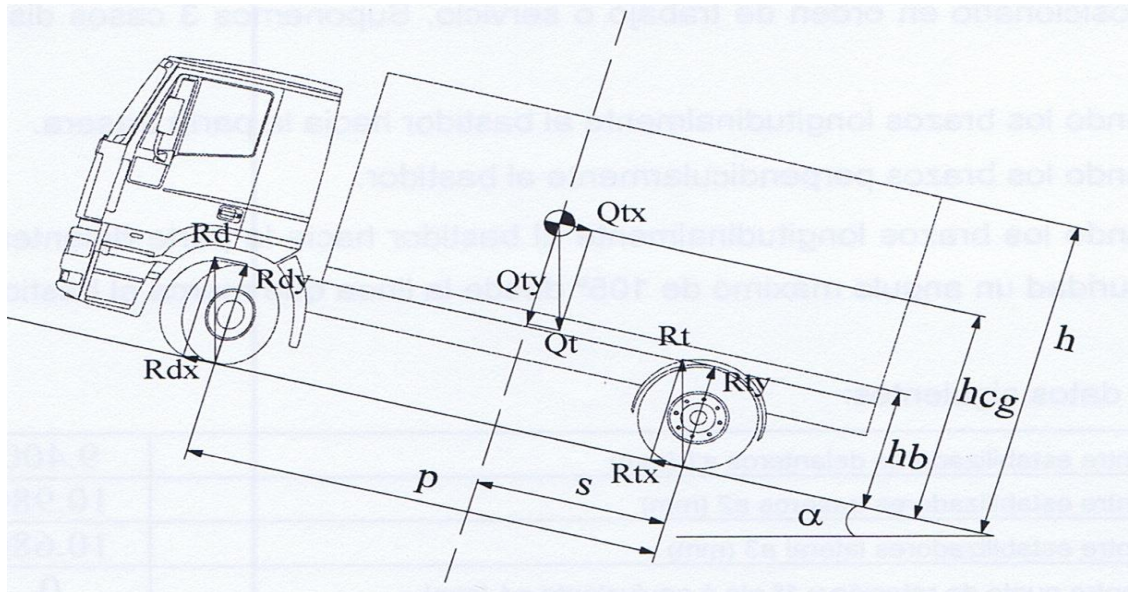


Figura 10

La pendiente máxima superable para que el vehículo no vuelque viene dada por la siguiente expresión:

$$\alpha = \arctang \left( \frac{s}{hcg} \right)$$

únicamente debemos saber que s representa la distancia del centro de gravedad al eje trasero.

$$\alpha = \arctang \left( \frac{s}{hcg} \right) = \arctang \left( \frac{2.666}{1.918,935} \right) = 54^\circ$$

Con lo cual la cisterna por lo visto no volcará, la cisterna es estable tanto longitudinalmente como lateralmente.

### 2.3. Aislamiento térmico

Esta cisterna no dispondrá de aislamiento térmico, únicamente tendrá una capa de pintura de epoxi y epoxi acrílico de color blanco, para protección de la zona exterior de la cisterna como capa de protección contra la corrosión.

### III. PLANOS

Los planos de la cisterna y de todos sus elementos serán adjuntados en el Anexo I.

## IV. PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN Y SOLDADURA.

En primera instancia se realizará la fabricación del depósito, es decir, se realizará el cuerpo de la cisterna y a continuación de ello se realizará el montaje de la misma a la estructura del remolque y por último se montarán las protecciones de la cisterna.

### 1. Fases de fabricación y montaje.

En principio se fabricará la estructura de cisterna, para ello se realizarán en primer lugar las virolas o anillos que dan forma a la misma.

#### ANILLO 1:

Se parte del material en bruto que es una plancha de acero inoxidable 316 de 5 mm de espesor, se corta hasta tener unas dimensiones de ancho 1.600 mm y de largo unos 2.040 mm. A continuación se procede a una laminadora, la cual hace que la plancha pase a tener forma circular. Acto seguido se realiza la soldadura de ambos lados para dejarla con un diámetro de 1.600 mm. El anillo 1 se unirá al anillo 2 y al fondo delantero.

#### ANILLO 2:

Se realiza lo mismo que con el anillo 1, la única diferencia es que al finalizar el soldeo se le realizará un corte circular de 500 mm de diámetro en la parte superior, en el centro del anillo.

#### ANILLO 3:

Se le realizan las mismas operaciones que al anillo 2.

#### ANILLO 4:

Se realizarán las mismas operaciones que al anillo 2.

#### ANILLO 5:

Se realizarán las mismas operaciones que al anillo 2.

#### ANILLO 6:

Este anillo es de diferente longitud, porque tiene una longitud de 2.023,4 mm. Se le

realizarán las mismas operaciones que a los demás anillos pero sin realizarle el corte circular en la parte superior, este anillo tiene una placa de acero soldada en el inferior de la misma al final de esta, donde se realizará un corte de diámetro 76,20 mm para la unión de la válvula de cierre y apertura principal.

#### FONDO DELANTERO Y TRASERO:

Se partirá de chapas de 5 mm con las dimensiones para realizar un conformado en frío que dejará la chapa con forma abombada de dimensiones diámetro exterior, que se soldará con el anillo 1 el delantero y el anillo 6 con el trasero. El diámetro exterior será de 1.600 mm pero tiene un radio del reborde de 200 mm. Se le dejará con una forma abombada de radio 2.500 mm.

#### ROMPEOLAS O DELFECTORES:

Se partirá de chapa de 5 mm que mediante conformado en frío se le dará la forma abombada con una profundidad mínima de 100 mm y como se indica en el ADR deberá tener al menos un 70% de la sección transversal de la cisterna. Las dimensiones del rompeolas será de diámetro 1.600 mm y con una profundidad de 100 mm.

El rompeolas tiene agujeros por los cuales podrá pasar el material a transportar, dispone de 5 agujeros de 100 mm de diámetro a una distancia de 600 mm de altura desde el fondo.

En la parte inferior del rompeolas se realizarán dos agujeros de diámetro 225 mm a una altura de 300 mm y una distancia desde el centro de 350 mm.

Los rompeolas se soldarán a las virolas y se soldarán a una distancia de:

El 1° se coloca a una distancia	→	340 mm desde el sexto anillo
El 2° se coloca a una distancia	→	340 mm desde el quinto anillo
El 3° se coloca a una distancia	→	340 mm desde el cuarto anillo
El 4° se coloca a una distancia	→	340 mm desde el tercero anillo
El 5° se coloca a una distancia	→	340 mm desde el segundo anillo

A continuación se realizará el montaje de los equipos de la cisterna, se montarán las bocas de hombre en los anillos del 2 al 5. Las bocas de hombre se soldarán al cuerpo de la cisterna. Después de instalar las bocas de hombre se instalará la protección superior antivuelco. La caja se realizará de acero inoxidable 316 con unas dimensiones de longitud 9.200 mm y de altura de 250 mm macizo.

Se realizarán los soportes sobre los que la cisterna descansará sobre el remolque. Éstos tienen unas dimensiones de longitud de 1.130 mm y con una altura de 254 mm, al descansar la cisterna sobre estos soportes el diámetro debe ser el mismo, es decir 1.600 mm.

Los soportes se soldarán al cuerpo de la cisterna.

## 2. Unión con el vehículo.

La unión con el remolque se realizará mediante soldadura, se soldarán los soportes al remolque. Primero se soldarán los soportes a la cisterna y a continuación se elevará la cisterna para soldar toda la estructura al chasis del remolque.

El remolque se unirá al vehículo mediante el King pin, que es la unión entre el soporte del remolque con el vehículo. Este soporte descansará la cerca del eje trasero del vehículo.

## 3. Soldaduras. Procedimientos y técnicas.

Partimos de las chapas a las cuales se le han dado la forma mediante los métodos explicados anteriormente, ahora pretendemos dar solución a las soldaduras y como deberían de realizarse las mismas.

Primero debemos realizar las soldaduras de las virolas, éstas han sido conformadas por cilindrado, a partir de aquí debemos realizar una soldadura para cerrar las virolas. Se debe tener en cuenta que el acero 316 inoxidable tiene un coeficiente de dilatación térmica aproximadamente un 50% mayor a las un acero al carbono normal y un 40% menor en la conductividad térmica, lo que provoca distorsiones o deformaciones.

Por ello debemos elegir un proceso de bajo aporte de calor, distribución del calor de forma equilibrada y que el nivel de embridamiento del conjunto sea el más bajo posible. También se puede evitar empleando la corriente de soldadura más baja posible o soldar a mayor velocidad.

El material de aportación que se debe de utilizar en este caso es el 316 y el método que se utilizará en todas las soldaduras será el proceso por TIG. No se realizarán tratamientos de precalentamiento ni de postcalentamiento.

Se seguirán las especificaciones de las normas que se citan a continuación, EN 13094:2008+AC:2008; EN 1808-1; EN ISO 15614-1; EN ISO 15614- 2; EN ISO 15613.

La soldadura para cerrar las virolas se realizará de forma que la penetración sea completa y se prepararán las juntas de forma en V simple, con un ángulo de junta de 60° sin respaldo. Teniendo en cuenta que ambos espesores son de 5 mm entonces tenemos que la penetración es de 5 mm también. Se muestra en la siguiente figura la preparación de las juntas.

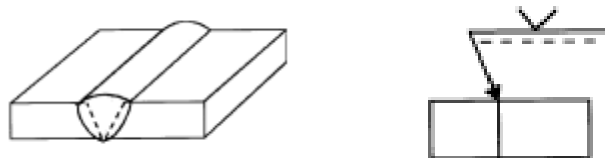


Figura 11

Así se realizarán todas las soldaduras de las virolas, de las 6 virolas.

A continuación lo que debe soldarse son los rompeolas a las virolas, éstas se realizarán con el mismo proceso TIG, pero estas sí que necesitan de un elemento para su fijación, las soldaduras en estos casos tanto para los elementos de fijación como para el rompeolas

deben ser en ángulo y por todo alrededor del mismo, luego cuando se termine la soldadura se procederá a retirar los elementos fijadores puesto que son de ayuda para el proceso de soldeo, ver planos de soldadura de rompeolas y cuerpo. Los rompeolas se soldarán a una distancia de 300 mm del inicio de la virola, los anillos que llevan rompeolas son los anillos 2, 3, 4, 5 y 6.

El anillo 6 tiene un detalle en especial, en la parte final de la virola se debe soldar una placa de espesor de 8 mm, en la cual se unirá la válvula de descarga. Esta soldadura se realizará por todo alrededor en ángulo. El espesor mínimo es de la virola con 5 mm, con lo cual debe realizarse las soldaduras teniendo en cuenta este espesor. La garganta será de 3,5 mm, puesto que la garganta se calcula como el 70% del menor de los espesores.

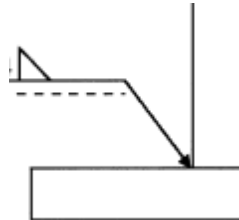


Figura 12

Se procede a continuación de esto a soldar las bocas de hombre a las virolas correspondientes, siguiendo las indicaciones de la norma se tiene que la soldadura se realizará por el interior del agujero, es decir, se soldarán por la parte interna de la boca de hombre con el agujero de la virola. La soldadura debe ser en ángulo y como el cuello de la boca de hombre y la virola son iguales, tenemos que la garganta de soldadura es de 3,5 mm. Las juntas deben prepararse de forma que la parte interior de la boca de hombre quede biselada no con mucho ángulo y la parte de la virola debe estar biselada de forma que sirva de base para la soldadura. Para tener más o menos una idea se presenta la figura siguiente. Debe saberse que por la parte exterior también se soldará pero no tendrá la misma profundidad que la interna.



Figura 13

Cuando se han unido los rompeolas a las virolas correspondientes y se han soldado las bocas de hombre a las virolas se procede a la soldadura de las virolas entre sí, esto se debe realizar de forma que las soldaduras de cierre de cada virola no coincida con las de otra virola, por lo menos hay que dejar una separación de 50 mm entre soldaduras de una virola y otra. Se realizará sin soporte, se soldará de forma que sea a tope, con una preparación de juntas en V simple con ángulo de 60°. Se soldará todo alrededor de las virolas. Se presenta la siguiente figura para indicar más o menos como se debe seguir.



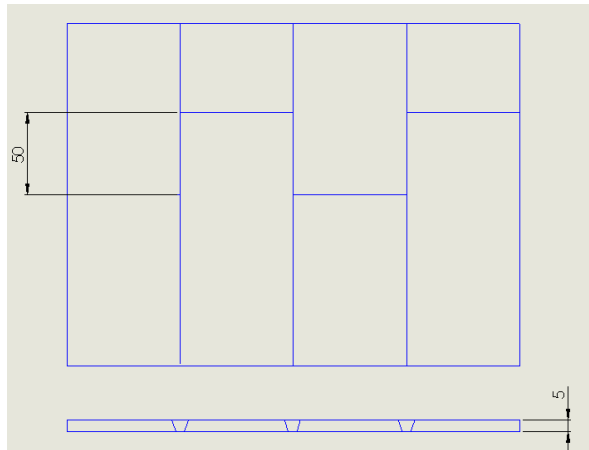


Figura 14

Por último para completar el cuerpo de la cisterna se soldarán los fondos tantos delanteros como traseros, esta soldadura se realizará de la siguiente forma, se realizará a tope con una preparación de juntas en V simple con un ángulo de  $60^\circ$ , como ambos espesores son iguales se tiene que la penetración es de 5 mm. Se indica en la siguiente figura como será la soldadura.

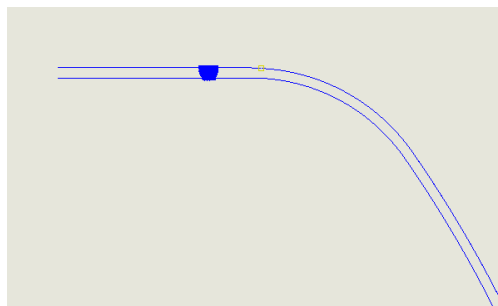


Figura 15

La unión entre la cisterna y el remolque se realiza mediante los soportes, los cuales irán soldados con la cisterna pero irán atornillados con el remolque.

La soldadura que se realizará en este caso es en ángulo, por todo alrededor con una garganta de 3,5 mm debido a que el espesor mínimo es de 5 mm y se indicará de la siguiente forma.

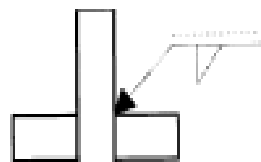


Figura 16

## V. INSPECCIONES, ENSAYOS Y PRUEBAS.

Para la correcta utilización, como el marcado CE y homologación, de la cisterna se deben realizar varias pruebas, ensayos e inspecciones, entre ellas se deben seguir las que se comentarán a continuación.

De la normativa del ADR se obtiene que los depósitos y sus equipos se someterán, bien en conjunto o por separado, a un control inicial previo a su puesta en servicio. Éste control comprenderá:

- Verificación de la conformidad con el tipo autorizado.
- Verificación de las características de construcción.
- Examen del estado exterior e interior.
- Prueba de presión hidráulica a la presión de prueba indicada en la placa A.
- Prueba de estanqueidad y verificación del buen funcionamiento del equipo.

La prueba presión hidráulica deberá efectuarse sobre el conjunto del depósito y por separado en cada compartimento de los depósitos dividido en los compartimento, como esta cisterna no está compartimentada, no se realizará la prueba por separado.

Si los depósitos y sus equipos hubieran sido probados por separado, el conjunto deberá someterse después de su embalaje a una prueba de estanqueidad.

Los depósitos y sus equipos se someterán a controles periódicos como máximo cada seis años, los cuales se verán comprendidos por:

- Un examen del estado interior y exterior.
- Una prueba de estanqueidad del depósito con sus equipos y una verificación del funcionamiento de todo el equipo.
- Como regla general, una prueba de presión hidráulica para la presión de prueba aplicable a los depósitos y equipos.

Los depósitos deberán someterse a controles intermedios como mínimo cada tres 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 previa, se realizará otra inspección intermedia como muy tarde a los tres años después de la fecha.

Estos controles intermedios incluirán una prueba de estanquidad del depósito con sus equipos y una verificación del funcionamiento correcto de todo el equipo.

Para ello, la cisterna deberá someterse a una presión efectiva interior al menos igual a la presión máxima de servicio. Para las cisternas destinadas al transporte de líquidos, la prueba de estanquidad debe efectuarse a una presión al menos igual al 25% de la presión máxima de servicio. Ésta no será inferior a 20 kPa (0,2 bar).

Todas las pruebas, ensayos y verificaciones se realizarán por el perito aprobado por la

autoridad competente. Se expedirán certificaciones que recojan los resultados tanto positivos como los negativos.

Para los depósitos de acero se tiene que:

Los materiales utilizados para la fabricación de los depósitos y los cordones de soldadura, su temperatura mínima de servicio, pero como mínimo  $-20^{\circ}\text{C}$ , se cumplirán al menos las siguientes condiciones.

- Los ensayos se realizarán sobre probetas con entalla en V.
- La resiliencia de las probetas cuyo eje longitudinal sea perpendicular a la dirección de laminación y que tenga una entalla en V, perpendicular a la superficie de la chapa, tendrá como mínimo un valor de  $34 \text{ J/cm}^2$ , para el acero suave.
- Para los aceros austeníticos, solamente se someterá a una prueba de resiliencia el cordón de soldadura.

Ensayos de resiliencia:

Para las chapas de espesor inferior a 10 mm pero no menor de 5 mm, se utilizarán las probetas de una sección de 10 mm x e mm, donde e representa el espesor de la chapa.

Para la prueba de las chapas, la resiliencia se determinará a partir de tres probetas, cuya extracción se hará transversalmente a la dirección de la laminación.

Para la prueba de las juntas de soldadura, las probetas se extraerán como se indica a continuación.

Tres probetas con entalla en el centro de la junta soldada. Tres probetas con entalla en el centro de la zona de alteración debida a la soldadura (la entalla en V deberá atravesar el límite de la zona fundida en el centro de la muestra), se refleja en la siguiente figura.

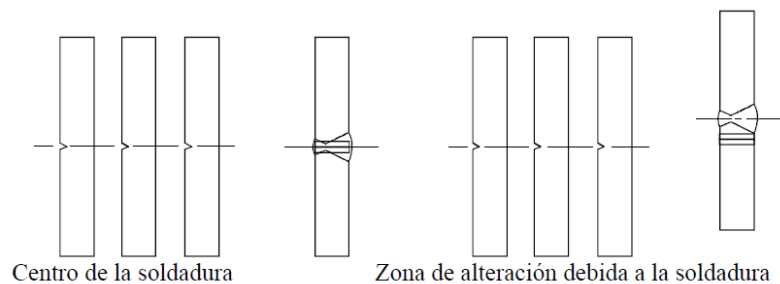


Figura 17

La media de tres ensayos, de chapa, debe cumplir con el valor mínimo de  $34 \text{ J/cm}^2$ , solamente uno de los valores podrá ser inferior al valor mínimo sin ser inferior a  $24 \text{ J/cm}^2$ .

Para las soldaduras, el valor medio resultante de 3 probetas, extraídas del centro de la soldadura no podrá ser inferior a  $34 \text{ J/cm}^2$ , sólo podrá ser un valor inferior pero sin ser menor de  $24 \text{ J/cm}^2$ .

Para la zona de alteración debido a la soldadura, solamente el valor a partir de una de las tres probetas podrá ser inferior al valor mínimo de  $34 \text{ J/cm}^2$  sin ser menor de  $24 \text{ J/cm}^2$ .

Si no se cumple las condiciones prescritas, tan solo se puede realizar un único nuevo ensayo, si el valor medio que resulte de los tres primeros ensayos fuera inferior al valor mínimo de  $34 \text{ J/cm}^2$ .

En la repetición de los ensayos ninguno de los valores podrá ser inferior a  $34 \text{ J/cm}^2$ .

También ha de someterse a ensayos del tipo de frenado, de conducción sobre una pista y sobre un círculo de diámetro mínimo de 15 m.

Los siguientes ensayos deben de llevarse a cabo con la cisterna llena de agua hasta al menos el 97% de su capacidad.

a) Ensayo de Frenado:

El ensayo de frenado debe llevarse a cabo en una pista plana y seca y con una deceleración de 0,6g aproximadamente. Los valores obtenidos deberán de extrapolarse hasta 2g.

b) Conducción sobre una pista con obstáculos:

Son suficientes las pistas planas con obstáculos por ejemplo obstáculos de madera de 45 mm de altura inclinados en la dirección de la marcha, a una distancia igual a la que separa el primer y el último eje del vehículo cisterna para transporte por carretera.

Los obstáculos deben situarse alternativamente a la derecha y a la izquierda. La velocidad del vehículo cisterna y la altura de los obstáculos deben ser tales que los valores resultantes permitan la extrapolación hasta 2g.

c) Conducción lenta en un círculo de un diámetro de 15 m:

La velocidad debe ser tal que no se alcance el límite de vuelco. Cuando se haya alcanzado una aceleración transversal de 0,4g debe realizarse una extrapolación lineal.

Deben colocarse medidores de deformación en zonas de la cisterna y sus accesorios en los que se espera un mayor esfuerzo, los medidores deben de calibrarse a carga cero.

Todas las soldaduras se les realizarán un ensayo no destructivo el cual se tratará de un ensayo por ultrasonidos y por rayos x, todas deberán de pasar las inspecciones debidas para asegurarse de que la cisterna cumple con todas las normas vigentes.

Para el ensayo e inspección de las soldaduras debe realizarse una inspección visual en toda la longitud de acuerdo con la Norma EN 970 y deben satisfacer los siguientes criterios según la Norma EN ISO 5817:2007 nivel C para el acero

Una proporción de las soldaduras debe someterse a un ensayo no destructivo según se especifica en la Norma UNE EN 12972. La inspección debe hacerse mediante un ensayo radiográfico según la Norma EN 1435. Las soldaduras deben ser examinadas cumpliendo los siguientes criterios según la Norma EN ISO 5817:2007 nivel C para acero.

Todos los ensayos deberá realizarlos una persona competente, cualificada según Norma EN 473 y trabajando conforme un procedimiento cualificado mediante un operador nivel 3. Los informes de las inspecciones deberán estar firmados por una persona cualificada por lo menos con nivel 2.

## VI. DOCUMENTACIÓN Y CERTIFICACIÓN.

Como consecuencia de las actuaciones de los organismos de control establecidas en los artículos del R.D. 97/14 dichos organismos generarán los documentos que se relacionan:

- 1) Documentos a generar para certificación de tipo de envases y embalajes:
  - a) Certificado de conformidad del tipo con los requisitos reglamentarios (apéndice E.1).
  - b) Actas de pruebas (apéndice E.2).
  - c) Actas de ensayos.
  - d) Auditoria del sistema de control de calidad.
- 2) Documentos a generar para la certificación de tipo de grandes recipientes para granel (IBC/GRG):
  - a) Certificado de conformidad del tipo con los requisitos reglamentarios (apéndice E.3).
  - b) Actas de pruebas (apéndice E.4).
  - c) Actas de ensayos.
- 3) Documentos a generar para el control de conformidad de la producción de envases y embalajes y grandes recipientes para granel (IBC/GRG):
  - a) Acta de conformidad de la producción (apéndice E.5).
  - b) Actas de pruebas (apéndice E.2 ó E.4).
  - c) Actas de ensayos.
- 4) Documentos a generar para la certificación de prototipo de cisternas, vehículos-batería y CGEM.:
  - a) Certificado de conformidad con requisitos reglamentarios de un tipo (apéndice E.6).
  - b) Documento H especial (apéndice E.7).
  - c) Documentos de clase (apéndice E.8).
  - d) Ficha técnica (apéndice E.20).
- 5) Documentos a generar durante el seguimiento de la construcción en todas sus fases de cisternas, vehículos-batería y CGEM.:
  - a) Acta de conformidad de las uniones soldadas (apéndice E.9).
  - b) Informe radiográfico (apéndice E.22).
  - c) Croquis radiográfico (apéndice E.23).
  - d) Acta de conformidad de los materiales (apéndice E.10).
  - e) Informe de inspección por ultrasonidos y partículas magnéticas (apéndice E.24).
  - f) Acta de ensayo de tracción de las probetas.
- 6) Documentos a generar durante la inspección inicial, antes de la puesta en servicio, las cisternas, vehículos-batería y CGEM.:
  - a) Acta de conformidad de la cisterna o vehículo-batería y CGEM. (apéndice E.11).
  - b) Certificado de prueba de estanqueidad (apéndice E.18).
  - c) Certificado de prueba de presión hidráulica (apéndice E.19).
  - d) Acta de prueba volumétrica (apéndice E.12).
  - e) Certificado de calibración de válvulas de seguridad y prueba de válvulas de aireación (apéndice E.13).
  - f) Otras actas de prueba reglamentariamente exigidas.
  - g) Documento H para aprobación de tipo de cisterna, vehículo-batería o C.G.E.M. (apéndice E.7).
  - h) Documentos G (apéndice E.14).
  - i) Documentos V1 y V2 y acta de cumplimientos de un vehículo base, vehículo completo o completado EXII o EXIII, vehículo-cisterna, vehículo-batería, vehículo

- para cisternas desmontables, vehículo para contenedores-cisterna, vehículos para cisternas portátiles o CGEM. (apéndice E.25).
- j) Documentos de clase (apéndice E.8).
  - k) Ficha técnica cisterna (apéndice E.20).
  - l) Fotocopia o fotografía de la placa de características de la cisterna.
- 7) Documentos a generar durante las inspecciones periódicas de cisternas, vehículos-batería y CGEM:
- a) Acta de inspección periódica de una cisterna o contenedor cisterna (apéndice E.15).
  - b) Certificado de prueba de estanqueidad (apéndice E.18).
  - c) Certificado de prueba de presión hidráulica, si corresponde (apéndice E.19).
  - d) Certificado de calibración de válvulas de seguridad y prueba de válvulas de aireación (apéndice E.13).
  - e) Acta de ensayos no destructivos, para la clase 2, (apéndice E.24).
  - f) Otras actas de prueba reglamentariamente exigidas.
  - g) Documentos G (apéndice E.14).
  - h) Documentos V1 y V2 y acta de cumplimientos de un vehículo base, vehículo completo o completado EXII o EXIII, vehículo-cisterna, vehículo-batería, vehículo para cisternas desmontables, vehículo para contenedores-cisterna, vehículos para cisternas portátiles o CGEM (apéndice E.25).
  - i) Documentos de clase (apéndice E.8).
  - j) Ficha técnica cisterna (apéndice E.20)
  - k) Fotocopia o fotografía de la placa de características de la cisterna.
- 8) Documentos a generar durante las inspecciones excepcionales:
- a) Informe previo a la modificación o reparación de una, vehículo-batería o CGEM (apéndice E.16).
  - b) Acta de inspección de una cisterna o vehículo-batería o CGEM para el transporte de mercancías peligrosas tras su modificación o reparación (apéndice E.17).
  - c) Certificado de prueba de estanqueidad (apéndice E.18).
  - d) Certificado de prueba de presión hidráulica (apéndice E.19).
  - e) Acta de prueba volumétrica (apéndice E.12).
  - f) Certificado de calibración de válvulas de seguridad y prueba de válvulas de aireación (apéndice E.13).
  - g) Otras actas de prueba reglamentariamente exigidas.
  - h) Documento H para aprobación de tipo de cisterna, vehículo-batería o C.G.E.M. (apéndice E.7).
  - i) Documentos G (apéndice E.14).
  - j) Documentos V1 y V2 y acta de cumplimientos de un vehículo base, vehículo completo o completado EXII o EXIII, vehículo-cisterna, vehículo-batería, vehículo para cisternas desmontables, vehículo para contenedores-cisterna, vehículos para cisternas portátiles o CGEM (apéndice E.25).
  - k) Documentos de clase (apéndice E.8). l. Ficha técnica de la cisterna (apéndice E.20).
- 9) Documentos a generar durante las inspecciones iniciales o periódicas de grandes recipientes a granel (IBC/GRG) cuando sean exijas por el ADR, IMDG o RID: Acta de inspección inicial o periódica de un gran recipiente para graneles (IBC/GRG) para el transporte de mercancías peligrosas (apéndice E.21).
- 10) Documentos a generar durante la inspección inicial y periódica de vehículos tractores de vehículos cisterna, vehículos portadores de cisternas desmontables, vehículos portadores de contenedores cisterna, CGEM y vehículos para el transporte de explosivos tipos II y III. Documentos V1 y V2 y acta de cumplimiento reglamentario de un vehículo base, vehículo completo o completado EXII o EXIII, vehículo cisterna, vehículo batería,

vehículo para cisternas desmontables, vehículo para contenedores cisterna, vehículos para cisternas portátiles o CGEM (apéndice E.25).

Para ello deberán rellenarse los apéndices del R.D. 97/14 que se indicarán a continuación:

- Apéndice E.6 → Certificado de conformidad transporte de MM PP.
- Apéndice E.7 → Documento de inspección para aprobación de cisterna.
- Apéndice E.9 → Acto de conformidad de las uniones soldadas.
- Apéndice E.10 → Acto de conformidad del material utilizado.
- Apéndice E.11 → Acto de conformidad con el tipo de ...
- Apéndice E.12 → Acto de prueba volumétrica de una cisterna.
- Apéndice E.13 → Certificado de calibración de las válvulas de seguridad.
- Apéndice E.14 → Documento de comprobación durante la inspección.
- Apéndice E.18 → Certificado de prueba de estanquidad.
- Apéndice E.19 → Certificado de prueba hidráulica.
- Apéndice E.20 → Ficha técnica de la cisterna.
- Apéndice E.22 → Informe radiológico.
- Apéndice E.23 → Datos del fabricante y de la cisterna.
- Apéndice E.24 → Informe de inspección por ultrasonidos.

## VII. EVALUACIÓN DE RIESGOS DE LA SEGURIDAD Y DEL MEDIO AMBIENTE.

En caso de accidentes debe saberse que el queroseno en condiciones normales de almacenamiento, manipulación y uso no representa ningún peligro, pero es tóxico y contamina el agua si entra en contacto con éste. Para ello debe tenerse especial cuidado cuando se manipula, se debe de proceder a ser manipulado con los EPIS correctos.

Debe saber que el queroseno es un producto peligroso ya que cuando se inflama se quema rápidamente, por ello debe tenerse especial cuidado para no iniciar ninguna chispa de cualquier carácter. Evitar respirar los vapores que emana, no tocar en acción directa en ningún caso.

Muy tóxico, las plantas sufren mucho cuando entra en contacto con el queroseno, llegando a causar la destrucción de las plantas.

Los EPIS que se deben llevar en cuestión cuando se manipula el queroseno son los siguientes:

- Mascarilla, para no respirar los gases.
- Guantes para no entrar en contacto directo.
- Botas especiales.

La cisterna deberá portar los carteles indicadores del peligro como lo es la clasificación del líquido y contaminante.

El vehículo deberá estar provisto de un equipo antincendios por si ocurriera algún incendio pequeño al que poder hacer frente.

La cabina deberá tener protección por si se genera un incendio en esta, que no pase rápidamente a la carga y pueda hacerse frente con un equipo de extinción de incendios.

Los depósitos de carburantes deberán ir protegidos por si ocurre algún accidente.

El vehículo deberá estar limitado en cuanto a la velocidad máxima que pueda alcanzar, siendo ésta de 100 km/h debido a que los camiones no pueden superar la velocidad de 90 km/h por carretera. El vehículo también irá previsto de limitadores de duración de viaje.



## ANEXO I

### PLANOS DE LA CISTERNA