



industriales
etsii

**Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial**

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

**Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Industrial**

Cálculo, diseño, fabricación y evaluación de la conformidad (Mercado CE) de una cisterna GLP (Automoción) para el transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR 2019)

TRABAJO FIN DE GRADO

**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES**



**Universidad
Politécnica
de Cartagena**

Autor: Marta Mora Zamora
Director: Isidoro José Martínez Mateo

Cartagena, Diciembre 2020



Agradecimientos

En primer lugar, agradecerle a Isidoro que haya sido mi tutor y me diera la oportunidad de realizar este proyecto.

A mis amigas, en especial a Paula y Clara, porque empezamos y acabamos esto juntas, y sólo nosotras sabemos todas las piedras que un día nos comimos. Sólo espero que siga habiendo muchas más piedras que comernos juntas.

A mi familia por confiar en mí, pero en especial a mis padres, lo primero por su infinita paciencia, lo segundo, porque no sólo yo cierro esta etapa, ellos la han caminado conmigo y me han enseñado a disfrutar de lo bueno y de lo no tan bueno.

A Juan María, porque sin tu cariño, tu ayuda y tu confianza, no estaría hoy escribiendo en este proyecto, pero, sobre todo, por devolverme la capacidad de creer que podía hacerlo.

Índice

OBJETIVO.....	10
ANTECEDENTES	11
NORMATIVA.....	12
TÉRMINOS Y DEFINICIONES. UNIDADES Y SÍMBOLOS.....	14
PRODUCTO A TRANSPORTAR.....	20
CISTERNA.....	30
1 DEPÓSITO	31
1.1 DISEÑO DEL DEPÓSITO	33
1.2 CÁLCULOS DE DISEÑO	40
1.3 EJECUCIÓN Y CONSTRUCCIÓN.....	58
1.4 ENSAYOS DE FABRICACIÓN Y PRUEBAS	70
1.5 PROTECCION CONTRA CORROSIÓN EXTERNA Y ACABADO	71
1.6 MARCADO	71
1.7 DOCUMENTACIÓN	71
2 ESTRUCTURA. MONTAJE DEL DEPÓSITO AL CHASIS	73
2.1 ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....	73
2.2 CÁLCULO DE LAS FIJACIONES DEL DEPÓSITO AL CHASIS DEL VEHÍCULO	73
2.3 IZADO DEL DEPÓSITO. CÁLCULOS PARA LAS OREJETAS.....	80
2.4 PROTECCIÓN CONTRA IMPACTOS Y VUELCO.....	84
3 EQUIPOS Y ACCESORIOS.....	86
3.1 ACCESORIOS DEL DEPÓSITO.....	86
3.2 EQUIPOS DE GLP PARA EL CAMIÓN CISTERNA.....	89
3.3 SISTEMAS DE SEGURIDAD	92
4 MARCADO Y ETIQUETADO	94
4.1 MARCADO	94
4.2 ETIQUETADO	97
5 DOCUMENTACIÓN DE LA CISTERNA	101
VEHÍCULO.....	102
1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	102
1.1 EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO	102
1.2 EQUIPAMIENTO DE FRENADO.....	105
1.3 PREVENCIÓN DE RIESGO DE INCENDIO.....	106

2	DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS.....	106
2.1	CONEXIÓN EQUIPONENCIAL DE LOS VEHÍCULOS FL.....	106
2.2	ESTABILIDAD DE LOS VEHÍCULOS CISTERNA.....	107
2.3	PROTECCIÓN POSTERIOR DE LOS VEHÍCULOS.....	107
3	SEÑALIZACIÓN.....	107
4	RESTRICCIONES EN TÚNELES.....	108
	SEMIRREMOLQUE. UNIÓN SEMIRREMOLQUE A CABEZA TRACTORA.....	109
1	SEMIRREMOLQUE.....	109
2	UNIÓN.....	109
2.1	QUINTA RUEDA.....	109
2.2	KING-PIN, PERNO REY.....	110
	CONTROLES, ENSAYOS Y PRUEBAS DEL CAMIÓN CISTERNA.....	112
1	RECOPIACIÓN Y EXAMEN DE LOS DOCUMENTOS PARA LA INSPECCIÓN.....	114
2	INSPECCIÓN DEL DEPÓSITO. INTERIOR.....	115
3	INSPECCIÓN DEL DEPÓSITO. EXTERIOR.....	115
4	PRUEBA DE PRESIÓN HIDRÁULICA.....	116
4.1	PRESIÓN DE ENSAYO.....	116
4.2	LÍQUIDO DE ENSAYO.....	116
4.3	PRESURIZACIÓN.....	116
4.4	DURACIÓN DEL ENSAYO.....	116
4.5	MEDICIÓN.....	117
4.6	EVALUACIÓN DEL ENSAYO.....	117
5	INSPECCIÓN DE LOS EQUIPOS Y ACCESORIOS DE GLP.....	117
5.1	COMPROBACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO.....	117
5.2	INSPECCIÓN SOBRE EL ACOPLAMIENTO EXTERNO DE LA MANGUERA.....	117
5.3	PARADA DE EMERGENCIA.....	117
6	ENSAYO DE ESTANQUEIDAD.....	118
6.1	PRESIÓN DE ENSAYO DE ESTANQUEIDAD.....	118
6.2	EVALUACIÓN DEL ENSAYO.....	118
7	INSPECCIÓN DEL DEPÓSITO O EQUIPAMIENTO TRAS UNA REPARACIÓN.....	118
8	REINSPECCIÓN.....	118
9	CERTIFICADOS.....	119
9.1	CERTIFICACIÓN INSPECCIÓN INTERMEDIA, PERIÓDICA Y EXCEPCIONAL.....	119
9.2	MARCADO.....	119
	DISPOSICIONES ESPECIALES.....	120

REFERENCIAS.....	125
1 ARTÍCULOS, MANUALES, FICHAS TÉCNICAS Y DOCUMENTOS.....	125
2 ENLACES	125
ANEXO I. TABLA A.....	127
ANEXO II. MODELOS DE ETIQUETAS	128
ANEXO III. DISPOSICIONES RELATIVAS A LA CONSTRUCCIÓN DE VEHÍCULOS	131
PLANOS.....	133

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Unidades de medidas aplicadas en el ADR.....	18
Ilustración 2. Etiqueta peligro de inflamabilidad gas de clase 2	28
Ilustración 3. Construcción del depósito de la cisterna.	31
Ilustración 4. Efecto ola con y sin rompeolas.....	32
Ilustración 5. Situación de las fases dentro del depósito de la cisterna	32
Ilustración 6. Ejemplo de cisterna con parasol	32
Ilustración 7. Tabla que recoge las propiedades de distintas clases de acero.....	35
Ilustración 8. Ejemplo de rompeolas que permiten el paso del fluido pegado a las paredes	37
Ilustración 9. Gráfica Tensión de vapor (bar)-Temperatura(°C) del GLP (Propano-Butano)	42
Ilustración 10. Esquema fondo toroidal. UNE-EN 12493	45
Ilustración 11. Esquema fondo toroidal. UNE-EN 13445-3	45
Ilustración 12. Gráfico para obtención del factor β	47
Ilustración 13. Esquema fondo toroidal tipo Korbbogen.....	49
Ilustración 14. Esquema de depósito con parasol	51
Ilustración 15. Relación entre espesor del cuerpo y ramificación máxima. UNE-EN 12493.....	52
Ilustración 16. Refuerzo por anillos para aberturas aisladas en envolventes cilíndricas. Figura D.5 UNE-EN 12493.....	54
Ilustración 17. Refuerzo por ramificaciones soldadas para aberturas aisladas en envolventes cilíndricas. Figura D.6 UNE-EN 12493.....	55
Ilustración 18. Refuerzo por ramificación embutida en fondo abombado para aberturas aisladas en envolventes cilíndricas. Figura D.7 UNE-EN 12493	56
Ilustración 19. Esquema construcción medidor de picos de la envolvente. UNE-EN 12493	62
Ilustración 20. Tabla que recoge la tolerancia fondos abombados. UNE-EN 12493	63
Ilustración 21. Esquema de soldadura tipo TIG	65
Ilustración 22. Soldadura a tope en V. UNE-EN 12493	66
Ilustración 23. Unión a tope de espesores diferentes. UNE-EN 1708-1	67
Ilustración 24. Tabla para cálculo fuerzas para fijación del depósito al chasis. UNE-EN 12252 .	73
Ilustración 25. Dirección y sentido de las fuerzas referidas en la Ilustración 24. Tabla para cálculo fuerzas para fijación del depósito al chasis. UNE-EN 12252	73
Ilustración 26. Esquema montaje de un depósito ("Figura B.2"). UNE-EN 12252	75
Ilustración 27. Esquema soldadura soportes fijación. UNE-EN 12252.....	78
Ilustración 28. Esquema pernos de fijación. UNE-EN 12252.....	79
Ilustración 29. Orejetas para izado longitudinal. UNE-EN 13445-3	81
Ilustración 30. Esquema sistema de izado con orejetas	82
Ilustración 31. Equipos y accesorios para camiones cisterna destinados al transporte de GLP. UNE-EN 12252.....	86
Ilustración 32. Nivel rotativo para indicación del nivel del depósito.....	87
Ilustración 33. Ejemplo de manómetro	87
Ilustración 34. Esquema válvula de seguridad de sobrepresión. UNE EN 14129.....	88
Ilustración 35. Válvula de expansión térmica	90
Ilustración 36. Válvula de corte tipo esfera	90
Ilustración 37. Válvula de fondo.....	91
Ilustración 38. Símbolo para la señalización de la puesta a tierra	91
Ilustración 39. Pinzas y cable para puesta a tierra.....	92
Ilustración 40. Extintor de polvo seco de 9 kg	93

Ilustración 41. Marcado π	96
Ilustración 42. Placas-etiquetas gas inflamable clase 2	98
Ilustración 43. Ejemplo panel naranja. ADR, 2019	99
Ilustración 44. Panel naranja para GLP	100
Ilustración 45. Esquema de ubicación del etiquetado	100
Ilustración 46. Protecciones suplementarias para cables. ADR 2019	103
Ilustración 47. Señal V-6 para vehículos de gran longitud	108
Ilustración 48. Quinta rueda instalada en cabeza tractora	110
Ilustración 49. Esquema funcionamiento Quinta rueda	110
Ilustración 50. King-pin o perno rey	111
Ilustración 51. Inspecciones y ensayos requeridos. UNE-EN 14334	113
Ilustración 52. Certificado de inspección y verificación de un camión cisterna GLP	119

Índice de tablas

Tabla 1. Ficha de datos de seguridad-identificación, composición y propiedades.....	22
Tabla 2. Ficha de datos de seguridad-Identificación de los peligros.....	26
Tabla 3. Información relativa al transporte.....	27
Tabla 4. Codificación de las cisternas para el transporte de materias de la clase 2	30
Tabla 5. Dimensiones de partida para el diseño	33
Tabla 6. Composición química del acero clase P355NL2. UNE-EN 10028-3	36
Tabla 7. Temperatura de referencia para el diseño	40
Tabla 8. Temperatura de referencia alternativa para el diseño	40
Tabla 9. Cálculo llenado máximo admisible en kg/l	41
Tabla 10. Cálculo de la tensión nominal de diseño	41
Tabla 11. Cálculo del espesor mínimo de la envolvente cilíndrica	43
Tabla 12. Relaciones dimensionales fondos tipo Korbbogen	46
Tabla 13. Cálculo espesor mínimo de los fondos toroidales tipo Korbbogen.....	47
Tabla 14. Recopilación datos de diseño	52
Tabla 15. Resumen cálculos características en masa del depósito.....	75
Tabla 16. Cálculo de fuerzas necesarias para la fijación del depósito	75
Tabla 17. Momento y reacción de F2.....	76
Tabla 18. Tirantes de fijación	76
Tabla 19. Pernos.....	77
Tabla 20. Soldadura soportes fijación	77
Tabla 21. Cálculos esfuerzos en tirantes de fijación	78
Tabla 22. Cálculo esfuerzos en la soldadura de las fijaciones.....	79
Tabla 23. Cálculo reacciones en los pernos.....	80
Tabla 24. Cálculo esfuerzos en los pernos	80
Tabla 25. Características del semirremolque	109

OBJETIVO

Actualmente la sociedad avanza a gran velocidad en todos los ámbitos, tanto industriales, tecnológicos y medioambientales, como sociales o económicos. Es por ello, que existe un aumento de producción, transporte y otros aspectos entre los que se incluye el uso de sustancias químicas con el fin de mejorar la calidad de vida, pero que representan un riesgo ya que se trata de sustancias o materiales potencialmente peligrosos. Este riesgo derivado de la manufacturación, posterior transporte y uso es lo que denomina el personal de prevención y protección civil como “riesgo tecnológico”. Por tanto, es necesaria una legislación que desarrolle, clasifique y articule, dichos riesgos, así como, clasifique las mercancías o sustancias peligrosas.

Se pueden clasificar atendiendo a lo anterior los siguientes riesgos potenciales:

- **Riesgos nucleares:** las propias centrales nucleares suponen un riesgo potencial de fuente de radiación y contaminación, tanto para las personas como para el medio ambiente. Además, aunque exista un plan de seguridad nuclear cuyo objetivo es reducir la probabilidad de que se desarrolle un accidente y, sobre todo, en caso de que ocurriera mitigar las consecuencias.
- **Riesgos radiológicos:** las radiaciones radiológicas (no nucleares), a pesar de resultar menos devastadoras presentan un riesgo más probable debido a lo extenso que es su uso y la autorización sobre él.
- **Riesgos químicos:** hacen referencia a los propios riesgos derivados de las industrias que manufacturan, almacenan, utilizan y distribuyen sustancias químicas.
- **Transporte de mercancías peligrosas:** este riesgo engloba a todos los demás debido al transporte que existe de todas las sustancias o materiales que pueden provocar los riesgos anteriores. Por tanto, es el que supone más inconveniente y el más susceptible de que ocurra. Es por ello, que todos aquellos contenedores y vehículos, ya sean destinados al transporte por tierra, mar o aire, deberán diseñarse y fabricarse bajo las normativas establecidas, además de sufrir revisiones periódicas que garanticen la seguridad durante el transporte.

La normativa que legisla todo lo anterior posee un nivel superior y resulta más específica que la normativa que regula otros riesgos de carácter más general.

Una vez conocidos los posibles riesgos entorno a las sustancias o materiales peligrosos, es el riesgo por transporte de mercancías peligrosas el que se va a tratar a lo largo del proyecto. Esto surge de la necesidad de **transportar por carretera Gases Licuados del Petróleo**, sustancia considerada como **mercancía peligrosa** desde el emplazamiento de su obtención hasta la ubicación de suministro.

Para ello se va a **diseñar, calcular y fabricar la cisterna de un vehículo-cisterna destinado al transporte por carretera de dicha sustancia.**

Por tanto, el **objetivo del siguiente proyecto** será el diseño inicial de la cisterna que se instalará sobre el semirremolque del camión y su posterior fabricación. Habrá que tener en cuenta todos los elementos auxiliares necesarios en los mismos, el material a utilizar tanto para la fabricación de la cisterna como para dichos elementos auxiliares, siguiendo las normas de seguridad apropiadas e incluyendo los elementos necesarios para su correcto funcionamiento, así como, la puesta en marcha y los futuros ensayos e inspecciones periódicas.

ANTECEDENTES

Se denomina Gases Licuados del Petróleo o sus siglas, GLP, a todas aquellas mezclas formadas principalmente por gas butano y gas propano en distintas proporciones. Éstos y, por tanto, el GLP son gases producto en el proceso de refinado del petróleo, además de poder encontrarlo formando parte del Gas Natural.

La obtención y uso de los GLP tiene apenas escasos 100 años y comenzó en Estados Unidos. Antes de este momento se consideraba un residuo y era liberado a la atmósfera o quemado. Fue entonces cuando se reconoció el alto valor calorífico y energético que proporcionaban y comenzó su uso y comercialización. Sin embargo, en Europa no comenzó a utilizarse hasta años más tarde.

En la actualidad, son muchos los países que lo utilizan como energía alternativa al resto de derivados del petróleo por ser éste más barato y más limpio con el medio ambiente a pesar de seguir siendo un combustible fósil. En España, sin embargo, su consumo sigue siendo muy bajo.

Dentro de los usos más comunes del GLP se encuentra el uso doméstico y el uso como combustible en automoción, dependiendo del uso al que vaya destinado la mezcla de GLP tendrá una proporción u otra de butano y propano. El proyecto que vamos a desarrollar se basará en una mezcla destinada a uso en automoción.

Referente al primero se usa tanto en hogares como industrias o comercios, destinado sobre todo a calefacción, ACS (agua caliente sanitaria) y cocina. Por otro lado, el GLP en automoción, es utilizado como combustible alternativo a la gasolina o el diésel. Éste presenta ciertas ventajas y desventajas respecto a los anteriores. Éstas últimas hacen referencia a la imposibilidad de adaptar todos los motores a un motor alimentado por GLP, a la reducción del espacio útil del vehículo debida a la instalación del depósito GLP que requiere de mayor espacio en el chasis y, sobre todo, a que a pesar de ser más económico, el consumo es mayor. En contraposición, es un combustible menos agresivo con el motor, más económico como ya se ha mencionado y, lo que se puede considerar más relevante desde el punto de vista medioambiental, la reducción que supone su utilización en las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, así como, de los óxidos de nitrógeno y de partículas.

Este último punto toma gran importancia en la actualidad, ya que cada vez más se busca combatir los problemas medioambientales y encontrar alternativas a las energías convencionales, buscando que éstas sean renovables o en su defecto, como ocurre con el GLP, aquellas que a pesar de seguir siendo fósiles, emitan menos contaminantes o tengan un proceso de obtención más limpio.

NORMATIVA

Las **mercancías peligrosas** son aquellas sustancias peligrosas que se transportan de un punto a otro y su recorrido, así como el vehículo con el que se las transporta es regulado por acuerdos o reglamentos internacionales. Esas normativas indican expresamente qué mercancías peligrosas están autorizadas para el transporte internacional bajo unas estrictas condiciones y requisitos, y cuáles quedan excluidas del transporte.

El presente proyecto se desarrolla bajo el Acuerdo ADR, acuerdo europeo que regula el transporte de mercancías peligrosas por carretera.

LEGISLACIÓN ESPAÑOLA:

Ley 34/1998, de 7 de octubre, del sector de hidrocarburos.

Real Decreto 1085/1992, de 11 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento de la actividad de distribución de gases licuados del petróleo.

Real Decreto 97/2014, de 14 de febrero, por el que se regulan las operaciones de transporte de mercancías peligrosas por carretera en territorio español.

Real Decreto 1716/2004, de 23 de julio, por el que se regula la obligación de mantenimiento de existencias mínimas de seguridad, la diversificación de abastecimiento de gas natural y la incorporación de reservas estratégicas de productos petrolíferos.

Real Decreto 61/2006, de 31 de enero, por el que se determinan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuelóleos y gases licuados del petróleo y se regula el uso de determinados biocarburantes.

Resolución de 3 de mayo de 2010, por la que se aprueban los modelos de declaración responsable y de comunicación de inicio de las distintas actividades de comercialización del sector de hidrocarburos en cumplimiento de lo establecido en el Real Decreto 197/2010, de 26 de febrero, por el que se adaptan determinadas disposiciones relativas al sector de hidrocarburos a lo dispuesto en la Ley 25/2009, de 22 de diciembre, de modificación de diversas Leyes para su adaptación a la Ley sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio.

Resolución de 28 de junio de 2017, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se establece el listado de operadores al por mayor de gases licuados del petróleo con obligación de suministro domiciliario.

Real Decreto 400/1996, de 1 de marzo, aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas (BOE 85 de 08 de abril de 1996).

DIRECTIVAS EUROPEAS:

Reglamento (CE) Nº 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, sobre clasificación, etiquetado y embalado de sustancias y mezclas, modificando y derogando las directivas 67/548/CEE y 1999/45/CE y modificando el reglamento (CE) Nº 1907/2006, publicado en el Diario Oficial L 353 del 31 de diciembre de 2008.

DIRECTIVA 2014/68/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 15 de mayo de 2014 relativa a la armonización de las legislaciones de los Estados miembros sobre la comercialización de equipos a presión.

DIRECTIVA 2010/35/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 16 de junio de 2010 sobre equipos a presión transportables y por la que se derogan las Directivas 76/767/CEE, 84/525/CEE, 84/526/CEE, 84/527/CEE y 1999/36/CE del Consejo.

DIRECTIVA 95/50/CE DEL CONSEJO de 6 de octubre de 1995 relativa a procedimientos uniformes de control del transporte de mercancías peligrosas por carretera

NORMAS EUROPEAS PARA EL DISEÑO, FABRICACIÓN Y CONSTRUCCIÓN:

UNE-EN 10028-3:2017 Productos planos de acero para aplicaciones a presión. Parte3: Aceros soldables de grano fino en condición de normalizado.

UNE-EN 10029:2011 Chapas de acero laminadas en caliente, de espesor igual o superior a 3 mm. Tolerancias dimensionales y sobre la forma.

UNE-EN 1708-1:2011 Soldeo. Descripción detallada de uniones soldadas de acero. Parte 1: Componentes sometidos a presión.

UNE-EN 1011-1:2010 Soldeo. Recomendaciones para el soldeo de materiales metálicos. Parte 1: Guía general para soldeo por arco.

UNE-EN 1011-2:2001 Soldeo. Recomendaciones para el soldeo de materiales metálicos. Parte 2: Soldeo por arco de los aceros ferríticos.

UNE-EN 12493:2014+A2 Equipos y accesorios para GLP. Recipientes a presión en acero soldados de los camiones cisterna para GLP. Diseño y fabricación.

UNE-EN 12252:2014 Equipos y accesorios para GLP. Equipamiento de camiones cisterna para GLP.

UNE-EN 14129:2014 Equipos y accesorios para GLP. Válvulas de alivio de presión para recipientes a presión de GLP.

UNE-EN 13175:2020 Equipos y accesorios para GLP. Especificaciones y ensayos de las válvulas y accesorios de los depósitos a presión para gases licuados de petróleo (GLP).

UNE-EN 14334:2015 Equipos y accesorios para GLP. Inspección y ensayo de camiones cisterna para gases licuados del petróleo (GLP).

UNE-EN 13445-1:2014 Recipientes a presión no sometidos a llama. Parte 1: Generalidades.

UNE-EN 13445-2:2014 Recipientes a presión no sometidos a llama. Parte 2: Materiales.

UNE-EN 13445-3:2015 Recipientes a presión no sometidos a llama. Parte 3: Diseño.

TÉRMINOS Y DEFINICIONES. UNIDADES Y SÍMBOLOS

TERMINOS Y DEFINICIONES:

Los siguientes términos y sus definiciones han sido extraídos del ADR y de las normativas UNE-EN aplicadas a lo largo del desarrollo del proyecto.

A

- *"Accesorios, dispositivos conectados al sistema cuya función principal no es para el almacenamiento o transporte de GLP."* (UNE EN 14334)
- *"Autoridad competente, la/s autoridad/es o cualquier organismo/s designado/s como tal/es en cada Estado y en cada caso en particular según el derecho nacional."* (ADR, 2019)

C

- *"Cisterna, un depósito, incluidos sus equipos de servicio y de estructura. Cuando la palabra se utiliza 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 de CGEM."* (ADR, 2019)
- *"Cisterna fija, una cisterna de una capacidad 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."* (ADR, 2019)
- *"Conformado en frío, conformado a temperaturas no inferiores a 25 °C por debajo de la temperatura máxima admitida para el alivio de tensiones, de acuerdo con las especificaciones aplicables del material."* (UNE EN 12493)
- *"Conformado en caliente, conformado a temperaturas superiores a la temperatura de alivio de tensiones, según se indica en las especificaciones aplicables del material."* (UNE EN 12493)

D

- *"Depósito (para cisternas), la parte de la cisterna que contiene la materia a transportar, incluidas las aberturas y sus medios de obturación, pero con exclusión de los equipos de servicio y de la estructura exteriores."* (ADR, 2019)
- *"Descarga, todas las acciones efectuadas por el descargador conforme a la definición de descargador;"* (ADR, 2019)
- *"Descargador, toda empresa que:a) retira un contenedor, un contenedor para granel, un CGEM, un contenedor cisterna o una cisterna portátil de un vehículo; o
b) descarga las mercancías peligrosas embaladas, los pequeños contenedores o las cisternas portátiles de un vehículo o de un contenedor; o
c) descarga las mercancías peligrosas de una cisterna (vehículo cisterna, cisterna desmontable, cisterna portátil o contenedor cisterna) o de un vehículo batería, de una MEMU o de un CGEM o de un vehículo, de un gran contenedor o de un pequeño contenedor para el transporte a granel o de un contenedor para granel;"* (ADR, 2019)
- *"Diámetro (para depósitos de cisternas), el diámetro interno del depósito"* (ADR, 2019)
- *"Directiva CE, disposiciones decididas por las instituciones competentes de la Comunidad Europea y que afectan a todo Estado miembro destinatario en cuanto a los resultados a*

alcanzar, dejando a las instancias nacionales la competencia en cuanto a la forma y a los medios;" (ADR, 2019)

- "**Dossier de la cisterna**, un expediente que contiene todas las informaciones técnicas importantes relativas a la cisterna, vehículo batería o CGEM, tales como las actas y certificados mencionados en 6.8.2.3, 6.8.2.4 y 6.8.3.4;" (ADR, 2019)

E

- "**EN**, (Norma), una norma europea publicada por el Comité europeo de normalización (CEN), (CEN - Avenue Marnix 17, B-1000 Bruselas);" (ADR, 2019)
- "**Epígrafe n.e.p. (no especificado en otra parte)**, epígrafe colectivo en el cual podrán ser incluidas materias, mezclas, disoluciones u objetos que
 - a) no estén expresamente mencionados en el tabla A del Capítulo 3.2, y
 - b) tengan propiedades químicas, físicas o peligrosas que correspondan a la clase, al código de clasificación, al grupo de embalaje y al nombre y a la descripción del epígrafe n.e.p.;" (ADR, 2019)
- "**Equipamiento estructural**, refuerzo, fijación o elemento estabilizador externo de la envolvente, que es una parte integrante y está directamente soldado a la envolvente, o a la placa de apoyo de la envolvente." (UNE EN 14334)
- "**Equipo de servicio, de la cisterna**, los dispositivos de llenado, de descarga, de respiración, de seguridad, de calefacción y de aislamiento térmico, los dispositivos de aditivos y los aparatos de medida;" (ADR, 2019)
- "**Equipo de GLP del vehículo**, equipos y tuberías instalados en el vehículo que están en contacto con el GLP y forman parte del sistema de funcionamiento del GLP, del sistema de obturación o del sistema de seguridad, pero que no están directamente conectados al recipiente a presión y no forman parte del circuito de automoción de GLP." (UNE EN 14334)

G

- "**Gas licuado de petróleo (GLP)**, un gas licuado a baja presión que contiene uno o más hidrocarburos ligeros que se asignan a los nos ONU 1011, 1075, 1965, 1969 o 1978 solamente y se compone principalmente de propano, propeno, butano, isómeros del butano, buteno con trazas de otros gases de hidrocarburos;" (ADR, 2019)
- "**Grado de llenado**, la relación entre la masa de gas y la masa de agua a 15 °C que llenaría completamente un recipiente a presión listo para su uso;" (ADR, 2019)

I

- "**Inspección periódica**, actividades que se llevan a cabo a intervalos determinados, tales como exámenes, mediciones, ensayos o evaluaciones de las características de un recipiente a presión y la comparación de las mismas con los requisitos especificados." (UNE EN 14334)
- "**Inspección intermedia**, inspección que se lleva a cabo entre la inspección inicial y la primera inspección periódica, entre dos inspecciones periódicas, cuyo resultado se registra." (UNE EN 14334)
- "**Inspector**, persona u organismo acreditado por la autoridad competente para efectuar las inspecciones y ensayos designados." (UNE EN 14334)

- **“ISO (Norma)**, una norma internacional publicada por la Organización internacional de normalización (ISO), (ISO - 1 rue de Varembe- CH 1204 Genève 20);” (ADR, 2019)

L

- **“Libre de gas**, menos del 20% del límite inferior de inflamabilidad de GLP en el aire.” (UNE EN 14334)
- **“Límite elástico**, Límite elástico superior ReH o, para los aceros que no presentan un límite determinado (elongación no proporcional), el 0,2% del límite convencional de elasticidad.” (UNE EN 12493)

N

- **“Número ONU” o “Nº ONU”**, el número de identificación de cuatro cifras de las materias u objetos extraído del Reglamento Tipo de la ONU;” (ADR, 2019)

O

- **“Organismo de control**, un organismo independiente de control y ensayos, homologado por la autoridad competente;” (ADR, 2019)

P

- **“Pantalla solar**, pantalla que cubre más de un tercio de la parte superior pero menos de la mitad superior de la superficie de la envolvente, y separada de ésta una distancia de al menos 40 mm, dejando un espacio ventilado.” (UNE EN 12493)
- **“Persona competente**, persona que, por la combinación de cualificación, formación, experiencia y recursos apropiados puede realizar juicios objetivos sobre el tema.” (UNE EN 12493)
- **“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 espesor de las paredes del depósito, independientemente de todo dispositivo de refuerzo exterior o interior.” (ADR, 2019)
- **“Presión de llenado**, la presión máxima efectivamente alcanzada en la cisterna durante el llenado a presión.” (ADR, 2019)
- **“Presión de prueba**, la presión que debe ejercerse en el transcurso de la prueba de presión de la cisterna para el control inicial o periódico.” (ADR, 2019)
- **“Presión de servicio**, la presión estabilizada de un gas comprimido a la temperatura de referencia de 15 °C en un recipiente a presión lleno; **NOTA:** Para las cisternas, véase “presión máxima de servicio”” (ADR, 2019)
- **“Presión máxima de servicio (presión manométrica)**, el más alto de los tres valores siguientes, susceptible de ser medida en la parte alta de la cisterna en su posición de explotación:
 - a) valor máximo de la presión efectiva autorizada en la cisterna durante una operación de llenado (presión máxima autorizada de llenado);
 - b) valor máximo de la presión efectiva autorizada en la cisterna durante una operación de vaciado (presión máxima autorizada de vaciado);
 - c) presión manométrica efectiva a la cual la cisterna está sometida por su contenido (incluidos los gases extraños que pueda contener) a la temperatura máxima de servicio.

Salvo condiciones particulares dispuestas en el capítulo 4.3, el valor numérico de esta presión de servicio (presión manométrica) no debe ser inferior a la tensión de vapor de la materia de llenado a 50 °C (presión absoluta).

Para las cisternas provistas de válvulas de seguridad (con o sin disco de ruptura), la presión máxima de servicio con excepción de las cisternas destinadas al transporte de gases comprimidos, licuados o disueltos, de la clase 2, (presión manométrica) es sin embargo igual a la presión prescrita para el funcionamiento de estas válvulas de seguridad.” (ADR, 2019)

- *“**Presión de vaciado**, la presión máxima efectivamente alcanzada en la cisterna durante el vaciado a presión.” (ADR, 2019)*
- *“**Presión estabilizada**, la presión alcanzada por el contenido de un recipiente a presión en equilibrio térmico y de difusión.” (ADR, 2019)*
- *“**Punto de inflamación**, la temperatura más baja de un líquido en la que sus vapores forman con el aire una mezcla inflamable;” (ADR, 2019)*

R

- *“**Reparación**, corrección de un defecto.” (UNE EN 14334)*

T

- *“**Trabajo en caliente**, cualquier trabajo que requiera una llama u otra fuente de ignición para su realización, o que pudiera producir, o exponerse a una posible fuente de ignición (por ejemplo, chispas) capaz de encender gases inflamables, líquidos u otros materiales.” (UNE EN 14334)*
- *“**Transporte**, el cambio de lugar de las mercancías peligrosas, incluidas las paradas necesarias para las condiciones de transporte, incluida la estancia de las mercancías peligrosas en los vehículos, cisternas y contenedores necesaria por las condiciones de tráfico antes, durante y después del cambio de lugar. Esta definición engloba también la estancia temporal intermedia de las mercancías peligrosas con finalidades de cambio de modo o de medio de transporte (trasbordo). Ello se aplica a condición de que la carta de porte donde se indican el lugar de envío y el lugar de recepción sea presentada a demanda y con la condición de que los bultos y las cisternas no sean abiertos durante la estancia intermedia, excepto con fines de control por parte de las autoridades competentes;” (ADR, 2019)*

V

- *“**Válvula de depresión**, dispositivo con resorte sensible a la presión funcionando automáticamente, para proteger la cisterna contra una depresión interior inadmisibles;” (ADR, 2019)*
- *“**Válvula de seguridad**, dispositivo con resorte sensible a la presión funcionando automáticamente, para proteger la cisterna contra una sobrepresión interior inadmisibles;” (ADR, 2019)*
- *“**Vehículo-cisterna**, vehículo construido para transportar líquidos, gases, o materias pulverulentas o granuladas y que comprenden una o varias cisternas fijas. Además del vehículo propiamente dicho o los elementos de vehículo portador, un vehículo cisterna tiene uno o varios depósitos, sus equipos y las piezas de unión al vehículo o a los elementos de vehículo portador;” (ADR, 2019)*
- *“**Verificación excepcional**, inspección/ensayo después de la reparación del recipiente, los accesorios del recipiente, el equipo de GLP del vehículo o el equipamiento estructural.” (UNE EN 14334)*

UNIDADES Y SÍMBOLOS:

Las siguientes unidades de medida y símbolos han sido extraídas del ADR y de las normativas UNE-EN aplicadas a lo largo del desarrollo del proyecto.

“Medida	Unidad SI	Unidad suplementaria admitida	Relación entre las unidades
Longitud	<i>m (metro)</i>	-	-
Superficie	<i>m² (metro cuadrado)</i>	-	-
Volumen	<i>m³ (metro cúbico)</i>	<i>l (litro)</i>	$1\text{ l} = 10^{-3}\text{ m}^3$
Tiempo	<i>s (segundo)</i>	<i>min. (minuto)</i> <i>h (hora)</i> <i>d (día)</i>	$1\text{ min.} = 60\text{ s}$ $1\text{ h} = 3\,600\text{ s}$ $1\text{ d} = 86\,400\text{ s}$
Masa	<i>kg (kilogramo)</i>	<i>g (gramo)</i> <i>t (tonelada)</i>	$1\text{ g} = 10^{-3}\text{ kg}$ $1\text{ t} = 103\text{ kg}$
Masa volumétrica	<i>kg/m³</i>	<i>kg/l</i>	$1\text{ kg/l} = 103\text{ kg/m}^3$
Temperatura	<i>K (kelvin)</i>	<i>°C (grado Celsius)</i>	$0\text{ °C} = 273,15\text{ K}$
Diferencia de temperatura	<i>K (kelvin)</i>	<i>°C (grado Celsius)</i>	$1\text{ °C} = 1\text{ K}$
Fuerza	<i>N (newton)</i>	-	$1\text{ N} = 1\text{ kg.m/s}^2$
Presión	<i>Pa (pascal)</i>	<i>bar (bar)</i>	$1\text{ Pa} = 1\text{ N/m}^2$ $1\text{ bar} = 105\text{ Pa}$
Tensión	<i>N/m²</i>	<i>N/mm²</i>	$1\text{ N/mm}^2 = 1\text{ MPa}$
Trabajo		<i>kWh (kilovatio hora)</i>	$1\text{ kWh} = 3,6\text{ MJ}$
Energía	<i>J (julio)</i>		$1\text{ J} = 1\text{ N.m} = 1\text{ W.s}$
Cantidad de calor		<i>eV (electrón-voltio)</i>	$1\text{ eV} = 0,1602 \cdot 10^{-18}\text{ J}$
Potencia	<i>W (vatio)</i>	-	$1\text{ W} = 1\text{ J/s} = 1\text{ N.m/s}$
Viscosidad cinemática	<i>m²/s</i>	<i>mm²/s</i>	$1\text{ mm}^2/\text{s} = 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$
Viscosidad dinámica	<i>Pa.s</i>	<i>mPa.s</i>	$1\text{ mPa.s} = 10^{-3}\text{ Pa.s}$
Actividad	<i>Bq (becquerel)</i>		
Equivalente de dosis	<i>Sv (sievert)</i>		

(ADR, 2019)

Ilustración 1. Unidades de medidas aplicadas en el ADR

- L* longitud (mm)
- e* espesor (mm)
- c* margen de corrosión (mm)
- d, D* diámetro (mm)
- r, R* radio (mm)
- A* superficie (m²)
- V* volumen (m³)

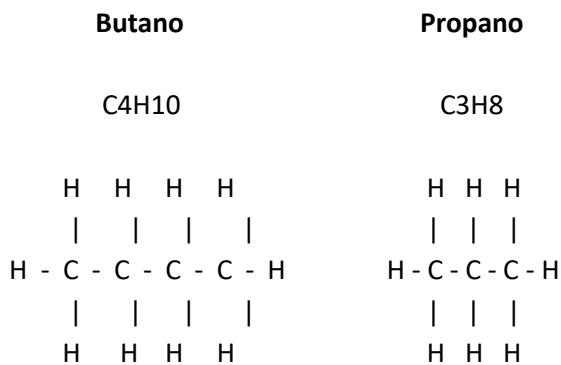
W	peso (N, kN)
ρ	densidad (kg/mm^3)
z	módulo de sección (mm^3)
h_i	altura interior de fondo (mm)
β	parámetro beta para fondos toroidales
f	tensión nominal de diseño (N/mm^2)
ReH	límite elástico del material (N/mm^2)
Rm	resistencia a tracción del material (N/mm^2)
a	grado de llenado (kg/l)

PRODUCTO A TRANSPORTAR

El vehículo-cisterna objeto de diseño de este proyecto tiene como fin **transportar Gases Licuados del Petróleo**. Anteriormente se ha mencionado la importancia de este producto tanto para la industria como para las empresas o personas particulares debido a sus excelentes características. El GLP es un **combustible fósil gaseoso a temperatura y presión ambiente (20°C y 1 atm), que permite bajo el efecto de una presión no excesivamente alta ser licuado, lo cual permite que sea transportado y almacenado de forma más segura y sencilla.**

El GLP, como ya se ha mencionado, es una **combinación de hidrocarburos compleja que se obtiene por destilación y condensación del crudo del petróleo**. Está compuesto sobre todo por hidrocarburos cuya cantidad de carbonos se encuentra comprendida entre los números de C3 a C4 en su mayor parte, siendo los que se encuentran en proporciones mayoritarias el Propano y Butano.

Los hidrocarburos son compuestos químicos formados por Carbono e Hidrógeno, así el Butano y Propano tienen la siguiente fórmula química y fórmula estructural:



Una vez descrita la composición química del GLP, se debe aclarar que, dependiendo del uso al que vaya a estar destinado el mismo, habrá que utilizar una mezcla u otra, resultantes de la combinación de distintas proporciones de Propano y Butano.

El producto a transportar en la cisterna que se va a diseñar es un GLP destinado a uso en automoción cuyo hidrocarburo mayoritario será el Butano y la proporción del mismo será:

Propano >20% y Butano <80%

Así como, otros compuestos en proporciones muy pequeñas presentes en la mezcla como fruto de la propia obtención del GLP.

Benceno <0,1%, <0,1% 1,3 Butadieno, <0,5% Sulfuro de hidrógeno, <0,3% Monóxido de Carbono

Además, por tratarse ambos gases y sus mezclas de sustancias incoloras e inodoras es necesario agregar un odorizante que le confiere un olor desagradable y peculiar para poder ser detectado en caso de fuga, tanto es así, que su olor es detectado mucho antes de que la mezcla alcance el

límite inferior de inflamabilidad. Dicha sustancia es un derivado del azufre, etanotiol o más conocido como etilmercaptano. La proporción en la que suele encontrarse en la mezcla es la siguiente:

Etanotiol <0,001%

“Se considera como GLP carburante de automoción a los gases licuados del petróleo que se pueden almacenar y/o manipular en fase líquida, en condiciones moderadas de presión y a la temperatura ambiente, y que se componen principalmente de propanos y butanos con pequeñas proporciones de propeno, butenos y pentano/pentenos.” (Real Decreto 61/2006)

El GLP **no es tóxico**, pero **puede provocar asfixia** si se respira de forma continuada debido a que desplaza el oxígeno del aire. Además, al ser más denso que el aire se acumula en las zonas bajas, motivo por el que las botellas, depósitos o recipientes que lo contengan deberán colocarse siempre en vertical, además de estar prohibido situar los envases que contengan GLP en sótanos, escaleras y lugares de tránsito.

Es un **gas altamente inflamable** cuya combustión genera temperaturas muy altas, por ello, cuando se encuentra almacenado **existe peligro de explosión** al encontrarse el recipiente a presión.

Una vez se ha establecido una pequeña introducción sobre el GLP, pasamos a profundizar más sobre sus propiedades físicas y químicas, composición, uso, peligros, primeros auxilios, etc., recogiendo dicha información en las siguientes tablas que resumen lo que se conoce como **ficha de datos de seguridad** de la sustancia o mezcla conforme al Reglamento CE Nº 1907/2006 - REACH y Reglamento CE Nº 1272/2008 - CLP.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD	
<i>Identificación de la sustancia o la mezcla</i>	
Nombre comercial	Mezcla automoción
Nombre químico	Butano
Sinónimos	GLP (Gas Licuado de Petróleo)
Nº CAS	68512-91-4
Nº CE (EINECS)	270-990-9
Nº Índice	649-083-00-0

Usos	Uso como combustible
<i>Composición/información sobre los componentes</i>	
Sustancia/mezcla	Mezcla UVCB ¹
Componentes peligrosos Reg. (CE) 1272/2008 (CLP)	Hidrocarburos, ricos en C3-4, destilado del petróleo; Gases de petróleo. (1,3-butadieno < 0.1%) Puede contener < 0.001 % etanotiol como olor.
Concentración (%)	>99
<i>Propiedades físicas y químicas</i>	
Aspecto físico	Gas licuado
Color	Incoloro
Olor	Característico, a mercaptano
Tª de ebullición	-0,6°C
Tª de fusión	-135,4°C
Tª autoignición	365°C
Límite superior/inferior de inflamabilidad o combustión	Punto mínimo 1,8% Punto máximo 8,4%
Presión de vapor	213,7 kPa [20°C]
Densidad de vapor (aire=1)	2
Densidad fase líquida (respecto al agua)	0,599
Poder calorífico	PCI 10.938 kcal/kg PCS 11.867 kcal/kg

Tabla 1. Ficha de datos de seguridad-identificación, composición y propiedades

¹ UVCB, una sustancia o mezcla cuya composición puede ser variable o difícil de predecir, presenta diferentes componentes, en ocasiones, no son completamente identificables y, por lo tanto, es necesario acompañarla de una descripción del proceso de obtención o fabricación, además de detallar ciertas propiedades físico-químicas.

Conociendo estas propiedades se puede comenzar a hablar más específicamente de la mezcla que se va a transportar. Puesto que la mezcla de GLP automoción está principalmente compuesta por butano, esta sustancia marcará las directrices. El butano tiene una temperatura de ebullición de $-0,6^{\circ}\text{C}$ a presión ambiente (1 bar), por tanto, para tener el butano licuado a presión ambiente deberíamos bajar la temperatura hasta la de ebullición. Ya que esta temperatura es muy cercana a los 0°C , no será necesario someter el GLP a una presión muy alta para conseguir que pase a la fase líquida, es por esto por lo que en lugar de buscar un sistema que mantenga el GLP refrigerado se opta por confinarlo en recipientes a presión. Para el butano, dicha presión ronda entorno a los 2 bares, mientras que para el propano ronda en torno a los 8 bares.

Por otro lado, y con respecto a su volumen, hay que tener en cuenta que existe una relación volumétrica entre el estado líquido y gaseoso, que dependerá de la composición molar exacta de la mezcla, así es que, aproximadamente esta relación es de 237,8 litros. Es decir, por cada litro de GLP en estado líquido obtenemos 237,8 litros en estado gaseoso. Se entiende entonces que su transporte y almacenamiento se realice en estado líquido, que como ya se ha mencionado, supone un estado más seguro de la sustancia y una gran economía de espacio.


El GLP está catalogado como una sustancia peligrosa por diferentes motivos.

Resulta inflamable con el aire a una determinada proporción, que se denomina límite inferior/superior de inflamabilidad o combustión. Dicho límite aparece en la tabla inmediatamente superior.

El GLP licuado que se fuga del recipiente que lo contenga, se evapora rápidamente en la atmósfera. Es el motivo por el que produce frío a su alrededor y supone un peligro el contacto del líquido con la persona que lo esté manipulando.

Una llama azulada y viva es símbolo de buena combustión, por el contrario, si se observa una rojiza estará señalando que es defectuosa. Por este motivo, en los habitáculos donde es utilizado es necesario que presenten buena ventilación. También es importante tener en cuenta que una combustión incompleta producirá tasas de monóxido de carbono que pueden ser mortales si se inhalan, entonces sí se produce intoxicación.

A continuación, se presenta una tabla resumen que refleja en la ficha de datos de seguridad la identificación de los peligros, el etiquetado, así como, una serie de pautas a tener en cuenta, en caso de vertido o accidente, pautas para su manipulación y para su almacenamiento.

<i>Identificación de los peligros</i>		
Clasificación Reg. (CE) 1272/2008 (CLP)	Gases inflamables: Gas infl. 1 Gases a presión: Gas a pres.	
Elementos de la etiqueta	Pictogramas 	
	Palabra de advertencia	Peligro
	Indicaciones de peligro	-H220 Gas extremadamente inflamable -H280 Contiene gas a presión, peligro de explosión en caso de calentamiento
	Consejos de prudencia	-P102: Mantener fuera del alcance de los niños. -P210: Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar. -P377: Fuga de gas en llamas: No apagar, salvo si la fuga puede detenerse sin peligro. -P381: En caso de fuga, eliminar todas las fuentes de ignición. -P410+P403: Proteger de la luz del sol. Almacenar en un lugar bien ventilado.
<i>Primeros auxilios</i>		
Contacto con los ojos	El gas se expande rápidamente y puede causar quemaduras por congelación, lavar con agua durante mínimo 15 minutos y verificar si la víctima lleva lentes de contacto para ser retiradas.	

Inhalación	La víctima debe ser transportada al exterior, a una zona donde se le facilite la respiración debiendo aflojar todo aquello que pueda estar apretado en la víctima. En caso de que no haya, sea dificultosa o esté inconsciente, será necesario pedir asistencia médica. No realizar boca-boca, ya que puede ser peligroso para quien lo realiza.
Contacto con la piel	El gas se expande rápidamente pudiendo causar quemaduras por congelación. Lavar con agua la zona contaminada, además de quitar la ropa o el calzado que hayan podido ser contaminados también. Lavar antes de volver a usar.
Protección del personal de primeros auxilios	El personal debe estar formado adecuadamente y no debe realizar acciones que supongan un riesgo para sí mismos. En caso de que ocurra, seguir las indicaciones marcadas anteriormente.
<i>Medidas de lucha contra incendios</i>	
Medios de extinción	No usar chorro de agua, usar polvo químico seco.
Peligros específicos derivados de la sustancia o mezcla	Gas a presión, extremadamente inflamable. El contenedor puede explotar en caso de aumento de presión debido al calentamiento o incendio. Puede descomponerse en CO ₂ y CO.
Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios	Aislar y evacuar la zona. Retirar los contenedores del incendio si es posible. De no ser así, riegue con agua pulverizada los contenedores. Para su enfriamiento, corte las fuentes de ignición si fuera posible. Si esto no es posible debe retirarse del área y dejar que el producto arda, extinguiendo el incendio desde Ulla máxima distancia posible. Los bomberos deberán llevar equipo de protección adecuado, así como máscara facial completa que opere en modo de presión positiva.
<i>Medidas en caso de vertido accidental</i>	
Precauciones personales, equipo de protección y procedimiento de emergencia	Apagar fuentes de ignición si fuera posible. No utilizar ningún objeto que pueda producir fuego o chispas. Evitar respirar el gas y proporcionar una ventilación adecuada, de no ser posible, llevar equipo de respiración apropiado.
Precauciones relativas al medio ambiente	Cerciorarse de la existencia de procedimientos de emergencia en caso de vertido accidental de gas y avisar a las autoridades pertinentes.
Métodos y material de contención y limpieza	Ponerse en contacto rápidamente con el personal de emergencias e intentar detener la fuga si fuera posible usando siempre herramientas a prueba de chispas y explosión.

<i>Manipulación y almacenamiento</i>	
Precauciones para una manipulación segura	Contiene gas a presión. Recabar instrucciones especiales antes de su utilización. No introducir en ojos, piel ni ropa. Evitar respirar el gas de forma continuada y usar con ventilación adecuada. No entrar al lugar de almacenamiento si no dispone de ventilación adecuada o de un sistema de respiración apropiado. No utilizar herramientas ni fuentes de chispas, fuego o calor, así como, use aparatos eléctricos a prueba de explosiones. Un envase vacío puede contener restos del producto por lo que supone un peligro. No está permitido beber, comer o fumar en los lugares donde se almacena o manipula dicho producto. Antes de hacerlo deberán de lavarse las manos y cara y retirar las ropas o equipo contaminado.
Condiciones almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades	Conservar según normativa y homologación de la estancia. Almacenar fuera del alcance de la luz solar directa y permanecer en un sitio fresco, seco y bien ventilado, además de separado de materiales incompatibles. El contenedor debe permanecer bien sellado y cerrado hasta el momento de su uso, guardado bajo llave y habiendo eliminado cualquier fuente de ignición.
<i>Métodos para el tratamiento de residuos</i>	
Producto	Se trata de un producto que cumple con los requisitos de mercancía peligrosa. Evitar o minimizar en la medida de lo posible la generación de residuos y nunca utilizar para su desecho los alcantarillados de aguas residuales. La eliminación del producto, soluciones del mismo o cualquier derivado deben cumplir con la legislación vigente en materia de protección del medio ambiente.
Empaquetado	Los contenedores a presión vacíos deben devolverse al proveedor, dichos envases o sus revestimientos pueden contener restos del producto. Nunca perforar o incinerar los contenedores.

Tabla 2. Ficha de datos de seguridad-Identificación de los peligros

Dentro de la ficha de datos de seguridad encontramos también la información relativa al transporte, en la que queda reflejada la clasificación de la mezcla, la clasificación del peligro, así como otra información relativa al vehículo cisterna y a su etiquetado. Es lo que se conoce como **“Carta de porte.”** (ADR, 2019)

<i>Información relativa al transporte</i>	
Número ONU	UN 1965
Designación oficial de transporte	HIDROCARBUROS GASEOSOS LICUADOS EN MEZCLA, N.E.P.

Etiquetas	2.1
Grupo de embalaje	-
Código restricción en túneles	B/D
Clase de peligro para el transporte	2
Código de clasificación	2F
Número de identificación del peligro	23
Precauciones particulares para los usuarios	No disponible
Peligros para el medio ambiente	No
Disposiciones especiales	274, 392, 583, 652, 662, 674
Cantidades limitadas y exceptuadas	0, E0
Código cisterna	PxBN(M)
Disposiciones especiales cisterna	TA4, TT9, TT11
Vehículos para transporte en cisterna	FL
Nombre y dirección de los expedidores	-
Nombre y dirección de los destinatarios	Venta en ruta

Tabla 3. Información relativa al transporte

En primer lugar, el ADR recoge en la conocida como “Tabla A” (ANEXO I. TABLA A), una lista de las mercancías peligrosas, de la que se extrae la información anterior. Lo primero que se puede ver en la anterior tabla es el número ONU asignado al GLP seguido de la designación oficial de transporte, en la que encontramos las siglas N.E.P. (no especificado en otra parte) ya que comprende las distintas mezclas de butano y propano y según el ADR éstas se clasifican en “A, A01, A02, A0, A1, B1, B2, B y C” (ADR, 2019). Además, se pueden denominar con la designación que tienen en el mercado como Butano para las mezclas A, A01, A02, A0 y Propano para las mezclas C. La mezcla con la que se va a tratar durante el proyecto puede ser denominada entonces como Butano.

Para comprender la información recogida en la tabla anterior es necesario explicar que las materias peligrosas se encuentran clasificadas según el ADR 2019 en 9 clases que se especifican a continuación.

“Según el ADR, las clases de mercancías peligrosas son las siguientes:

Clase 1 Materias y objetos explosivos

Clase 2 Gases

Clase 3 Líquidos inflamables

Clase 4.1 Materias sólidas inflamables, materias autorreactivas, materias que polimerizan y materias explosivas desensibilizadas sólidas

Clase 4.2 Materias que pueden experimentar inflamación espontánea

Clase 4.3 Materias que en contacto con el agua desprenden gases inflamables

Clase 5.1 Materias comburentes

Clase 5.2 Peróxidos orgánicos

Clase 6.1 Materias tóxicas

Clase 6.2 Materias infecciosas

Clase 7 Materias radiactivas

Clase 8 Materias corrosivas

Clase 9 Materias y objetos peligrosos diversos” (ADR, 2019)

Queda claro entonces que la clase de peligro para el transporte a la que pertenece el GLP es la clase 2, gases. Estos a su vez se subdividen dependiendo de las propiedades físicas del gas, donde encontramos que el gas licuado es aquel que cuando se embala a presión para el transporte, será parcialmente líquido a temperaturas superiores -50°C .

Además, las sustancias o mezclas que pertenecen a la clase 2 se agrupan dependiendo de las propiedades peligrosas que presenten:

“A asfixiante;

O comburente;

F inflamable;

T tóxico;

TF tóxico, inflamable;

TC tóxico, corrosivo;

TO tóxico, comburente;

TFC tóxico, inflamable, corrosivo;

TOC tóxico, comburente, corrosivo.” (ADR, 2019)

El GLP pertenece al grupo F inflamable. Es por ello, que su código de clasificación es el 2F.

La etiqueta a la que hace referencia la tabla anterior es la que recoge la clase de peligro para el transporte, según la división o categoría y un signo o símbolo, que representa el peligro. Para el GLP la división es la 2.1. Gases inflamables, que se corresponden con los designados por la letra F, como ya se ha visto. Por otro lado, la llama representa dicho peligro y podemos encontrarla en color blanco o negro. El modelo de etiqueta sería el que se observa en la siguiente imagen.



Ilustración 2. Etiqueta peligro de inflamabilidad gas de clase 2

Genéricamente, es posible deducir el riesgo de las sustancias según su etiqueta debido a los símbolos que contienen. Estos símbolos pueden ser una bomba representando peligro de explosión, una llama peligro de inflamabilidad, una calavera con dos tibias cruzadas representa peligro por envenenamiento, un trébol, peligro de radiactividad y, por último, líquido goteando de tubos de ensayo sobre una mano o sobre un metal, peligro de corrosión. También podemos encontrar etiquetas con una botella de gas que representan gases no inflamables y no tóxicos.

Todos estos símbolos del etiquetado y las etiquetas se pueden consultar en el ANEXO II. MODELOS DE ETIQUETAS.

Todo lo relacionado con el etiquetado será desarrollado en el apartado correspondiente al marcado y etiquetado de la cisterna, así como el resto de las especificaciones de la tabla relativas a la cisterna que van a ser desarrolladas a continuación.

Por último, el **número de identificación** que le corresponde es el **23**, cuyo significado extraído del ADR es el siguiente:

“El número de identificación del peligro comprende dos o tres cifras. En general, indican los peligros siguientes:

- 2** ***Emanación de gases resultantes de presión o de una reacción química***
- 3** ***Inflamabilidad de materias líquidas (vapores) y gases o materia líquida susceptible de autocalentamiento***
- 4** *Inflamabilidad de materia sólida o materia sólida susceptible de autocalentamiento*
- 5** *Comburente (favorece el incendio)*
- 6** *Toxicidad o peligro de infección*
- 7** *Radiactividad*
- 8** *Corrosividad*
- 9** *Peligro de reacción violenta espontánea” (ADR, 2019)*

CISTERNA

La cisterna debe cumplir con las especificaciones del ADR y de la Norma Española UNE-EN 12493:2014+A2 y UNE-EN 13445-3, principalmente. Así como, todas aquellas normas que deriven de la utilización de estas.

Una cisterna, como ya se ha definido, es un depósito, su estructura y los equipos de servicio que lo acompañan.

El ADR establece una **codificación para las cisternas (código-cisterna)** el cual se recoge en la tabla A columna 12 (ANEXO I. TABLA A). La codificación tiene los siguientes códigos y significados:

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

Tabla 4. Codificación de las cisternas para el "transporte de materias de la clase 2" (ADR, 2019)

Por tanto, el código de la presente cisterna será: **PxBN**. Este código ya se incluyó en la carta de porte de la ficha de seguridad.

La 'x' representa el valor de la presión mínima de prueba recogida por el ADR en una tabla para gases y mezclas de gases permitidos su transporte en cisternas fijas (vehículos-cisterna) entre otros. Dicha **presión mínima de prueba será de 16 bar** para la mezcla en cuestión que se transporta.

1 DEPÓSITO

El depósito es el **elemento principal de la cisterna**. Está **formado por virolas de sección circular y dos fondos o cascos**, todo ello unido mediante soldadura.

La **sección circular** es la utilizada para las **cisternas** que van a estar **sometidas a grandes presiones y las materias a transportar son peligrosas**.

Las **virolas** se elaboran a partir de **placas de acero u otro material adecuado**, que es moldeado con la forma deseada (cilíndrica) y posteriormente soldado. Una vez obtenido el cilindro formado por las virolas, se sueldan los cascos o fondos.

Los **cascos o fondos** pueden tener distintas formas dependiendo de la sustancia que se va a transportar, de su naturaleza y de la presión a soportar por la cisterna. Los tipos **más comunes para el transporte de GLP son los toroidales o hemisféricos que soportan presiones altas y moderadas**.

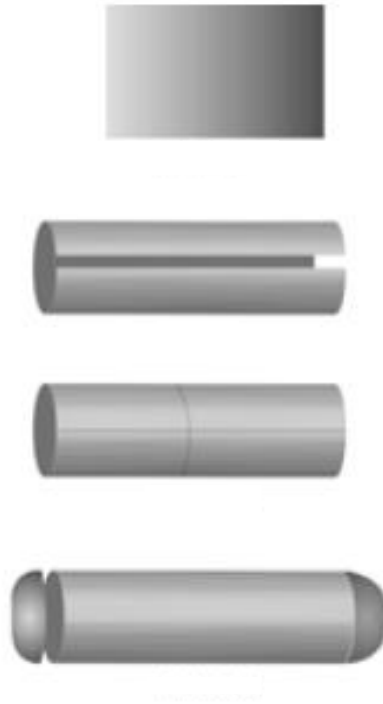


Ilustración 3. Construcción del depósito de la cisterna.

En cuanto a la estructura interna, al tratarse de una cisterna para el transporte de gases licuados del petróleo, será de **un único compartimento con rompeolas** en su interior para las cargas parciales. El objetivo de su instalación es que amortigüen el movimiento del fluido.

La normativa estipula que el **grado de llenado para una cisterna de GLP no superará el 85% de su capacidad**. Además, aquellas cisternas que no estén divididas en partes de capacidad máxima de 7.500 litros por rompeolas o mamparos deberán circular casi llenos (a más del 80% de capacidad) o casi vacíos (a menos del 20%), debido a que cuando el depósito de la cisterna circula a media carga se produce el **conocido “efecto ola”** que puede provocar situaciones indeseadas por **augmentar la presión en el interior del depósito pudiendo incluso llegar a la explosión**.

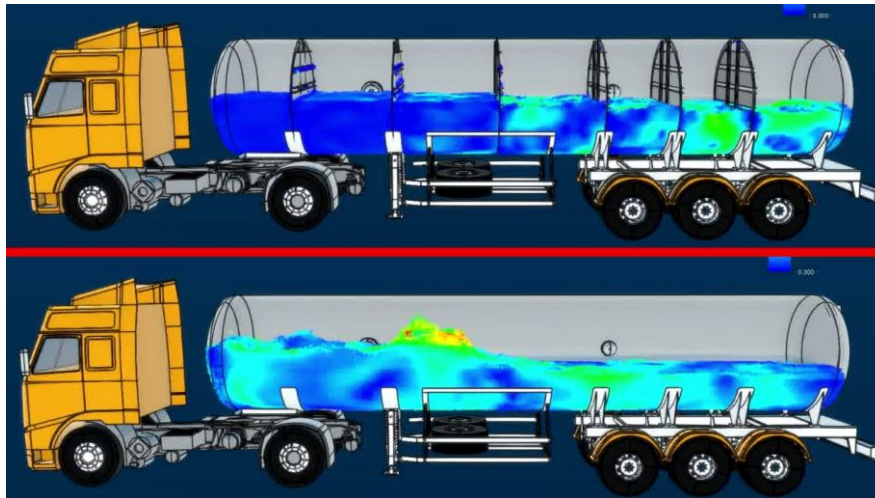


Ilustración 4. Efecto ola con y sin rompeolas

Como se trata de un **gas licuado**, la **mayor parte del contenido estará en fase líquida**, pero **existirá gas en la parte superior** fruto de la **regasificación** debida a los **pequeños intercambios térmicos** entre el interior y el exterior.

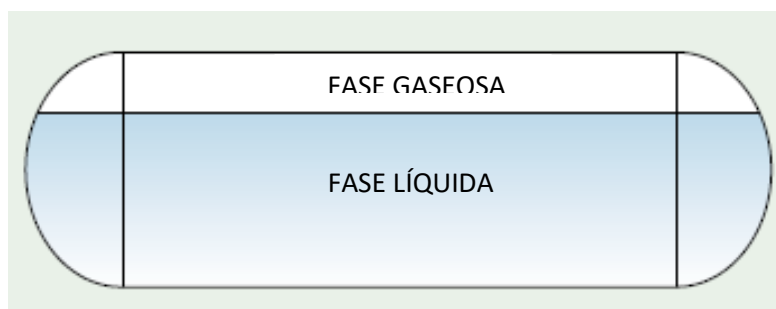


Ilustración 5. Situación de las fases dentro del depósito de la cisterna

Como se ha mencionado anteriormente, el grado de llenado de la cisterna será como mucho de 85%, es decir, **la fase líquida ocupará como máximo el 85% de la capacidad total de la cisterna, quedando así espacio para el GLP en fase gaseosa sin suponer un peligro**. En caso de calentamiento, la fase líquida se dilataría más que el acero con el que esté construida la cisterna y de estar llena podría producirse un accidente.

Para evitar que aumente el intercambio térmico y que exista protección, se utilizan los **parasoles**, cuyo diseño se desarrolla más adelante.



Ilustración 6. Ejemplo de cisterna con parasol

1.1 DISEÑO DEL DEPÓSITO

Se desea diseñar y construir el depósito para una cisterna fija cuyas dimensiones iniciales estimadas serán:

Dimensiones	
Diámetro exterior D_0 (mm)	2450
Volumen (m^3)	42

Tabla 5. Dimensiones de partida para el diseño

En primer lugar, en la norma existen ciertas condiciones para el diseño, entre las que encontramos:

“Debe considerarse la carga a fatiga de todas las partes componentes del recipiente a presión y sus accesorios realizando una evaluación o mediante la experiencia comprobada de funcionamiento

El diseño del recipiente a presión debería considerar lo siguiente:

“-la reducción al mínimo de la utilización de materiales;

-los accesorios requeridos para el funcionamiento eficiente del recipiente a presión;

-la reducción al mínimo del impacto medioambiental del mantenimiento en servicio y de la eliminación al final de su vida útil.” (UNE EN 12493)

A continuación, se va a llevar a cabo una estimación en el diseño del depósito que será justificada más adelante con los cálculos correspondientes.

Para desarrollarlo es necesario tener en cuenta lo siguiente:

- La **presión mínima de prueba** a la temperatura de referencia para el numero ONU 1965, para la mezcla en cuestión y con aislamiento térmico (parasol) es de **16 bares**.
- La **presión de prueba aplicable** será siempre al menos igual a la anterior.
- La **presión de cálculo**, como ya se ha mencionado, es una presión ficticia que será como mínimo siempre igual a la presión de prueba.
- La norma UNE EN 12493, establece una **presión desarrollada** a una temperatura de referencia, que será aquella igual o superior a la presión mínima de ensayo (prueba) establecida por el ADR.
- Dicha norma también establece una **presión de diseño** que será siempre igual o superior a la desarrollada.

1.1.1 Partes sometidas a presión

1.1.1.1 Materiales

La norma establece que todo lo relacionado con los materiales debe realizarse bajo una política medioambiental declarada.

El intervalo de temperaturas de diseño, salvo que se indicase lo contrario, se encuentra entre -20°C y 50°C , pudiendo ser más restrictivo si fuera necesario, entre -40°C y 50°C

La materia transportada que se encuentre en contacto con los materiales no deberá debilitar el material, de ser así, dicho material no podrá ser utilizado. Aquellos materiales recogidos en la

norma EN 10028-2 y EN 10028-3 son compatibles con GLP. A continuación, se puede ver la Ilustración 7.

Para aquellas partes del depósito sometidas a presión se establece: *“Todos los materiales deben cumplir las especificaciones del apartado 10.2.4, y la relación del límite elástico especificado (ReH) y la resistencia a la tracción (Rm), debe ser inferior o igual a 0,85 (es decir, $ReH/Rm \leq 0,85$). El porcentaje de alargamiento a la rotura debe ser superior o igual a 10 000 dividido por la resistencia real a la tracción en N/mm^2 , y en ningún caso inferior o igual al 16% para aceros de grano fino e inferior o igual al 20% para el resto de aceros. Cuando se utilicen aceros de grano fino, el límite elástico garantizado, ReH no debe exceder $460 N/mm^2$ y la máxima resistencia a la tracción, Rm , no debe exceder $725 N/mm^2$.”* (UNE EN 12493)

Para aquellas que no están sometidas a presión: *“Las partes no sometidas a presión que se sueldan directamente a las partes sometidas a presión, deben ser de materiales apropiados de acuerdo con la Norma EN 10025-2 o de materiales con características aprobadas por la autoridad competente. Todos los materiales utilizados para las partes no sometidas a presión deben ser compatibles con el material de las partes a presión, y deben cumplir los requisitos de impacto del apartado 10.2.5.4, cuando se ensayan de acuerdo con el método indicado en la Norma EN ISO 148-1.”* (UNE EN 12493)

Además, los consumibles de soldeo darán soldaduras con las mismas propiedades que se solicitan para el recipiente a presión, mencionadas previamente.

También todos aquellos materiales no metálicos utilizados en las juntas tienen también que ser compatibles con el GLP tanto en fase líquida como gaseosa, en el intervalo de temperaturas y presiones de diseño y referencia que a continuación se muestran en la Ilustración 7. Tabla que recoge las propiedades de distintas clases de acero

“DIRECTRICES PARA LA SELECCIÓN DE LOS GRADOS DE MATERIAL”

En la siguiente tabla se enumeran los materiales que se pueden utilizar, distintas clases de acero.

Especificación	Clase	Límite elástico ^a ReH N/mm ²	Resistencia a la tracción ^b Rm N/mm ²	Valores mínimos de resiliencia (piezas de ensayo con entalla en V)			Alargamiento después de la rotura ^d %	Grupo de acero
				Resiliencia J/cm ²	Energía ^c J	Temperatura de ensayo °C		
EN 10028-2	P235GH	235	360	34	27	0	24	St 1.1
	P265GH	265	410	34	27	0	22	St 1.1
	P295GH	295	460	34	27	0	21	St 1.2
	P355GH	355	510	34	27	0	20	St 1.2
EN 10028-3	P275NH	275	390	37,5	30	-20	24	St 1.1
	P275NL1	355	490	43,75	35	-20	22	St 1.1
	P275NL2	460	570 ^e	37,5	30	-40	17	St 1.1
	P355N			37,5	30	-20		St 1.2
	P355NH			37,5	30	-20		St 1.2
	P355NL1			43,75	35	-20		St 1.2
	P355NL2			37,5	30	-40		St 1.2
	P460NH			37,5	30	-20		St 2.1
	P460NL1			43,75	35	-20		St 2.1
	P460NL2			37,5	30	-40		St 2.1
EN 10025-2	S 235J2	235	360	34	27	-20	26	St 1.1
	S 275J2	275	430	34	27	-20	23	St 1.1
	S 355J2	355	{A2▶} 470 {◀A2}	34	27	-20	22	St 1.2

a Los valores de ReH sólo se aplican a espesores inferiores o iguales a 16 mm.
b Los valores de Rm son los valores mínimos especificados.
c Los valores de la energía absorbida por impacto se refieren a una muestra normal 10 mm × 10 mm.
d $L_0 = 5,65 \sqrt{S_0}$ de acuerdo con la Norma EN ISO 6892-1.
e La resistencia máxima a la tracción no excede 720 N/mm², véase el apartado 4.3.

Ilustración 7. Tabla que recoge las propiedades de distintas clases de acero

El acero seleccionado es el P355NL2, por ser el más utilizado en la fabricación de recipientes a presión para gas y el que mejor propiedades presenta para estos, incluso a temperaturas ambientes interiores a -20°C, en caso de ser necesario.

Es un acero de grano fino, que destacan por su buena soldabilidad, así como, por su resistencia al alargamiento por fragilidad.

Los valores que no aparecen en la tabla anterior de **límite elástico (ReH) y resistencia a la tracción (Rm)** son respectivamente: 360 y 500 (N/mm²). Dichos valores cumplen lo establecido por la norma para aceros de grano fino.

$$Rm/ReH \leq 0,85$$

$$Rm < 460 \text{ N/mm}^2$$

$$ReH < 725 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Alargamiento a la rotura} = 10000/Rm \text{ (N/mm}^2\text{)} = 22\% > 16\%$$

La composición química del acero seleccionado es la siguiente:

P355NL2	
C máx.	0,18
Si máx.	0,50
Mn	1,10 a 1,70

P máx.	0,020
S máx.	0,005
Al total min.	0,020
N máx.	0,012
Cr máx.	0,30
Cu máx.	0,30
Mo máx.	0,08
Nb máx.	0,05
Ni máx.	0,50
Ti máx.	0,03
V máx.	0,10
Nb+Ti+V máx.	0,12

Tabla 6. Composición química del acero clase P355NL2. UNE-EN 10028-3

1.1.1.2 Espesor mínimo

El ADR establece que el espesor mínimo de la envolvente para aquellos depósitos construidos con aceros de referencia y cuyo diámetro es superior a 1,80 m, es 6 mm. Además, establece que si dicho depósito va a estar reforzado por mamparos o rompeolas (en este caso rompeolas) y el diámetro es superior a 1,80 m, el espesor mínimo podrá reducirse a 4 mm.

Por tanto, en una primera estimación el espesor deberá ser mayor de 4mm.

1.1.1.3 Placas de refuerzo

Los accesorios de sujeción del depósito estarán provistos de unas placas de refuerzo dispuestas entre éste y los accesorios. Aquellas que su superficie no sea circular, deberán diseñarse con radios de curvatura mayores de 25 mm, reduciendo así concentración de tensiones.

1.1.1.4 Esfuerzos producidos por el movimiento

La carga máxima admisible, la fuerza derivada de la presión de diseño y las que se enumeran a continuación, deben ser absorbidas por los accesorios fijos y el depósito.

“

- en la dirección del desplazamiento: dos veces la masa total
- en sentido perpendicular a la dirección del desplazamiento: la masa total
- en sentido vertical ascendente: la masa total
- en sentido vertical descendente: dos veces la masa total

“ (UNE EN 12493)

Como consecuencia, las tensiones en los accesorios y el depósito deberán ser iguales o inferiores

a:

“a) tensiones generales de membrana en la envolvente, lejos de los soportes:

-la tensión normal de diseño definida en el capítulo D.1;

b) tensiones locales en los soportes, determinadas mediante análisis experimental o cálculo/análisis especial:

-los límites indicados en la Norma EN 13445-3.” (UNE EN 12493)

Por tanto, se calcularán dichas tensiones en capítulos posteriores destinados a cálculos justificativos, haciendo uso de las normas que se han mencionado.

1.1.1.5 Rompeolas

La instalación de rompeolas permite la circulación de la cisterna a media carga ya que se trata de “tabiques” con alguna abertura en su superficie, cuya dimensión superficial será como mínimo el 70% de la sección del depósito en el punto en que se están instalando. Están diseñados de tal forma que se permite el traspaso de materia entre las distintas secciones que generan y provocan por tanto un reparto más equitativo de la sustancia.

“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 de los rompeolas será, como mínimo, un 70% de la superficie de la sección recta del depósito en el punto en que se instalen.

Que el volumen comprendido entre dos mamparos o rompeolas no supere los 7.500 litros.

El espesor de los mamparos y rompeolas no será, en ningún caso, inferior al del depósito.”
(ADR, 2019)

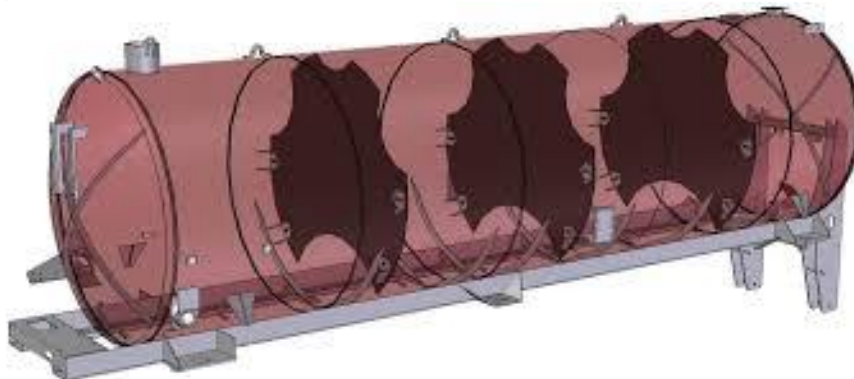


Ilustración 8. Ejemplo de rompeolas que permiten el paso del fluido pegado a las paredes

1.1.1.6 Aislamiento térmico

Como ya se ha mencionado, la cisterna dispone de un parasol en su parte superior, reconocido por el ADR como aislamientos térmicos y siendo estas sus características:

“Aislamiento térmico

Si las cisternas destinadas al transporte de gases licuados estuvieran dotadas de aislamiento térmico, éste deberá estar formado por:

- bien por una pantalla parasol, aplicada al menos en el tercio superior y, como máximo, en la mitad superior de la cisterna, y separada del depósito por una cámara de aire de un espesor mínimo de 4 cm.,

- o por un revestimiento completo de materiales aislantes, de un espesor adecuado.” (ADR, 2019)

Además, el ADR establece la siguiente disposición para la construcción del aislamiento térmico.

“El aislamiento térmico se diseñará de modo que no entorpezca el acceso a los dispositivos de llenado o vaciado, a las válvulas de seguridad, ni su funcionamiento.” (ADR, 2019)

1.1.1.7 Tuberías interiores

Las tuberías interiores y sus soportes deberán tener una resistencia mecánica suficiente para soportar las condiciones de servicio. Además, las tuberías podrán estar ancladas directamente a un refuerzo del depósito.

Deberán estar dispuestas de tal modo que no se produzca la entrada de GLP en fase líquida en el interior de una tubería que desemboque en la zona de vapor.

1.1.1.8 Montaje del depósito

La norma UNE EN 12493 establece lo siguiente en relación al montaje del depósito sobre el chasis del camión o del semirremolque.

“Las estructuras de montaje deben realizarse de acero y diseñarse para limitar el movimiento del recipiente a presión en relación al chasis.

Las estructuras de montaje del recipiente a presión, y su método de fijación a la envolvente, deben tener la suficiente resistencia para soportar el recipiente a presión lleno de agua.

El diseño de las estructuras de montaje del recipiente a presión debe coordinarse con el diseño del chasis del vehículo. El diseñador debe evaluar el efecto del recipiente a presión y su montaje, incluidas las cargas adicionales indicadas en el apartado 5.5.

En la etapa de diseño del recipiente a presión, se debería notificar al fabricante del chasis del vehículo, que el recipiente a presión podría ser objeto de una prueba hidráulica, durante la cual puede contener dos veces el peso normal de la capacidad de transporte, mientras está montado en el chasis.

Las estructuras de montaje diseñadas como un accesorio integrado en la envolvente del recipiente a presión deben fijarse con placas de refuerzo según se indica en el apartado 5.4. No debe utilizarse soldeo de puntos solapados.” (UNE EN 12493)

1.1.2 Aberturas

“Las válvulas y otros accesorios deben protegerse contra daños por impactos externos, o por su posición sobre el recipiente a presión, cuando se montan sobre el vehículo, o por el diseño específico del recipiente a presión. En el diseño del recipiente a presión se debe considerar, o el montaje y la fijación de las válvulas y otros accesorios en un alojamiento en el contorno de la envolvente o fondos del recipiente a presión, o la utilización de una protección que pueda resistir una colisión con otro vehículo y las fuerzas generadas por un vuelco del recipiente a presión.” (UNE EN 12493)

Todas las aberturas tendrán que ser reforzadas y diseñadas de acuerdo con el capítulo D.4 de la citada norma, lo cual se desarrollará más adelante.

Además, cabe destacar que todas aquellas conexiones roscadas que existan deberán ser diseñadas con un diámetro nominal que no supere a 80 mm.

1.1.2.1 Boca de hombre

“Los recipientes a presión con un volumen superior a 3 000 l deben incorporar una boca de hombre:

- de diámetro igual o superior a 500 mm; o
- de diámetro igual o superior a 420 mm, cuando la reducción del diámetro es autorizada por la autoridad competente.

Las bocas de hombre deben ser de construcción forjada y mecanizadas en chapa, o fabricadas con tubo y bridas normalizadas, adecuadas para el rango de temperatura y presión. Si se utiliza chapa para bocas de hombre de tipo plataforma, deben realizarse inspecciones ultrasónicas para verificar que no existen defectos laminares.

La boca de hombre debe situarse para facilitar el acceso.” (UNE EN 12493)

La boca de hombre del depósito se **sitúa en uno de los laterales** del mismo, sobre la generatriz de la mitad derecha del cilindro de la envolvente vista desde el fondo trasero.

Es necesaria para la **inspección y limpieza del depósito** y se debe realizar de forma que se permita el acceso por la misma. La boca de hombre que se fabricará será, por tanto, aquella cuyo **diámetro será superior o igual a 500 mm**. ya que, el depósito que se está diseñando tendrá un volumen superior a 3 m³. Será por tanto, una boca de hombre con abertura de **tamaño DN45**.

En la boca de hombre irán instalados el manómetro, el indicador de nivel y la abertura para la medición de temperatura, como se verá más adelante.

1.1.3 Partes no sometidas a presión

Las partes del depósito que no se encuentran sometidas a presión son las relativas a las soldaduras de sujeción, las cuales deben realizarse de forma continuada.

Además, la norma establece:

“Las sujeciones deben diseñarse de forma que no puedan formarse acumulaciones de agua y que permitan la inspección de la soldadura. Cuando sea posible, las soldaduras de sujeción deben quedar separadas de las soldaduras del recipiente (soldadura longitudinal, circunferencial y de las aberturas) por una distancia igual o superior a 40 mm. Cuando esto no sea posible, las soldaduras de sujeción deben cruzar completamente las soldaduras principales.” (UNE EN 12493)

Por tanto, se procurará que dichas soldaduras efectivamente queden separadas como mínimo a 40 mm de todas las soldaduras existentes de tipo longitudinal, circunferencial y de aberturas, previamente realizadas en la construcción del recipiente.

1.2 CÁLCULOS DE DISEÑO

“En las ecuaciones de este anexo se deben utilizar las siguientes unidades:

- presiones: N/mm^2 ;
- tensiones: N/mm^2 ;
- dimensiones: mm .” (UNE EN 12493)

1.2.1 Temperatura de referencia para el diseño

En primer lugar, es necesario determinar la **temperatura de referencia** para el diseño. Para ello, la norma UNE EN 12493 establece una serie de directrices para su selección.

Esta temperatura de referencia es necesaria puesto que, el volumen líquido y la presión desarrollada del GLP, son función de la temperatura del ambiente.

“Las temperaturas de referencia indicadas en este anexo deben aplicarse para el diseño de los camiones cisterna que operan en los países sujetos al acuerdo ADR {A2►} [12] {◄A2}, salvo que una autoridad competente de un país con temperaturas ambientes más bajas, de acuerdo con la Directiva UE 2008/68/CE {A2►} [13] {◄A2} actualizada, autorice, para el transporte dentro de su territorio, la temperatura de referencia indicada en el anexo C.” (UNE EN 12493)

“Las temperaturas de referencia indicadas en este anexo deben aplicarse para el diseño de los camiones cisterna cuando una autoridad nacional competente autorice su utilización dentro de su territorio, de acuerdo con la Directiva UE 2008/68/CE {A2►} [13] {◄A2}.” (UNE EN 12493)

1.2.1.1 Presión desarrollada

La norma establece la siguiente tabla para la elección de la temperatura de referencia para la presión desarrollada.

Pantalla solar	Diámetro del recipiente a presión	
	$D \geq 1,5 m$ °C	$D < 1,5 m$ °C
Sin pantalla solar	65	70
Con pantalla solar	60	70

Tabla 7. Temperatura de referencia para el diseño

El diámetro del depósito es superior a 1,50m, por tanto, la temperatura de referencia para el diseño será 60°C.

En la siguiente tabla se recoge la misma información que en la tabla anterior, pero en el caso de que la autoridad nacional competente de un país autorizase la utilización de una temperatura de referencia alternativa dentro de su territorio, como se ha mencionado en el fragmento de la norma anterior.

Pantalla solar	Diámetro del recipiente a presión	
	$D \geq 1,5 m$ °C	$D < 1,5 m$ °C
Sin pantalla solar	50	55
Con pantalla solar	50 ^a	55 ^a

^a Pueden utilizarse valores inferiores de temperatura con una pantalla solar, si se justifican mediante la experiencia o ensayos experimentales.

Tabla 8. Temperatura de referencia alternativa para el diseño

1.2.1.2 Llenado

Los depósitos que se encuentren a 60°C no deben llenarse al 100% como ya se ha visto anteriormente.

La norma establece:

“La temperatura de referencia utilizada para el cálculo del llenado máximo admisible debe ser 50 °C.

Los recipientes a presión deben diseñarse para llenarse de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$a = 0,95 \rho$$

donde

a es el grado de llenado, en kg/l;

ρ es la densidad de la fase líquida a la temperatura de referencia (50 °C).” (UNE EN 12493)

En la siguiente tabla queda reflejada, la densidad de la fase líquida de la mezcla que se está tratando a 50°C, así como el grado de llenado.

Densidad de la fase líquida (50°C)	Cálculo del llenado máximo admisible	Llenado máximo admisible (kg/l)
0,484	0,484·0,95	0,4598

Tabla 9. Cálculo llenado máximo admisible en kg/l

1.2.2 Tensiones de diseño

Se procede a calcular la tensión nominal para el diseño. Esta tendrá que ser el valor más bajo de los resultantes de las siguientes expresiones. La norma establece que estas son:

$$\begin{aligned} f &= R_{eH} / 1,5 \\ f &= R_m / 2,4 \end{aligned}$$

donde

f es la tensión nominal de diseño;

R_{eH} es el límite elástico definido en la norma o especificación del material;

R_m es la resistencia a la tracción definida en la norma o especificación del material.”

(UNE EN 12493)

	$f = R_{eH} / 1,5$	$f = R_m / 2,4$
f (N/mm ²)	257,143	208,333

Tabla 10. Cálculo de la tensión nominal de diseño

Por tanto, la tensión nominal de diseño será $f=208$ N/mm².

1.2.3 Presión de diseño

La norma establece:

“La presión de diseño no debe ser inferior a la presión desarrollada de acuerdo con el anexo B o con el anexo C (donde autorizado).” (UNE EN 12493)

La tensión de vapor (bar abs) es la presión a la que se encuentra el GLP contenido en los envases, en este caso, contenido en el depósito. Es necesario recordar que la presión en valor absoluto es la obtenida directamente de la medición mediante manómetro.

En la siguiente gráfica se puede observar dicha tensión de vapor tanto para el butano como para el propano, a distintas temperaturas.

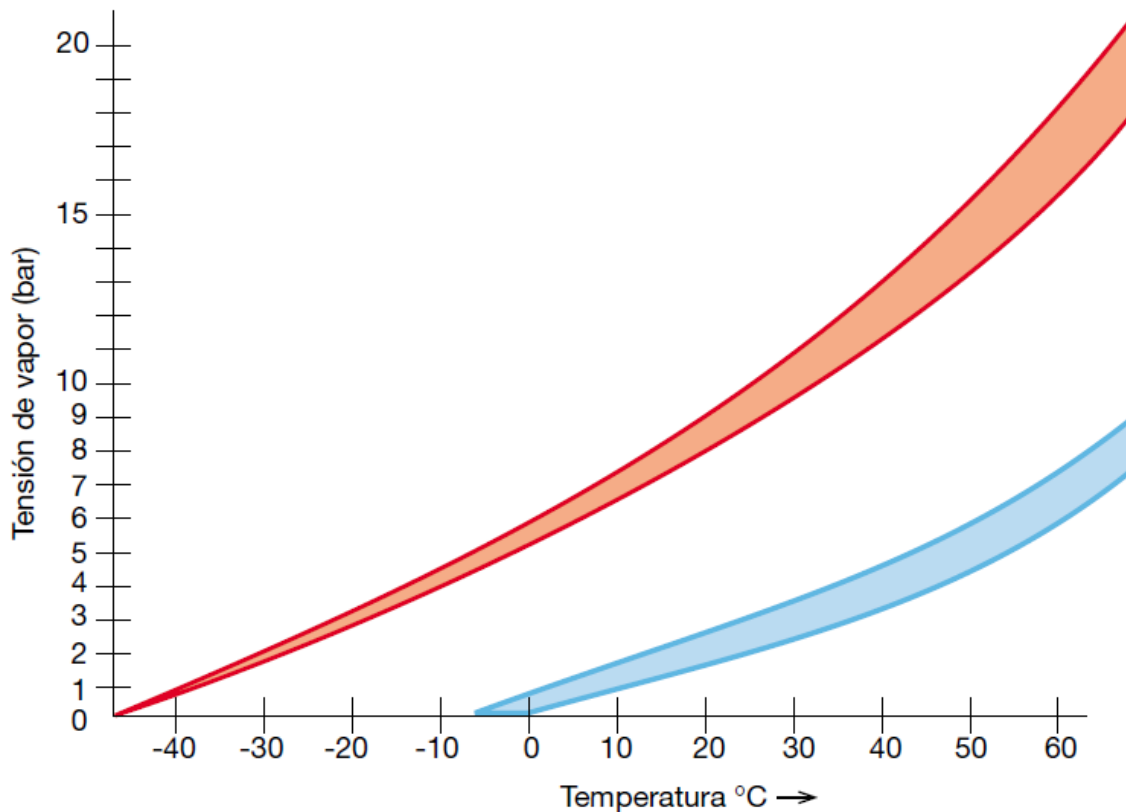


Ilustración 9. Gráfica Tensión de vapor (bar)-Temperatura(°C) del GLP (Propano-Butano)

Donde la curva relativa al propano está representada en rojo y la del butano en azul.

La tensión de vapor a la temperatura de 60°C para el propano es de 20 bar y para el butano, 7,5 bar. La presión desarrollada tiene que ser como mínimo igual a la presión mínima de prueba establecida por el ADR que tenía un valor de 16 bar. Por tanto, la presión desarrollada tendrá valores mayores o iguales a 16 bar.

Conocido esto, la presión de diseño debe adquirir un valor igual o superior a la presión desarrollada. Una vez se llega a este punto, es importante establecer una presión de diseño superior a la de desarrollo, ya que se desea diseñar una cisterna lo más segura posible y bajo condiciones que se espera no ocurran nunca durante la vida útil de la misma.

Como se puede observar, a una temperatura aproximada de 15°C, la presión para el butano es de 2 bar y la del propano 8 bar. Por tanto, se comprende que se escoja una presión de diseño muy superior a estas que serían las presiones entorno a las que trabajaría la cisterna, a fin de evitar accidentes y situaciones indeseadas.

En conclusión, se ha decidido tomar la **presión de diseño igual a 25 bar**.

1.2.4 Cálculo de la envolvente cilíndrica

Se procede a calcular el espesor mínimo que antes se estimó.

La norma establece lo siguiente:

“El espesor mínimo requerido debe ser el mayor del obtenido con las fórmulas (D.3) y (D.4):

$$e_{min} = \frac{0,833pD_0}{2fz + 0,833p} \quad (D.3)$$

$$e_{min} = \frac{D_0}{500} + 1,5 \quad (D.4)$$

donde

D_0 es el diámetro exterior de la envolvente;

p es la presión de diseño;

z es la eficiencia de la unión = 1,0;

f es la tensión nominal de diseño.

{A2►} El espesor mínimo no será inferior al calculado de acuerdo con el ADR. {◄A2} “ (UNE EN 12493)

En la siguiente tabla se recogen los valores calculados de espesor mínimo con las ecuaciones (D.3) y (D.4), utilizando los datos que se recogen en la columna con dicho título. Todos los datos se establecen en las unidades pertinentes para el cálculo.

Datos	e_{min} (D.3) (mm)	e_{min} (D.4) (mm)
$D_0=2450$ (mm)	12,2	6,4
$p=2,5$ (N/mm ²)		
$z=1$		
$f=208$ (N/mm ²)		

Tabla 11. Cálculo del espesor mínimo de la envolvente cilíndrica

Se puede concluir que el **espesor mínimo requerido es de 12,2 mm**. El cual redondeamos al valor entero inmediatamente superior siendo **e=13 mm**.

La norma UNE-EN 10029:2011 establece una serie de clases (A, B, C y D) en función de la tolerancia de espesor de la chapa de acero. Debido a que el espesor de diseño es el mínimo permitido, se solicitará una chapa con una tolerancia de la clase C. Esta clase presenta una tolerancia negativa inferior de 0,0 mm y una superior, para el intervalo de espesores en el que está comprendido el calculado, de +1,4 mm.

1.2.5 Fondos abombados

1.2.5.1 Espesor mínimo

La norma establece que el espesor mínimo de los fondos o casquetes siempre será mayor o igual que los calculados por el ADR. Estos fondos pueden adquirir diferentes formas dependiendo de los requisitos de la cisterna y la materia a transportar, como ya se ha visto.

Los fondos que se van a diseñar serán toroidales. Estos fondos son indicados para materias muy peligrosas y tienen un comportamiento frente a los accidentes más favorable

1.2.5.2 Cálculo de los fondos toroidales

La norma establece lo siguiente a cerca de los cálculos relacionados con los fondos toroidales:

“Las siguientes reglas son de aplicación únicamente para los fondos en los que:

$$r \geq 0,06 D_i \quad (D.5)$$

$$r > 3e \quad (D.6)$$

$$e \leq 0,08 D_i \quad (D.7)$$

$$R \leq D_0 \quad (D.8)$$

El espesor requerido e es el mayor valor entre e_s , e_y y e_b donde

$$e_s = \frac{0,833pR}{2fz + 0,417p} \quad (D.9)$$

$$e_y = \frac{0,833\beta p(0,75R + 0,2D_i)}{f} \quad (D.10)$$

$$e_b = (0,75R + 0,2D_i) \left(\frac{0,833p}{111f_b} \left(\frac{D_i}{r} \right)^{0,825} \right)^{\frac{1}{1,5}} \quad (D.11)$$

donde

$$f_b = \frac{R_{eH}}{1,5} \text{ para todos los materiales}$$

y

- β factor determinado a partir de la figura D.1, o por cálculo (véase D.3.2.5);
- D_i diámetro interior del fondo;
- D_0 diámetro exterior de la envolvente;
- e espesor requerido para el fondo;
- e_b espesor mínimo del radio de acuerdo para evitar deformaciones;
- e_s espesor mínimo del fondo para limitar la tensión de membrana en la parte central;
- e_y espesor mínimo del radio de acuerdo para evitar límites elásticos axisimétricos;
- f tensión nominal de diseño;
- f_b tensión de diseño para cálculo de la deformación;
- p presión de diseño;
- R radio interior de curvatura de la parte central del fondo toroidal;
- r radio interior de acuerdo;
- z eficiencia de la junta = 1,0.

El espesor de la parte esférica del fondo puede reducirse al valor e_s en una parte circular que debe separarse del radio de acuerdo más de una distancia \sqrt{Re} .

Todas las partes cilíndricas rectas deben cumplir las indicaciones del apartado D.3.1 para un cilindro, excepto que la longitud sea inferior o igual a $0,2 \cdot \sqrt{D_i e}$, en cuyo caso estas partes pueden tener el mismo espesor que el radio de acuerdo.” (UNE EN 12493)

Además, la norma también establece un requisito de obligado cumplimiento entre el espesor del fondo y el diámetro exterior de la envolvente cilíndrica.

$$e/D_0 \leq 0,16$$

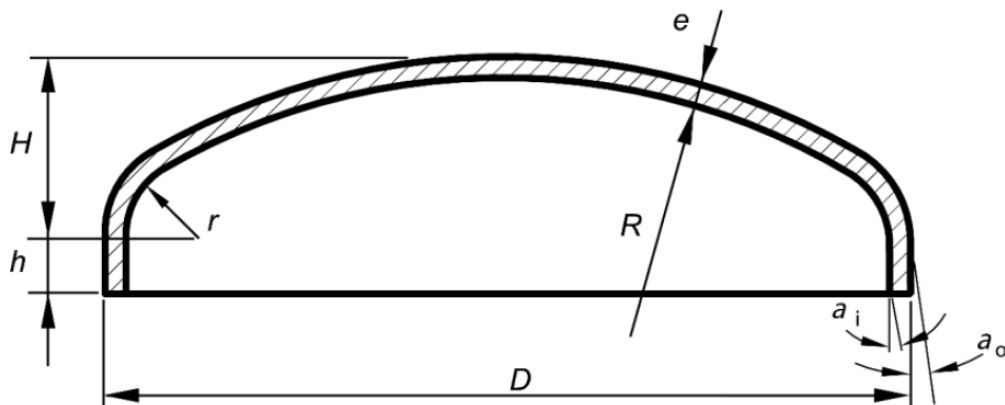


Ilustración 10. Esquema fondo toroidal. UNE-EN 12493

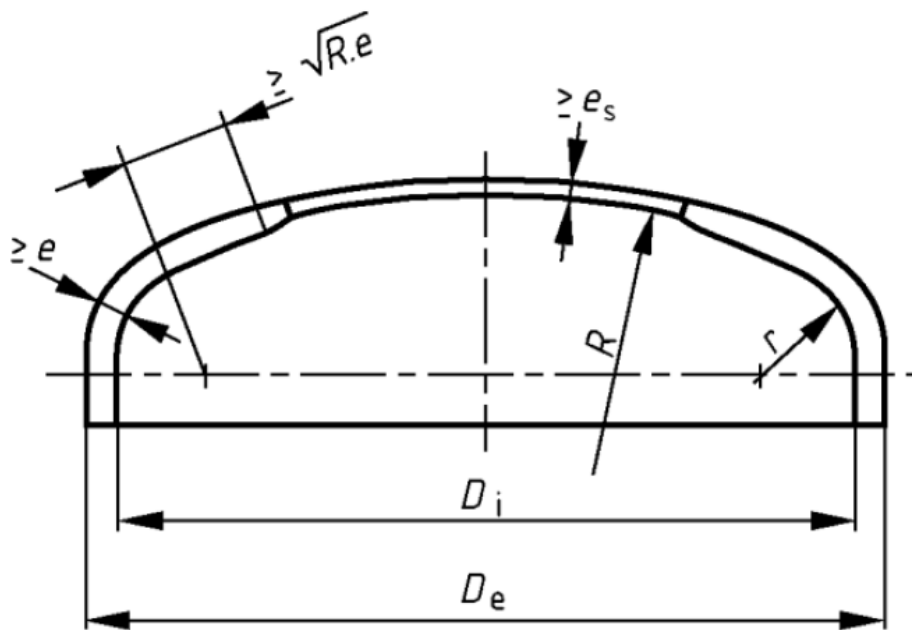


Ilustración 11. Esquema fondo toroidal. UNE-EN 13445-3

Los esquemas anteriores representan un fondo toroidal cuya leyenda es la siguiente:

- H Altura de la pared abombada
- h Altura de la pared recta
- r Radio de acuerdo
- R Radio del casquete
- e Espesor de la pared

e_s Espesor mínimo del fondo para limitar la tensión de membrana en la parte central

D, D_e Diámetro exterior

D_i Diámetro interior

a_i Desviación de la pared interior a partir de la forma cilíndrica: lado interno

a_o Desviación de la pared interior a partir de la forma cilíndrica: lado externo

Para la cisterna objeto de diseño se seleccionan unos **fondos toroidales tipo Korbogen**, indicados para presiones interiores altas. Este tipo de fondo debe cumplir las siguientes relaciones, que nos permitirán un cálculo inicial del radio de curvatura interior de la parte central del fondo y del radio interior de acuerdo de unión entre la envolvente y la parte central. Para $D_o=2450$ mm.

Relación		
R/ D_o	0,8	R=1960 mm
r/ D_o	0,154	r=355,25 mm

Tabla 12. Relaciones dimensionales fondos tipo Korbogen

También es necesario calcular el factor β . Para ello se utiliza la gráfica siguiente que nos proporciona dicho valor.

$$r/D_i = 0,145 \sim 0,15$$

$$\left(0,75 + 0,2 \frac{D_i}{R}\right) p/f = 0,012$$

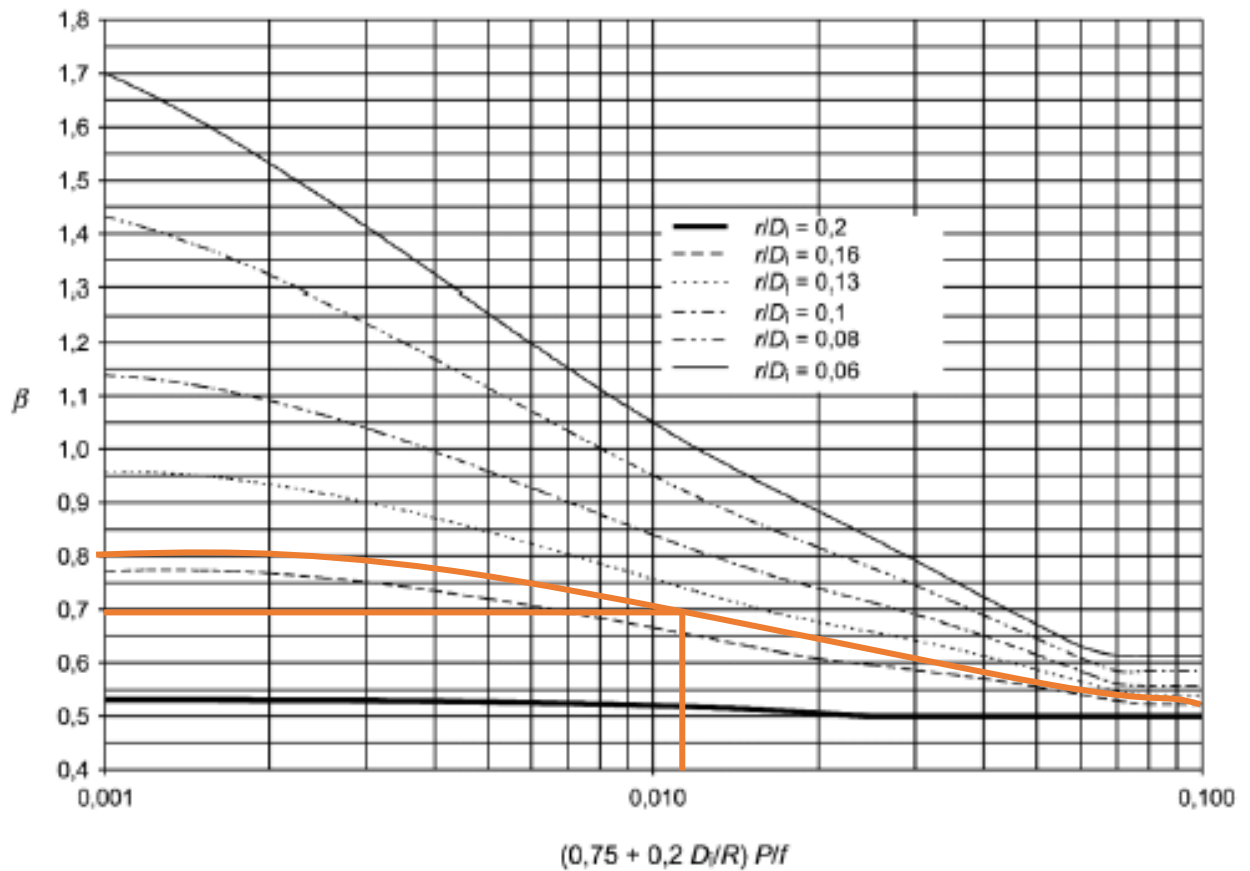


Ilustración 12. Gráfico para obtención del factor β

El valor de $\beta=0,69$

A continuación, se realizan los cálculos de los tres espesores especificados anteriormente. En este caso, al contrario que para los cálculos de la envolvente cilíndrica, se empleará el diámetro interior de la misma, ya que es sumamente importante que exista continuidad en el interior del depósito y no se generen áreas con picos de presión. En la siguiente tabla aparecen los valores de los datos y de los espesores obtenidos que se calculan seguidamente.

Datos	e_s (mm)	e_y (mm)	e_b (mm)
$D_i=2437$ (mm)	9,78	13,52	9,86
$p=2,5$ (N/mm ²)			
$z=1$			
$f=208$ (N/mm ²)			
$f_b=257$ (N/mm ²)			
$R=1960$ (mm)			
$r=355,25$ (mm)			
$\beta=0,69$			

Tabla 13. Cálculo espesor mínimo de los fondos toroidales tipo Korbogen

$$e_s = \frac{0,833pR}{2fz + 0,417p} = \frac{0,833 \cdot 2,5 \cdot 1960}{2 \cdot 208 \cdot 1 + 0,417 \cdot 2,5} = 9,78 \text{ mm}$$

$$e_y = \frac{0,833\beta p(0,75R + 0,2D_i)}{f} = 13,52 \text{ mm}$$

$$e_b = (0,75R + 0,2D_i) \left(\frac{0,833p}{111f_b} \left(\frac{D_i}{r} \right)^{0,825} \right)^{\frac{1}{1,5}} = 9,86 \text{ mm}$$

Por tanto, y como el valor de e mínimo requerido sería el mayor de los tres calculados anteriormente, se puede concluir que el espesor **ef=13,52 mm~14 mm**.

También se calcula la altura interior del fondo que viene dada por la siguiente expresión:

$$h_i = R - \sqrt{(R - D_i/2) \cdot (R + D_i/2 - 2r)}$$

$$h_i = 607,22 \text{ mm}$$

Ahora es necesario comprobar que se cumplen los requisitos establecidas por la norma que se mencionaron al comiendo del epígrafe.

$$r \geq 0,06 D_i = 0,06 \cdot 2437 = 146,22 \text{ mm} \rightarrow r = 355,25 \geq 146,22$$

$$r > 3e = 3 \cdot 14 = 42 \rightarrow r = 355,25 > 42$$

$$e \leq 0,08 D_i = 0,08 \cdot 2437 = 194,93 \text{ mm} \rightarrow e = 14 \leq 194,93$$

$$R \leq D_0 = 2450 \text{ mm} \rightarrow R = 1960 \leq 2450$$

$$e/D_0 \leq 0,16 \rightarrow \frac{14}{2450} = 0,006 \leq 0,16$$

Se comprueba que se cumplen todos los requisitos por lo que podemos concluir que los valores obtenidos son válidos.

1.2.6 Cálculo del volumen

El depósito está formado por una envolvente se sección cilíndrica y dos fondos toroidales tipo Korbogen. Para calcular el volumen total real que podrá contener el depósito, se calcula el volumen que puede contener los fondos sumado al volumen que representa la envolvente. Con ello podrá obtenerse la longitud de la envolvente también, así como, el número de virolas de las que está formada.

Este cálculo es aproximado y se realiza **únicamente con fines de diseño**, ya que el ADR establece lo siguiente en relación con la determinación de la capacidad de la cisterna:

*“La **capacidad de cada depósito destinado al transporte de gases comprimidos nde gases licuados o disueltos se determinará, bajo la vigilancia de un perito aprobado por la autoridad competente, por pesaje o por medida del volumen de la cantidad de agua que llene el depósito; el error de medida de la capacidad de los depósitos ha de ser inferior al 1%. No se permitirá determinar la capacidad del depósito mediante cálculo basado en las dimensiones del mismo. Las masas máximas de carga admisibles de acuerdo con la instrucción de embalaje P200 ó P203, del 4.1.4.1, así como de 4.3.3.2.2 y 4.3.3.2.3 se fijarán por un perito autorizado.**” (ADR, 2019)*

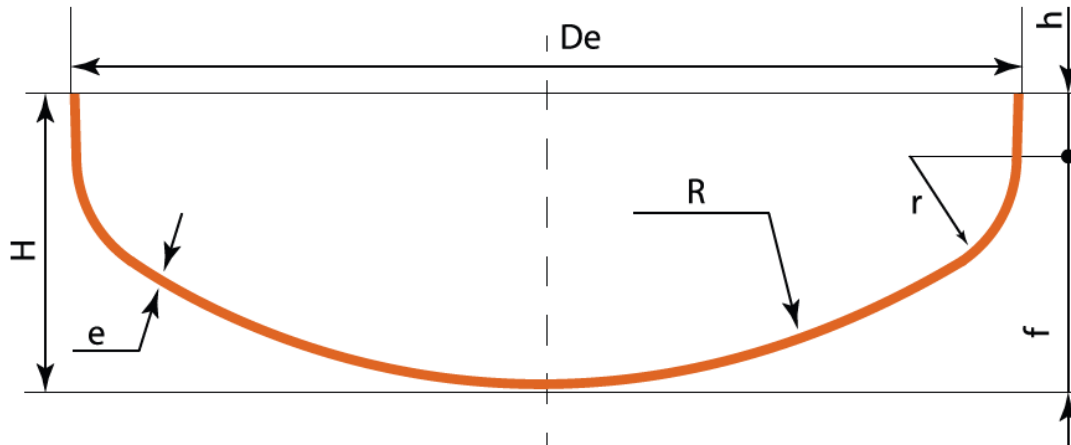


Ilustración 13. Esquema fondo toroidal tipo Korbogen

Este fondo cumple la normativa DIN-28013 y su información técnica es la siguiente:

Con los valores obtenidos anteriormente:

$$e = 14 \text{ mm}$$

$$R = 1960 \text{ mm}$$

$$r = 355,25 \text{ mm}$$

$$D_0 = D_e = 2450 \text{ mm}$$

$$D_i = 2437 \text{ mm}$$

$$h \geq 3e \geq 42 \text{ mm}$$

$$f = 0.255De - 0.635e = 615,86 \text{ mm}$$

$$H = f + h = 657,86 \text{ mm}$$

$$Dd = 1.16De + 2h = 2926 \text{ mm}$$

$$V(f) = 0.1298(D_i)^3 = 0.1298 \cdot (2437)^3 = 1,878 \cdot 10^9 \text{ mm}^3 = 1,878 \text{ m}^3$$

Realizados estos cálculos se obtiene el volumen contenido en un fondo. Por tanto, el volumen que representan los dos fondos es de, $V_{fondos} = 3,76 \text{ m}^3$.

Por geometría y siendo conocido el volumen que en principio se desea diseñar de 42 m^3 , se puede obtener el volumen que representaría la envolvente por diferencia entre el total y el de los fondos, y con él, obtener el valor de la longitud de la envolvente.

Se calcula en primer lugar, la superficie de la sección de la envolvente con el diámetro interior de esta.

$$A = \pi \cdot (D_i/2)^2 = 4,66 \text{ m}^2$$

Siendo el volumen de la envolvente, $V_{envolvente} = 42 - 3,76 = 38,24 \text{ m}^3$.

Como,

$$V_{envolvente} = A \cdot L_{envolvente} \rightarrow L_{envolvente} = 8,206 \text{ m}$$

Y se van a emplear placas del acero especificado de 3000 mm de ancho, el número de virolas en total será:

$$\text{Cantidad de virolas} = \frac{L_{envolvente}}{\text{Anchura chapa 1 virola}} = \frac{8,206}{3} = 2,735 \text{ virolas} \sim 3 \text{ virolas}$$

Se aproxima al número entero inmediatamente superior ya que el número de virolas tiene que ser entero. Por ello, como el número de virolas es algo mayor que el esperado, habrá que recalcular el volumen del depósito y con ello la longitud del mismo.

$$L_{envolvente2} = \text{Cantidad de virolas} \cdot \text{Anchura 1 virola} = 3 \text{ (virolas)} \cdot 3 \text{ (m)} = 9 \text{ m}$$

$$V_{envolvente2} = A \cdot L_{envolvente2} = 4,66 \cdot 9 = 41,94 \text{ m}^3$$

$$V_{total} = V_{fondos} + V_{envolvente2} = 3,76 + 41,94 = 45,7 \text{ m}^3 \sim 46 \text{ m}^3$$

La longitud total del recipiente será: $L_{total} = L_{envolvente2} + 2H = 9 + 2 \cdot 0,658 = 10,316 \text{ m}$

1.2.7 Cálculo para los rompeolas

La norma establece que:

“Para las cisternas destinadas al transporte de otras materias, existirá protección contra daños cuando:”

“1. Para los depósitos de sección circular, o elíptica con un radio de curvatura máximo que no supere 2 m., el depósito se proveerá de refuerzos formados por mamparos, rompeolas, o de anillos exteriores o interiores, dispuestos de tal modo que, al menos, se cumpla una de las siguientes condiciones:

- que la separación entre dos refuerzos adyacentes no sea superior a 1,75 m
- que el volumen comprendido entre dos mamparos o rompeolas no supere los 7.500 litros

Los mamparos y los rompeolas estarán de acuerdo con lo especificado en el 6.8.2.1.22. 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 de los rompeolas será, como mínimo, un 70% de la superficie de la sección recta del depósito en el punto en que se instalen.” (ADR, 2019)

Por tanto, como el $V_{total} = 46 \text{ m}^3$, y el volumen entre rompeolas no puede superar los 7,5 m^3 , se calcula el número de rompeolas que deberá disponer el depósito.

$$N_{compartimentos} = \frac{V_{total}}{V_{entrerompeola}} = \frac{46}{7,5} = 6,13 \text{ compartimentos}$$

Para que se cumpla la condición anterior el número de compartimentos deberá ser mayor o igual a ese, por tratarse de un número que no es entero, redondeamos al inmediatamente superior. Por tanto, el número total de compartimentos será de **7** y con ello el número total de rompeolas a instalar será de **6**.

Se comprueba que se cumple lo establecido anteriormente.

$$\frac{V_{total}}{N_{compartimentos}} = \frac{46}{7} = 6,57 \text{ m}^3 \leq 7,5 \text{ m}^3$$

$$L_{compartimentos} = \frac{L_{total}}{N_{compartimentos}} = \frac{10,316}{7} = 1,47 \text{ m} \leq 1,75 \text{ m}$$

Además, se ha especificado también que la superficie de los rompeolas será:

$$A_{rompeolas} \geq 0,7 \cdot A = 0,7 \cdot 4,66 = 3,26 \text{ m}^2$$

Por tanto, todos aquellos orificios que se realicen sobre ellos deberán cumplir dicha condición.

1.2.8 Aislamiento térmico. Parasol

Como se ha visto en el apartado de diseño el depósito de la cisterna irá provisto de un aislamiento térmico en forma de parasol con el fin de evitar el sobrecalentamiento de la parte superior de la cisterna en fase gaseosa.

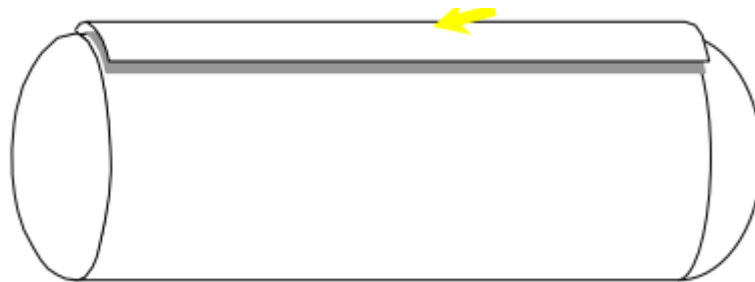


Ilustración 14. Esquema de depósito con parasol

Este parasol consiste en una chapa curvada de aluminio que cubrirá **120° sobre la parte superior** del depósito. Estará separada de este por una **cámara de aire de 5 cm** de espesor.

1.2.9 Recopilación de datos

Material	Acero de calidad P355NL
Tª de referencia (°C)	60
Llenado máximo admisible, a (kg/l)	0,4598
Tensión nominal de diseño, f (N/mm ²)	208
Presión de diseño (bar)	25
Presión mínima de prueba (bar)	16
Diámetro exterior, Do (mm)	2450
Espesor de la envolvente, e (mm)	13
Espesor de los fondos, ef (mm)	14
Volumen total (m ³)	46
Longitud de la envolvente (m)	9
Número de virolas	3

Longitud total del depósito (m)	10,316
Número de rompeolas	6
Características del parasol	120° sobre la parte superior 5 cm cámara de aire

Tabla 14. Recopilación datos de diseño

1.2.10 Refuerzos de boquillas

Sólo se aplicará a envolventes cilíndricas y fondos abombados cuyas aberturas seas circulares o elípticas.

“El tamaño de las aberturas debe limitarse como se indica a continuación:

- envolventes cilíndricas: $d_i/D_i \leq 1$;
- fondos abombados: $d_i/2r_{im} \leq 0,6$

donde

D_i diámetro interior del cono en el punto en cuestión;

d_i diámetro interior de la abertura o ramificación;

r_{im} radio interior del cuerpo principal (envolvente o fondo abombado).

La relación de los espesores de la ramificación y del cuerpo principal e_b/e_m debe cumplir los límites de la figura D.4.” (UNE EN 12493)

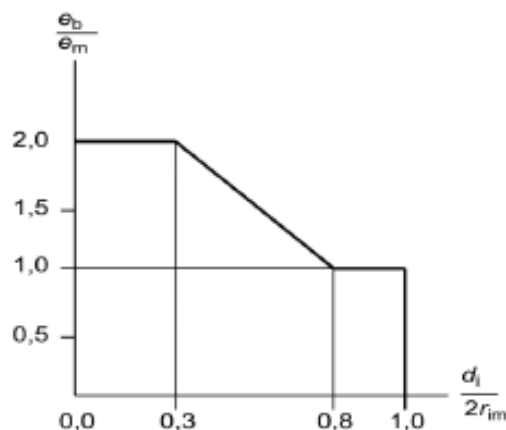


Ilustración 15. Relación entre espesor del cuerpo y ramificación máxima. UNE-EN 12493

- Distancia entre aberturas

“La distancia entre las aberturas o las ramificaciones, medidas desde la parte externa de las ramificaciones o de los anillos de refuerzo, debe ser igual o superior a $2l_m$, donde:

$$l_m = \sqrt{(2r_{im} + e_m)e_m}$$

para envolventes:

$$r_{im} = D_i/2$$

para fondos toroidales:

$$r_{im} = r_{ih}$$

donde

Di diámetro interior de la envolvente o parte recta del fondo abombado;

e_m espesor de análisis del cuerpo principal (envolvente o fondo abombado) dentro de la longitud *l_m*;

h_i altura interior del fondo elíptico abombado;

l_m longitud del cuerpo principal considerada como compensación efectiva, medida a lo largo del eje principal a partir del borde de la abertura sin ramificación o fuera de la ramificación (o anillo), (véase la fórmula (D.34));

r_{im} radio interior del cuerpo principal (envolvente o fondo abombado) como se especifica en el apartado D.4.2;

r_{ih} radio interior del fondo hemisférico abombado o parte esférica de la cabeza toroidal.” (UNE EN 12493)

Donde la distancia entre las aberturas será:

$$l_m = \sqrt{(2r_{im} + e_m)e_m} = \sqrt{(2 \cdot 1236,5 + 13)13} = 179,77 \text{ mm}$$

Con,

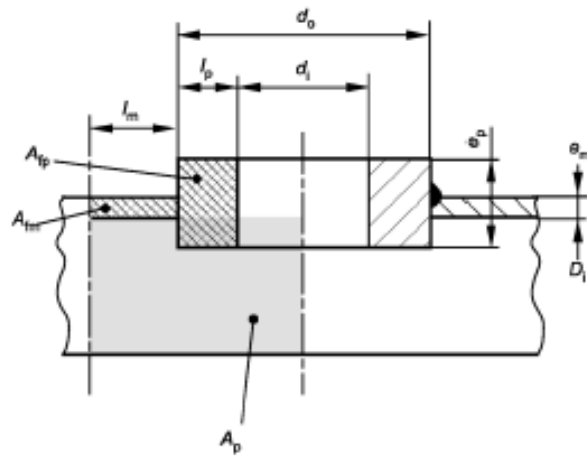
$$r_{im} = \frac{D_i}{2} = \frac{2437}{2} = 1236,5 \text{ mm}$$

$$e_m = 13 \text{ mm}$$

- **Refuerzos de las aberturas**

“Cuando sea necesario, las envolventes cilíndricas y los fondos abombados con aberturas se deben reforzar. Los refuerzos del cuerpo principal pueden obtenerse mediante:

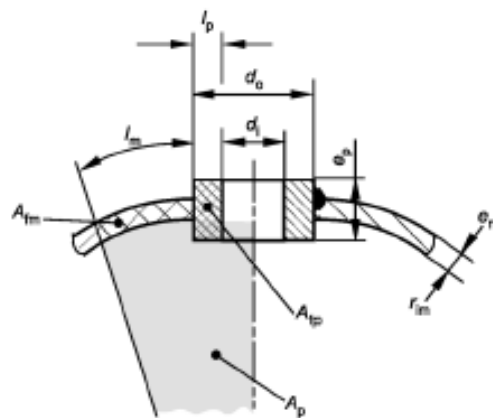
a) anillos entrantes soldados (véase la figura D.5);



$$\boxed{A_p = \frac{D_1}{2} \left(l_m + \frac{d_o}{2} \right) \quad (3)}$$

$$A_{im} = e_m l_m$$

$$A_{ip} = e_p l_p$$



$$\boxed{A_p = \frac{r_{im}}{2} \left(l_m + \frac{d_o}{2} \right) \quad (3)}$$

$$A_{im} = e_m l_m$$

$$A_{ip} = e_p l_p$$

Ilustración 16. Refuerzo por anillos para aberturas aisladas en envolventes cilíndricas. Figura D.5 UNE-EN 12493

b) ramificaciones soldadas directas o entrantes como se representa en la figura D.6.

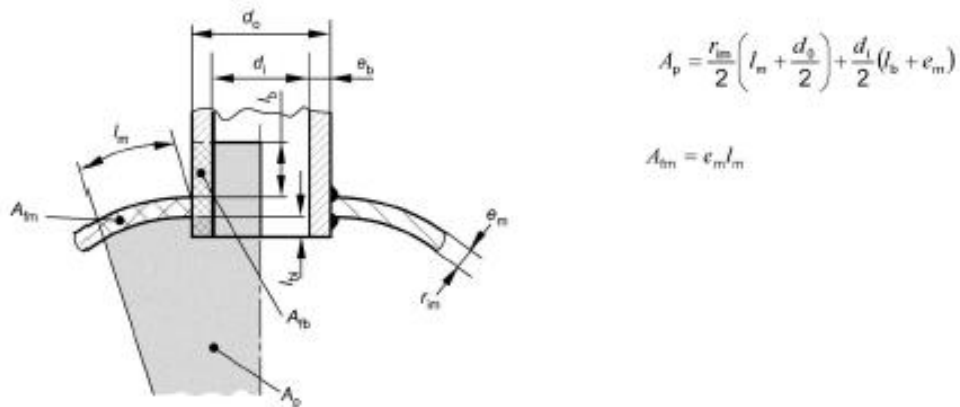
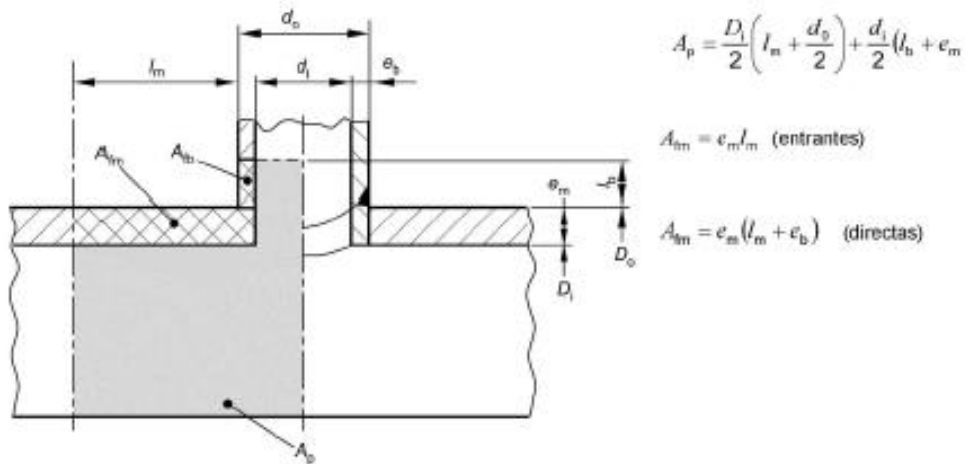
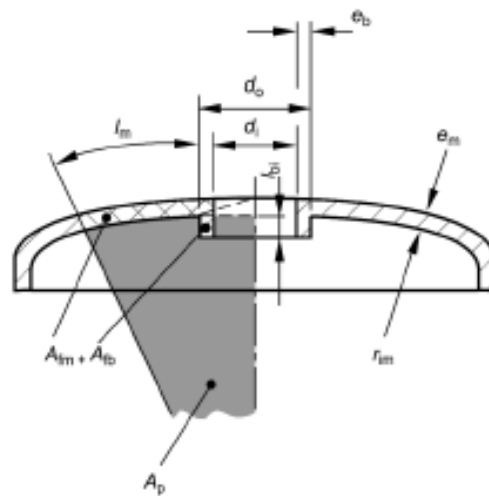


Ilustración 17. Refuerzo por ramificaciones soldadas para aberturas aisladas en envolventes cilíndricas. Figura D.6
UNE-EN 12493



$$A_p = \frac{r_m}{2} \left(l_m + \frac{d_o}{2} \right)$$

$$A_{fm} = e_m l_m$$

$$A_{fb} = e_b (e_b + l_{bi})$$

Ilustración 18. Refuerzo por ramificación embutida en fondo abombado para aberturas aisladas en envolventes cilíndricas. Figura D.7 UNE-EN 12493

Las ramificaciones soldadas directas o entrantes, soldadas únicamente en ángulo, pueden considerarse como refuerzos si son conformes con la figura D.5, figura D.6 y figura D.7. Cada ángulo debe tener un espesor de garganta igual o superior a 0,7 veces el espesor de pared del recipiente de presión.

No se admite el refuerzo de aberturas mediante placas de compensación.

Todas las aberturas deben cumplir la siguiente relación general:

$$0,833p \left(A_p + 0,5(A_{fm} + A_{fb} + A_{fp}) \right) \leq (f A_{fm} + f_p A_{fp} + f_b A_{fb})$$

donde

A_p superficie sometida a presión como se representa en la figura D.5, figura D.6 y figura D.7, calculada a partir de medidas internas;

A_{fb} superficie de la sección transversal de la ramificación dentro de los límites de compensación;

A_{fm} superficie de la sección transversal del cuerpo principal (envolvente o cabeza) dentro de los límites de compensación;

A_{fp} superficie de la sección transversal del anillo dentro de los límites de compensación;

f tensión nominal de diseño de la envolvente o del fondo abombado;

f_b el menor valor de la tensión nominal de diseño de la ramificación y f ;

f_p el menor valor de la tensión nominal de diseño del anillo y f .

p presión de diseño;

En las figuras D.5, figura D.6 y figura D.7 se incluyen fórmulas simplificadas para el cálculo de A_{fm} , A_{fp} y A_{fb} para varias formas geométricas. Con estas fórmulas se obtienen resultados

aceptables dentro de la precisión del método. No obstante, si es necesario, el diseñador puede decidir calcular valores más precisos, basados en la geometría real.” (UNE EN 12493)

1.2.11 Refuerzos de boquillas mediante anillos o partes rectas cilíndricas

“Únicamente deben utilizarse anillos del tipo entrante soldados conformes con la figura D.5.

La anchura l_p de los anillos que se considera que contribuye al refuerzo, debe ser igual o inferior a l_m .

El valor de e_p utilizado para obtener A_{fp} en la fórmula (D.4.10), debe ser igual o inferior a $2 e_m$.

- e_p espesor del anillo;
 - e_m espesor real del cuerpo principal (envolvente o cabeza), menos la tolerancia de espesor.
 - l_p longitud máxima del anillo considerada efectiva para compensación, medida a partir de la superficie interior del cuerpo principal;
 - l_m definida en la fórmula (D.34);”
- (UNE EN 12493)

En caso de ser necesario se utilizará anillos de refuerzo, las dimensiones deberán cumplir con lo siguiente:

$$l_p \leq l_m \leq 179,77 \text{ mm}$$

$$e_p \leq 2 \cdot e_m \leq 26 \text{ mm}$$

1.2.12 Refuerzos de boquillas mediante ramificaciones

“Si es necesario, el espesor de pared de las ramificaciones (boquillas), debe ser superior al espesor calculado para las partes sometidas a presión interna, en una longitud l_b medida desde la pared exterior del cuerpo principal.

Las superficies A_p , A_{fm} , A_{fb} y A_{fp} se deben determinar de acuerdo con la figura D.6, donde las longitudes que contribuyen al refuerzo deben ser inferiores o iguales a l_m para la envolvente [véase la fórmula (D.34)], y la fórmula D.39 para la ramificación:

$$l_b = \sqrt{(d_0 + e_b)e_b}$$

El valor máximo utilizado para el cálculo de la parte entrante, si existe, en el caso de ramificaciones entrantes [véase la figura D.6] debe ser $l_{bi} = 0,5 l_b$.

- d_0 diámetro exterior de la ramificación;
- e_b espesor de análisis de la ramificación en la longitud l_b .
- l_b longitud de la ramificación externa considerada efectiva para compensación, medida desde el exterior del cuerpo principal;
- l_{bi} longitud máxima de la parte que se extiende en el interior, si la hay, de una ramificación transversal.” (UNE EN 12493)

1.3 EJECUCIÓN Y CONSTRUCCIÓN

1.3.1 Fabricación del depósito

El depósito ha sido diseñado para estar formado por 3 virolas de 3 m de ancho cada una y dos fondos toroidales tipo Korbbogen. Las dimensiones de todo ello, ha sido obtenido en el apartado de diseño.

Para la fabricación de las virolas se parte de placas de acero de calidad P355NL2 que se caracterizan por una buena soldabilidad y una alta resistencia al agrietamiento por fragilidad. Es un acero que se suministra normalizado, siendo su temperatura de normalización entre 900 y 950 °C, y el posterior mantenimiento en el horno dependerá del espesor de la placa, aproximadamente un minuto por mm de espesor. Pueden ser conformados en frío o en caliente, pues ofrecen buenas propiedades de ambas formas sin perder las características del material. Estas placas serán conformadas en caliente con el posterior tratamiento térmico de normalizado como se ha mencionado. Este tratamiento térmico propicia la formación de nuevos granos muy pequeños en el seno del material, que le confieren las propiedades deseadas al acero.

Las placas de acero serán curvadas mediante el uso de rodillos hasta obtener la sección circular que se desea y serán soldados los extremos conformando un cilindro. Antes de proceder a la unión de las tres virolas se realiza un trabajo de pulido interior y exteriormente para conseguir el mejor acabado superficial, eliminando o disminuyendo aquellos defectos que pueden dar pie a futura corrosión. También hay que tener en cuenta la forma en que la placa fue cortada previamente, pues si fue cortada térmicamente deberán eliminarse todas las posibles escamas, entallas, etc., que hubieran quedado.

Los fondos toroidales se conformarán en frío mediante placas circulares del mismo acero de las virolas, según la norma:

Lo cual queda solventado ya que las placas de acero de calidad P355NL2, como ya se ha explicado, llevan un tratamiento térmico de normalizado.

Al igual que para éstas, se realiza un pulido interior y exterior a fin de conseguir la eliminación de imperfecciones. Además, como el espesor de la envolvente cilíndrica y el espesor de los fondos difería en 1 mm, se puede realizar un biselado de dicho espesor que facilite posteriormente el proceso de soldeo. De no ser así, durante el proceso de soldeo, se llevará a cabo en el cordón de soldadura una reducción progresiva en el espesor, garantizando la calidad de soldeo y la buena unión entre las partes.

Seguidamente se fabricarán los rompeolas partiendo de mamparos a los que se le realizan las perforaciones pertinentes que permiten el paso del fluido entre los distintos compartimentos no estancos que se general al instalarlos, como ya se explicó anteriormente. Estos se realizan con placas circulares del mismo acero cuyo diámetro nunca será inferior al del depósito.

Una vez fabricadas las partes se procede a la unión de las mismas. Se dispone de rompeolas, y éstos deben disponerse separados a una distancia fija que ya se calculó, siendo la cantidad total de rompeolas a instalar de 6 separados 1,47 m cada uno. Por ello, se unen mediante soldeo las virolas y uno de los fondos. A continuación, se sueldan a la pared interior los rompeolas respetando la distancia requerida y finalmente se cierra el depósito soldando el otro fondo.

Finalmente se realizan todas las aberturas necesarias para la instalación de los equipos de servicio y seguridad y los accesorios. Será necesario realizarlos mediante taladros y además se

realizará de nuevo un pulido sobre estas partes para garantizar un acabado superficial de calidad.

Finalmente se unen mediante soldadura al depósito las orejas de sujeción que permitirán el izado del depósito de la cisterna para su unión con el chasis.

1.3.1.1 Tratamiento térmico y conformado. Ensayo de las piezas conformadas. Inspección visual y marcado.

Ya se ha comentado en el apartado de fabricación que las placas de las virolas se conforman en caliente con un posterior tratamiento térmico de normalizado. Los fondos, por el contrario, son fabricados en base a placas circulares que han sido conformadas en frío, teniendo el posterior tratamiento térmico de normalizado del mismo modo.

Para las condiciones de fabricación que se tienen, la norma establece para el tratamiento térmico y los conformados en frío y en caliente, lo siguiente.

“Conformado en frío

Los fondos abombados conformados en frío deben tratarse térmicamente, salvo que el fabricante pueda certificar que las propiedades de los productos acabados cumplen el diseño original.

Los fondos abombados conformados en frío que no se hayan tratado térmicamente, no deben soldarse o calentarse localmente en la zona curvada a temperaturas superiores a 550 °C, sin un tratamiento térmico posterior.

Conformado en caliente

Para aceros normalizados, debido al peligro del excesivo crecimiento del grano, la temperatura de la pieza de trabajo durante el conformado en caliente debe ser inferior o igual a 1 050 °C. Antes de la etapa final del conformado en caliente, o si el conformado en caliente sólo se realiza una vez, la pieza a soldar no debe calentarse a una temperatura superior a 980 °C.

Para evitar el crecimiento del grano, el proceso de conformado en caliente debería tener la mínima duración posible.

Si no se aplica un tratamiento térmico posterior, el conformado en caliente debe completarse a una temperatura superior a 750 °C, o superior a 700 °C si el grado de conformado en la etapa final es inferior o igual al 5%.

El enfriamiento debe realizarse con aire en calma.

Si el conformado en caliente se realiza en condiciones distintas a las indicadas en este apartado, después del conformado en caliente debe realizarse un tratamiento de normalizado, según indique el fabricante o proveedor del acero.” (UNE EN 12493)

Además, se debe realizar una serie de ensayos sobre las partes conformadas que garanticen las características del material, así la norma establece:

“Para las partes conformadas en frío, no sometidas a tratamiento térmico, no se requieren ensayos mecánicos en relación a la operación de conformado.

En el resto de partes conformadas se deben realizar ensayos después de la última operación de conformado o de cualquier tratamiento térmico, para verificar el cumplimiento de las

especificaciones del material. Las probetas deben tomarse de un tramo o pieza sobrante de la parte conformada, o de una probeta independiente conformada según el mismo procedimiento. Las probetas requeridas para los ensayos deben ser, una probeta para tracción y tres para choque.

En el caso de fondos abombados, las probetas se deben tomar de fondos de muestra elegidos de la siguiente manera:

- de la producción inicial: uno de diez de cada familia; y*
- de la producción de fondos abombados: una parte conformada de cada 1 000 unidades de producción, pero no menos de dos por año.” (UNE EN 12493)*

El fabricante en cuestión deberá realizar una inspección visual en el momento de la entrega del material y reflejarlo en los documentos que acreditan la aceptación del mismo.

“En el momento del suministro de partes conformadas, que requieran certificados de aceptación conformes con la Norma EN 10204:2004, el fabricante del recipiente a presión debe realizar una inspección visual y un control de medidas de las mismas, en las condiciones de entrega cuyos resultados deben incluirse en el certificado de aceptación del recipiente a presión.” (UNE EN 12493)

Finalmente, todas aquellas piezas de un depósito que haya sido conformada deberá estar debidamente marcada para su identificación.

“Las piezas conformadas de los recipientes a presión deben marcarse de forma que pueda identificarse el material y el fabricante de cada parte, de acuerdo con el apartado 8.3. Para ensayos por lotes debe ser evidente la relación con el lote.” (UNE EN 12493)

1.3.1.2 Tolerancias admisibles para los depósitos a presión, fondos y ensamblaje

- **Diámetro exterior depósito**
“El diámetro exterior medio calculado a partir de la circunferencia, no debe desviarse más del 1,5% del diámetro exterior representado en los planos de diseño.” (UNE EN 12493)
- **Falta de redondez depósito**
Puede producirse una falta de redondez a lo largo de la envolvente o en la parte recta de los fondos toroidales, lo cual no podrá superar el 1,5% del diámetro exterior especificado. La norma establece lo siguiente.

“La falta de redondez, O, la relación de la diferencia entre el diámetro máximo y mínimo y el diámetro medio se define mediante la fórmula (F.1):

$$O = \frac{2(D_{\text{máx.}} - D_{\text{mín.}})}{D_{\text{máx.}} + D_{\text{mín.}}} \quad (\text{F.1})$$

La falta de redondez, O, debe ser inferior o igual al 1,5% del diámetro exterior especificado, con un máximo (en milímetros) de la fórmula (F.2):

$$O = \frac{D + 1\,250}{200} \quad (\text{F.2})$$

donde

D es el diámetro exterior medio, en mm;

*D*_{máx.} es el diámetro máximo medido, en mm;

*D*_{mín.} es el diámetro mínimo medido, en mm;

O es la ratio de falta de redondez.

Estas tolerancias deben aplicarse a la envolvente, incluyendo la longitud de la parte recta de los fondos abombados.

En los puntos donde se sitúan las boquillas, puede admitirse una falta de redondez superior si está justificado por el cálculo, o por medición de la galga de tensión. Las curvaturas simples o radios de acuerdo deben estar dentro de las tolerancias. Las curvaturas (si existen) deben ser suaves y su profundidad (es decir, la desviación de la superficie de la envolvente) debe ser inferior o igual al 1% de su longitud, o 2% de su anchura. Se admiten curvaturas o radios de acuerdo superiores si se comprueba que son aceptables mediante el cálculo o las mediciones de la galga de tensión. Las tensiones locales máximas en estas desviaciones deben estar de acuerdo con el método de cálculo, por ejemplo, de la Norma EN 13445-3.

La tolerancia de la envolvente cilíndrica en los recipientes a presión diseñados para ser utilizados en condiciones de vacío, cuando el espesor del recipiente a presión es función del criterio de vacío, debe ser circular dentro del 0,5% del radio (es decir, 0,005R) medido a partir del centro exacto.” (UNE EN 12493)

- **Falta de rectitud depósito**

“La desviación de la rectitud debe ser inferior o igual al 0,5% de la longitud total del recipiente a presión.” (UNE EN 12493)

- **Irregularidades del perfil depósito**

“Las irregularidades del perfil deben ser inferiores o iguales a:”

“a) 2% de la longitud medida (verificada mediante calibre de 20°); o

b) 2,5% de la longitud medida (verificada mediante calibre de 20°) cuando la longitud de las irregularidades es inferior o igual a un cuarto de la longitud tangencial de la envolvente entre dos costuras circunferenciales, con un máximo de 1,0 m; o

c) si se sobrepasan los valores anteriores, se debe requerir una comprobación mediante cálculo o medición de la galga de tensión para verificar que las tensiones son admisibles.”

“Si la irregularidad del perfil aparece en la costura soldada y relacionada con las partes planas adyacentes a la soldadura, la irregularidad del perfil o "pico" debe ser inferior o igual a e/3 (véase la figura F.1), donde e es el espesor de pared.” (UNE EN 12493)

Existe un método habitual para la medición de dichos picos que consiste en la construcción de un medidor de perfil adecuado para el tamaño de cada depósito. El esquema para la construcción sería el siguiente.

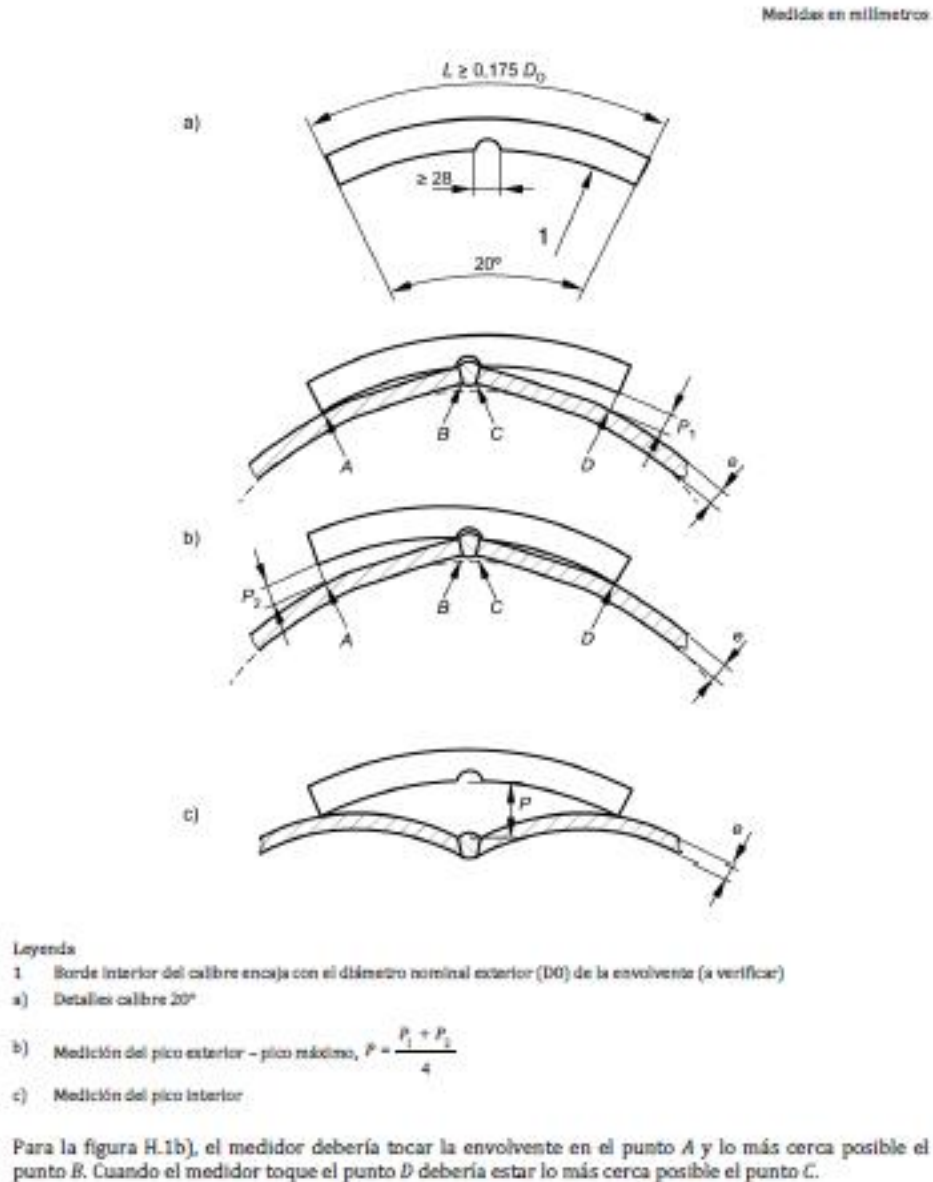


Ilustración 19. Esquema construcción medidor de picos de la envolvente. UNE-EN 12493

El control de picos se lleva a cabo de la siguiente manera.

“Debería determinarse la zona aproximada de pico máximo tomando lecturas a lo largo de las soldaduras longitudinales, a intervalos de aproximadamente 250 mm. Cuando se ha encontrado la zona, el pico máximo P se debería determinar mediante mediciones precisas de P1 y P2 (véase la figura H.1). Debería asegurarse que el medidor entra en contacto con la envolvente en los puntos indicados en la nota de la figura H.1.

Puede ser útil realizar un medidor de inclinación como el representado en la figura H.2, para verificar P1 y P2.

Las dimensiones aproximadas de las partes planas deberían medirse y registrarse en el punto de pico máximo.

Si existe un punto de altura significativa entre los puntos A y B o entre los puntos D y C en la figura H.1b), entonces este método puede sobrevalorar el pico. Debería realizarse un molde de escayola para verificar el pico. Los puntos A y D deben estar alejados de cualquier parte plana.” (UNE EN 12493)

- **Tolerancia fondos abombados**

A continuación, se especifica las tolerancias admisibles para las dimensiones de los fondos toroidales que se diseñaron.

Característica		Tolerancia	Observaciones
C	D = 1 000 mm	± 0,4%	Condiciones especiales de fabricación pueden requerir tolerancias inferiores
	D > 1 000 mm	± 0,3%	
O		1% de D	Condiciones especiales de fabricación pueden requerir tolerancias inferiores
H		El mayor de + 0,015 D o 10 mm	Las tolerancias no deben ser negativas
e = 10 mm		- 0,3 mm	El espesor real de pared debe ser superior o igual al valor mínimo calculado en el anexo D
e > 10 mm		- 0,5 mm	
α_i		2°	Para fondos abombados cuyo ángulo del lado exterior está influido por un recalcado debido al proceso de conformado, la desviación de la parte recta a partir de la forma cilíndrica debe medirse únicamente en el interior del fondo abombado.
α_o		5°	

Ilustración 20. Tabla que recoge la tolerancia fondos abombados. UNE-EN 12493

Leyenda

R Radio del casquete

r Radio de acuerdo

H Altura de la parte abombada

h Altura de la parte recta

e Espesor de pared

D Diámetro exterior

C Circunferencia (πD)

O Falta de redondez (véase el capítulo F.1)

ai Desviación de la pared interior a partir de la forma cilíndrica: lado interno

ao Desviación de la pared interior a partir de la forma cilíndrica: lado externo

- **Tolerancias de ensamblaje**

Es muy importante el buen ensamblaje de las partes componentes del depósito para obtener un acabado final deseado y conforme a lo diseñado, que cumpla con las especificaciones y requisitos del mismo.

“Para uniones longitudinales en las envolventes cilíndricas, las líneas centrales de las chapas adyacentes deben alinearse con las siguientes tolerancias:

-1 mm para chapas de espesor e inferior o igual a 10 mm;

-10% del espesor para chapas de espesor e superior a 10 mm.”

“Para uniones circunferenciales, las líneas centrales de las chapas adyacentes deben estar alineadas con las siguientes tolerancias:”

*“-1 mm para chapas de espesor e inferior o igual a 10 mm;
-10% de la parte de menor espesor y 1 mm para chapas de espesor e superior a 10 mm.”*

“La desalineación en la superficie de las chapas, para chapas de espesor e, debe ser la especificada en a) y b), o si se sobrepasa, la superficie debe achaflanarse con una pendiente de 1:4 en una anchura que incluya la anchura de la soldadura, con las superficies interiores recrecidas con metal de soldadura, añadido si es necesario, para obtener la inclinación requerida. No debe permitirse rebajar el espesor de la superficie de la chapa si se reduce por debajo del valor mínimo requerido.”

“a) Para las uniones longitudinales de las envolventes, las líneas centrales de las chapas adyacentes deben estar con las siguientes tolerancias:

*-e/4 para chapas de espesor e inferior o igual a 12 mm;
-3 mm para chapas de espesor e superior a 12 mm.”*

“b) Para las juntas circunferenciales, las líneas centrales de las chapas adyacentes deben estar alineadas con las siguientes tolerancias:

*- e/4 para chapas de espesor e inferior o igual a 20 mm;
-5 mm para chapas de espesor e superior a 20 mm.” (UNE EN 12493)*

- **Longitud total**

Es fundamental que la longitud total del depósito a presión acabado se corresponda con la longitud nominal diseñada e indicada en el plano de diseño fabricación

1.3.2 Soldadura

Únicamente se llevarán a cabo las uniones soldadas de todas las partes citadas del depósito si se da lo establecido en la norma:

“El soldeo de las uniones de las partes componentes de un recipiente a presión debe cumplir la Norma EN ISO 3834-2, y únicamente debe poder realizarse si se aplican todas las condiciones siguientes:”

“a) el fabricante tiene redactada una especificación del procedimiento de soldeo;

b) los procedimientos de soldeo seleccionados por el fabricante están cualificados para el campo de aplicación. Si el diseño se basa en especificaciones del material acordadas por {A1►} un organismo de control {◄A1}, el procedimiento de soldeo debe estar cualificado utilizando materiales con propiedades superiores;

c) los soldadores y operarios de soldeo están cualificados para el trabajo y su aprobación es válida (véase 8.6.5);

d) las uniones soldadas son de nivel de calidad B según la Norma EN ISO 5817:2007, excepto la modificación del anexo I para soldadura longitudinal y circunferencial de la envolvente, o si la especificación o plano de diseño tiene requisitos más estrictos.” (UNE EN 12493)

Conocidos los requerimientos principales establecidos por la norma, se selecciona como método de soldeo la **soldadura TIG** (Tungsten Inert Gas), soldadura por gas inerte de Tungsteno. Esta

soldadura se utiliza cuando se buscan cordones de soldadura de gran calidad y sin proyecciones, se obtiene una soldadura limpia a la que apenas hay que realizar mejoras de acabado superficial. Además, es un método de soldadura que puede realizarse desde cualquier posición, distintos ángulos de soldadura. Entre sus aplicaciones se encuentran la construcción de tuberías y depósitos entre otros.

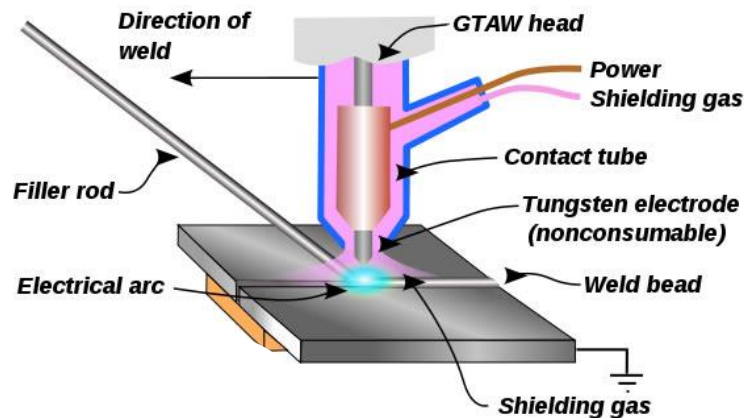


Ilustración 21. Esquema de soldadura tipo TIG

El electrodo de Tungsteno tiene un punto de fusión muy alto (3.380°C), lo que se convierte en la clave de este tipo de soldadura. El electrodo no se funde, pero mientras emite un arco voltaico que calienta y licua el metal, la punta del electrodo a penas se desgasta y proporciona, por tanto, un uso prolongado. Estos electrodos podrán estar aleados para mejorar sus propiedades y las distintas aleaciones se identifican distintos colores. Alrededor del electrodo se encuentra el aporte de gas protector. Este puede ser argón, helio o mezcla de ambos. Protegen al metal caliente contra reacciones con el aire ambiente. Estos gases inertes, no reactivos, evitan las reacciones químicas con el baño de fusión y el metal caliente.

Los cordones de soldadura obtenidos son más resistentes y dúctiles, también menos sensibles a la corrosión gracias al gas inerte como se ha explicado. Esto resulta muy importante e interesante para la fabricación de depósitos a presión, como el que se está llevando a cabo.

Ya que el electrodo no se funde, es necesario suministrar externamente material de aporte a la soldadura, ya sea a mano o mecánicamente.

Es muy importante en este tipo de soldadura la preparación de la unión, ya que resulta imprescindible la eliminación de corrosión.

Se puede concluir con una serie de ventajas y desventajas respecto a la soldadura TIG:

- **Ventajas:**
 - Cordones de soldadura de gran calidad, limpios y con buen acabado superficial.
 - Cualquier posición para la soldadura es viable.
 - No existen proyecciones, ya que no circula el material de aporte por el arco.
 - Es un sistema que puede realizarse de forma manual o automatizada.
- **Desventajas:**
 - Requiere de soldadores altamente cualificados y con gran habilidad.
 - La velocidad de la soldadura es baja.

No puede existir corrosión en las partes a unir.

1.3.2.1 Detalles de soldadura aceptables

Antes de seleccionar todo lo referente a la soldadura, el fabricante tiene que considerar una serie de condiciones que la norma establece como:

“Para seleccionar los detalles de soldadura apropiados, el fabricante debe considerar:

- *el método de fabricación;*
- *las condiciones de servicio;*
- *la posibilidad de realizar los ensayos no destructivos necesarios.*

En la preparación del soldeo, las caras de la raíz deben quedar alineadas con las tolerancias indicadas en la especificación del procedimiento de soldeo.

Si un recipiente a presión se realiza con más de una envolvente, la soldadura longitudinal de las envolventes adyacentes debe quedar escalonada al menos 100 mm entre los cantos de la soldadura.

Las partes solapadas deben estar suficientemente alejadas de los radios de acuerdo, para asegurar que el borde de la soldadura circunferencial está alejado de la curvatura una distancia igual o superior a 12 mm.” (UNE EN 12493)

La soldadura entre la envolvente cilíndrica y los fondos cumple con el último requerimiento de lo citado. Se pudo comprobar en el apartado de diseño en el que se calculó la altura de la pared recta de los fondos, siendo su valor de 42 mm.

1.3.2.2 Soldadura longitudinal

La soldadura de la envolvente es una soldadura longitudinal y la norma establece respecto a estas lo siguiente:

“En cualquier envolvente sólo debe haber una soldadura longitudinal. Las soldaduras longitudinales deben ser soldaduras a tope con penetración total.” (UNE EN 12493)

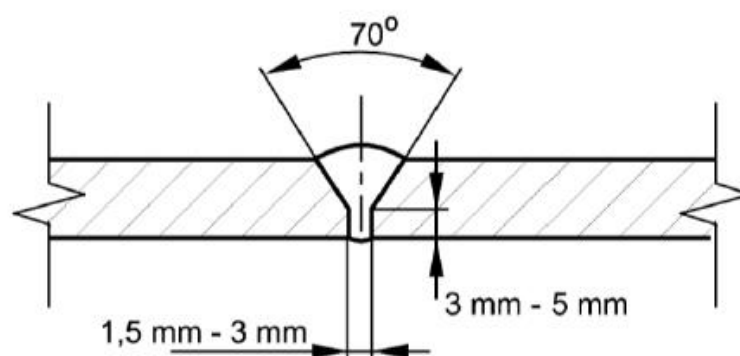


Ilustración 22. Soldadura a tope en V. UNE-EN 12493

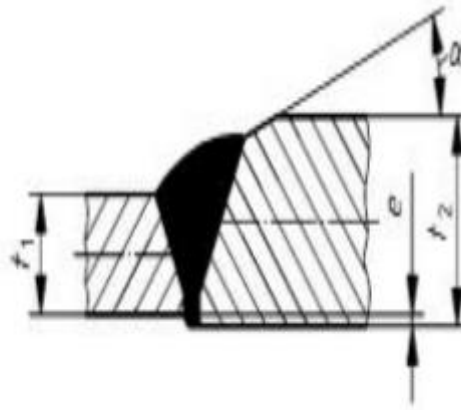


Ilustración 23. Unión a tope de espesores diferentes. UNE-EN 1708-1

Donde $\alpha \leq 30^\circ$; $t_1 < t_2$; $e \leq 0,1t_1$

1.3.2.3 Especificación del procedimiento de soldeo (EPS)

Se realiza en primer lugar una especificación de procedimiento de soldeo preliminar que contiene las variables requeridas para realizar la soldadura. Cuando ese documento está acompañado de unas pruebas y ensayos que lo cualifican se denomina especificación de procedimiento de soldeo (EPS o WPS del inglés)

“El fabricante debe redactar una especificación del procedimiento de soldeo para cada unión o familia de uniones, de acuerdo con la Norma EN ISO 15609-1.” (UNE EN 12493)

1.3.2.4 Cualificación del WPS

Como se ha mencionado en el apartado anterior las especificaciones preliminares de procedimiento de soldeo deben ser cualificadas.

“Los procedimientos de soldeo deben cualificarse mediante ensayos del procedimiento de soldeo de acuerdo con la Norma EN ISO 15614-1.”

La producción y los ensayos de las probetas deben certificarse por {A1▶} un organismo de control {◀A1}.

Las soldaduras deben someterse a ensayos de choque de acuerdo con el apartado 10.2.5.4.2” (UNE EN 12493)

1.3.2.5 Cualificación de soldadores y operarios de soldeo

Todos los soldadores y operarios que lleven a cabo las soldaduras tienen que estar debidamente cualificados y acreditados.

“Los soldadores deben estar acreditados de acuerdo con la Norma {A2▶} EN ISO 9606-1 {◀A2}, y los operadores de soldeo de acuerdo con la Norma EN ISO 14732.”

La producción y los ensayos de probetas deben certificarse por {A1▶} un organismo de control {◀A1}.

El fabricante debe mantener una lista de soldadores y de operarios de soldeo, y los registros de los ensayos aprobados.” (UNE EN 12493)

1.3.2.6 Preparación de bordes

Como se mencionó en el apartado de fabricación, las placas de material pudieron ser cortadas térmicamente o no y el corte puede dejar materia, escamas, óxido, cascarilla, aceites y partes con un acabado superficial indeseado, para ello hay que preparar dichas partes. Además, las partes a unir no pueden presentar entallas o grietas.

“El material puede cortarse al tamaño y forma necesarios mediante un proceso de corte mecánico o térmico, o una combinación de ambos. El corte puede realizarse antes o después del conformado.

La superficie a soldar debe estar limpia de capas de óxido, aceite, grasa, u otras partículas extrañas que podrían tener un efecto perjudicial sobre la calidad de la soldadura.

Los bordes a soldar deben mantenerse en su posición, por medios mecánicos o por soldadura por puntos, o por una combinación de ambos. La soldadura por puntos debe retirarse o fundirse de nuevo en el cordón de soldadura. El fabricante debe asegurar que el soldeo de punteo no origina defectos metalúrgicos, ni de homogeneidad.

El fabricante debe asegurar que para las soldaduras sin pasada de sellado (soldadura simple por una cara), los cantos están suficientemente alineados y espaciados para asegurar la penetración requerida en la raíz de soldadura.

Puede utilizarse una unión solapada en soldaduras circunferenciales (véase 8.4.3) para que actúe como una placa de refuerzo integrada.” (UNE EN 12493)

1.3.2.7 Accesorios y anclajes

Todos aquellos accesorios incluidos los soportes, ya sean temporales o no, deben de soldarse al depósito a presión bajo un procedimiento cualificado. Cualquier elemento retirado deberá realizarse mediante una técnica pertinente que no afecte a las propiedades del acero, ni a la parte a la que estuvo soldado. Una vez retirado deberán ser sometidos a ciertos ensayos y limpieza.

“El soldeo de accesorios (temporales o no), incluidos los soportes, a una parte sometida a presión, debe realizarse de acuerdo con un procedimiento cualificado.

Los accesorios temporales se deben retirar mediante una técnica que no influya en las propiedades del metal, o de la parte bajo presión, donde estuviesen soldados.

Deben tomarse precauciones para asegurar que la zona en la que se ha eliminado un accesorio está libre de grietas de superficie. La zona debe limpiarse y someterse a ensayos de partículas magnéticas (10.4.4) o por líquidos penetrantes (10.4.5). Cualquier grieta detectada debe repararse apropiadamente.” (UNE EN 12493)

1.3.2.8 Precaentamiento

No será necesario precalentamiento ya que se está empleando un acero con alta resistencia al agrietamiento y el precalentamiento será fundamental siempre que el metal a soldar tenga tendencia al agrietamiento, entre otros procesos perjudiciales.

“En el caso de aceros susceptibles al agrietamiento, puede ser necesario precalentar. Los detalles del precalentamiento dependen del material, proceso y condiciones de soldeo y están especificados en la Norma EN 1011-2 para la mayoría de las aplicaciones. Se debería hacer referencia a la Norma EN ISO 13916 para medir la temperatura de precalentamiento” (UNE EN 1011-1)

Además, en caso de que fuera necesaria debería incluirse en el EPS.

“El fabricante debe incluir la temperatura de precalentamiento en el EPS. La temperatura de precalentamiento debe depender de la composición del metal a soldar, del proceso de soldadura, y de la energía del arco.

El precalentamiento debería cumplir la Norma EN 1011-2.

El soldeo no debe realizarse si la temperatura del metal base próximo a la unión es inferior a + 5 °C.

El proceso de precalentamiento se debería diseñar para reducir al mínimo el consumo de energía y asegurar la eliminación no contaminante del material aislante y otros residuos.” (UNE EN 12493)

1.3.2.9 Tratamiento térmico posterior al soldeo

La norma establece cómo ha de realizarse el tratamiento térmico sobre el depósito una vez realizadas las soldaduras. Especifica el rango de temperaturas que habrá que aplicar, así como el tiempo de duración de la aplicación o el intervalo de ésta.

Además, establece que se deberá realizar un control riguroso, continuo y automáticamente, de la temperatura que se alcanza sobre distintas zonas del depósito mediante termopares calibrados regularmente.

“Método de tratamiento térmico posterior al soldeo. Para el tratamiento térmico posterior al soldeo, el recipiente a presión completo debe calentarse en un horno cerrado hasta una temperatura de 550 °C a 600 °C, que se mantiene estable durante 30 min.

Medición de la temperatura. La temperatura real de todas las partes del recipiente a presión o zona térmica, debe ser igual a la temperatura especificada, y se debe determinar mediante termopares en contacto directo con el recipiente a presión. Deben registrarse continua y automáticamente un número suficiente de temperaturas. Deben aplicarse varios termopares para asegurar que todo el recipiente a presión o zona tratada está dentro del intervalo especificado. Deben utilizarse pirómetros adicionales para verificar que no aparecen gradientes térmicos inapropiados. Debe estar disponible el registro del tratamiento térmico. Los termopares deben calibrarse a intervalos regulares.” (UNE EN 12493)

Cabe destacar que los materiales prescritos por la norma para la fabricación de los depósitos para GLP, así como los espesores con los que se trabaja, no requieren de un tratamiento térmico posterior. No obstante, realizar el tratamiento térmico después de la soldadura es una opción favorable ya que este reduce tensiones residuales, origen de posibles grietas, evitando así que haya riesgo por agrietamiento.

1.4 ENSAYOS DE FABRICACIÓN Y PRUEBAS

Todas las pruebas y ensayos de fabricación realizados sobre el depósito se llevarán a cabo antes de cualquier proceso de tratamiento térmico y anticorrosión externa o acabado superficial.

Se debe realizar un ensayo mecánico, otro ensayo no destructivo sobre las soldaduras y una inspección visual de éstas.

El **ensayo mecánico** consiste en la comprobación de las soldaduras longitudinales y circunferenciales a partir de chapas de ensayo que se sueldan al depósito siguiendo el cordón de soldadura del mismo. Estas chapas se sueldan y se ensayan durante la fabricación.

“Soldaduras longitudinales. Para recipientes a presión que incluyen una o más soldaduras longitudinales, las chapas de ensayo, si es posible, deben fijarse a la placa de la envolvente en un extremo de la soldadura de forma que los cantos a soldar en la chapa de ensayo sean una continuación y duplicación de la soldadura longitudinal. El metal de soldadura debe depositarse en la chapa de ensayos continuamente con el soldeo de la correspondiente soldadura longitudinal, de forma que el proceso, el procedimiento y la técnica de soldeo sean los mismos. Debe elaborarse una chapa de ensayos por recipiente a presión.

Soldaduras circunferenciales. Si las soldaduras circunferenciales se realizan mediante un procedimiento distinto al de la soldadura longitudinal, el fabricante debe elaborar dos chapas de ensayo adicionales por año, o una chapa de ensayos por recipiente a presión, el que sea menor de los dos. Las chapas de ensayos deben elaborarse con el mismo procedimiento utilizado en la construcción del recipiente a presión.” (UNE EN 12493)

Estas chapas de ensayo serán preparadas y ensayadas mediante probetas, del siguiente modo:

- Ensayo de doblado
- Ensayo de tracción
- Examen macroscópico
- Ensayos de impacto

Estos ensayos serán repetidos de no cumplir con lo que establece la norma para cada uno de ellos.

En cuanto a los **ensayos no destructivos de las soldaduras**, se emplean el método **radiográfico** y los **ultrasonidos** para defectos internos. El primero es muy útil para detectar cavidades o escoria incrustada y el segundo para detectar grietas o falta de fusión. Ambos son complementarios, si fuera necesario se podría prescindir de uno de ellos. Para defectos superficiales, se podrá utilizar el **método de las partículas magnéticas o por líquidos penetrantes**, ambos indican la presencia de desperfectos, pero no la profundidad.

Por otro lado, la **inspección visual** debe realizarse una vez finalizadas las soldaduras tanto por su parte interna como externa. La zona a inspeccionar deberá estar limpia e iluminada.

El **inspector** que realice los ensayos no destructivos debe estar debidamente certificado y cualificado y nunca formará parte del equipo de personal de fabricación.

1.5 PROTECCION CONTRA CORROSIÓN EXTERNA Y ACABADO

La norma establece que los depósitos a presión tendrán una protección contra la corrosión y unos acabados destinados a evitar la entrada de cuerpos extraños durante el transporte o cualquier manipulación del depósito.

“Protección externa. Los recipientes a presión deben tener una protección externa apropiada contra la corrosión originada por los agentes atmosféricos.

Operaciones de acabado. El recipiente a presión debe estar protegido de la entrada de partículas extrañas durante el transporte, la manipulación, fijación al chasis, y otras operaciones de acabado.” (UNE EN 12493)

Por tanto, se realiza como técnica de tratamiento superficial el granallado de grado SA 2 ½, que consiste en un arenado-granallado, que quitará el óxido, partículas y restos de laminación de forma muy minuciosa.

Posteriormente, se realiza una protección contra la corrosión superficial mediante epoxy poliámidada de 60 micras y finalmente se utiliza una pintura de acabado en poliuretano blanco de 60 micras.

1.6 MARCADO

El marcado del depósito se realizará según los requisitos del ADR y se desarrollará más adelante en el apartado de Marcado y Etiquetado que describe el marcado y etiquetado tanto del depósito del camión-cisterna, como del propio camión.

“Los marcados, conforme a los requisitos del ADR, deben colocarse de manera permanente en una placa de metal resistente a la corrosión, fijada permanentemente al recipiente de presión o sus soportes, en un lugar de fácil acceso para la inspección.” (UNE EN 12493)

1.7 DOCUMENTACIÓN

A continuación, se recogen los **documentos que se deben generar durante la fabricación** del depósito, propiedades y composición de los materiales, planos, certificaciones y aprobaciones, registros de ensayos y pruebas, etc. Dichos documentos **serán entregados al receptor si los solicita** y serán **conservados** por la entidad fabricante como **máximo veinte años**.

En el presente documento se han recogido en el apartado de diseño tanto las características mecánicas y la composición del acero de clase P355NL2 con el que se ha fabricado el depósito, así como, los planos que se presentarán en su apartado correspondiente (PLANOS).

“Documentación obtenida por el fabricante. El fabricante debe obtener la siguiente documentación:

a) certificado de aprobación de tipo;

b) certificados mostrando análisis químicos y las propiedades mecánicas detalladas del acero utilizado en la construcción de las partes sometidas a presión de los recipientes a presión (véase 4.7);

c) un certificado de las partes conformadas de acuerdo con la Norma EN 10204:2004 (véase 8.5.4), si es necesario.

Registros preparados por el fabricante. El fabricante debe preparar los siguientes registros:

a) planos completamente acotados, incluyendo las especificaciones del material y los criterios de diseño;

b) si es aplicable, registros del tratamiento térmico;

c) registros de los ensayos mecánicos;

d) registros de la inspección visual y los controles de medidas de las partes conformadas;

e) las especificaciones del procedimiento de soldeo, y los certificados de cualificación de acuerdo con la Norma EN ISO 15614-1;

f) una lista de los soldadores y los registros de sus ensayos de aprobación, de acuerdo con la Norma EN ISO 9606-1;

g) registros de cualquier reparación de soldadura;

h) un certificado del ensayo de presión hidráulica;

i) radiografías y resultados de los ensayos no destructivos;

j) un certificado de la medida del volumen de agua;

k) un certificado de cumplimiento con esta norma europea, aprobado por un organismo notificado/ designado.

Conservación y entrega de documentos. El fabricante o agente debe conservar copias de toda la documentación durante al menos veinte años. La documentación se debe entregar al comprador u operario cuando lo solicite.” (UNE EN 12493)

2 ESTRUCTURA. MONTAJE DEL DEPÓSITO AL CHASIS

Es importante tener en cuenta lo que la norma establece en primer lugar a la hora de diseñar y fabricar el depósito y las fijaciones: “*el recipiente a presión y las fijaciones a la estructura del camión cisterna deben diseñarse y construirse de manera que **absorban de forma segura los esfuerzos que se producen durante el uso normal, las vibraciones, la acción de los frenos, etc.***” (UNE EN 12252)

2.1 ELEMENTOS ESTRUCTURALES

El depósito va unido al chasis del semirremolque gracias a unos **soportes de fijación** formados por unos **tirantes, unos pernos** de fijación y unas placas de refuerzo. Estos soportes se sueldan a una estructura del chasis y sobre ellos se monta el depósito, tendrán que soportar todos los esfuerzos que se pueden producir durante el desempeño normal de las tareas de carga/descarga del depósito y durante el transporte. Además, los **rompeolas** que fueron descritos, diseñados y calculados en el apartado de DEPÓSITO también forman parte de los elementos estructurales que dan soporte al depósito. Todo lo relativo a estos ya fue descrito en el apartado de Rompeolas. Finalmente, también dispone de unas **orejetas para el izado** del depósito sobre el camión.

2.2 CÁLCULO DE LAS FIJACIONES DEL DEPÓSITO AL CHASIS DEL VEHÍCULO

El diseño de las fijaciones se realizará en base a las siguientes fuerzas, cuando se encuentre el depósito con una carga admisible máxima:

Dirección	Definición	Fuerza N
En la dirección del desplazamiento	$F_1 =$ dos veces la fuerza aplicada por la masa total	$2 g P_3$
Perpendicularmente a la dirección del desplazamiento	$F_2 =$ fuerza aplicada por la masa total	$1 g P_3$
Vertical hacia arriba	$F_3 =$ fuerza aplicada por la masa total	$1 g P_3$
Vertical hacia abajo	No aplicable en este cálculo	-
Véase la figura B.1.		

Ilustración 24. Tabla para cálculo fuerzas para fijación del depósito al chasis. UNE-EN 12252

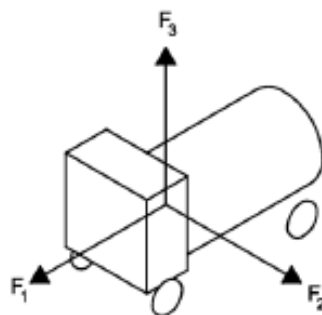


Ilustración 25. Dirección y sentido de las fuerzas referidas en la Ilustración 24. Tabla para cálculo fuerzas para fijación del depósito al chasis. UNE-EN 12252

“Características del recipiente a presión:

$$Tara = P1 \text{ (kg)}$$

$$Carga \text{ máxima} = P2 \text{ (kg)} = \text{volumen, en litros} \times \text{la velocidad de llenado, en kg/l}$$

$$Masa \text{ total} = P3 \text{ (kg)} = P1 + P2 \text{ (UNE EN 12252)}$$

Para el **cálculo de la masa del depósito vacío** será necesario conocer la densidad del acero del que se ha fabricado. La norma UNE-EN 10028-1 establece una densidad de 7,85 Kg/dm³ para los aceros comprendidos en las normas UNE-EN 10028-2 a 10028-6, como es el utilizado en la fabricación de este depósito.

En primer lugar, habrá que calcular el volumen del depósito a partir del volumen de la envolvente y de los dos fondos.

El volumen de la envolvente será:

$$V_{\text{envolvente}} = L_{\text{envol.}} \cdot \pi \cdot \left(\left(\frac{D_o^2}{4} \right) - \left(\frac{D_i^2}{4} \right) \right) = 9 \cdot \pi \cdot \left(\left(\frac{2,450^2}{4} \right) - \left(\frac{2,437^2}{4} \right) \right) = 0,449 \text{ m}^3$$

El volumen de los fondos será:

$$V_{\text{fondos}} = 2 \cdot \left(\frac{D_d^2}{4} \right) \cdot e = 2 \cdot \left(\frac{2,926^2}{4} \right) \cdot 0,014 = 0,059 \text{ m}^3$$

El volumen total será entonces:

$$V_{\text{total}} = V_{\text{envolvente}} + V_{\text{fondos}} = 0,449 + 0,059 = 0,508 \text{ m}^3$$

Entonces la masa del depósito en vacío será:

$$m_{\text{dep.vacio}} = \rho_{\text{acero}} \cdot V_{\text{total}} = 7850 \cdot 0,508 = 3987,8 \text{ kg}$$

Habrà que tener en cuenta, además, el resto de elementos estructurales y no estructurales que forman parte del depósito, así como el chasis del vehículo. Entre estos **elementos** encontramos los rompeolas, las orejas de izaje, los tirantes, los pernos de los tirantes, el parasol, etc. cuya masa total sería de **2.420 Kg aproximadamente**. La masa de un **semirremolque** de la marca comercial **Tecnokar Trailers Srl** es de aproximadamente **8.650 kg**.

Por tanto, **la tara o P1** tendrá un valor de:

$$P_1 = 15058 \text{ Kg}$$

Para el **cálculo de la carga máxima (P2)** es necesario conocer la capacidad total que tiene el depósito que ya se determinó en 46m³ y que éste nunca se llenará por encima del 85% de su capacidad. Conociendo además que el grado de llenado máximo se calculó en a=0,4598 kg/l, se puede obtener P2.

$$P_2 = V_{\text{total}} \cdot 0,85 \cdot a = 46000 \cdot 0,85 \cdot 0,4598 = 17978,18 \text{ kg}$$

Finalmente, el cálculo de la **masa total (P3)** se realiza sumando los dos anteriores (P1+P2).

$$P_3 = P_1 + P_2 = 15058 + 17978,18 = 33036,18 \sim 33036 \text{ kg}$$

Características	
Tara (kg)	15.058
Carga máxima (kg)	17.978,18
Masa total (kg)	33.036

Tabla 15. Resumen cálculos características en masa del depósito

Ahora se pueden calcular las **fuerzas para la fijación del depósito** de la tabla de la Ilustración 24. Tabla para cálculo fuerzas para fijación del depósito al chasis. UNE-EN 12252

Fuerzas (N)	
$F1=2 \cdot g^2 \cdot P3$	647.506
$F2=1 \cdot g \cdot P3$	323.753
$F3=1 \cdot g \cdot P3$	323.753

Tabla 16. Cálculo de fuerzas necesarias para la fijación del depósito

2.2.1 Fijación del depósito al chasis

A continuación, se calcula el **momento resultante de la fuerza que aplica la masa total**, según la norma.

“**Momento producido por F2** (véase la figura B.2):

$$M_2 = d \times F_2 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

“**Reacción a M2** producida por el tirante de fijación:” (UNE EN 12252)

$$f_2 = \frac{d \times F_2}{L} \text{ (N)}$$

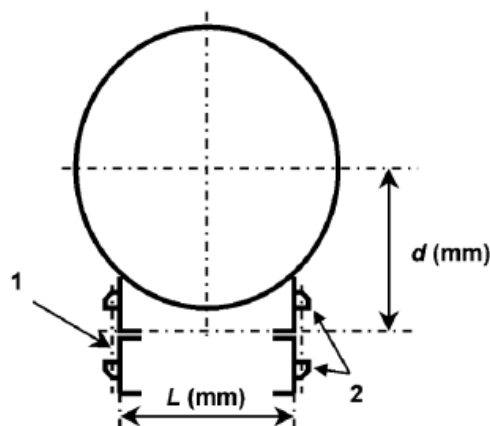


Ilustración 26. Esquema montaje de un depósito ("Figura B.2"). UNE-EN 12252

“**Leyenda**

d altura de la línea central del recipiente a presión por encima del chasis (mm)

L anchura exterior del chasis (mm)

1 Tirantes de fijación

² A efectos de los cálculos: $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

2 Soportes" (UNE EN 12252)

Teniendo en cuenta el **cálculo de d y L** de la siguiente forma:

$$d = \frac{D_o}{2} + \left(\left(\frac{D_o}{2} / 3 \right) / 2 \right) = 1429,16 \sim 1429 \text{ mm}$$

$$L = \frac{4}{3} \cdot \frac{D_o}{2} = 1633,33 \sim 1633 \text{ mm}$$

Momento M2 (N/mm)	462.643.037
Reacción que produce el tirante $f_2(N)$	283.309

Tabla 17. Momento y reacción de F2

El acero seleccionado para los **tirantes de fijación, los pernos y la soldadura** será el mismo que para la estructura del depósito, **acero de calidad P355NL2**. Por tanto, las características del material serán las mismas que las correspondientes al depósito.

- **"Tirantes de fijación**
Número de tirantes de fijación: N1
Características mecánicas del acero:
 – resistencia última a la fracción: Rm1 (N/mm²)
 – límite de elasticidad: Re1 (N/mm²)
 – área de la sección transversal del tirante (interna a la rosca): S1(mm²)" (UNE EN 12252)

Número de tirantes (N1)	10
Características mecánicas acero	P355NL2
Rm₁ (N/mm²)	500
Re₁ (N/mm²)	360
S₁ (mm²)	76.240

Tabla 18. Tirantes de fijación

- **"Pernos**
Número de pernos por soporte de fijación: N2
Características mecánicas del acero:
 – resistencia última a la fracción: Rm2 (N/mm²)
 – límite de elasticidad: Re2 (N/mm²)
 – área de la sección transversal del tirante (interna a la rosca): S2(mm²)" (UNE EN 12252)

Número de pernos métrica M20 por soporte (N2)	4
Número total de pernos	40
Características mecánicas acero	P355NL2
Rm₂ (N/mm²)	500

Re ₂ (N/mm ²)	360
S ₂ (mm ²)	316,27

Tabla 19. Pernos

- **“Soldaduras de los soportes de fijación**

Área de la sección soldada que contribuye a la resistencia de los soportes (véase la figura B.2):

$$S_3 = 2 \cdot (L1 + 2 \cdot L2) \cdot b \text{ (mm}^2\text{)}$$

Características mecánicas del material de las soldaduras de los soportes de fijación:

– resistencia última a la fracción: R_{m3} (N/mm²)

– límite de elasticidad: Re₃ (N/mm²)” (UNE EN 12252)

Área sección soldada mínima (S ₃)	700
Características mecánicas acero	P355NL2
R _{m3} (N/mm ²)	500
Re ₃ (N/mm ²)	360
S ₃ (mm ²)	700

Tabla 20. Soldadura soportes fijación

El esfuerzo admisible en la fijación del depósito al chasis es el menor de los valores siguientes según la norma:

“ $\sigma < 0,75$ o $0,5 \times R_m$ ” (UNE EN 12252)

2.2.2 Cálculo para los tirantes de fijación

La norma establece lo siguiente:

“En la dirección del desplazamiento

– **Esfuerzo de tracción en los tirantes:**

$$\sigma_1 = \frac{F_1}{S_1 \times N_1} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

– **Esfuerzo admisible:**

$$\sigma_1 \leq \sigma \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

donde $\sigma \leq 0,75 \cdot Re_1$ o $\sigma \leq 0,5 \cdot R_{m1}$ (cualquiera que sea el menor valor)”

“En dirección perpendicular al desplazamiento

– **Esfuerzo de tracción en los tirantes:**

$$\sigma_2 = \frac{f_2}{S_1 \times \frac{N_1}{2}} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

– **Esfuerzo admisible:**

$$\sigma_2 \leq \sigma \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

donde $\sigma \leq 0,75 \cdot Re_1$ o $\sigma \leq 0,5 \cdot R_{m1}$ (cualquiera que sea el menor valor)”

“En dirección vertical hacia arriba

– **Esfuerzo de tracción en los tirantes:**

$$\sigma_3 = \frac{F_3}{S_1 \times N_1} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

– **Esfuerzo admisible:**

$$\sigma_3 \leq \sigma \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

donde $\sigma \leq 0,75 \cdot Re1$ o $\sigma \leq 0,5 \cdot Rm1$ (cualquiera que sea el menor valor)”

Esfuerzo admisible (N/mm ²)	
σ	250
σ_1	0,849
σ_2	0,743
σ_3	0,425

Tabla 21. Cálculos esfuerzos en tirantes de fijación

Por tanto, se cumplen las 3 condiciones de esfuerzos admisibles en los tirantes de fijación.

2.2.3 Cálculo soldaduras en los soportes de fijación

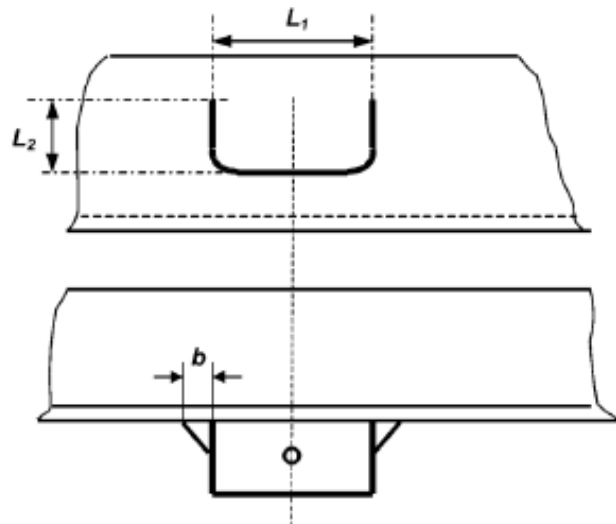


Ilustración 27. Esquema soldadura soportes fijación. UNE-EN 12252

- **“En la dirección del desplazamiento**

Puesto que el número de soportes de fijación es igual al número de tirantes:

$$\sigma_4 = \frac{F_1}{S_3 \times N_1} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

- **En dirección perpendicular al desplazamiento**

$$\sigma_5 = \frac{f_2}{S_3 \times \frac{N_1}{2}} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

- **En dirección vertical hacia arriba**

$$\sigma_6 = \frac{F_3}{S_3 \times N_1} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

- **Esfuerzo admisible (debe considerarse el menor de estos valores):**
 $\sigma_4 \leq \sigma$ (N/mm²)
 $\sigma_5 \leq \sigma$ (N/mm²)
 $\sigma_6 \leq \sigma$ (N/mm²)
 donde $\sigma \leq 0,75 \cdot Re1$ o $\sigma \leq 0,5 \cdot Rm1$ (cualquiera que sea el menor valor)" (UNE EN 12252)

Esfuerzo admisible (N/mm ²)	
σ	250
σ_4	85,20
σ_5	74,56
σ_6	42,60

Tabla 22. Cálculo esfuerzos en la soldadura de las fijaciones

Por tanto, se cumplen las 3 condiciones de esfuerzo en las soldaduras de las fijaciones.

2.2.4 Cálculo de los pernos de las fijaciones

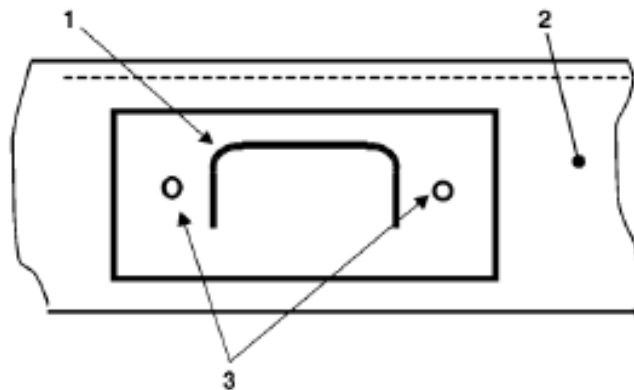


Ilustración 28. Esquema pernos de fijación. UNE-EN 12252

"Leyenda

- 1 Soporte de fijación
- 2 Estructura de chasis
- 3 Pernos

- **En la dirección del desplazamiento**

$$f_1 = \frac{F_1}{N_1} \text{ (N)}$$

$$\sigma_7 = \frac{f_1}{S_2 \times N_2} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

- **En dirección perpendicular al desplazamiento**

$$F_8 = \frac{f_2}{\left(\frac{N_1}{2}\right)} \text{ (N)}$$

$$\sigma_8 = \frac{f_8}{S_2 \times N_2} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

- **En dirección vertical hacia arriba**

$$f_9 = \frac{f_3}{N_1} \text{ (N)}$$

$$\sigma_9 = \frac{f_9}{S_2 \times N_2} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Esfuerzo admisible (debe considerarse el menor de estos valores):

$$\sigma_7 \leq \sigma \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\sigma_8 \leq \sigma \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\sigma_9 \leq \sigma \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

donde $\sigma \leq 0,75 \leq Re1$ o $\sigma \leq 0,5 \leq Rm1$ (cualquiera que sea el menor valor)"

(UNE EN 12252)

Reacciones en pernos (N)	
f_7	64.750,6
f_8	56.661,8
f_9	32.375,3

Tabla 23. Cálculo reacciones en los pernos

Esfuerzo admisible (N/mm ²)	
σ	250
σ_7	51,18
σ_8	44,79
σ_9	22,39

Tabla 24. Cálculo esfuerzos en los pernos

Por tanto, se cumplen las 3 condiciones de esfuerzos admisibles en los pernos.

2.3 IZADO DEL DEPÓSITO. CÁLCULOS PARA LAS OREJETAS

El depósito debe ser izado sobre el semirremolque del vehículo al menos una primera vez para su puesta en marcha y otra segunda al final de su vida útil. El levantamiento del depósito siempre se realizará en vacío por lo que es necesario conocer su masa en vacío que ya fue calculada en el apartado anterior. La cual tiene un valor de: $m_{dep.vacío} = 3987,8 \text{ kg}$

Se escogen orejetas para un izado longitudinal, lo que consiste en que las orejetas están soldadas sobre la generatriz superior de la envolvente cilíndrica, quedando el orificio de éstas

perpendicular a dicha generatriz y al eje longitudinal de la envolvente. Se adjunta un esquema de las orejetas.

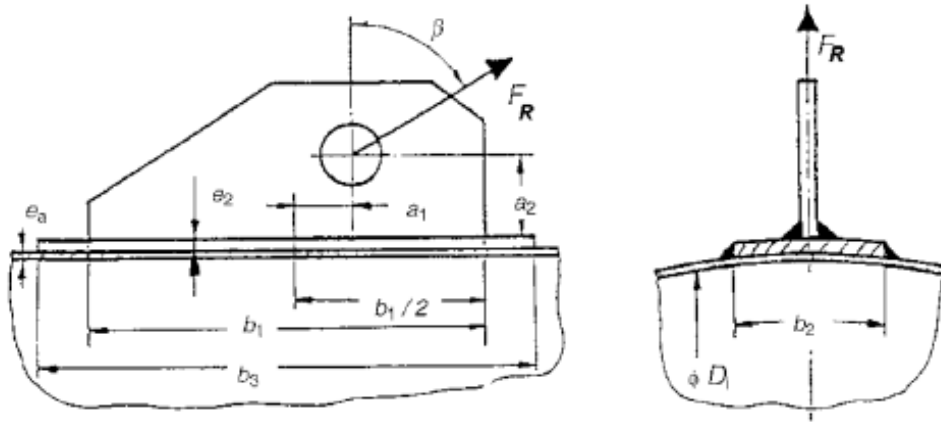


Ilustración 29. Orejetas para izado longitudinal. UNE-EN 13445-3

Donde,

*a*₁ es la excentricidad de la carga;

*a*₂ es la distancia desde la carga hasta la envolvente o placa de refuerzo;

*b*₁ es la longitud de la orejeta para izar, en la unión con la envolvente;

*b*₂ es la anchura de la placa de refuerzo;

*b*₃ es la longitud de la placa de refuerzo;

x es la distancia entre el eje del fondo semielipsoidal y el centro de la orejeta para izar;

F_R es la fuerza local en una envolvente;

F_{R,máx.} es a la fuerza local máxima admisible en una envolvente;

W es el peso total del recipiente;

β es el ángulo entre la dirección de la fuerza y la normal a la envolvente”

(UNE-EN 13554-3)

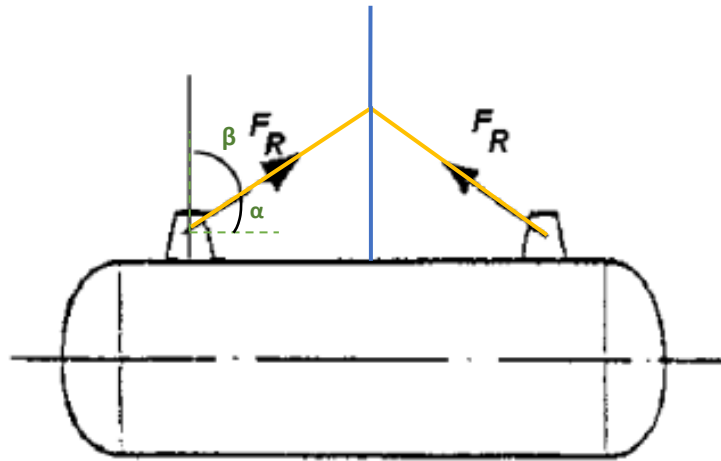


Ilustración 30. Esquema sistema de izado con orejetas

Según el esquema anterior, la **separación** medida sobre la generatriz que habrá entre las **orejetas es de 8,5 m** y la **longitud de la cuerda** desde la orejeta hasta el punto medio de separación entre orejetas, será de **6 m**, la inclinación de la cuerda es de $\alpha=44,9005^\circ$, lo que supone un ángulo $\beta=45,099^\circ$. Todo ello obtenido mediante relaciones trigonométricas en base al esquema anterior. El ángulo $\beta=45,099^\circ$ se redondea a **$\beta=45,10^\circ$** .

Es necesario calcular la fuerza aplicada F_R , sobre la orejeta que se calcula a partir de la siguiente expresión proporcionada por la norma UNE-EN 13445-3.

$$F_R = \frac{W}{2\cos\beta}$$

Para ello, es necesario calcular el peso del depósito vacío a partir de su masa ya calculada anteriormente.

$$W = 3987,8 \cdot 9,81 = 39.120,32 \text{ N}$$

Y la fuerza aplicada será, por tanto,

$$F_R = \frac{39.120,32}{2\cos(45,10^\circ)} = 27.710,65 \text{ N}$$

La norma establece para obtener los límites de carga admisibles de la envolvente lo siguiente:

“Límites de carga para la envolvente

Se debe utilizar el procedimiento siguiente para definir las cargas de las orejetas para izar máximas admisibles.

1) *Determinar si la orejeta para izar está en dirección longitudinal o circunferencial. NOTA Una orejeta para izar recta en una envolvente esférica se considera como una orejeta para izar longitudinal.*

2) *Para una orejeta para izar longitudinal, definir los valores de λ , u_1 , u_2 , K_{13} Y K_{14} se deben tomar del apartado 16.6.7, ecuaciones (16.6-13) a (16.6-16), con $b = b_1$. Si hay instalada una placa de refuerzo $b = b_3$. (..)*

4) Con los valores apropiados de λ , v_1 , v_2 , calcular la tensión límite de flexión según el capítulo 16.6.5, ecuación (16.6-6); (...)

6) Calcular la carga máxima admisible y compararla con la carga real

Debe cumplirse la desigualdad siguiente:

- sin placa de refuerzo:

$$F_R \leq F_{R,m\acute{a}x.} = \frac{\sigma_{b,all} e_a^2}{K_{13} |\cos\beta| + K_{14} |a_2 \sin\beta - a_1 \cos\beta| / b_1} "$$

(UNE-EN 13554-3)

Con las siguientes dimensiones para las orejetas, definidas en la Ilustración 29. Orejetas para izado longitudinal. UNE-EN 13445-3

a1=13 mm

a2=30 mm

b1= 110 mm

$$\lambda = \lambda_1 = \frac{b_1}{\sqrt{D_i e}} = 0,596$$

$$v_1 = \text{mín.} (0,08 \cdot \lambda_1; 0,20) = 0,0477$$

$$v_2 = 0,901$$

$$K_{13} = \frac{1}{1,2\sqrt{1 + 0,06 \cdot \lambda^2}} = 0,825$$

$$K_{14} = \frac{1}{0,6\sqrt{1 + 0,03 \cdot \lambda^2}} = 1,658$$

Además, $\sigma_{b,all}$ es la tensión límite de flexión y se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$\sigma_{b,all} = K_1 \cdot K_2 \cdot f = 1,0147 \cdot 1,25 \cdot 208 = 263,846$$

Con

$$K_1 = \frac{1 - v_2^2}{\left(\frac{1}{3} + v_1 v_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + v_1 v_2\right)^2 + (1 - v_2^2) v_1^2}} = 1,0147$$

$$F_{R,m\acute{a}x.} = \frac{\sigma_{b,all} e_a^2}{K_{13} |\cos\beta| + K_{14} |a_2 \sin\beta - a_1 \cos\beta| / b_1} = 238.092,56 \text{ N}$$

Por tanto, se puede comprobar que efectivamente,

$$F_R = 27.710,65 \text{ N} < 238.092,56 \text{ N} = F_{R,m\acute{a}x.}$$

2.4 PROTECCIÓN CONTRA IMPACTOS Y VUELCOS

El ADR establece en el “CAPÍTULO 6.8 DISPOSICIONES RELATIVAS A LA CONSTRUCCIÓN, LOS EQUIPOS, LA APROBACIÓN DEL PROTOTIPO, LOS CONTROLES, LOS ENSAYOS Y AL MARCADO DE LAS CISTERNAS FIJAS (VEHÍCULOS CISTERNA (...))” las siguientes disposiciones relativas a la protección contra daños que puedan estar ocasionados por impactos laterales o vuelcos:

Para **impactos laterales**:

“6.8.2.1.20 Para las cisternas construidas después del 1 de enero de 1990, existirá la **protección contra daños**, contemplada en el 6.8.2.1.19, cuando se tomen las siguientes medidas u otras equivalentes³: (...)

b) Para las cisternas destinadas al transporte de otras materias, existirá protección contra daño cuando:

1. Para los **depósitos de sección circular**, o elíptica con un radio de curvatura máximo que no supere 2 m., **el depósito se proveerá de refuerzos formados por mamparos, rompeolas, o de anillos exteriores o interiores, dispuestos de tal modo que, al menos, se cumpla una de las siguientes condiciones:**

- que la **separación entre dos refuerzos adyacentes no sea superior a 1,75 m**

- que el **volumen comprendido entre dos mamparos o rompeolas no supere los 7.500 litros**

La sección recta de un anillo, con la parte de virola asociada, tendrá un módulo de inercia, como mínimo, igual a 10 cm³.

Los anillos exteriores no tendrán ninguna arista viva de radio inferior a 2,5 mm.

Los mamparos y los rompeolas estarán de acuerdo con lo especificado en el 6.8.2.1.22.

El espesor de los mamparos y rompeolas no será, en ningún caso, inferior al del depósito. (...) (ADR, 2019)

Como se ha descrito en el apartado de Rompeolas, la cisterna dispone de **6 rompeolas**.

Para **vuelcos**:

“6.8.2.1.28 Protección de los órganos situados en la parte superior Los **órganos y accesorios situados en la parte superior de la cisterna estarán protegidos contra los daños ocasionados por un posible vuelco**. Esta protección puede consistir en unos **aros de refuerzo, unas capotas de protección o unos elementos, bien transversales o longitudinales**, de un perfil adecuado para garantizar una protección eficaz.”

“6.8.2.2.1 La máxima cantidad de órganos se agrupará en un mínimo de orificios en la pared del depósito. El equipo de servicio, incluyendo la tapa de las aberturas de

³ “Se entenderá por medidas equivalentes las medidas comprendidas en las normas referenciadas en 6.8.2.6.”

“inspección, conservará su estanqueidad incluso en caso de vuelco de la cisterna, a pesar de los esfuerzos, en especial las aceleraciones y la presión dinámica del contenido, originados por un choque. Sin embargo, se admitirá un ligero escape del contenido, debido a una punta de presión en el momento del choque.” (ADR, 2019)

Debido a que los **únicos accesorios** de la cisterna situados en la **parte superior** son dos **válvulas de alivio de presión totalmente internas** (véase su definición en TÉRMINOS Y DEFINICIONES. UNIDADES Y SÍMBOLOS y además de que por definición estas válvulas se encuentran **incrustadas en la envolvente** y no tienen elementos que sobresalgan de esta, el **parasol** de la cisterna se encuentra por **encima de ellas**. Por todo ello, **no** es necesario un **sistema para protección contra vuelcos**.

3 EQUIPOS Y ACCESORIOS

Los camiones cisterna que transportan GLP están dotados de una serie de equipos y accesorios necesarios durante el llenado, el transporte y la descarga del GLP. Además, existen otros equipos y accesorios opcionales que también pueden instalarse en estas cisternas.

La norma establece cuáles son estos equipos y accesorios, tanto los necesarios como los opcionales, y cuáles son las especificaciones y requisitos de montaje de éstos.

A continuación, se presenta una tabla extraída de la norma UNE-EN 12252 con todos los equipos y accesorios para camiones cisterna.

Descripción	Apartados	Obligatorio	Opcional
Accesorios			
Indicador de nivel	6.1.1/8.2	X	
Manómetro	6.1.2/8.3	X	
Sistema de cierre principal	6.1.3	X	
Indicador de temperatura	6.2/8.4		X
Válvula de seguridad de sobrepresión	6.2/8.11		X
Pantalla de protección solar	6.2		X
Equipo de GLP para el camión cisterna			
Tuberías	7.1.2/8.1.6	X	
Sistema de cierre de emergencia	11.2	X	
Mangueras	7.1.3/8.6	X	
Válvulas de expansión térmica/válvulas de seguridad de sobrepresión hidrostáticas	7.1.4	X	
Válvulas	8.10	X	
Compresor	7.2		X
Bomba	7.2/8.5		X
Carrete de la manguera	7.2/8.7		X
Sistema de medición	7.2/8.9		X
Conexión a tierra	7.1.5	X	
Bobinas de cable de puesta a tierra	7.2/8.8		X

Ilustración 31. Equipos y accesorios para camiones cisterna destinados al transporte de GLP. UNE-EN 12252

3.1 ACCESORIOS DEL DEPÓSITO

3.1.1 Indicador de nivel

El nivel máximo de llenado para el depósito de GLP, ya se estableció en el 85%, por tanto, es necesaria la instalación de un indicador de nivel, que nos indique el nivel de la fase líquida del GLP.

“Cuando el contenido del recipiente a presión se mide en volumen y no en peso, deben montarse al menos dos sistemas independientes de medición del contenido, pudiendo ser solamente uno de ellos un indicador fijo de nivel del líquido.

El tapón roscado del orificio de evacuación debe permanecer fijo en todas las circunstancias. El diseño del medidor de nivel rotativo debe tener en cuenta las vibraciones debidas al transporte.

Los medidores de nivel rotativos, cuando se utilicen, deben poder moverse libremente en el sentido de las agujas del reloj y en sentido contrario.” (UNE EN 12252)

Se instalará un nivel rotativo manual de la marca ROTOGAGES® con dial modelo A9091-18L de 1”.



Ilustración 32. Nivel rotativo para indicación del nivel del depósito

3.1.2 Manómetro

Es necesaria la instalación de un manómetro con el que se pueda obtener una medición válida de la presión en el interior del depósito.

Se instalará un manómetro de bronce de REGO modelo 1183 que mide una presión manométrica máxima de 500 psig lo que equivaldría a 34,5 bar (3,45MPa), suficiente para la cisterna que se ha diseñado.



Ilustración 33. Ejemplo de manómetro

3.1.3 Indicador de temperatura

La conexión de uno de estos permitirá medir la temperatura en el interior del depósito.

La norma establece que la medición de temperatura no se puede realizar directamente sobre el GLP, sino que habrá que instalar una bolsa termométrica sellada y realizar la medición con la sonda sobre ésta.

3.1.4 Válvula de seguridad de sobrepresión

Las válvulas de alivio de presión están pensadas para que se “disparen” en caso de aumento de presión en el interior del depósito. La **“acción de disparo, apertura rápida del elemento de sellado de la válvula para lograr una apertura total, resultante de un aumento de la presión de entrada creando un aumento repentino de la fuerza y en la compresión del resorte.”** (UNE EN 14129) y se produce a la **“presión de disparo, presión a la que se produce la acción de disparo.”** (UNE EN 14129). Una vez accionadas, si se produce el disparo, debe ser sustituido el mecanismo del mismo.

Se tiene que instalar en la parte de la envoltante de la **fase gaseosa** y tendrán soportar cualquier carga dinámica, así como el posible movimiento del fluido. Se instalarán **2 válvulas de seguridad** a lo largo de la generatriz de la mitad superior del cilindro de la envoltante. Estas válvulas son roscadas de 3” NPT y son de alivio de presión totalmente interna como la que se puede observar en la siguiente imagen.

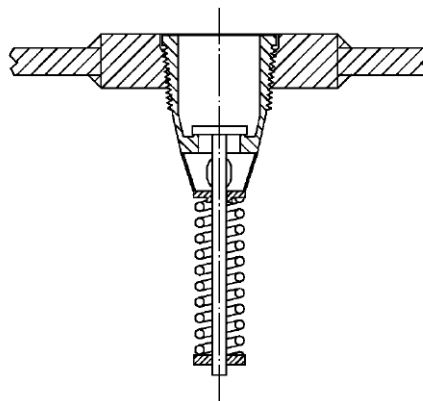


Ilustración 34. Esquema válvula de seguridad de sobrepresión. UNE EN 14129

Las tomas para los tres primeros elementos anteriores: nivel rotativo, manómetro e indicador de temperatura; se instalarán sobre la boca de hombre. Las válvulas de alivio se colocarán según lo indicado, todo ello puede verse en el apartado de

PLANOS.

3.1.5 Sistema de cierre principal

La letra B del código de la cisterna (P16BN) indica que las aberturas para el llenado o vaciado de la cisterna se encuentran al fondo de esta (en la fase líquida) y se dispone de 3 cierres. La norma establece que **“el camión cisterna debe de tener tres dispositivos de cierre independientes los unos de los otros por cada apertura de llenado o de descarga en la parte inferior.”** (UNE EN 12252)

Tendrá una **válvula interna de cierre, una válvula externa manual** y un tercer sistema de cierre en forma de **brida ciega o capuchón**.

La norma establece para las cisternas con sistema de llenado/vaciado por la fase líquida:

“Una válvula de cierre interna normalmente cerrada que se abra mediante la acción de una fuerza hidráulica, neumática o mecánica desde el camión cisterna debe diseñarse para que se cierre rápidamente una vez dada la orden (véase 11.2). El sistema debe incorporar un dispositivo termosensible o cualquier otro dispositivo que permita

asegurar un cierre seguro en el caso de que se produzca un incendio y debe incorporar un dispositivo limitador del caudal. La operación de la válvula interna debe ser completamente independiente de cualquier otra válvula y la válvula debe permanecer efectiva en el caso de que se deteriore la válvula externa manual.” (UNE EN 12252)

3.2 EQUIPOS DE GLP PARA EL CAMIÓN CISTERNA

En la Ilustración 31. Equipos y accesorios para camiones cisterna destinados al transporte de GLP. UNE-EN 12252 ha quedado reflejado todos los equipos del GLP, tanto obligatorios como opcionales que puede llevar el camión cisterna. Entre ellos encontramos:

3.2.1 Tuberías

*“Las tuberías deben **instalarse** de tal forma que se **evite el daño debido a las dilataciones y las contracciones térmicas, los impactos mecánicos y las vibraciones**. El número de uniones debe reducirse al mínimo posible.” (UNE EN 12252)*

3.2.2 Mangueras

Las mangueras empleadas para la descarga del camión deben ser diseñadas e instaladas según las siguientes directrices que indica la norma:

*“Las mangueras deben estar fabricadas de **una sola pieza sin uniones o empalmes intermedios** y no deben superar los **60 m de longitud**.”*

*Las **válvulas** situadas al **final de la manguera** de descarga del camión cisterna deben estar **protegidas frente a aperturas no intencionadas** y deben tener una localización en un **emplazamiento adecuado y seguro** con el fin de impedir su movimiento cuando el camión cisterna se está desplazando.*

*La manguera de descarga del camión cisterna con sus acoplamientos **debe ensayarse a una presión de 1,5 veces la presión de diseño**.” (UNE EN 12252)*

Se dispondrá además de arrollamientos para las mangueras. Estos aparatos podrán ser tanto manuales como a motor, y en cualquier caso deberán ser instalados con un freno que permita controlar la velocidad en la que se arrolla, así como un sistema que impida que se arrollen excesivamente.

Se instalan **mangueras flexibles de 1 ¼” y de 30m de longitud**. La válvula de suministro lleva un acople ACME 1 ¾”.

3.2.3 Válvulas de expansión térmica

La posibilidad de que quede **GLP en fase líquida en cualquier tramo de las tuberías** por las que circula hace necesaria la instalación de válvulas de expansión térmica. Se utilizan de la marca LESER tipo 459 como la que se muestra en la imagen.

“Deben disponerse válvulas de expansión térmica en todas las secciones de tubería en las cuales el líquido pueda quedar atrapado entre las válvulas cerradas. Las válvulas de expansión térmica deben colocarse de forma que no estén dirigidas hacia el recipiente a presión de GLP” (UNE EN 12252)



Ilustración 35. Válvula de expansión térmica

3.2.4 Válvulas

El sistema de válvulería del que dispondrá el camión cisterna debe cumplir una serie de requisitos para su correcto funcionamiento, lo cual se ve reflejado en la norma. Además de las válvulas de alivio de presión y de la válvula de expansión térmica existen otra serie de válvulas a lo largo del sistema.

3.2.4.1 Válvulas de corte

La norma establece para este tipo de válvulas lo siguiente:

*“Las válvulas de corte deben ser de **tipo esférico o de globo o deben ser una válvula de servicio**. Las válvulas esféricas deben estar de acuerdo con la Norma EN 1983:2013 o con la Norma EN 13547:2013. Las válvulas de globo deben estar de acuerdo con la Norma EN 13709:2010 o con la Norma EN 13789:2010.*

*La **posición y/o la dirección del cierre** de los dispositivos de corte deben ser **claramente visibles**. Esto se puede conseguir mediante el marcado, indicadores o señalización.” (UNE-EN 13175)*



Ilustración 36. Válvula de corte tipo esfera

Se instala una en la conexión a la fase gas y otra a la fase líquida. **La primera** es una válvula esférica de 2" con sistema "fire safe" y **la segunda** es el mismo tipo de válvula, pero de 3". Ambas de la marca comercial STARLINE.

3.2.4.2 Válvulas de fondo

Este tipo de válvula tiene una ubicación fundamental siendo **el primer paso del sistema de llenado/vaciado** del depósito. Su función es la de abrir o cerrar el paso directo entre el depósito y el exterior.

El sistema lleva dos válvulas de fondo, una a la salida de la conexión con la fase líquida y otra a la salida de la conexión con la fase gas. La primera es una **válvula de fondo con conexión embridada de 3"** que dispone de limitador interno de caudal, y la otra es una **válvula de fondo con conexión roscada de 2"** y también dispone de limitación interna del caudal.

Se instalarán de la marca comercial CAEN tipo VFRC-PN-V de 2" y 3" como se ha mencionado.



Ilustración 37. Válvula de fondo

Tras estas válvulas estarías las esféricas que se han comentado previamente. Combinadas tienen la función de sistema de seguridad frente a incendios, denominado "fire safe".

3.2.5 Toma y bobinas del cable de puesta a tierra

El camión cisterna debe disponer de una toma a tierra adecuada y debidamente señalada. Dispondrá de bobinas de cable para la puesta a tierra que *"debe tener continuidad eléctrica con el recipiente a presión."* (UNE EN 12252)

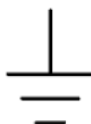


Ilustración 38. Símbolo para la señalización de la puesta a tierra

Dispondrá de las pinzas de puesta a tierra con mordientes de tungsteno y del cable en espiral de 3 m de longitud, modelo E500 de la empresa Soluciones electrostáticas, S.L., diseñadas especialmente para atmósferas potencialmente inflamables y para recipientes a presión por encima de los 200 l.



Ilustración 39. Pinzas y cable para puesta a tierra

3.2.6 Bomba

Se instalará un **grupo de bombeo de 3"** en el sistema de llenado/descarga que tendrá las siguientes especificaciones establecidas por la norma:

*“La **velocidad de rotación** del mecanismo de accionamiento debe ser **regulable** y con un dispositivo de control para evitar que se sobrepase la velocidad de rotación nominal de la bomba.*

*Para una bomba volumétrica, además de con un **by-pass interno**, la bomba o la tubería de salida debe equiparse con una **válvula de derivación separada**, regulada a una presión diferencial más baja, para asegurar el retomo automático del líquido en exceso hacia el recipiente a presión cuando la válvula de alimentación se encuentre cerrada. La válvula de derivación debe dimensionarse en función del caudal de descarga de la bomba.” (UNE EN 12252)*

3.3 SISTEMAS DE SEGURIDAD

El camión cisterna debe estar dotado de un sistema de seguridad para **evitar posibles accidentes**, así como, que **el producto que contiene sea liberado de forma inintencionada**. La norma establece entonces:

“Se debe proporcionar un sistema que impida que el camión cisterna se pueda desplazar en el caso de que se dé alguna de las siguientes circunstancias:

- a) la bomba de GLP está funcionando;*
- b) la válvula de cierre interno de descarga en fase líquida está abierta;*
- c) el interruptor principal está aislado;*
- d) la manguera de descarga no está totalmente enrollada.*

Las válvulas internas de los sistemas de llenado y descarga deben cerrarse automáticamente en caso de incendio.” (UNE EN 12252)

Se pueden instalar distintos sistemas de seguridad pero se opta por un **sistema de parada de emergencia** que la norma describe como: *“el equipo de GLP del camión cisterna debe incluir un*

sistema ESD que se inicie mediante un mínimo de dos dispositivos manuales localizados en posiciones adecuadas del camión cisterna y convenientemente identificados para indicar su uso.” (UNE EN 12252)

Se instalará un **sistema neumático por palancas** que actúa sobre las válvulas internas y un **pulsador para parada de emergencia** dotado de **enclavamiento** que actúa sobre la bomba y sobre las válvulas internas.

Además, se dispone de **dos extintores de polvo seco** de capacidad de **9 kg** para la carga, como el que se observa en la siguiente imagen.



Ilustración 40. Extintor de polvo seco de 9 kg

4 MARCADO Y ETIQUETADO

4.1 MARCADO

El ADR establece lo siguiente en materia al marcado de las cisternas y los vehículos de los vehículos-cisterna.

“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 inspección. En esta placa se mostrarán, por estampado o cualquier otro método semejante, como mínimo, los datos que se relacionan a continuación. Se admitirá que estos datos se graben directamente en las paredes del depósito propiamente dicho, con la condición de que estas se refuercen de modo que no se comprometa la resistencia del depósito:”

“- número de aprobación;

- designación o marca del fabricante;

- número de serie de fabricación;

- año de construcción;

- presión de prueba (presión manométrica);

- presión exterior de cálculo (véase 6.8.2.1.7);

- capacidad del depósito - para los depósitos de varios compartimentos, la capacidad de cada elemento-, seguido del símbolo "S" cuando los depósitos o los compartimentos de más de 7.500 litros estén divididos mediante rompeolas en secciones con una capacidad no superior a 7.500 litros;

- temperatura de cálculo (solamente si es superior a +50° C o inferior a -20° C);

- fecha y tipo de la última prueba sufrida “mes, año” seguido de una “P” cuando esta prueba es la prueba inicial o una prueba periódica según 6.8.2.4.1 y 6.8.2.4.2, o “mes, año” seguido por una “L” cuando esta prueba es una prueba de estanqueidad intermedia según el 6.8.2.4.3;

- cuño del perito que ha realizado las pruebas;

- material del depósito y referencia a las normas de los materiales, si fueran disponibles, y, en su caso, del revestimiento de protección;

- presión de prueba del conjunto del depósito y presión de prueba por compartimentos en MPa o bar (presión manométrica), si la presión por compartimentos fuera inferior a la presión para el depósito.”

“Además, la presión máxima de servicio autorizada se inscribirá sobre las cisternas de llenado o vaciado a presión.”

“Las indicaciones siguientes deben estar inscritas sobre el vehículo cisterna:

- nombre del propietario o del explotador

- masa en vacío del vehículo cisterna; y

- masa máxima autorizada del vehículo cisterna;” (ADR, 2019)

Además, existen unas **disposiciones particulares aplicables a la clase 2** en materia de construcción que afectan al marcado de los vehículos cisterna y que establece lo siguiente:

“Los datos que se enumeran a continuación, se mostrarán, estampados o por cualquier otro medio similar, sobre la placa prevista en el 6.8.2.5.1.

En cuanto a las cisternas destinadas al transporte de una sola materia:”

“- la designación oficial del transporte de gas y, por añadidura, para los gases afectados por un epígrafe n.e.p., la denominación técnica. ”

“Esta mención se completará:

- *para las cisternas destinadas al transporte de gases comprimidos que se cargan por peso, así como de los gases licuados, licuados refrigerados o disueltos, por el peso máximo admisible en kg. y por la temperatura de llenado, si ésta fuera inferior a -20 °C.”*

“En las cisternas provistas de aislamiento térmico:

- *la mención "calorifugada" o "aislada al vacío".”*

“Complementando las inscripciones previstas en el 6.8.2.5.2, las inscripciones siguientes deben figurar sobre el vehículo cisterna:”

“a) - el código cisterna, según el certificado (véase 6.8.2.3.1) con la presión de prueba efectiva de la cisterna;

- *la inscripción: "temperatura mínima de llenado autorizada:...";”*

“b) para las cisternas destinadas al transporte de una sola materia:

- *la designación oficial de transporte del gas y, además, para los gases afectados por un epígrafe n.e.p., la denominación técnica,*

- *para los gases comprimidos que se llenan por masa, así como para los gases licuados, licuados refrigerados o disueltos, la masa máxima de carga admisible en kg;”*

“d) para las cisternas provistas de aislamiento térmico:

- *la inscripción "calorifugado" o "aislado al vacío", en un idioma oficial del país de matriculación y, además, si este idioma no es el alemán, el inglés o el francés, en alemán, inglés o francés, excepto cuando los acuerdos establecidos entre los Estados interesados, si los hubiere, dispongan en contrario.” (ADR, 2019)*

4.1.1 Mercado π

La **Directiva Europea 2010/35/UE** es la que se encarga de **unificar y regular la seguridad durante el transporte de mercancías peligrosas dentro de la Unión Europea**, incluyendo además, las inspecciones periódicas y extraordinarias a las que los recipientes a presión transportables deben someterse. **El mercado π consiste en una etiqueta** que a continuación se describirá que certifica que se cumplen los requisitos de las Directivas 2008/38/UE y de la propia 2010/35/UE. El Real Decreto 1388/2011 es dicha Directiva traspasada a la legislación española.

En primer lugar, se describe cómo ha de ser la etiqueta de este mercado.

“Artículo 15. Reglas y condiciones para la colocación del mercado « π »”

*“1.El mercado « π » consistirá en el **símbolo** que se reproduce en el modelo siguiente:”*

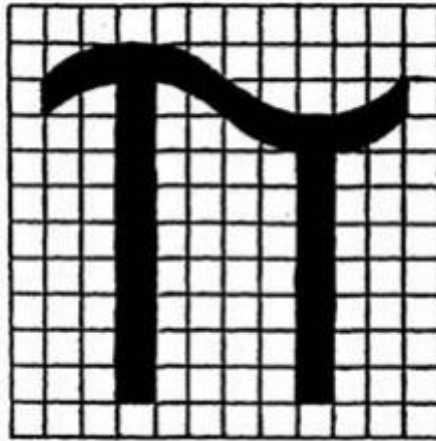


Ilustración 41. Marcado π

“2. La **altura mínima** del marcado « π » será de **5 mm**. Para los equipos a presión transportables con un diámetro igual o inferior a 140 mm la altura mínima será de 2,5 mm.”

“3. Se respetarán las proporciones del dibujo graduado del apartado 1. La **rejilla no forma parte del marcado.**”

“4. El marcado « π » se colocará en el equipo a presión transportable o en su placa de datos de manera visible, legible e indeleble, así como en las partes desmontables del equipo a presión transportable recargable que cumplan una función directa de seguridad.”

“5. El marcado « π » se colocará antes de introducir en el mercado un nuevo equipo a presión transportable o partes desmontables del equipo a presión transportable recargable que cumplan una función directa de seguridad.”

“6. El marcado « π » irá **seguido del número de identificación del organismo notificado que intervenga en los controles y ensayos iniciales**. El número de identificación del organismo notificado lo colocará el propio organismo, o siguiendo sus instrucciones, el fabricante.”

“7. El marcado de la fecha del control periódico o, cuando proceda, del control intermedio deberá ir acompañado del número de identificación del organismo notificado responsable del control periódico.” (Directiva 2010/35/UE)”

“Artículo 14. Principios generales del marcado « π »”

“1. El marcado « π » será colocado únicamente por el fabricante o, en los casos de reevaluación de la conformidad, con arreglo a lo dispuesto en el anexo III. En relación con las botellas de gas anteriormente conformes con las Directivas 84/525/CEE, 84/526/CEE o 84/527/CEE, el marcado « π » será colocado por el organismo notificado o bajo la supervisión del mismo.”

“2. El marcado « π » se colocará exclusivamente en los equipos a presión transportables que:”

“a) cumplan los requisitos relativos a la evaluación de la conformidad establecidos en los anexos de la Directiva 2008/68/CE y en la presente Directiva, o”

“b) cumplan los requisitos relativos a la reevaluación de la conformidad mencionados en el artículo 13.”

“No se colocarán en ningún otro equipo a presión transportable.”

“3. Con la colocación del marcado «П», **el fabricante indica que asume la responsabilidad de la conformidad del equipo a presión transportable con todos los requisitos aplicables establecidos en los anexos de la Directiva 2008/68/CE y en la presente Directiva.**”

“4. A los efectos de la presente Directiva, el marcado «П» será el único marcado que **acredite la conformidad del equipo a presión transportable con los requisitos aplicables establecidos en los anexos de la Directiva 2008/68/CE y en la presente Directiva.**”

“5. Queda prohibido fijar en los equipos a presión transportables marcados, signos e inscripciones que puedan inducir a terceros a error sobre el significado o la forma del marcado «П». **Cualquier otro marcado se colocará en los equipos a presión transportables de forma que no afecte a la visibilidad, la legibilidad y el significado del marcado «П.**”

“6. Las partes desmontables de los equipos a presión transportables recargables con una función directa de seguridad llevarán el marcado «П».”

“7. **Los Estados miembros se asegurarán de la correcta aplicación del régimen que regula el marcado «П» y emprenderán las acciones oportunas en caso de uso incorrecto del marcado. Los Estados miembros establecerán asimismo las correspondientes sanciones, que podrán incluir sanciones penales por infracciones graves. Dichas sanciones deberán ser proporcionadas a la gravedad de la infracción y constituir un elemento eficaz de disuasión contra el uso incorrecto del marcado.**” (Directiva 2010/35/UE)

4.2 ETIQUETADO

4.2.1 Placas-etiquetas

Las cisternas y los vehículos de los vehículos-cisterna deberán estar debidamente identificadas según la sustancia que transporten. Es muy importante la correcta instalación de las placas-etiquetas pues éstas podrán ser cruciales frente a un siniestro o durante otro tipo de accidente no deseado. Pueden ser vitales en la pronta identificación de la sustancia con la consiguiente toma de decisiones en cuanto a cómo actuar frente a la situación que se esté desarrollando. Proporcionan una identificación incluso a distancia de la que se obtendrán todas las características de la sustancia, propiedades físico-químicas y el riesgo que estas suponen.

La norma establece en esta materia que:

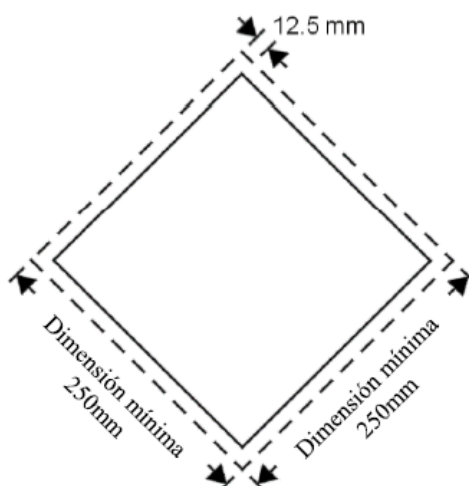
“Las placas-etiquetas corresponderán a las etiquetas prescritas en la columna (5) y, en su caso, la columna (6) de la tabla A del capítulo 3.2 para las mercancías peligrosas contenidas en el contenedor, contenedores para granel, CGEM, MEMU, contenedor cisterna, cisterna portátil o vehículo y serán conformes a las especificaciones de 5.3.1.7. Las placas-etiquetas deberán figurar sobre un fondo de color que ofrezca un buen contraste o ir rodeadas de un borde de trazo continuo o discontinuo. Deberán ser resistentes a la intemperie y garantizar una señalización que dure todo el transporte.” (ADR, 2019)

La **ubicación** de las placas-etiquetas será la siguiente:

“Las placas-etiquetas deberán fijarse en los dos laterales y la trasera del vehículo.” (ADR, 2019)

Las **características** de las placas-etiquetas son las siguientes:

“Una placa-etiqueta deberá ser diseñada como indica la figura 5.3.1.7.1:”



“La placa etiqueta deberá tener la forma de un **cuadrado colocado sobre un vértice formando un ángulo de 45º (en rombo)**. Las **dimensiones mínimas** deberán ser de **250 mm x 250 mm (hasta el borde de la placa-etiqueta)**. La **línea interior** deberá ser **paralela al borde de la placa-etiqueta y encontrarse a una distancia de 12,5 mm**. El **símbolo y la línea** trazada en el interior de la placa-etiqueta deberán ser del **mismo color** que la **etiqueta de la clase o división** que formen parte de las mercancías peligrosas en cuestión. El **símbolo/cifra** correspondiente a la clase o división deberán ser colocados y proporcionados conforme a las prescripciones respectivas del 5.2.2.2 para las materias peligrosas en cuestión. La placa-etiqueta llevará el número de la clase o división de las materias peligrosas de que se trate, de la manera prescrita en 5.2.2.2 para la etiqueta correspondiente, **la altura de los caracteres no debe ser inferior a 25 mm**. Cuando las dimensiones no estén especificadas, todos los elementos deben respetar aproximadamente las proporciones representadas. Las variaciones incluidas en 5.2.2.2.1, segunda frase, 5.2.2.2.1.3, tercera frase y 5.2.2.2.1.5, para las etiquetas de peligro, se aplicarán igualmente a las placas etiquetas. **Las etiquetas deberán observar las disposiciones siguientes y ser conformes, por el color, los símbolos convencionales y la forma general, a los modelos de etiquetas ilustrados en 5.2.2.2.** Los modelos correspondientes que se requieran para otros medios de transporte, con variaciones menores que no afecten al significado obvio de la etiqueta, pueden igualmente ser aceptados.” (ADR, 2019)

Los modelos de etiquetas del apartado 5.2.2.2.2 del ADR se adjuntan como anexo y se pueden consultar en el siguiente enlace: ANEXO II. MODELOS DE ETIQUETAS.

Por tanto, las placas-etiquetas serán:



Ilustración 42. Placas-etiquetas gas inflamable clase 2

4.2.2 Panel naranja

“Las unidades de transporte que lleven mercancías peligrosas llevarán, **dispuestos en un plano vertical, dos paneles rectangulares de color naranja** conforme al 5.3.2.2.1. **Se fijará uno en la parte delantera de la unidad de transporte y el otro en la parte trasera, perpendicularmente al eje longitudinal de ésta. Habrán de ser bien visibles.**

En el caso de que se separe un remolque que contiene mercancías peligrosas de su vehículo portador durante el transporte de mercancías peligrosas, el panel naranja deberá permanecer unido a la parte trasera del remolque. Cuando las cisternas estén señalizadas conforme al 5.3.2.1.3, este panel deberá corresponder a la materia más peligrosa transportada en la cisterna.” (ADR, 2019)

Las **características** de los paneles-naranja se establecen a continuación:

“Los paneles-naranja deben ser **retroreflectantes** y deberán tener una **base de 40 cm. y una altura de 30 cm.**; llevarán un **ribete negro de 15 mm.** El material utilizado debe ser **resistente a la intemperie y garantizar una señalización duradera.** El panel **no deberá separarse de su fijación después de un incendio de una duración de 15 minutos.** Permanecerá fijado sea cual sea la orientación del vehículo Los paneles-naranja pueden presentar en el medio una línea horizontal con una anchura de 15 mm.” (ADR, 2019)

Para los **números** las características son las siguientes:

“El **número de identificación de peligro y el número ONU** deberán estar constituidos por **cifras negras de 10 cm. de altura y de 15 mm. de espesor.** El **número de identificación del peligro** deberá inscribirse en la **parte superior del panel** y el **número ONU** en la **parte inferior**; estarán separados por una **línea negra horizontal de 15 mm. de espesor que atraviese el panel a media altura (véase 5.3.2.2.3).** El **número de identificación de peligro y el número de ONU** deberán ser **indelebles y permanecer visibles después de un incendio de una duración de 15 minutos.** Las cifras y las letras intercambiables sobre los paneles que representen el número de identificación de peligro y el número ONU permanecerán en su lugar durante el transporte y sin tener en cuenta la orientación del vehículo.” (ADR, 2019)



Ilustración 43. Ejemplo panel naranja. ADR, 2019

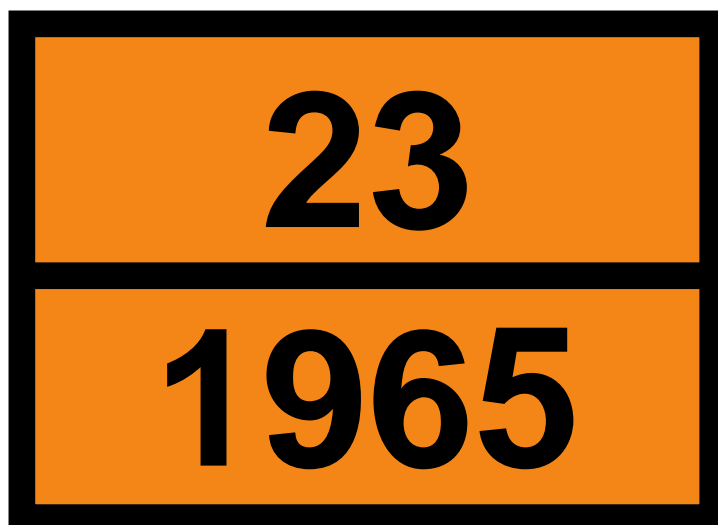


Ilustración 44. Panel naranja para GLP

4.2.3 Ubicación del etiquetado

En el siguiente esquema se presenta la ubicación de las placas-etiquetas y de los paneles-naranja.

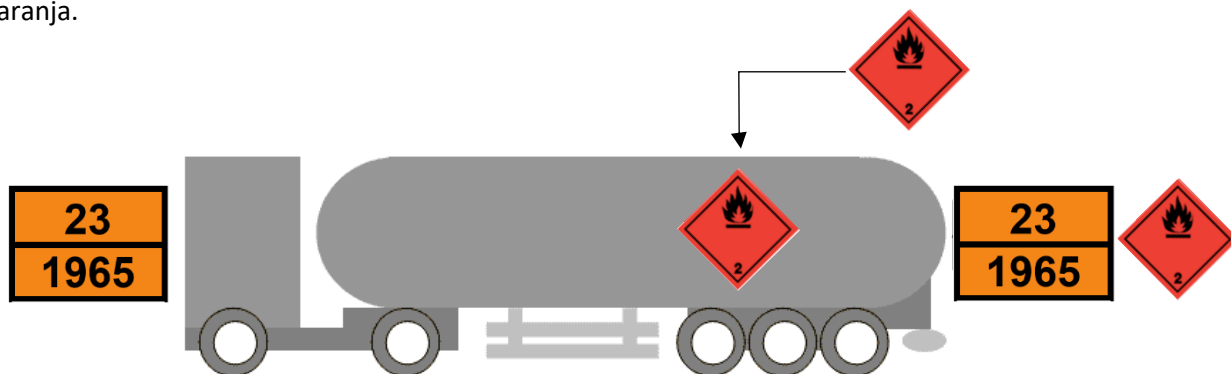


Ilustración 45. Esquema de ubicación del etiquetado

5 DOCUMENTACIÓN DE LA CISTERNA

“El dossier de la cisterna debe ser conservado por el propietario o el explotador quien debe estar en condiciones de presentar estos documentos a petición de la autoridad competente. El dossier de esta cisterna deberá guardarse durante toda la vida de la cisterna y conservarse durante 15 meses después de que la cisterna se retiró del servicio.

En caso de cambio de propietario o explotador, durante la duración de la vida de la cisterna, el dossier de la cisterna debe transferirse sin demora a este nuevo propietario o explotador.

Copias del dossier de la cisterna, o de todos los documentos necesarios, deberán ponerse a disposición del experto para las pruebas, inspecciones y verificaciones de las cisternas, según el 6.8.2.4.5 ó 6.8.3.4.18, con motivo de las inspecciones periódicas o excepcionales.” (ADR, 2019)

VEHÍCULO

La Tabla A (ANEXO I. TABLA A) prescribe para el transporte de GLP, sustancia con número ONU 1965, un **vehículo FL**. Además, el ADR establece que:

“Cuando se prescriba un vehículo FL, solo podrá utilizarse este tipo;” (ADR, 2019)

Y define el vehículo FL como sigue:

““Vehículo FL”: (...)

*b) un **vehículo destinado al transporte de gases inflamables en cisternas fijas o desmontables con capacidad superior a 1 m³ o en contenedores cisterna, en cisternas portátiles o CGEM con capacidad individual superior a 3 m³; (...)**”* (ADR, 2019)

1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

1.1 EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO

El ADR establece lo siguiente en materia de equipamiento eléctrico para los vehículos FL

*“La instalación deberá ser **diseñada, realizada y protegida de manera que no pueda provocar ni inflamación, ni corta circuitos**, en las condiciones normales de utilización de los vehículos.”* (ADR, 2019)

1.1.1 Canalizaciones

1.1.1.1 Cables

*“Ningún cable utilizado en un circuito eléctrico **no deberá transmitir una corriente eléctrica de una intensidad superior a la cual ha sido diseñado**. Los conductores deberán estar convenientemente **aislados**. Los cables deberán estar **adaptados a las condiciones** en las cuales esté previsto utilizarlos, concretamente las condiciones **de temperatura y compatibilidad con los fluidos**. Deberán ser conformes a **la norma ISO 6722-1:2011 + Cor. 01:2012 o ISO 6722-2:2013**. Los cables deberán estar **sólidamente sujetos y colocados de manera que estén protegidos contra las agresiones mecánicas y térmicas.**”* (ADR, 2019)

1.1.1.2 Protección suplementaria

*“Los **cables situados en la trasera de la cabina de conducción y sobre los remolques** deberán, además, estar **protegidos de manera que se reduzcan al mínimo los riesgos de inflamación o de corto circuito accidental en caso de choque o deformación**. Esta protección suplementaria deberá estar adaptada a las condiciones normales de utilización del vehículo. **La protección suplementaria estará asegurada cuando se utilicen cables multifilamentos conforme a la norma ISO 1472:2011, o uno de los ejemplos de las figuras 9.2.2.2.1 a 9.2.2.2.4 siguientes, o cualquier otra configuración que ofrezca una protección similar.**”* (ADR, 2019)

Figura 9.2.2.2.2.1

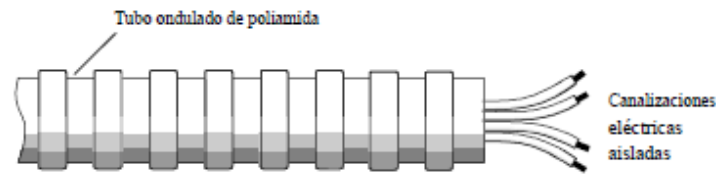


Figura 9.2.2.2.2.

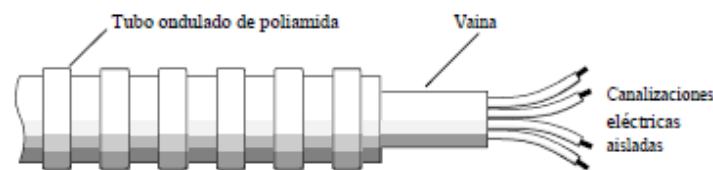


Figura 9.2.2.2.2.3

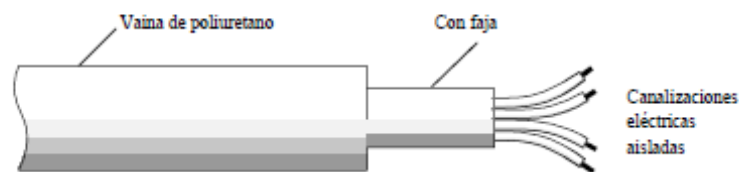


Figura 9.2.2.2.2.4

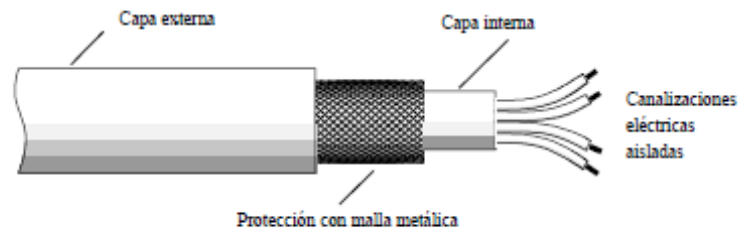


Ilustración 46. Protecciones suplementarias para cables. ADR 2019

1.1.2 Fusibles y disyuntores

“Todos los circuitos deberán estar protegidos por fusibles o disyuntores automáticos, con excepción de los circuitos siguientes:

- de la batería de arranque al sistema de arranque en frío;
- de la batería de arranque al alternador;
- del alternador a la caja de fusibles o disyuntores;
- de la batería de arranque al arranque del motor;
- de la batería de arranque a la caja de mando de potencia del dispositivo de frenado de resistencia (ver 9.2.3.1.2), si este dispositivo es eléctrico o electromagnético;
- de la batería de arranque al mecanismo de elevado eléctrico del eje del bogie.

Los circuitos anteriores, no protegidos, deberán ser lo más cortos posibles.” (ADR, 2019)

1.1.3 Baterías

“Los bornes de las baterías deberán estar aislados eléctricamente o cubiertos por la tapa del cofre aislado de la batería. Las baterías que puedan desprender gases inflamables y que estuvieran situadas en otra parte que no fuera bajo el capó del motor, deberán estar instaladas en un cofre de baterías ventilado.” (ADR, 2019)

1.1.4 Iluminación

“Las fuentes luminosas provistas de un casquillo a rosca no deben ser utilizadas.” (ADR, 2019)

1.1.5 Conexiones eléctricas entre los vehículos a motor y los remolques

“Las conexiones eléctricas deberán ser diseñadas de manera que prevengan:

- la penetración de humedad y de impurezas; las partes conectadas deberán tener un grado de protección de al menos IP 54 conforme a la norma CEI 60529;
- una desconexión accidental; los conectores deberán satisfacer las prescripciones del artículo 5.6 de la norma ISO 4091:2003.

Las prescripciones del 9.2.2.6.1 se consideran satisfactorias:

- en el caso de conectores que respondan a las necesidades específicas conforme a las normas ISO 12098:20041 , ISO 7638:20031 , EN 15207:20141 o ISO 25981:20081 ;
- cuando las conexiones eléctricas formen parte de un dispositivo de enganche automático (ver Reglamento ONU Nº 552).

Las demás conexiones eléctricas que sirvan para el buen funcionamiento de los vehículos o de sus equipos podrán ser utilizadas a condición de que cumplan las disposiciones del 9.2.2.6.1.” (ADR, 2019)

1.1.6 Corta corrientes de baterías

“Deberá montarse, lo más próximo posible a la batería, un interruptor que permita cortar los circuitos eléctricos. Cuando se emplee un interruptor monopolar, deberá estar colocado en el cable de alimentación y no en el cable de tierra.

En la **cabina de conducción**, se deberá instalar un **dispositivo de mando para la abertura y el cierre del interruptor. Deberá ser fácilmente accesible al conductor y estar claramente señalizado. Estará equipado, bien de una tapa de protección, de un mando de movimiento complejo, o de cualquier otro dispositivo que evite su accionamiento involuntario. Se podrán instalar dispositivos de mando adicionales a condición de que estén claramente señalizados y protegidos contra una maniobra intempestiva. Si el o los dispositivos de mando se accionan eléctricamente, sus circuitos estarán sometidos a las prescripciones del 9.2.2.9. 9.2.2.8.3 El interruptor deberá cortar los circuitos en los 10 segundos siguientes al accionamiento del dispositivo de mando.**

El interruptor deberá estar colocado en una caja que tenga un grado de protección IP 65 conforme a la norma CEI 60529.

Las conexiones eléctricas del interruptor deberán tener un grado de protección IP 54 conforme a la norma CEI 60529. Sin embargo, esto no será exigible si las conexiones están en el interior de

un cofre, que podrá ser el de las baterías. En este caso será suficiente proteger las conexiones contra los corto circuitos por medio de una tapa de caucho, por ejemplo.” (ADR, 2019)

1.1.7 Circuitos alimentados permanentemente

*“a) Las partes de la instalación eléctrica, incluyendo los cables, que deban permanecer en tensión cuando el corta corrientes de baterías esté abierto, deberán ser de características apropiadas para su utilización en una zona peligrosa. Este **equipamiento deberá satisfacer las disposiciones generales de la norma CEI 60079, partes 0 y 143 y las disposiciones adicionales aplicables de esta misma norma, partes 1, 2, 5, 6, 7, 11, 15, 18, 26 o 28;**”*

*“b) Para la aplicación de la norma CEI 60079, **parte 143, se deberá respetar la siguiente clasificación:**”*

“El equipamiento eléctrico bajo tensión permanentemente, incluyendo los cables, que no esté sometido a las disposiciones de los 9.2.2.4 y 9.2.2.8 deberá cumplir las disposiciones aplicables a la zona 1 para el equipamiento eléctrico en general, o las disposiciones aplicables a la zona 2 para el equipamiento eléctrico situado en la cabina del conductor. Deberá responder las disposiciones aplicables al grupo de explosión IIC, clase de temperatura T6.”

*“No obstante, **para el equipo eléctrico bajo a tensión permanente situado en un medio ambiente en el que la temperatura engendrada por el material no eléctrico situado en ese mismo medio ambiente sobrepase los límites de temperatura T6, la clase de temperatura del equipo eléctrico bajo tensión permanente deberá ser al menos la de la clase T4.**”*

*“c) Los cables de alimentación del equipamiento eléctrico bajo tensión permanentemente deben ser conformes con las disposiciones de la norma CEI 60079, parte 7 (“Seguridad aumentada”) y **estar protegidos por un fusible o un disyuntor automático colocado lo más cerca posible a la fuente de tensión, o bien, en el caso de un equipamiento “intrínsecamente seguro”, estar protegidos por una barrera de seguridad colocada lo más cerca posible a la fuente de tensión.**” (ADR, 2019)*

1.2 EQUIPAMIENTO DE FRENADO

1.2.1 Frenado antibloqueo

*“Aplicable a los **vehículos a motor (tractores y portadores) de una masa máxima que sobrepase 16 toneladas y los vehículos a motor autorizados a traccionar remolques (es decir, los remolques completos, los semirremolques y los remolques de eje central) de una masa máxima que sobrepase 10 toneladas.** Los vehículos a motor deberán estar equipados de un dispositivo de **frenado antibloqueo de la categoría I.** Aplicable a **los remolques (es decir, los remolques completos, los semirremolques y los remolques de eje entral) de una masa máxima que sobrepase 10 toneladas.** Los remolques deberán estar equipados de **un dispositivo de frenado antibloqueo de la categoría A.**”*

Aplicable a los vehículos a motor, así como los remolques de una masa máxima superior a 3,5 toneladas, matriculados por primera vez (o puestos en servicio, en el caso donde la matriculación no sea obligatoria) después del 31 de marzo de 2018.”

1.2.2 Frenado de resistencia

*“Aplicable a los **vehículos a motor de una masa máxima superior a 16 toneladas o autorizados a traccionar remolques de una masa máxima superior a 10 toneladas**. El dispositivo de frenado de resistencia deberá ser del **tipo IIA**.” (ADR, 2019)*

1.3 PREVENCIÓN DE RIESGO DE INCENDIO

1.3.1 Depósitos y botellas de carburante

*“Los depósitos y botellas de carburante **para la alimentación del motor del vehículo** deberán responder a las disposiciones siguientes:”*

*“a) En caso de fugas, sobrevenidas en condiciones normales de transporte, **el carburante líquido o la fase líquida de un carburante gaseoso, se deberá canalizarse hasta el suelo sin entrar en contacto con la carga ni con las partes calientes del vehículo; (...)**” (ADR, 2019)*

1.3.2 Motor

“Los motores que arrastren los vehículos deberán ir equipados y estar ubicados de modo que se evite cualquier peligro para el cargamento a consecuencia de un recalentamiento o inflamación. (...)” (ADR, 2019)

1.3.3 Dispositivo de escape

*“El dispositivo de escape (incluyendo los tubos de escape) **debe dirigirse o protegerse de modo que se evite cualquier peligro para el cargamento a causa de un recalentamiento o inflamación**. Las partes del escape que se encuentren directamente debajo del depósito de carburante (diésel) se deberán hallar a **una distancia mínima de 100 mm o estar protegidas por una pantalla térmica**.” (ADR, 2019)*

1.3.4 Freno de resistencia del vehículo

*“Los vehículos equipados con un dispositivo de frenado de resistencia que emita temperaturas elevadas, situado detrás de la pared posterior de la cabina, deberán estar provistos de un aislamiento térmico entre el dispositivo y la cisterna o el cargamento, fijado de modo sólido y colocado de tal manera que permita evitar cualquier recalentamiento, aunque sea limitado, de la pared de la cisterna o el cargamento. Además, **este aislamiento deberá proteger al aparato contra las fugas o derrames, incluso accidentales, del producto transportado**. Se considerará satisfactoria una protección que tenga, por ejemplo, una capota con pared doble.” (ADR, 2019)*

2 DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS

*“Además del vehículo propiamente dicho o los elementos del tren de carretera que haga sus veces, **un vehículo cisterna consta de uno o varios depósitos, de sus equipamientos y de las piezas de unión al vehículo o a los elementos del tren de carretera**.” (ADR, 2019)*

2.1 CONEXIÓN EQUIPONENCIAL DE LOS VEHÍCULOS FL

“Las cisternas metálicas o de material plástico reforzado con fibras de los vehículos cisterna FL, y los elementos de los vehículos batería deberán estar unidos al chasis del vehículo, al menos,

por una buena conexión eléctrica. Se deberá evitar cualquier contacto metálico que pudiera originar una corrosión electroquímica.” (ADR, 2019)

La **disposición especial S2** que se puede consultar en el apartado de DISPOSICIONES ESPECIALES, hace referencia precisamente a esto. A la necesidad de que se disponga de un **sistema que conecte eléctricamente el chasis y la tierra** antes de realizar operaciones de carga o descarga del depósito. Todo ello con el fin de **evitar que se acumulen cargas electrostáticas**. Por ello, el equipo de accesorios del depósito y del GLP dispone de una **toma y cable de conexión a tierra**, como queda reflejado en el apartado Toma y bobinas del cable de puesta a tierra. Además, la precaución frente a la electricidad estática **afectará también a la velocidad del flujo** tanto en la carga como descarga.

El Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España, realiza unas guías de buenas prácticas que a pesar de no ser obligatorias (salvo estar recogidas además en la legislación) son de uso recomendable.

A continuación, se recoge una lista de las NTP relativas a lo que se ha comentado:

- *“NTP 374: Electricidad estática: carga y descarga de camiones cisterna (I)”*
- *“NTP 375: Electricidad estática: carga y descarga de camiones cisterna (II)”*
- *“NTP 225: Electricidad estática en el trasvase de líquidos inflamables”*
- *“NTP 567: Protección frente a cargas electrostáticas”*

2.2 ESTABILIDAD DE LOS VEHÍCULOS CISTERNA

“El ancho total de la superficie de apoyo en la calzada (la distancia que hay entre los puntos de contacto exteriores de los neumáticos derecho e izquierdo de un mismo eje con la calzada) deberá ser, como mínimo, igual al 90% de la altura desde el centro de gravedad, de los vehículos cisterna cargados” (ADR, 2019)

PLANOS

2.3 PROTECCIÓN POSTERIOR DE LOS VEHÍCULOS

“La parte posterior del vehículo deberá estar dotada, en todo el ancho de la cisterna, de un parachoques suficientemente resistente a los impactos traseros. Entre la pared posterior de la cisterna y la parte posterior del parachoques, deberá existir una separación mínima de 100 mm (esta separación se medirá referenciada al punto más posterior o a los accesorios salientes en contacto con la materia transportada).”

3 SEÑALIZACIÓN

El vehículo cisterna debe disponer en su parte posterior, en el semirremolque, de la placa de gran longitud. Dicha placa deberá ponerse en todos aquellos vehículos cuya longitud rebase los 12 m. Dicha señal es la V-6 y se recoge en el “Anexo XI del Reglamento General de Vehículos”. Es una placa *“de 130 centímetros de longitud y 25 centímetros de altura con el fondo de color amarillo reflectante y borde rojo fluorescente de 4 centímetros. Cuando no sea posible centrar esta placa por las características constructivas del vehículo, y resulte aconsejable para su mejor colocación, aquella placa podrá ser sustituida por dos de características análogas, pero con 50*

centímetros de longitud, situadas simétricamente a ambos lados del eje del vehículo y tan cerca de sus bordes como sea posible. Tanto en un caso como en otro, las placas se colocarán a una distancia del suelo entre 50 y 150 centímetros”

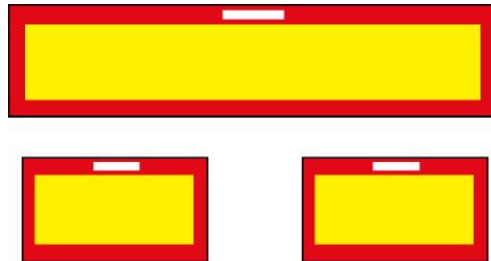


Ilustración 47. Señal V-6 para vehículos de gran longitud

4 RESTRICCIONES EN TÚNELES

“Las restricciones al transporte de mercancías peligrosas especificadas en los túneles están fundamentadas en los códigos de restricciones en túneles de las mercancías indicadas en la columna (15), de la Tabla A, del capítulo 3.2. Los códigos de restricciones en túneles figuran entre paréntesis en la parte baja de la casilla. Cuando “(-)” este indicada en lugar de uno de los códigos de restricción en túneles, las mercancías peligrosas no están sujetas a ninguna restricción en túneles.” (ADR, 2019)

El código de restricción para este vehículo cisterna es el siguiente:

“B/D Transporte en cisternas: Prohibido el paso por túneles de categorías B, C, D y E;
Otros transportes: Prohibido el paso por túneles de categorías D y E”
(ADR, 2019)

SEMIRREMOLQUE. UNIÓN SEMIRREMOLQUE A CABEZA TRACTORA

En el apartado Fijación del depósito al chasis, se describió el diseño y los cálculos necesarios para las fijaciones del depósito al chasis del semirremolque.

A continuación, se pretende describir dicho semirremolque además de la forma de unión de éste al grupo tractor.

1 SEMIRREMOLQUE

Un semirremolque consiste en un chasis constituido por 2 vigas longitudinales de sección en doble T que se estrechan en la parte delantera dándole forma de cuello. Esta es la posición en la que se instala el perno o King-pin. Estas vigas están unidas por travesaños que le dan mayor resistencia.

"Características conjunto rodante"	
Longitud	12.810 mm
Ejes	3 ejes SAF, buje 20". 2 ruedas por eje. Disco freno de 430x45
Suspensión	Neumática
Neumáticos	2 ruedas por eje tipo 385-65R22.5. Llantas de aluminio.
King-pin	Acoplamiento de 2", de plato, desmontable desde el exterior (ISO 337)
Frenos	Directica 71/320 CEE, de doble circuito. EBS 2SM + RSS. Cabezas de acoplamiento (ISO 1728), con filtro. Freno de aparcamiento efectuado por actuadores neumáticos a dos ejes.
Pies de apoyo	Telescópicos, mecánicos. Carga estática: 50tm. Carga en elevación: 24 tm.
Instalación eléctrica	Blindada de 24 V. 2 conectores de 7 polos (ISO 1185 24N e ISO 3731 24S). Platos traseros de 6 servicios: antiniebla, marcha atrás, freno, posición, intermitencia. Luces laterales. Caja de cierre hermético.
Otros	Antiepatramiento trasero de aluminio, homologación CEE. Antiepatramientos laterales. Guardabarros con faldilla en todas las ruedas.
Accesorios	Conjunto de llaves para rueda y cubo, para ruedas. Cajón de herramientas. 2 cajones para extintores. Placas y señales según ADR. Dispositivos reflectantes delanteros y traseros. Calces.
Marca comercial	TECNOKAR TRAILERS

Tabla 25. Características del semirremolque

2 UNIÓN

Cuando se dispone del depósito fijado sobre el chasis del semirremolque se procede a unir éste a la cabeza tractora. Esta unión se efectúa mediante dos elementos denominamos "Quinta rueda" y "King-pin o perno rey"

2.1 QUINTA RUEDA

Consiste en un mecanismo de seguridad instalado en la cabeza tractora de los camiones cuya finalidad es unir y mantener unida la cabeza tractora y el remolque o semirremolque. Entre ambos se deja un espacio que permite las maniobras durante el transporte. Se encuentra en el

chasis de la cabeza tractora, entre las 4 ruedas y paralelo al suelo. Su funcionamiento consiste en bloquear el King-pin mediante la mordaza que presenta como una ranura en forma de v. Es un mecanismo muy resistente y seguro, indicado para los transportes de mercancías pesadas o peligrosas. A pesar de que no requiere un mantenimiento exhaustivo, necesitará mantenerse siempre lubricado.

Pueden ser fijas o deslizables, las primeras son indicadas para aquellos vehículos cuyo largo es constante, la posición del King-pin es constante y también la carga, como es este caso.

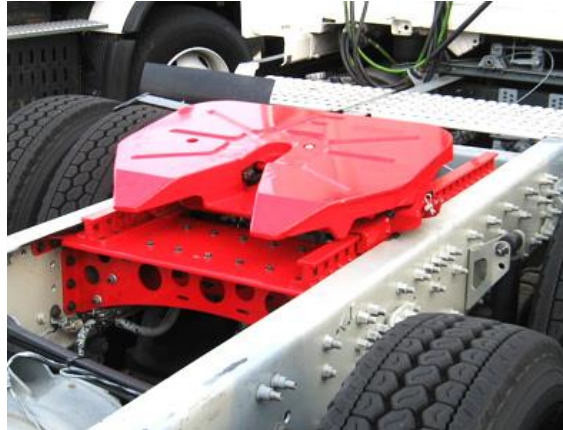


Ilustración 48. Quinta rueda instalada en cabeza tractora

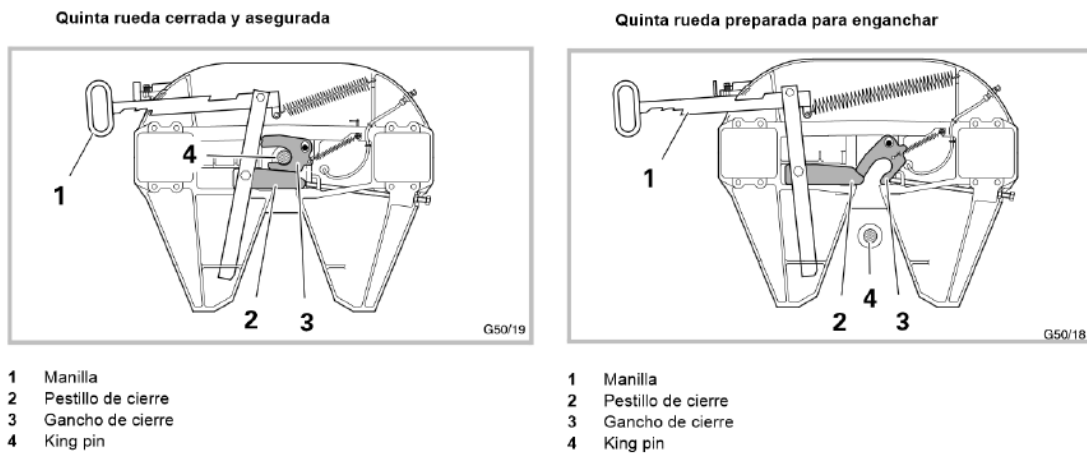


Ilustración 49. Esquema funcionamiento Quinta rueda

2.2 KING-PIN, PERNO REY

Es el elemento de enganche ubicado en la parte delantera del chasis del semirremolque y que entra en la quinta rueda. Se utilizará un King-pin con acoplamiento de 2" y desmontable desde el exterior como se mencionó previamente.

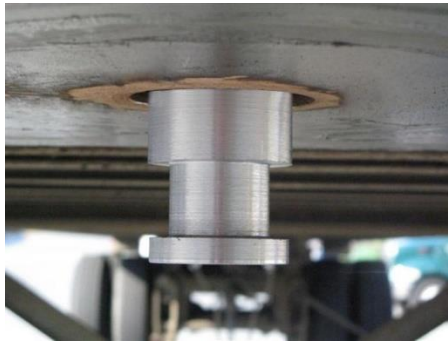


Ilustración 50. King-pin o perno rey

La unión consiste en aproximar la cabeza tractora al semirremolque a una distancia a la que pueda realizarse las conexiones eléctricas y neumáticas entre ambas. Una vez realizado, se acciona la manilla de la quinta rueda para prepararla para el enganche con el perno. Además, se debe comprobar la altura a la que se encuentran el semirremolque y la cabeza para que se produzca satisfactoriamente la unión. Una vez realizado todo lo anterior, se acercará la cabeza tractora hasta el semirremolque de manera alineada hasta que se realice el acoplamiento.

CONTROLES, ENSAYOS Y PRUEBAS DEL CAMIÓN CISTERNA

Este apartado se desarrolla bajo las disposiciones del ADR 2019 y de la norma UNE-EN 14334 “Equipos y accesorios para GLP Inspección y ensayo de camiones cisterna para gases licuados del petróleo (GLP)”

El ADR establece las siguientes disposiciones relativas a los controles y ensayos.

“Los depósitos y sus equipos se someterán, bien en conjunto o por separado, a un control inicial previo a su puesta en servicio. Este control comprenderá:”

- “verificación de la conformidad con el tipo autorizado;”
- “verificación de las características de construcción⁴,”
- “examen del estado interior y exterior;”
- “prueba de presión hidráulica⁵ a la presión de prueba indicada en la placa prescrita en 6.8.2.5.1, y”
- “prueba de estanqueidad y verificación del buen funcionamiento del equipo.”

“La primera prueba de presión hidráulica se realizará antes de la colocación del aislamiento térmico.”

“Por derogación de las disposiciones del 6.8.2.4.2, los controles periódicos tendrán lugar: al menos, después de seis años de servicio.”

“Los controles periódicos comprenderán:”

- “Un examen del estado interior y exterior;
- Una prueba de estanqueidad de acuerdo con el 6.8.2.4.3 del depósito con sus equipos y una verificación del funcionamiento correcto de todo el equipo;
- Como regla general, una prueba de presión hidráulica (para la presión de prueba aplicable a los depósitos y compartimentos, cuando proceda, ver 6.8.2.4.1).”

“Las envolturas de aislamiento térmico u otras no deberán retirarse más que en la medida en que esto sea indispensable para una apreciación segura de las características del depósito.”

“Los controles intermedios de acuerdo con el 6.8.2.4.3 deberán realizarse como mínimo cada seis años después de cada control periódico. Se podrá realizar una prueba de estanqueidad o un control intermedio conforme al 6.8.2.4.3, a petición de la autoridad competente, entre dos controles periódicos consecutivos. Si el depósito, sus accesorios, sus tubos y sus equipos se han sometido a la prueba por separado, la cisterna deberá someterse a una prueba de estanqueidad, después de su montaje y una verificación del funcionamiento correcto de todo el equipo. Para esto, la cisterna deberá someterse a una presión efectiva interior al menos igual a la presión máxima de servicio”

⁴ “La verificación de las características de construcción comprende también, para los depósitos con una presión mínima de prueba de 1 MPa (10 bar), una toma de probetas de la soldadura-muestras de trabajo, de acuerdo con 6.8.2.1.23 y conforme a las pruebas de 6.8.5.”

⁵ “En casos particulares, y con la conformidad del experto autorizado por la autoridad competente, se podrá sustituir el ensayo de presión hidráulica por un ensayo por medio de otro líquido o de un gas, siempre que esta operación no ofrezca peligro.”

“Las **pruebas de estanqueidad** de las cisternas destinadas al transporte de gases deben realizarse a una presión de al menos:”

- “**para los gases comprimidos, licuados o disueltos: 20% de la presión de prueba;**”

“Cuando la seguridad de la cisterna o de los equipos pudiera **haber resultado afectada a causa de una reparación, modificación o un accidente, se efectuará un control excepcional.**”

“Las disposiciones básicas para la presión de prueba se detallan en los apartados 4.3.3.2.1 al 4.3.3.2.4 y las **presiones mínimas de prueba se muestran en la tabla de gases y mezclas de gases del 4.3.3.2.5.**”

“La capacidad de cada depósito destinado al transporte de gases comprimidos que se llenen por masa, de gases licuados o disueltos se determinará, bajo la vigilancia de un perito aprobado por la autoridad competente, por pesaje o por medida del volumen de la cantidad de agua que llene el depósito; el error de medida de la capacidad de los depósitos ha de ser inferior al 1%. **No se permitirá determinar la capacidad del depósito mediante cálculo basado en las dimensiones del mismo.**”

“Las **pruebas, controles y verificaciones** de acuerdo con 6.8.2.4.1 a 6.8.2.4.4 **se realizarán por el perito aprobado por la autoridad competente. Se expedirán certificados que recojan el resultado de tales operaciones, incluso en caso de resultados negativos.** En estos certificados figurará una referencia a la lista de materias autorizadas para su transporte en la cisterna de referencia o al código cisterna y los códigos alfanuméricos de las disposiciones especiales, de acuerdo con 6.8.2.3.”

“**Una copia de los certificados deberá adjuntarse al dossier de la cisterna de cada cisterna.**”
(ADR, 2019)

La norma recoge en la siguiente ilustración un resumen de las inspecciones y ensayos que se deben realizar y en qué control:

Inspección ensayos	Apartado	Intermedia	Periódica	Verificaciones excepcionales ^a
Documentos necesarios	5.2	X	X	X
Interior del recipiente a presión	5.3	-	X	X
Exterior del recipiente a presión	5.4	X	X	X
Presión hidráulica	5.5	-	X	X
Accesorios	5.6	X	X	X
Equipamiento de GLP del vehículo	5.6	X	X	X
Prueba de estanquidad	5.7	X	X	X
Equipamiento estructural - después de reparación	5.8	-	-	X

^a Según la reparación. Si el recipiente a presión se vuelve a montar entonces todas las inspecciones deben ser las de la construcción inicial.

Ilustración 51. Inspecciones y ensayos requeridos. UNE-EN 14334

“Como consecuencia de los resultados de las inspecciones/ensayos/verificaciones requeridas por este capítulo, **se pueden requerir inspecciones/ensayos/verificaciones adicionales.**”

Se deben tomar precauciones para la seguridad del personal de inspección, y de cualquier otra persona que se encuentre en las proximidades del camión cisterna, cuando se llevan a cabo inspecciones/ensayos. (UNE EN 14334)

De todo ello se recoge que se realizarán los siguientes controles con sus respectivas pruebas y ensayos:

- **Control inicial antes de la puesta en servicio.**
 - Aprobación de tipo
 - Aprobación de las características de construcción y fabricación interiores y exteriores del depósito
 - Prueba de presión hidráulica
 - Prueba de estanqueidad y comprobación del buen funcionamiento del sistema, de los equipos y accesorios
- **Control periódico**
 - Recopilación y examen de los documentos necesarios para la inspección
 - Aprobación de las características de construcción y fabricación interiores y exteriores del depósito
 - Prueba de estanqueidad y comprobación del buen funcionamiento del sistema, de los equipos y accesorios
 - Por regla general, una prueba de presión hidráulica
- **Control intermedio**
 - Recopilación y examen de los documentos necesarios para la inspección
 - Aprobación de las características de construcción y fabricación exteriores del depósito
 - Prueba de estanqueidad y comprobación del buen funcionamiento del sistema, de los equipos y accesorios
- **Control excepcional**
 - Recopilación y examen de los documentos necesarios para la inspección
 - Aprobación de las características de construcción y fabricación interiores y exteriores del depósito
 - Prueba de presión hidráulica
 - Prueba de estanqueidad y comprobación del buen funcionamiento del sistema, de los equipos y accesorios
 - Inspección del depósito o del equipamiento estructural tras una reparación

Las pruebas y ensayos realizados sobre el depósito durante el control inicial, fueron descritas en el apartado de ENSAYOS DE FABRICACIÓN Y PRUEBAS.

A continuación, se realiza una **descripción de las distintas pruebas** mencionadas.

1 RECOPIACIÓN Y EXAMEN DE LOS DOCUMENTOS PARA LA INSPECCIÓN

Es importante comprobar en primer lugar, que los documentos que se presentan corresponden a la cisterna en cuestión que se va a inspeccionar (depósito, accesorios, equipos, etc.) y que están en orden. Los documentos necesarios se exponen en la siguiente lista:

- *“certificado de inspección inicial,*
- *documentación de la homologación,*

- *certificado de la última inspección periódica,*
- *certificado de la inspección intermedia/verificación excepcional, cuando sea de aplicación.”*

(UNE EN 14334)

2 INSPECCIÓN DEL DEPÓSITO. INTERIOR

Se realizará **una inspección visual completa** del interior y una **inspección de toda la superficie** con el fin de detectar:

- *“defectos superficiales tales como abolladuras, cortes, orificios, salientes, fisuras;*
- *otros defectos que indiquen posibles condiciones anormales de funcionamiento.”*

(UNE EN 14334)

El inspector podrá solicitar que se realicen **ensayos no destructivos**.

Para ello, el depósito debe encontrarse **vacío y limpio de producto** en el momento de la inspección.

“Cualquier defecto en la superficie, susceptible de poner en peligro la integridad del recipiente a presión debe ser reparado o se debe rechazar el recipiente a presión para el servicio y eliminarse de forma segura de conformidad con la Norma EN 13109” (UNE EN 14334)

3 INSPECCIÓN DEL DEPÓSITO. EXTERIOR

Se realizará una **inspección completa visual del exterior**:

- *“la identificación de cualquier defecto en la superficie;*

NOTA En caso de duda, se pueden utilizar métodos no destructivos adecuados.

- *el estado del recubrimiento protector;*
- *las fijaciones del recipiente a presión y su equipamiento estructural;*
- *el marcado del recipiente a presión, que debe ser conforme con el apartado 6.2.”*

(UNE EN 14334)

Se realizará una **inspección sobre la puesta a tierra** para verificar que se cumple con los requisitos de diseño. *“La resistencia eléctrica entre la conexión a tierra y las partes metálicas del recipiente a presión/chasis del vehículo, no deben sobrepasar los 10 Ω .” (UNE EN 14334)*

Se realizará una **inspección sobre toda la superficie a fin de detectar**:

- *“defectos en la superficie tales como abolladuras, cortes, orificios, salientes, fisuras;*
- *corrosión, prestando especial atención a las zonas en las que pueda acumularse agua, a la base del recipiente a presión, a la conexión entre el recipiente a presión y la estructura de apoyo y a los alrededores de las conexiones del recipiente a presión;*
- *otros defectos que indiquen posibles condiciones de operación anormales, esfuerzos externos, signos de contacto con fuego.” (UNE EN 14334)*

Si se detectasen **defectos que afecten al espesor de la envolvente** deberá comprobarse que **no se ha reducido por debajo del mínimo establecido por el ADR** y comprobar si se ha reducido

por debajo de lo establecido en los requisitos de diseño presente en los documentos de la cisterna.

En caso de **corrosión**, se procederá del mismo modo, **comprobando como ha afectado al espesor de la envolvente** y de no suponer un problema **mayor se realizará una correcta y efectiva protección contra la corrosión**. Si no pudiera solventarse, **el depósito deberá eliminarse conforme a la “Norma EN 13109 o someterse a una evaluación especial en colaboración con el inspector para un método adecuado de reparación.”** (UNE EN 14334)

4 PRUEBA DE PRESIÓN HIDRÁULICA

“Antes del ensayo, la superficie exterior del recipiente a presión y su equipamiento deben estar suficientemente secas y limpias para que se pueda detectar cualquier fuga en la envolvente. Si la temperatura ambiente está por debajo de 5 °C, sólo se permite un ensayo de presión hidráulica con agua si se toman precauciones para evitar que el agua se congele.” (UNE EN 14334)

4.1 PRESIÓN DE ENSAYO

*“La **presión de ensayo** debe ser la indicada en la placa de datos del recipiente a presión.”* (UNE EN 14334)

La presión de ensayo será de 2,5 MPa siendo la mínima de 1,6 MPa.

4.2 LÍQUIDO DE ENSAYO

*“El **líquido** normalmente utilizado en el **ensayo de presión hidráulica** es **agua**.”* (UNE EN 14334)

4.3 PRESURIZACIÓN

*“El recipiente a presión **debe estar totalmente lleno con el líquido de ensayo**, teniendo cuidado de que **no queden bolsas de gas** antes de que se aplique la presión gradualmente.*

*Se debe **presurizar** el recipiente a presión **a una velocidad constante hasta que la presión alcance la presión máxima de trabajo**. A esta presión se debe inspeccionar el recipiente a presión para **detectar fugas o deformaciones permanentes**. Si **no se detectan** fugas o deformaciones permanentes, se debe **aumentar la presión lentamente hasta la presión de ensayo determinada**. En caso de fugas o deformaciones, se tiene que interrumpir el ensayo y despresurizar el recipiente a presión.*

*Se debe incluir un **dispositivo de seguridad** en el sistema de presión hidráulica. El dispositivo debe fijarse para que **la presión en el recipiente a presión no exceda el 105% de la presión de ensayo requerida**.”* (UNE EN 14334)

Presión máxima de trabajo será 19,2 a 2 MPa.

4.4 DURACIÓN DEL ENSAYO

Nunca se realizará un ensayo que dure por debajo de los 15 minutos y durará el tiempo que sea necesario para realizar la inspección de forma satisfactoria.

4.5 MEDICIÓN

La medición de la presión durante el ensayo se realizará por medio de **manómetros** que “*deben cumplir las Normas EN 837-1:1996 y EN 837-3:1996 (clase de precisión 1,6 o superior)*” (UNE EN 14334), cuya precisión será mayor o igual al 4% de la lectura.

4.6 EVALUACIÓN DEL ENSAYO

*“El recipiente a presión **no satisface el ensayo de presión hidráulica si hay cualquier deformación permanente visible causada por la presión de ensayo, o si se detecta una fuga en la envolvente.***

En caso de fallo, el recipiente a presión puede repararse con el acuerdo del inspector y volver a ensayar o eliminarse de forma segura de conformidad con la Norma EN 13109.

*Si se va a desguazar el recipiente a presión, **se debe reciclar tanto material como sea posible.***” (UNE EN 14334)

5 INSPECCIÓN DE LOS EQUIPOS Y ACCESORIOS DE GLP

Incluirá:

- *“examen visual externo de corrosión, daños y funcionamiento satisfactorio (véase 5.6.2);*
- ***examen visual externo de la(s) válvula(s) de alivio de presión** (si está(n) instalada(s)) para comprobar la corrosión y los daños;*
- ***verificación de la presión de tarado de las válvulas de alivio de presión**, verificando el procedimiento de ensayo/ tarado (por ejemplo, por verificación de la documentación), el marcado o mediante un ensayo físico.*

*En la **inspección periódica**, las válvulas de alivio de presión y las válvulas del recipiente a presión deben retimbrarse (véase el proyecto de Norma prEN 16631) o reemplazarse.*

*Los **flexibles se deben someter a ensayo bajo presión** según las reglamentaciones nacionales.”* (UNE EN 14334)

5.1 COMPROBACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO

Se considerará satisfactorio cuando:

- *“para válvulas, un mecanismo de operación externo realiza un ciclo completo;*
- *para los indicadores de nivel, de temperatura y de presión, si dan lecturas creíbles.”* (UNE EN 14334)

5.2 INSPECCIÓN SOBRE EL ACOPLAMIENTO EXTERNO DE LA MANGUERA

*“Se deben hacer **inspecciones minuciosas y detalladas para cada acoplamiento** del extremo de la manguera para asegurarse de que son aptos para cumplir su propósito.”* (UNE EN 14334)

5.3 PARADA DE EMERGENCIA

*“El sistema de ESD descrito en la Norma EN 12252 **se debe verificar para asegurar que se cierre en 15 s después de su activación.***” (UNE EN 14334)

6 ENSAYO DE ESTANQUEIDAD

Consiste en **un ensayo final** que se realiza sobre el depósito y todo su equipamiento es decir, accesorios y equipo de GLP de los vehículos.

6.1 PRESIÓN DE ENSAYO DE ESTANQUEIDAD

*“El ensayo de estanquidad debe llevarse a cabo a **bajas presiones**.*

*Si el recipiente a presión **está libre de gas**, la presión de ensayo de estanquidad debe ser:*

- *un **mínimo de 0,2 bar utilizando aire o nitrógeno** (o cualquier otro fluido compatible con los materiales del recipiente a presión y/o los elementos/secciones a ensayar), y*
- ***no inferior al 20% de la presión de ensayo.***

*Si el recipiente a presión **contiene gas**, la presión de ensayo de estanquidad **no debe ser inferior al 20% de la presión de ensayo.**” (UNE EN 14334)*

En cualquier caso, $P_{\text{ensayoestanquidad}} \geq 0,20 \cdot P_{\text{ensayo}} = 0,20 \cdot 2,5 = 0,5 \text{ MPa}$

6.2 EVALUACIÓN DEL ENSAYO

*“El ensayo de estanquidad debe **considerarse aceptable** si **no hay indicación visual de fuga** después de la **aplicación** de una **solución de agua jabonosa o método de detección equivalente.**” (UNE EN 14334)*

7 INSPECCIÓN DEL DEPÓSITO O EQUIPAMIENTO TRAS UNA REPARACIÓN

*“Se debe efectuar una **inspección visual completa de la reparación para identificar defectos en la superficie.***

Dependiendo del tipo de reparación efectuada, se deben seleccionar las inspecciones/ensayos adecuados del listado siguiente:

- *ensayos radiográficos según las Normas EN ISO 5579 y EN ISO 17636-2;*
- *ensayos de ultrasonidos según la Norma EN ISO 17640;*
- *ensayos de partículas magnéticas según la Norma EN ISO 17638;*
- *ensayos de líquidos penetrantes según la Norma EN ISO 3452-1;*
- *cualquier otro método de ensayo no destructivo adecuado con la conformidad del inspector;*
- *ensayo de presión hidráulica según el apartado 5.5;*
- *ensayo de estanquidad según el apartado 5.7.*

*Si se ha realizado una **verificación excepcional que cumple los requisitos de una inspección periódica** según el capítulo 4, entonces la verificación excepcional **se puede considerar como una inspección periódica**. Si se ha realizado una **verificación excepcional que cumple los requisitos de una inspección intermedia** según el capítulo 4, entonces la verificación excepcional **se puede considerar como una inspección intermedia.**” (UNE EN 14334)*

8 REINSPECCIÓN

Cuando no se cumplieron los requisitos de inspecciones, ensayos o pruebas, **si se soluciona la causa del fallo, es posible volver a realizar dichas inspecciones, ensayos o pruebas sobre el**

camión cisterna de GLP y comprobar si se ha solucionado lo causante de fallos. Esta reinspección puede llevar consigo inspecciones o ensayos adicionales a los previstos.

9 CERTIFICADOS

9.1 CERTIFICACIÓN INSPECCIÓN INTERMEDIA, PERIÓDICA Y EXCEPCIONAL

Finalizada la inspección se emite un certificado que debe ser adjuntado al registro de documentos de la cisterna. Se adjunta un ejemplo.

Número de informe de ensayo _____	Número de aprobación de tipo _____
Demandante/usuario _____	Nombre del fabricante _____
Calle _____	País _____
Código postal _____	Número de serie del fabricante _____
Ciudad _____	Año de fabricación _____
País _____	Fecha y tipo de la última inspección _____
	Identificación del propietario/ operario de la cisterna _____
Inspección de los documentos necesarios <input type="checkbox"/>	Ensayo de estanquidad/equipamiento del recipiente a presión <input type="checkbox"/>
Inspección del interior del recipiente a presión <input type="checkbox"/>	Determinación de la capacidad de agua ²⁾ <input type="checkbox"/>
Inspección del exterior del recipiente a presión <input type="checkbox"/>	Inspección del equipamiento estructural <input type="checkbox"/>
Ensayo de presión hidráulica <input type="checkbox"/>	
Inspección del equipo de GLP del vehículo y del equipo de servicio (accesorios) <input type="checkbox"/>	
Válvula de alivio de presión ¹⁾ tarada a _____	Sobrepresión...bar/...MPa _____
Otras inspecciones y ensayos _____	
Observaciones/defectos significativos _____	
Inspección periódica <input type="checkbox"/>	pasa <input type="checkbox"/> fallo <input type="checkbox"/>
Inspección intermedia <input type="checkbox"/>	pasa <input type="checkbox"/> fallo <input type="checkbox"/>
Verificación excepcional <input type="checkbox"/>	pasa <input type="checkbox"/> fallo <input type="checkbox"/>
Siguiente inspección _____	Lugar y fecha de la inspección _____
Inspección periódica <input type="checkbox"/>	Nombre, firma y sello del inspector _____
Inspección intermedia <input type="checkbox"/>	_____
Verificación excepcional _____	
Numero ONU _____	Nombre de la sustancia _____ Código de clasificación ADR "2F" _____
1) Si está instalada	
2) Si se modifica	

Ilustración 52. Certificado de inspección y verificación de un camión cisterna GLP

9.2 MARCADO

“Después de completar la inspección intermedia y periódica, la placa de datos se debe marcar de conformidad con El ADR.” (UNE EN 14334)

DISPOSICIONES ESPECIALES

La norma establece una serie de **disposiciones especiales** que engloban muchos aspectos entorno al diseño, la construcción y fabricación de cisternas, vehículos, así como a la materia que transportan e incluso al transporte de la misma. Éstas quedan recogidas a lo largo de la norma y se han plasmado a continuación las **relativas al transporte de GLP en una cisterna tipo PxBN que será montada sobre un vehículo FL**.

Las disposiciones especiales relativas a la sustancia a transportar, la clase a la que pertenece, su código de etiquetado y marcado, o al código de clasificación, entre otros aspectos, se recogen en la **columna 6 de la Tabla A del ADR (ANEXO I. TABLA A)**. Estas disposiciones **han de ser respetadas**.

“274 Se aplican las disposiciones del 3.1.2.8: Nombres genéricos o designación “no especificado en otra parte” (N.E.P.)”

“583 Este apartado comprende, entre otros, las mezclas de gas que tengan las propiedades siguientes:”

Mezcla	Presión de vapor máxima a 70 °C (en Mpa)	Masa volumétrica mínima a 50 °C (en kg/l)	Nombres técnicos permitido a los fines del 5.4.1.1
A	1,1	0,525	“Mezcla A” o “Butano”
A01	1,6	0,516	“Mezcla A01” o “Butano”
A02	1,6	0,505	“Mezcla A02” o “Butano”
A0	1,6	0,495	“Mezcla A0” o “Butano”
A1	2,1	0,485	“Mezcla A1”
B1	2,6	0,474	“Mezcla B1”
B2	2,6	0,463	“Mezcla B2”
B	2,6	0,450	“Mezcla B”
C	3,1	0,440	“Mezcla C” o “Propano”

“^a Para el transporte en cisternas, los nombres comerciales “butano” o “propano” solo podrán utilizarse de modo complementario.”

“652 Los recipientes en acero inoxidable austenítico o acero ferrítico y austenítico (acero dúplex) o en titanio soldado que no cumplan las disposiciones del capítulo 6.2, pero que se hayan construido y aprobado conforme a las disposiciones nacionales relativas al transporte aéreo para ser utilizadas como recipientes de combustible para globos de aire caliente o dirigibles de aire caliente, que hayan sido puestas en servicio (fecha de la inspección inicial) antes del 1 de julio de 2004, pueden transportarse por carretera siempre que cumplan las siguientes condiciones:”

“a) Se deben cumplir las disposiciones generales de 6.2.1;”

“b) Una autoridad de transporte aéreo nacional deberá haber aprobado el diseño y construcción de los recipientes para su utilización para el transporte aéreo;”

“c) Por derogación del 6.2.3.1.2, la presión de cálculo podrá ser determinada para temperatura máxima ambiental reducida de +40 oC; en estos casos:”



“i) por derogación del 6.2.5.1, las botellas podrán ser fabricadas en titanio puro de calidad comercial, laminado y templado, de acuerdo a las disposiciones mínimas $R_m > 450$ MPa, $EA > 20\%$ (EA = alargamiento después de la ruptura);

ii) las botellas en acero inoxidable austenítico, o en acero férrico y austenítico (acero dúplex) podrán ser utilizadas con un nivel de resistencia 85% del límite elástico mínimo garantizado (R_e) a una presión de cálculo determinada para una temperatura máxima ambiental reducida de +40 oC;

iii) los recipientes deberán estar equipados con un dispositivo de descompresión presentando una presión de tarado nominal de 26 bares y la presión de prueba de estos recipientes no debe ser inferior a 30 bares;”

“d) Cuando las derogaciones del apartado (c), no sean aplicables los recipientes deberán ser concebidos para una temperatura de referencia de 65 oC y deberán ser equipados con dispositivos de descompresión presentando una presión de tarado nominal especificada por la autoridad competente del país de utilización;”

“e) El elemento principal de los recipientes deberá ser revestido con una capa protectora exterior de material resistente al agua de al menos 25 mm. de espesor constituida de espuma con estructura celular u otro material parecido;”

“f) Durante el transporte, el recipiente deberá estar firmemente sujeto en una cuna de embalaje u otro dispositivo de seguridad adicional;”

“g) Los recipientes deberán estar marcados con una etiqueta clara y visible que estén indicando que los recipientes son para su utilización exclusiva en globos de aire caliente y dirigibles de aire caliente;”

“k) La duración del servicio (desde la fecha de la inspección inicial) no deberá ser superior a los 25 años.”

“660 Para el transporte de los sistemas de contención de gases combustibles que estén diseñados y hayan sido aprobados para ser instalados en vehículos automóviles y que contengan el gas, no hay necesidad de aplicar las disposiciones de la subsección 4.1.4.1 y del capítulo 6.2 cuando se transporten con vistas a su eliminación, reciclado, reparación, inspección, mantenimiento o cuando se transporten desde el lugar de fabricación a una planta de ensamblaje de vehículos, siempre que se cumplan las condiciones descritas en la disposición especial 392. Esto también se aplica a las mezclas de gases que estén sujetas a la disposición especial 392 con y a los gases del grupo A sujetos a la presente disposición especial.”

“662 Las botellas no conformes con las disposiciones del capítulo 6.2 que sean usadas exclusivamente a bordo de un barco o un avión, pueden ser transportadas con el propósito del relleno o inspección y retorno subsiguiente, siempre que las botellas sean diseñadas y construidas de acuerdo con una norma reconocida por la autoridad competente del país de aprobación y todas las disposiciones correspondientes del ADR se cumplan incluso:”

“a) las botellas serán transportadas con una válvula de protección conforme con 4.1.6.8;”

“b) las botellas serán marcadas y etiquetadas conforme a 5.2.1 y 5.2.2; y”

“c) todos los requisitos correspondientes de relleno de la instrucción de embalaje P200 de 4.1.4.1 serán cumplidos.”

“El documento de transporte incluirá la siguiente declaración “Transporte conforme con la disposición especial 662”.” (ADR, 2019)

Las **disposiciones especiales relativas a las cisternas. Columna 13 de la Tabla A del ADR (ANEXO I. TABLA A)**. Para las cisternas para el transporte de los gases licuados del petróleo con número ONU 1965, las disposiciones especiales de cisternas están relacionadas con la aprobación del tipo de cisterna y con la aplicación de las pruebas de éstas.

“Contiene los códigos alfanuméricos de las disposiciones especiales que afectan a las cisternas ADR y que también deben cumplirse:”

-“ los códigos alfanuméricos que empiezan por las letras “TA” designan disposiciones especiales relativas a la aprobación de tipo de estas cisternas; se recogen en el apartado 6.8.4 c);”

- “los códigos alfanuméricos que empiezan por las letras “TT” designan disposiciones especiales aplicables a las pruebas de cisternas; se recogen en el apartado 6.8.4 d).”

“TA4 *Los **procedimientos de evaluación de la conformidad** recogidos en el 1.8.7 deberán ser aplicados por la autoridad competente, su representante o el organismo de control conforme al 1.8.6.2, 1.8.6.4, 1.8.6.5 y 1.8.6.8 y acreditados según la norma EN ISO/CEI 17020:2012 (salvo el artículo 8.1.3) tipo A.”*

“TT9 *Para **inspecciones y pruebas** (incluyendo la vigilancia de la fabricación) los procedimientos recogidos en el 1.8.7 deberán ser aplicados por parte de la autoridad competente, su representante o el organismo de control conforme al 1.8.6.2, 1.8.6.4, 1.8.6.5 y 1.8.6.8 y acreditados según la norma EN ISO/CEI 17020:2012 (salvo el artículo 8.1.3) tipo A.”*

“TT11 *Para las **cisternas fijas (vehículos cisterna)** o desmontables destinados exclusivamente al **transporte de GLP**, cuyos depósitos y equipos de servicio sean de acero al carbono, **la prueba de presión hidráulica puede ser reemplazada en los controles periódicos, si el solicitante lo desea, por métodos de ensayo no destructivos (END)** enumerados a continuación. Estos métodos pueden ser utilizados solos o combinados, según que la autoridad competente, su representante o el organismo de control crean conveniente (ver la disposición especial TT9):”*

- “EN ISO 17640:2010 – Ensayos no destructivos de conjuntos soldados – Control por ultrasonidos – Técnicas, niveles de ensayo y evaluación,”

- “EN ISO 17638:2009 - Ensayos no destructivos de conjuntos soldados – Ensayos de partículas magnéticas, con nivel de aceptación de las indicaciones conforme a la norma EN ISO 23278:2009 (Ensayos de partículas magnéticas de las soldaduras. Niveles de aceptación)”

- “EN 1711:2000 - Ensayos no destructivos de conjuntos soldados – Ensayos por corrientes inducidas de conjuntos soldados por análisis de señales en el plano complejo,”

- “EN 14127:2011 – Ensayos no destructivos – Medidas de espesores por ultrasonidos, “

“El personal implicado en los END debe estar cualificado, certificado y tener un buen conocimiento teórico y práctico de los ensayos no destructivos que efectúe, específicamente, vigilancia, control o evaluación conforme a:”

- “EN ISO 9712:2012 – Ensayos no destructivos – Cualificación y certificación del personal de END.”

“En caso de afectación térmica continua en las operaciones de soldadura o corte, de zonas sometidas a presión de la cisterna, deberá realizarse una prueba de presión hidráulica además de otra END.”

“Los END deberán ser efectuados en las zonas del depósito y del equipamiento enumeradas en la tabla siguiente:”

Zona del depósito y del equipamiento	CND
Soldaduras a tope longitudinales del depósito	END al 100% utilizando una o más de las técnicas siguientes: Ultrasonidos, partículas magnéticas o corrientes inducidas
Soldaduras a tope circulares del depósito	
Soldaduras (interiores) de fijaciones, bocas de hombre, tuberías y aberturas directamente sobre el depósito	
Zonas fuertemente solicitadas al nivel de las placas dobles (comprendiendo la extremidad de las cunas de fijación más 400 mm de cada lado)	
Soldaduras de las tuberías y de otros equipamientos	
Zonas del depósito que no pueden ser controladas visualmente desde el exterior	Medida del espesor por ultrasonidos, del interior, con una cuadrícula de 150 mm (como máximo)

“Independientemente de la norma o del código técnico inicial utilizado para el diseño y la fabricación de la cisterna, los niveles de aceptación de los defectos deberán ser conformes a las prescripciones de las partes pertinentes de las normas EN 14025:2013+A1:2016 (Cisternas destinadas al transporte de materias peligrosas – cisternas metálicas bajo presión – diseño y fabricación), EN 12493:2013+A1:2014+AC:2015 (Equipamientos para GLP y sus accesorios – cisternas en acero soldado para gases licuados del petróleo (GLP) – vehículos cisterna de carretera – diseño y construcción), EN ISO 23278:2009 (ensayos no destructivos de los conjuntos soldados – ensayos por partículas magnéticas de las soldaduras – niveles de aceptación) o las normas de aceptación referenciadas en la norma aplicable al ensayo no destructivo concerniente. Si se pone en evidencia un defecto inaceptable de la cisterna por los métodos de ensayos no destructivos habrá que proceder a su reparación y a un nuevo ensayo. No está permitido efectuar la prueba de presión hidráulica sin que la cisterna haya sido debidamente reparada. Los resultados de los ensayos no destructivos deberán ser consignados y conservados durante toda la duración de la cisterna.” (ADR, 2019)

Finalmente, las disposiciones especiales **relativas al transporte** de la materia, a su carga, descarga y manipulación, así como a la explotación, quedan recogidas en las **columnas 18 y 19, respectivamente, de la Tabla A del ADR** (ANEXO I. TABLA A). Dichas disposiciones son:

“S2 *Disposiciones suplementarias relativas al transporte de materias líquidas o gaseosas inflamables”*

“(1) Aparato de iluminación portátil”

“Se prohíbe introducirse en el compartimento de carga un vehículo cubierto que transporte líquidos con un punto de inflamación que no supere 60 °C o materias u objetos inflamables de la clase 2, con aparatos de iluminación portátiles distintos de los diseñados y contruidos de modo que no puedan inflamar los vapores o gases inflamables que se hubieran podido esparcir por el interior del vehículo.”

“(2) Funcionamiento de los aparatos de calefacción a combustión, durante la carga o la descarga”

“Se prohíbe el funcionamiento de aparatos de calefacción a combustión en los vehículos FL (véase Parte 9) durante la carga y la descarga, así como en los lugares de carga.”

“(3) Medidas a tomar para evitar la acumulación de cargas electrostáticas”

“Cuando se trate de vehículos FL (véase parte 9), se deberá realizar una buena conexión eléctrica entre el chasis del vehículo y la tierra, antes de proceder al llenado o vaciado de las cisternas. Además, se limitará la velocidad de llenado.”

“S20 *Las disposiciones del capítulo 8.4 relativas a la **vigilancia de los vehículos** se aplicarán cuando la masa o el volumen total de esta mercancía en el vehículo exceda de 10.000 kg. Transportados en embalajes o 3.000 litros en cisternas. “ (ADR, 2019)*

REFERENCIAS

1 ARTÍCULOS, MANUALES, FICHAS TÉCNICAS Y DOCUMENTOS

Europe, L. G. (2019). *Annual Review* .

CEPSA, E. (2001). *Manual de instalaciones de GLP*.

CEPSA, E. (2017). *Ficha técnica de datos de seguridad GLP Automoción*.

REPSOL, E. (2016). *Ficha técnica de datos de seguridad GLP*.

Suela Fernández, I., Duque Moreno, D.;. (2015). *Manual de riesgos tecnológicos y asistencias técnicas. Guadalajara, España*.

Domingo de Barberá, Ll., Ventosa Carulla, A., Elorza Gomez, A., Bilbao Ruiz, J. M., Gil Gutiérrez, J. M., Valamazan Cabrero, F., Marín Ayala, J. A., Belmonte Pérez, J. *Guía Operativa. Intervención ante accidentes en el transporte de materias peligrosas en vehículos cisterna*.

Hurtado de Mendoza Martin, A. (2013). *Camión Cisterna de GLP*.

Méndez, C. A. C., Pérez, Y. S. C., Peña, C. Á., & Pérez, C. *Metodología para la determinación de la posición de las cargas sobre los camiones*.

LaPesa, SL. (2016). *Ficha técnica camión cisterna para el transporte de GLP*.

Demirbas, A. (2002). Fuel properties of hydrogen, liquefied petroleum gas (LPG), and compressed natural gas (CNG) for transportation. *Energy Sources*, 24(7), 601-610.

2 ENLACES

[LPG fuel composition estimation method and system](#)

[Reglamento \(CE\) nº 1272/2008 o CLP](#)

[Marcado pi y directiva](#)

[Real Decreto por el que se determinan las especificaciones del GLP](#)

[Definición GLP Gobierno de España](#)

[Asociación Española del Gas](#)

[Chapas de acero para Recipientes a Presión EN 10028:3 P355NL1 y P355NL2](#)

[Chapas acero para Recipientes a Presión. Propiedades y Características](#)

[Fabricante chapas de acero de calidad P355NL2](#)

[Proceso de normalización del acero](#)

[Fabricante de fondos torisféricos tipo Korbbogen](#)

[Soldadura TIG](#)

[Tratamiento superficial granallado](#)

[Comercializador válvulas de seguridad sobrepresión](#)

[Fabricante válvulas de fondo](#)

[Comercializador válvulas de bola](#)

[Fabricante y comercializador de pinzas y cables de puesta a tierra](#)

[Fabricante semirremolques TECNOKAR](#)

[Guía REPSOL útil para las operaciones de carga/descarga](#)

[Quinta rueda](#)






[Proceso de engache del semirremolque a la cabeza tractora](#)

ANEXO I. TABLA A





N° ONU	Nombre y descripción	Clase	Código de clasificación	Grupo de embalaje	Etiquetas	Disposiciones especiales	Cantidades limitadas y exceptuadas		Embalaje			Cisternas portátiles y contenedores para granel		Cisternas ADR		Vehículos para transporte en cisternas	Categoría de transporte (Código de restricción en túneles)	Disposiciones especiales de transporte				Número de identificación de peligro
									Instrucciones de embalaje	Disposiciones especiales de embalaje	Disposiciones para el embalaje en común	Instrucciones de transporte	Disposiciones especiales	Código cisterna	Disposiciones especiales			Bultos	Granel	Carga, descarga y manipulado	Explotación	
	3.1.2	2.2	2.2	2.1.1.3	5.2.2	3.3	3,4	3.5.1.2	4.1.4	4.1.4	4.1.10	4.2.5.2 7.3.2	4.2.5.3	4.3	4.3.5, 6.8.4	9.1.1.2	1.1.3.6 (8.6)	7.2.4	7.3.3	7.5.11	8.5	5.3.2.3
(1) 1958	(2) 1,2-DICLORO-1,1,2,2-TETRAFLUOROETANO (GAS REFRIGERANTE R 114)	(3a) 2	(3b) 2A	(4)	(5) 2.2	(6) 662	(7a) 120 ml	(7b) E1	(8) P200	(9a)	(9b) MP9	(10) (M) T50	(11)	(12) PxBN(M)	(13) TA4 TT9	(14) AT	(15) 3 (C/E)	(16)	(17)	(18) CV9 CV10 CV36	(19)	(20) 20
1959	1,1-DIFLUOROETILENO (GAS REFRIGERANTE R 1132a)	2	2F		2.1	662	0	E0	P200		MP9	(M)		PxBN(M)	TA4 TT9	FL	2 (B/D)			CV9 CV10 CV36	S2 S20	239
1961	ETANO LIQUIDO REFRIGERADO	2	3F		2.1		0	E0	P203		MP9	T75	TP5	RxBN	TU18 TA4 TT9	FL	2 (B/D)	V5		CV9 CV11 CV36	S2 S17	223
1962	ETILENO	2	2F		2.1	662	0	E0	P200		MP9	(M)		PxBN(M)	TA4 TT9	FL	2 (B/D)			CV9 CV10 CV36	S2 S20	23
1963	HELIO LIQUIDO REFRIGERADO	2	3A		2.2	593	120 ml	E1	P203		MP9	T75	TP5 TP34	RxBN	TU19 TA4 TT9	AT	3 (C/E)	V5		CV9 CV11 CV36	S20	22
1964	MEZCLA DE HIDROCARBUROS GASEOSOS COMPRIMIDOS, N.E.P.	2	1F		2.1	274 662	0	E0	P200		MP9	(M)		CxBN(M)	TA4 TT9	FL	2 (B/D)			CV9 CV10 CV36	S2 S20	23
1965	MEZCLA DE HIDROCARBUROS GASEOSOS LICUADOS, N.E.P. tales como mezclas A, A01, A02, A0, A1, B1, B2, B o C	2	2F		2.1	274 392 583 652 662 674	0	E0	P200		MP9	(M) T50		PxBN(M)	TA4 TT9 TT11	FL	2 (B/D)			CV9 CV10 CV36	S2 S20	23
1966	HIDROGENO LIQUIDO REFRIGERADO	2	3F		2.1		0	E0	P203		MP9	T75	TP5 TP34	RxBN	TU18 TA4 TT9	FL	2 (B/D)	V5		CV9 CV11 CV36	S2 S17	223
1967	INSECTICIDA GASEOSO TÓNICO, N.E.P.	2	2T		2.3	274	0	E0	P200		MP9	(M)		PxBH(M)	TU6 TA4 TT9	AT	1 (C/D)			CV9 CV10 CV36	S14	26
1968	INSECTICIDA GASEOSO, N.E.P.	2	2A		2.2	274 662	120 ml	E1	P200		MP9	(M)		PxBN(M)	TA4 TT9	AT	3 (C/E)			CV9 CV10 CV36		20
1969	ISOBUTANO	2	2F		2.1	392 657 662 674	0	E0	P200		MP9	(M) T50		PxBN(M)	TA4 TT9 TT11	FL	2 (B/D)			CV9 CV10 CV36	S2 S20	23
1970	CRIPTON LIQUIDO REFRIGERADO	2	3A		2.2	593	120 ml	E1	P203		MP9	T75	TP5	RxBN	TU19 TA4 TT9	AT	3 (C/E)	V5		CV9 CV11 CV36	S20	22







ANEXO II. MODELOS DE ETIQUETAS






En primer lugar e adjunta la sección de la tabla que contiene el modelo de etiqueta que precisa esta cisterna.





N.º de modelo de etiqueta	División o categoría	Signo y color de este	Fondo	Cifra de la esquina inferior (y color de esta)	Modelos de etiquetas	Notas
Peligro de clase 2: gases						
2.1	Gases inflamables	Llama: negro o blanco	Rojo	2 (negro o blanco) (con las excepciones previstas en 5.2.2.2.1.6 d))	 	-
2.2	Gases no inflamables, no tóxicos	Botella de gas: negro o blanco	Verde	2 (negro o blanco)	 	-
2.3	Gases tóxicos	Calavera y tibias: negro	Blanco	2 (negro)		-




A continuación, se pueden consultar el resto de modelos de etiquetas.

N.º de modelo de etiqueta	División o categoría	Signo y color de este	Fondo	Cifra de la esquina inferior (y color de esta)	Modelos de etiquetas	Notas
Peligro de clase 1: materias y objetos explosivos						
1	Divisiones 1.1, 1.2 y 1.3	Bomba explotando: negro	Naranja	1 (negro)		** Indicación de la división: se dejará en blanco si las propiedades explosivas constituyen el peligro subsidiario. * Indicación del grupo de compatibilidad: se dejará en blanco si las propiedades explosivas constituyen el peligro subsidiario.
1.4	División 1.4	1.4: negro Las cifras medirán, aproximadamente, 30 mm de altura y, aproximadamente, 5 mm de espesor (en etiquetas de 100 mm x 100 mm).	Naranja	1 (negro)		* Indicación del grupo de compatibilidad
1.5	División 1.5	1.5: negro Las cifras medirán, aproximadamente, 30 mm de altura y, aproximadamente, 5 mm de espesor (en etiquetas de 100 mm x 100 mm).	Naranja	1 (negro)		* Indicación del grupo de compatibilidad
1.6	División 1.6	1.6: negro Las cifras medirán, aproximadamente, 30 mm de altura y, aproximadamente, 5 mm de espesor (en etiquetas de 100 mm x 100 mm).	Naranja	1 (negro)		* Indicación del grupo de compatibilidad

N.º de modelo de etiqueta	División o categoría	Signo y color de este	Fondo	Cifra de la esquina inferior (y color de esta)	Modelos de etiquetas	Notas
Peligro de clase 3: líquidos inflamables						
3	-	Llama: negro o blanco	Rojo	3 (negro o blanco)	 	-
Peligro de clase 4.1: materias sólidas inflamables, materias autorreactivas, materias que polimerizan y materias sólidas explosivas desensibilizadas						
4.1	-	Llama: negro	Blanco con siete barras verticales rojas	4 (negro)		-
Peligro de clase 4.2: materias espontáneamente inflamables						
4.2	-	Llama: negro	Blanco en la mitad superior y rojo en la mitad inferior	4 (negro)		-
Peligro de clase 4.3: materias que, en contacto con el agua, desprenden gases inflamables						
4.3	-	Llama: negro o blanco	Azul	4 (negro o blanco)	 	-

N.º de modelo de etiqueta	División o categoría	Signo y color de este	Fondo	Cifra de la esquina inferior (y color de esta)	Modelos de etiquetas	Notas
Peligro de clase 5.1: materias comburentes						
5.1	-	Llama sobre un círculo: negro	Amarillo	5.1 (negro)		-
Peligro de clase 5.2: peróxidos orgánicos						
5.2	-	Llama: negro o blanco	Rojo en la mitad superior y amarillo en la mitad inferior	5.2 (negro)	 	-
Peligro de clase 6.1: materias tóxicas						
6.1	-	Calavera y tibias: negro	Blanco	6 (negro)		-
Peligro de clase 6.2: materias infecciosas						
6.2	-	Tres medias lunas superpuestas sobre un círculo: negro	Blanco	6 (negro)		La mitad inferior de la etiqueta puede llevar las siguientes menciones escritas en negro: "MATERIAS INFECCIOSAS" y "En caso de desperfecto o fuga, avísele inmediatamente a las autoridades sanitarias."

N.º de modelo de etiqueta	División o categoría	Signo y color de este	Fondo	Cifra de la esquina inferior (y color de esta)	Modelos de etiquetas	Notas
Peligro de clase 7: materias radiactivas						
7A	Categoría I – BLANCA	Trébol: negro	Blanco	7 (negro)		Texto (obligatorio) escrito en negro en la mitad inferior de la etiqueta: "RADIOACTIVE CONTENTS... ACTIVITY...". La palabra "RADIOACTIVE" irá seguida de una barra vertical roja.
7B	Categoría II – AMARILLA	Trébol: negro	Blanco en la mitad inferior y amarillo con un reborde blanco en la mitad superior	7 (negro)		Texto (obligatorio) escrito en negro en la mitad inferior de la etiqueta: "RADIOACTIVE CONTENTS... ACTIVITY...". En un recuadro con borde negro: "TRANSPORT INDEX". La palabra "RADIOACTIVE" irá seguida de dos barras verticales rojas.
7C	Categoría III – AMARILLA	Trébol: negro	Blanco en la mitad inferior y amarillo con un reborde blanco en la mitad superior	7 (negro)		Texto (obligatorio) escrito en negro en la mitad inferior de la etiqueta: "RADIOACTIVE CONTENTS... ACTIVITY...". En un recuadro con borde negro: "TRANSPORT INDEX". La palabra "RADIOACTIVE" irá seguida de tres barras verticales rojas.
7E	Materias fisionables	-	Blanco	7 (negro)		Texto (obligatorio) escrito en negro en la mitad superior de la etiqueta: "FISSILE". En un recuadro con borde negro en la mitad inferior de la etiqueta: "CRITICALITY SAFETY INDEX".

N.º de modelo de etiqueta	División o categoría	Signo y color de este	Fondo	Cifra de la esquina inferior (y color de esta)	Modelos de etiquetas	Notas
Peligro de clase 8: materias corrosivas						
8	-	Líquidos vertidos de dos tubos de ensayo de vidrio sobre una mano y un metal: negro	Blanco en la mitad superior y negro con un reborde blanco en la mitad inferior	8 (blanco)		-
Peligro de clase 9: materias y objetos peligrosos diversos, incluidas las materias peligrosas para el medio ambiente						
9	-	7 barras verticales en la mitad superior: negro	Blanco	9, subrayada (negro)		-
9A	-	7 barras verticales en la mitad superior: negro; grupo de pilas, una de ellas rota con una llama, en la mitad inferior: negro	Blanco	9, subrayada (negro)		-

ANEXO III. DISPOSICIONES RELATIVAS A LA CONSTRUCCIÓN DE VEHÍCULOS

ESPECIFICACIONES TECNICAS		VEHICULOS				OBSERVACIONES
		EX/II	EX/III	AT	FL	
9.2.2	EQUIPAMIENTO ELECTRICO					
9.2.2.1	Disposiciones generales	X	X	X	X	
9.2.2.2.1	Cables	X	X	X	X	
9.2.2.2.2	Protección suplementaria	X ^a	X	X ^b	X	<p>^a Aplicable a los vehículos de una masa máxima superior a 3,5 toneladas, matriculados por primera vez (o puestos en servicio, en el caso donde la matriculación no sea obligatoria) después del 31 de marzo de 2018.</p> <p>^b Aplicable a los vehículos matriculados por primera vez (o puestos en servicio, en el caso donde la matriculación no sea obligatoria) después del 31 de marzo de 2018.</p>
9.2.2.3	Fusibles y disyuntores	X ^b	X	X	X	^b Aplicable a los vehículos matriculados por primera vez (o puestos en servicio, en el caso donde la matriculación no sea obligatoria) después del 31 de marzo de 2018.
9.2.2.4	Baterías	X	X	X	X	
9.2.2.5	Iluminación	X	X	X	X	
9.2.2.6	Conexiones eléctricas	X ^c	X	X ^b	X	<p>^b Aplicable a los vehículos matriculados por primera vez (o puestos en servicio, en el caso donde la matriculación no sea obligatoria) después del 31 de marzo de 2018.</p> <p>^c Aplicable a los vehículos a motor de una masa máxima superior a 3,5 toneladas, destinados a traccionar remolques, y los remolques, de una masa máxima superior a 3,5 toneladas, matriculados por primera vez (o puestos en servicio, en el caso donde la matriculación no sea obligatoria) después del 31 de marzo de 2018.</p>
9.2.2.7	Tensión	X	X			
9.2.2.8	Corta corrientes de batería		X		X	
9.2.2.9	Circuitos alimentados permanentemente					
9.2.2.9.1					X	
9.2.2.9.2			X			
9.2.3	EQUIPO DE FRENADO					
9.2.3.1	Disposiciones generales	X	X	X	X	
	Dispositivos de frenado antibloqueo	X ^e	X ^{de}	X ^{de}	X ^{de}	<p>^d Aplicable a los vehículos a motor (tractores y portadores) de una masa máxima que sobrepase 16 toneladas y los vehículos a motor autorizados a traccionar remolques (es decir, los remolques completos, los semirremolques y los remolques de eje central) de una masa máxima que sobrepase 10 toneladas. Los vehículos a motor deberán estar equipados de un dispositivo de frenado antibloqueo de la categoría I. Aplicable a los remolques (es decir, los remolques completos, los semirremolques y los remolques de eje central) de una masa máxima que sobrepase 10 toneladas. Los remolques deberán estar equipados de un dispositivo de frenado antibloqueo de la categoría A.</p> <p>^e Aplicable a los vehículos a motor, así como los remolques de una masa máxima superior a 3,5 toneladas, matriculados por primera vez (o puestos en servicio, en el caso donde la matriculación no sea obligatoria) después del 31 de marzo de 2018.</p>

ESPECIFICACIONES TECNICAS		VEHICULOS				OBSERVACIONES
		EX/II	EX/III	AT	FL	
	Dispositivos de frenado de resistencia	X ^f	X ^g	X ^g	X ^g	f Aplicable a los vehículos a motor de una masa máxima superior a 16 toneladas o autorizados a traccionar remolques de una masa máxima superior a 10 toneladas, matriculados por primera vez después del 31 de marzo de 2018. El dispositivo de frenado de resistencia deberá ser del tipo IIA. g Aplicable a los vehículos a motor de una masa máxima superior a 16 toneladas o autorizados a traccionar remolques de una masa máxima superior a 10 toneladas. El dispositivo de frenado de resistencia deberá ser del tipo IIA.
9.2.4	PREVENCION DE RIESGOS DE INCENDIO					
9.2.4.3	Depósitos y botellas de carburante	X	X		X	
9.2.4.4	Motor	X	X		X	
9.2.4.5	Dispositivo de escape	X	X		X	
9.2.4.5	Freno de resistencia del vehículo	X ^f	X	X	X	f Aplicable a los vehículos a motor de una masa máxima superior a 16 toneladas o autorizados a traccionar remolques de una masa máxima superior a 10 toneladas, matriculados por primera vez después del 31 de marzo de 2018. El dispositivo de frenado de resistencia deberá ser del tipo IIA.
9.2.4.7	Calefacción a combustión					
9.2.4.7.1		X ^h	X ^h	X ^h	X ^h	h Aplicable a los vehículos a motor equipados después del 30 de junio de 1999. Puesta en conformidad obligatoria antes del 1 de enero de 2010 para los vehículos equipados antes de 1 de julio de 1999. La fecha de la primera matriculación del vehículo deberá ser utilizada cuando la fecha a la cual el vehículo haya sido equipado no esté disponible.
9.2.4.7.2						
9.2.4.7.5						
9.2.4.7.3					X ^h	h Aplicable a los vehículos a motor equipados después del 30 de junio de 1999. Puesta en conformidad obligatoria antes del 1 de enero de 2010 para los vehículos equipados antes de 1 de julio de 1999. La fecha de la primera matriculación del vehículo deberá ser utilizada cuando la fecha a la cual el vehículo haya sido equipado no esté disponible.
9.2.4.7.4						
9.2.4.7.6		X	X			
9.2.5	DISPOSITIVOS DE LIMITACION DE VELOCIDAD	X ⁱ	X ⁱ	X ⁱ	X ⁱ	i Aplicable a los vehículos a motor de una masa máxima que sobrepase las 12 toneladas, matriculados por primera vez después del 31 de diciembre de 1987, y a todos los vehículos a motor de una masa máxima superior a 3,5 toneladas pero inferior o igual a 12 toneladas matriculados por primera vez después del 31 de diciembre de 2007.
9.2.6	DISPOSITIVOS DE ENGANCHE DE LOS VEHÍCULOS A MOTOR Y LOS REMOLQUES	X	X	X ^j	X ^j	j Aplicable a los dispositivos de enganche de los vehículos a motor y los remolques matriculados por primera vez (o puestos en servicio, si la matriculación no es obligatoria) después del 31 de marzo de 2018.

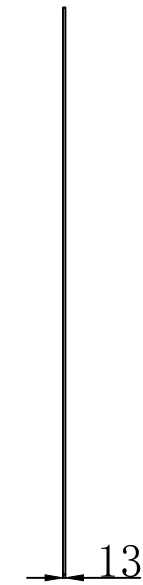


Universidad
Politécnica
de Cartagena

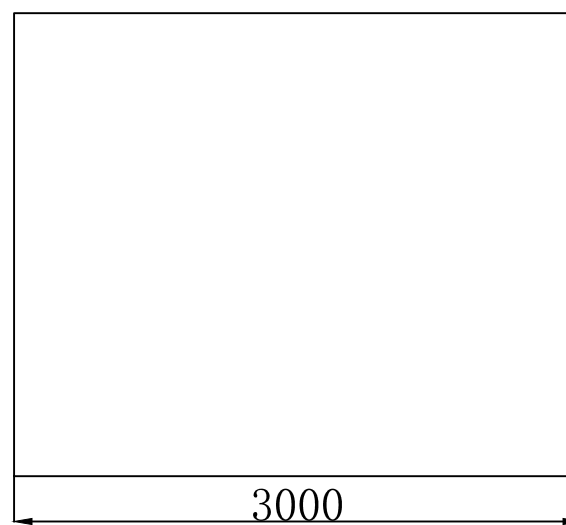
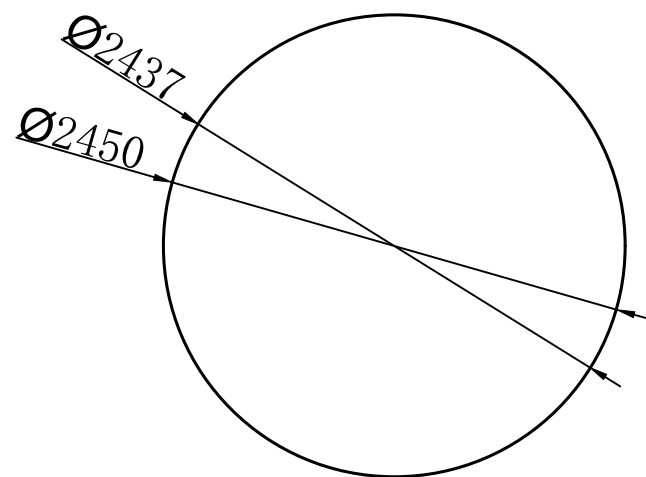
Trabajo Final de Grado
Marta Mora Zamora


PLANOS

Placa de acero

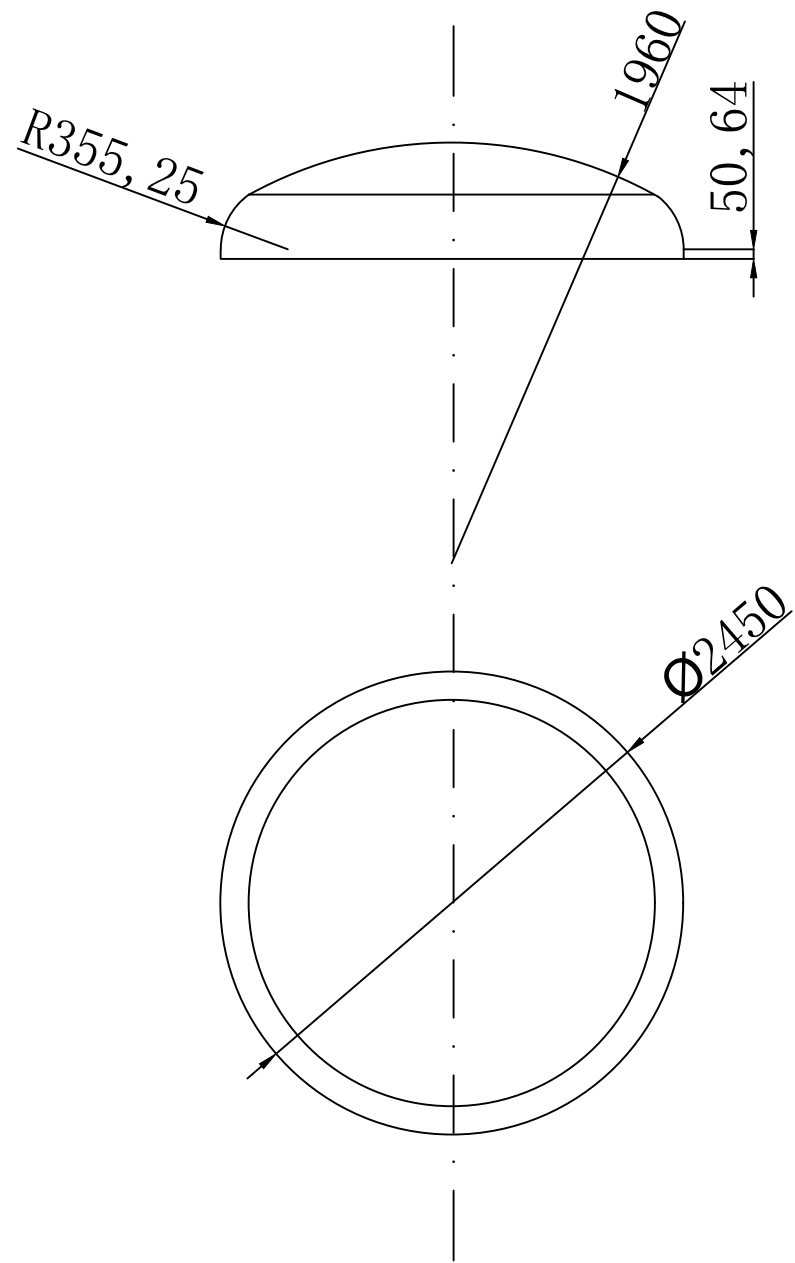


Virola tras conformado

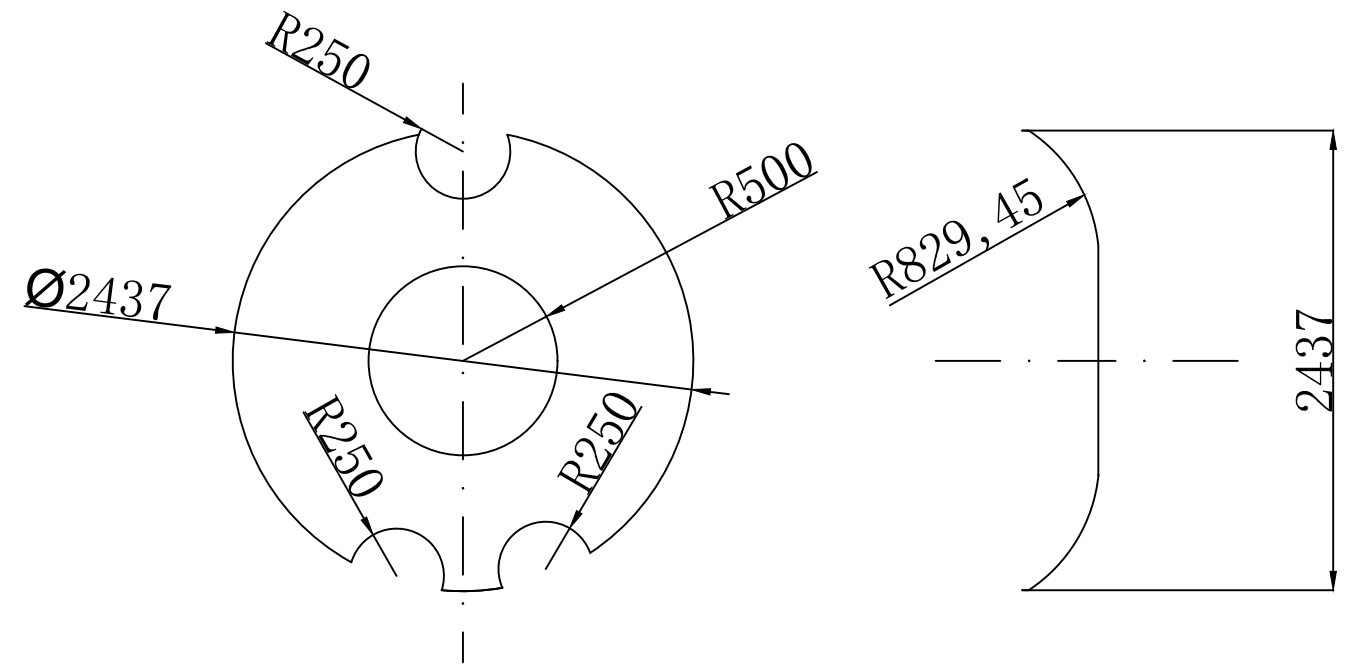


	Universidad Politécnica de Cartagena	Cálculo, diseño, fabricación y evaluación de la conformidad (Marcado CE) de una cisterna GLP (Automoción) para el transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR 2019)
Diciembre 2020	Autor	
Escala 1:40	Marta Mora Zamora	
Cotas en mm 1:1	Descripción	
Plano nº 1	Placa de acero antes del conformado Virola de acero tras el conformado	

Fondos



Rompeolas



Cálculo, diseño, fabricación y evaluación de la conformidad (Mercado CE) de una cisterna GLP (Automoción) para el transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR 2019)

Diciembre 2020

Autor

Escala 1:40

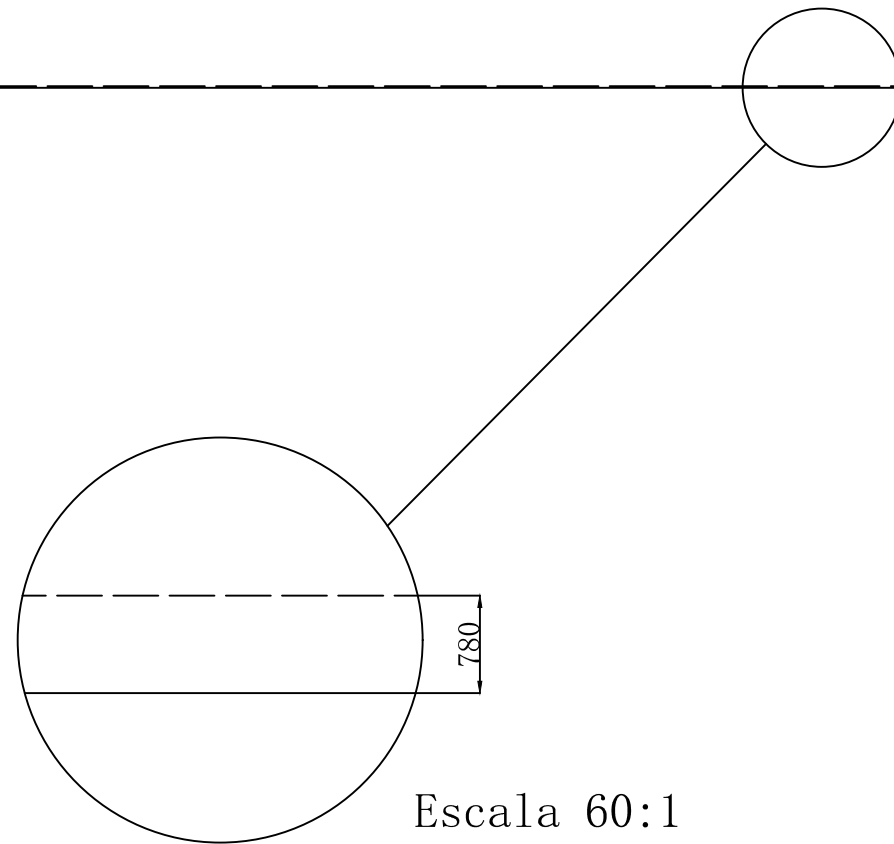
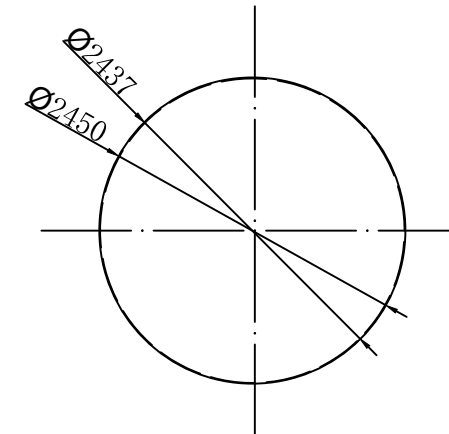
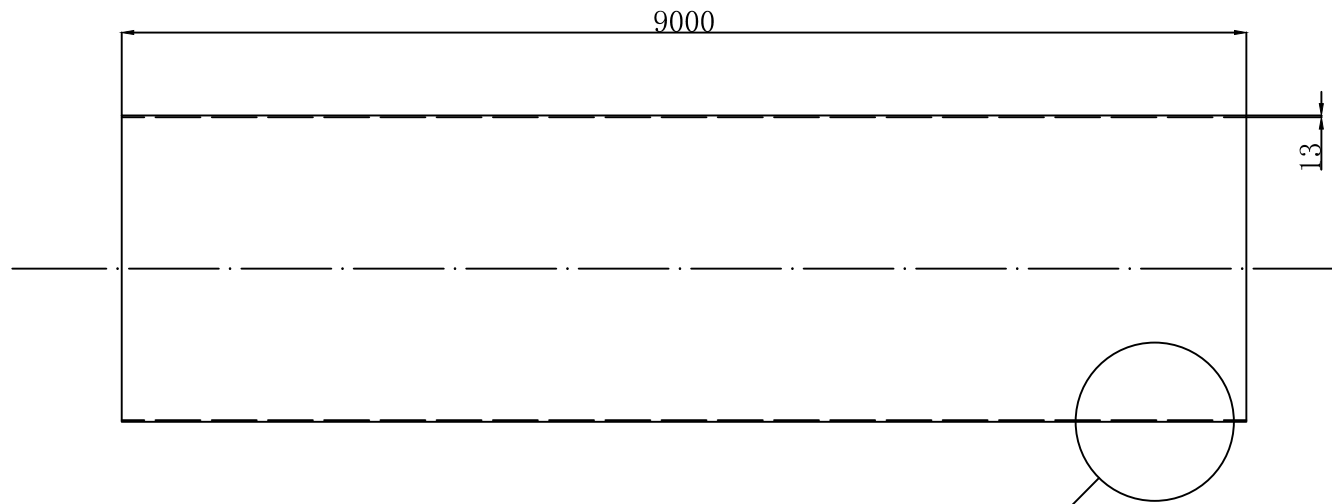
Marta Mora Zamora


Cotas en mm 1:1

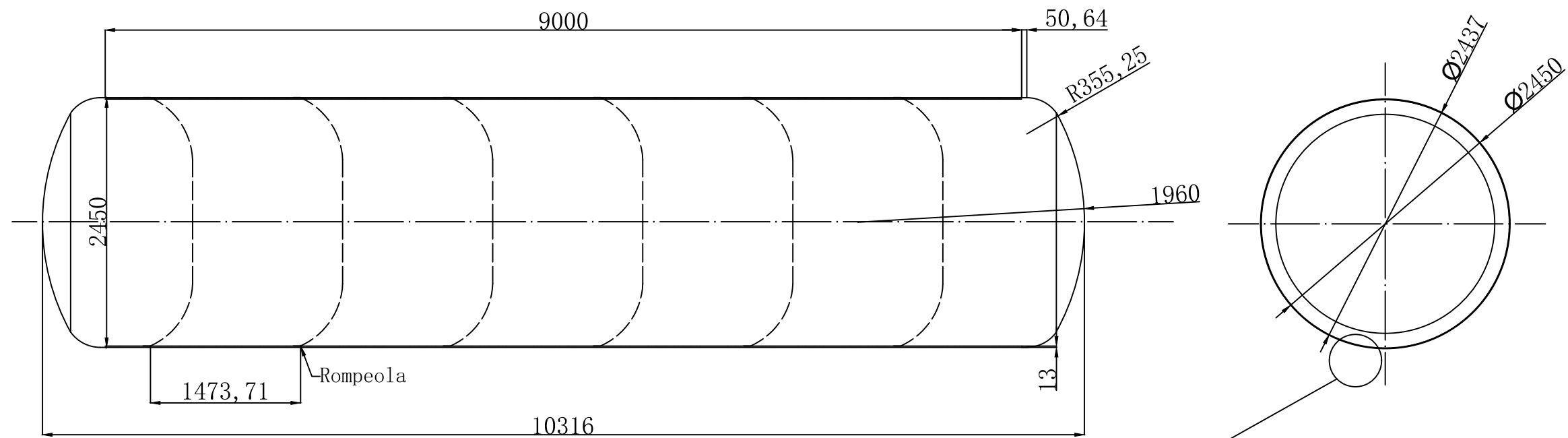
Descripción

Plano nº 2


Fondos toroidales tipo Korbogen
Rompeolas

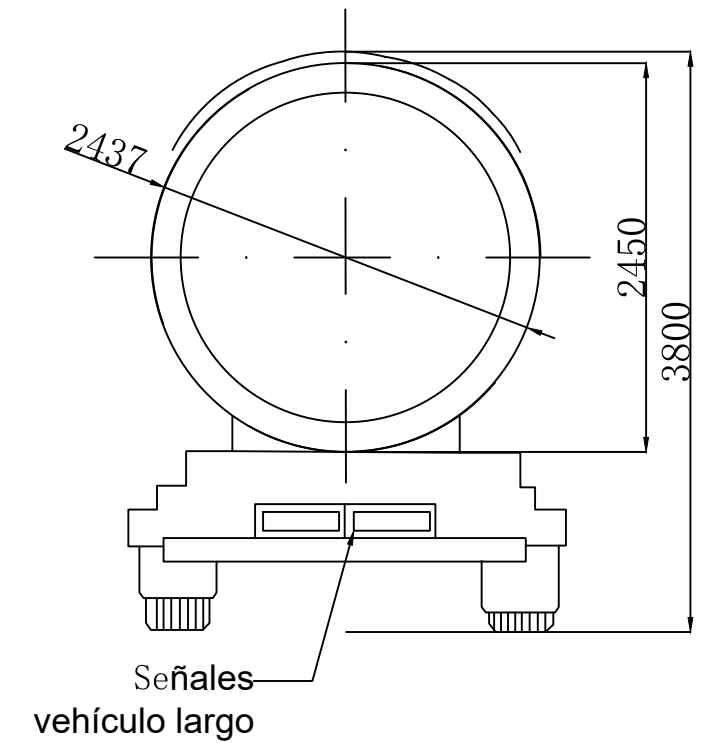
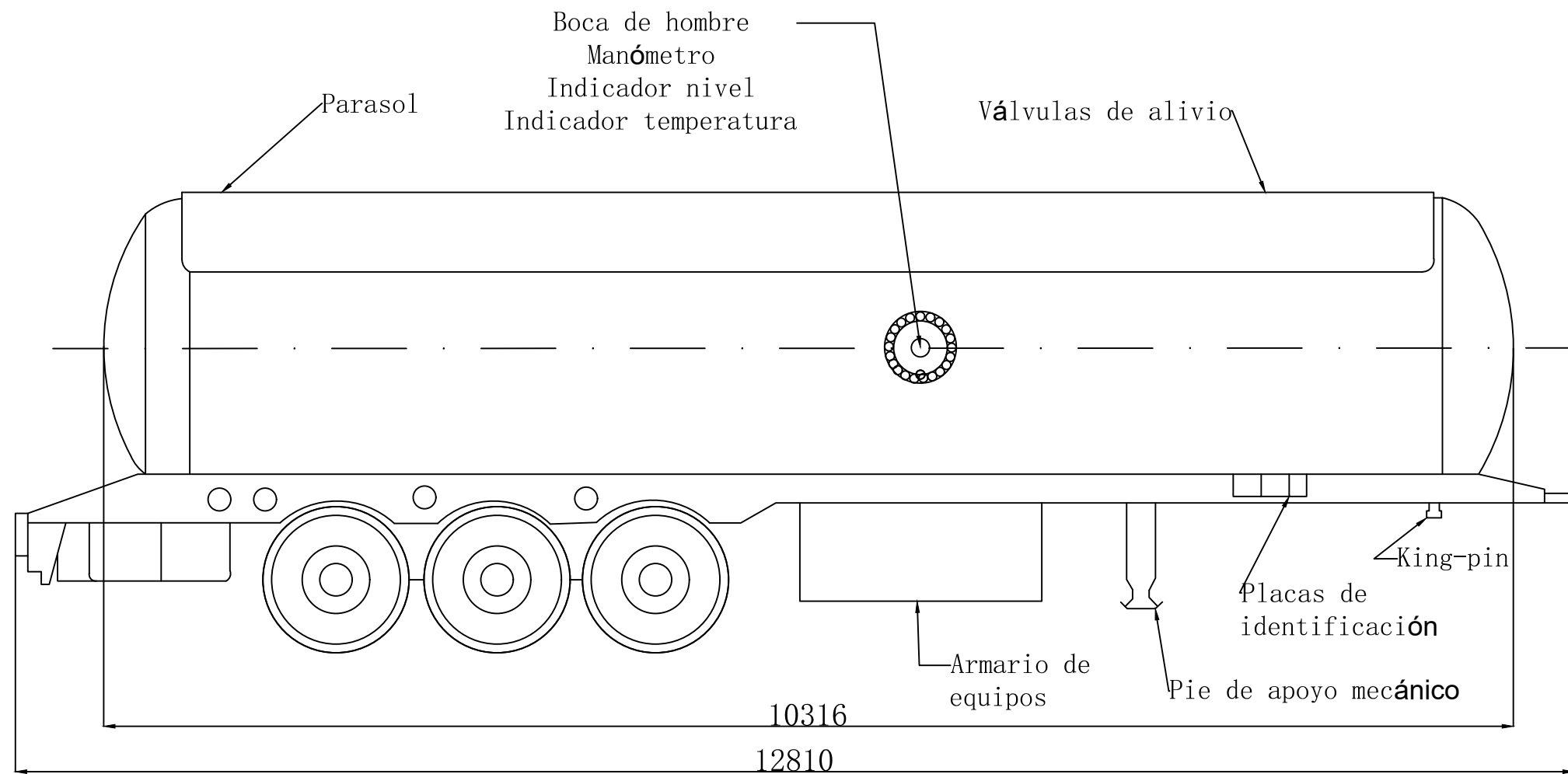



 Universidad Politécnica de Cartagena		Cálculo, diseño, fabricación y evaluación de la conformidad (Mercado CE) de una cisterna GLP (Automoción) para el transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR 2019)
Diciembre 2020	Autor	
Escala 1:50	Marta Mora Zamora	
Cotas en mm 1:1	Descripción	
Plano nº 3	Envolvente cilíndrica y detalle del espesor de la envolvente	



Escala 20:1

 Universidad Politécnica de Cartagena		Cálculo, diseño, fabricación y evaluación de la conformidad (Marcado CE) de una cisterna GLP (Automoción) para el transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR 2019)
Diciembre 2020	Autor	
Escala 1:50	Marta Mora Zamora	
Cotas en mm 1:1	Descripción	
Plano nº 4	Depósito y detalle del espesor del depósito Rompeolas instalados en el depósito	



 Universidad Politécnica de Cartagena		Cálculo, diseño, fabricación y evaluación de la conformidad (Mercado CE) de una cisterna GLP (Automoción) para el transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR 2019)
Diciembre 2020	Autor	
Escala 1:50	Marta Mora Zamora	
Cotas en mm 1:1	Descripción	
Plano nº 5	Depósito sobre semirremolque Conjunto rodante del camión cisterna y equipos	