

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA
Titulación: **INGENIERO TÉCNICO DE MINAS**

PROYECTO FIN DE CARRERA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y COMBUSTIBLES

CAMIÓN CISTERNA DE GLP

ALEJANDRO HURTADO DE MENDOZA MARTIN

SEPTIEMBRE 2013

Titulación: INGENIERO TÉCNICO DE MINAS

Plan: 2002

Autorizo la presentación del proyecto
CAMIÓN CISTERNA DE GLP

Realizado por
ALEJANDRO HURTADO DE MENDOZA MARTIN

Dirigido por
ENRIQUE QUEROL ARAGÓN

Firmado: Prof. ENRIQUE QUEROL ARAGÓN

Fecha: Septiembre 2013

Agradecimientos

A mi tutor Enrique Querol por todo su apoyo durante la realización de este proyecto.

A todos los profesores que me han dado clase que de alguna forma han contribuido con su apoyo y dedicación a que pueda lograr mis objetivos.

A todos mis compañeros y amigos por su apoyo y por estar siempre tanto en los momentos malos como en lo buenos.

A mi familia y mi pareja, por su paciencia y constante apoyo ya que sin ellos no habría llegado hasta este punto.

ÍNDICE

RESUMEN.....	VI
ABSTRACT	VI
DOCUMENTO Nº 1: MEMORIA.....	I
1 OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO	1
2 DESCRIPCIÓN Y USOS PRINCIPALES DEL GLP.....	2
2.1 ORIGEN DEL GLP	2
2.2 COMPOSICIÓN DEL GLP	3
2.3 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL GLP	4
2.4 USOS DEL GLP	5
2.5 VENTAJAS DEL USO DEL GLP	8
2.6 CONSUMO GLOBAL DE GLP	10
2.6.1 <i>Oferta y demanda de GLP</i>	13
3 TRANSPORTE DE GLP	15
3.1 CAMIÓN CISTERNA.....	16
3.1.1 <i>Depósito</i>	16
3.1.2 <i>Accesorios y dispositivos de seguridad</i>	17
3.2 PROTECCIÓN DE DEPÓSITOS	28
3.2.1 <i>Protección contra la corrosión</i>	28
3.2.2 <i>Protección pasiva</i>	28
3.2.3 <i>Protección activa</i>	28
3.3 PROCEDIMIENTO DE CARGA DE CAMIÓN CISTERNA	29
3.4 DESCARGA DE CAMIÓN CISTERNA	30
4 DISEÑO DE LA CISTERNA DE GLP	32
4.1 CÁLCULOS PARA EL DISEÑO	33
4.2 DIRECTRICES PARA LA SELECCIÓN DE LOS GRADOS DE MATERIAL	39
4.3 TEMPERATURAS DE REFERENCIA PARA EL DISEÑO	41
4.4 TEMPERATURAS DE REFERENCIA ALTERNATIVAS PARA EL DISEÑO	41

4.5	ESPEJOR DEL CUERPO DE LA CISTERNA DE GLP	42
4.5.1	<i>Tensión de diseño</i>	42
4.5.2	<i>Presión de diseño</i>	42
4.5.3	<i>Ecuaciones de diseño</i>	43
5	UNIÓN CISTERNA CHASIS	50
5.1	QUINTA RUEDA (5TH WHEEL)	51
5.2	KING-PIN.....	53
5.3	UBICACIÓN DE LA QUINTA RUEDA	54
5.4	MANIOBRABILIDAD	56
6	ELECTRICIDAD ESTÁTICA EN LA CARGA Y DESCARGA	57
6.1	INTRODUCCIÓN:	57
6.2	PREVENCIÓN CONTRA IGNICIÓN POR ELECTRICIDAD ESTÁTICA	60
7	NORMATIVA EN EL TRANSPORTE DE GLP	66
8	REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA	68
8.1	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	68
	DOCUMENTO Nº 2: ESTUDIO ECONÓMICO	70
1	COSTES DEL PROYECTO	71
1.1	GENERALIDADES	71
1.2	PRECIOS UNITARIOS.....	71
1.3	PRESUPUESTO	73
	DOCUMENTO Nº 3: PLANOS	74

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 Evolución de la producción de GLP [2]</i>	11
<i>Figura 2 Evolución del consumo sectorial de GLP [3]</i>	12
<i>Figura 3 Participación regional en consumo de GLP [4]</i>	12
<i>Figura 4 Suministros mundiales de GLP por año y país de origen [5]</i>	14
<i>Figura 5 Demanda mundial de GLP por año y país de destino [5]</i>	14
<i>Figura 6 Representación de un deposito [6]</i>	16
<i>Figura 7 Cisterna de GLP, parte líquida y parte gaseosa. [8]</i>	18
<i>Figura 8 Representación de una cisterna con su parasol [9]</i>	18
<i>Figura 9 Parasol y Boca de hombre o tapa en una cisterna [10]</i>	19
<i>Figura 10 Representación del interior de una cisterna con las conducciones de carga y descarga [11]</i>	19
<i>Figura 11 Conducciones de carga y descarga [12]</i>	19
<i>Figura 12 Armario de válvulas de carga y descarga. [13]</i>	20
<i>Figura 13 Tubos y conectores de carga y descarga y válvula [14]</i>	20
<i>Figura 14 Válvula de fondo [15]</i>	21
<i>Figura 15 Conexión de la válvula a la cisterna [16]</i>	22
<i>Figura 16 Introducción de la válvula [17]</i>	22
<i>Figura 17 Válvula de corte [18]</i>	23
<i>Figura 18 Válvula de corte [19]</i>	23
<i>Figura 19 Indicador de nivel [20]</i>	24
<i>Figura 20 Comprobación del nivel de la cisterna [21]</i>	25
<i>Figura 21 Acoplamiento Weco [22]</i>	26
<i>Figura 22 Brazos de carga y descarga de GLP [23]</i>	27
<i>Figura 23 Propiedades del Propano y Butano [24]</i>	32
<i>Figura 24 Dibujo del fondo abombado toroidal a partir del cual se han calculado los radios R y r. [24]</i>	44
<i>Figura 25 Chasis semirremolque 2 ejes [25]</i>	50
<i>Figura 26 Quinta rueda (5th Wheel) [26]</i>	51
<i>Figura 27 Partes de la quinta rueda [27]</i>	52
<i>Figura 28 King Pin [28]</i>	53
<i>Figura 29 Representación de la correcta situación de la quinta rueda [29]</i>	55

<i>Figura 30 Representación de los radios para permitir la maniobrabilidad del semirremolque [30].....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 31 Transferencia de cargas entre líquidos y sólidos. Según la teoría de la "doble capa", la segunda capa está indicada con signos + en la superficie interna del tubo [31]....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 32 Tipos diferentes de descargas según la geometría de la disposición de los elementos y materiales afectados [31].....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 33 Velocidades y valores de “vd” en tuberías [31].....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 34 Esquema de instalación de puesta a tierra para un camión cisterna de hidrocarburos líquidos.[31].....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 35 Detalle arqueta puesta a tierra[31].....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 36 Etiqueta identificativa del transporte de GLP [32]</i>	<i>67</i>
<i>Figura 37 Panel de identificación de GLP [33]</i>	<i>67</i>

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Requisitos exigidos al propano y butano. Fuente: RD61/2006 [1]</i>	<i>4</i>
<i>Tabla 2 Temperaturas de diseño del depósito según la norma UNE [24] Fuente [24]</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 3 Constantes de los gases para la formula de Antoine</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 4 Clases de acero [24].....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 5 Características del Acero según la norma UNE [24]</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 6 Características de la cisterna de GLP</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 7 Tolerancias de los fondos abombados según la norma UNE-EN_12493 [24]</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 8 Parámetro β para fondos toroidales sacado de la norma UNE-EN_12493 [24].....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 9 Pesos recomendados [25].....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 10 Precios unitarios de los materiales.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 11 Precios unitarios de la ingeniería.....</i>	<i>72</i>

Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño de una cisterna de transporte de GLP y establecer todos los elementos que han de componer una cisterna así como una explicación de cada uno de ellos. Todos los cálculos del diseño están referidos a la normativa actual “UNE-EN 12493:2009+A1:2012 Equipos y accesorios para GLP. Tanques de acero soldados para gases licuados del petróleo (GLP). Diseño y fabricación de camiones cisterna”.

Además se realiza una breve introducción sobre el GLP explicando el origen, la composición y los diferentes usos que tiene.

Se exponen las medidas de prevención que son necesarias y se detallan todos los procedimientos así como todas las operaciones que se han de realizar para la carga y descarga del camión cisterna.

Abstract

This project aims at designing an LPG transport tankers and set all the elements to compose a tank as well as an explanation of each. All design calculations are referred to the current regulations “UNE-EN 12493:2009+A1:2012 Equipos y accesorios para GLP. Tanques de acero soldados para gases licuados del petróleo (GLP). Diseño y fabricación de camiones cisterna.”

It also contains a brief introduction on LPG explaining the origin, composition and the different uses it has.

Also are exposed prevention measures that are necessary and all procedures are detailed as well as all operations to be performed for the loading and unloading of the tanker.

CAMIÓN CISTERNA DE GLP

DOCUMENTO N° 1: MEMORIA

1 Objetivo y alcance del proyecto

El Gas Licuado del Petróleo, en adelante GLP, está asociado a la producción de gas natural y crudo de petróleo pero también es una de las energías con mayor potencial calorífico, pudiendo desempeñar cualquiera de las funciones de los combustibles primarios de los que se deriva, además tiene muchas ventajas medioambientales y económicas.

El GLP es un gas combustible extremadamente limpio, ofrece numerosas ventajas tanto a los usuarios finales como al conjunto de la sociedad. Se licúa con facilidad, lo que facilita su transporte y almacenamiento y lo convierte en una opción energética muy versátil.

Actualmente Europa es plenamente autosuficiente en la producción de GLP, estando, además las reservas garantizadas. Debido a que la producción de GLP está asociada a la producción de otros hidrocarburos existe un importante superávit de GLP a nivel europeo y mundial por lo que el GLP es ideal para aumentar el mix energético europeo.

El GLP dispone de una gran variedad de usos como el autogas, en hogar, ocio y hostelería, agricultura, en la industria, y la cogeneración. este proyecto se centra en el uso industrial.

El objeto del presente proyecto es definir tanto los elementos de los que debe disponer una instalación de almacenamiento, trasvase, vaporización y distribución de GLP así como los diferentes métodos de producción y los usos asociados al GLP.

Adicionalmete se describe brevemente todo el procedimiento de carga y descarga de un camión cisterna de GLP.

El objetivo final de este proyecto es el dimensionamiento de la cisterna de un camión de GLP y todos los sistemas asociados.

2 Descripción y usos principales del GLP

GLP es la abreviatura de “gases licuados del petróleo”, denominación que se aplica a mezclas de propano y butano que alcanzan el estado gaseoso a temperatura y presión atmosférica, y que además tienen la propiedad de licuarse a presiones relativamente bajas, lo cual se aprovecha para el almacenamiento y transporte en recipientes a presión.

El GLP tiene su origen en los Estados Unidos entre los años 1900 y 1912 donde se comprobó que la gasolina natural no refinada tenía una gran tendencia a evaporarse debido a la presencia de estos hidrocarburos ligeros.

El GLP puede encontrarse formando parte del crudo y del gas natural, sin embargo existen diversos procesos de refinación que los pueden producir, como a continuación se describen:

- Reformado catalítico: Se alimenta de naftas ligeras para producir aromáticos y gasolinas. El rendimiento en GLP está entre un 5% y un 10%.
- Cracking catalítico: Se alimenta de gas-oil o nafta produciendo etileno y propileno para petroquímica. El rendimiento en GLP está entre un 5% y un 12%.
- Steam Cracking: Se alimenta con gas-oil o nafta produciendo etileno y propileno. El rendimiento en GLP está entre un 23% y un 30%.
- Polimeración y alquilación: Se alimentan de butenos para producir gasolinas. El rendimiento en GLP está entre un 10% y un 15%.
- Cracking térmico: Se alimentan de gas-oil para producir gasolina. El rendimiento en GLP está entre un 10% y un 20%.
- Coking y visbreaking: Se alimenta de gas-oil pesado y residuo para producir coque. El rendimiento en GLP está entre un 5% y un 10%.

2.1 Origen del GLP

El Gas Licuado tiene dos orígenes: el 60% de la producción se obtiene durante la extracción de gas natural y petróleo del subsuelo. El 40% restante se produce durante el proceso de refinación del crudo de petróleo.

El GLP es por naturaleza un producto secundario que de no ser aprovechado como fuente energética continuaría siendo un producto no deseado.

Cuando se extrae de la tierra gas natural y crudo de petróleo, lo que se obtiene es una mezcla formada por distintos gases y líquidos de la que el GLP supone más o menos un 5%.

Cuando se refina crudo de petróleo, los gases que componen el Gas Licuado son los primeros productos que se desprenden a lo largo del proceso de separación de combustibles más pesados, como gasóleo, combustible de aviación, fueloil y gasolina. Alrededor del 3% de un barril de crudo se refina para dar GLP, aunque sería posible transformar en Gas Licuado hasta el 40% del barril.

2.2 Composición del GLP

El Gas Licuado de Petróleo (GLP), es una mezcla de hidrocarburos gaseosos que se obtiene de la destilación del petróleo y se conserva, almacena y transporta en forma líquida, al someterlos a una presión moderada.

Está compuesto principalmente de una mezcla de gas propano y gas butano en una proporción determinada en función al clima, la altura o el equipo en donde se realizará la combustión para obtener mejores resultados. El GLP es un combustible de alto poder calorífico por unidad de volumen.

Los dos componentes principales de los gases licuados de petróleo tienen características físicas algo diferentes.

El butano (C_4H_{10}) es un gas incoloro, inodoro e insípido que se licua a medio grado bajo cero, y a 20° C se licua a una presión de sólo 2,2 atm (la presión de un neumático de automóvil). Menos denso que el agua, el butano líquido pesa 0,5 kg/L. El propano (C_3H_8), más liviano que el butano, hierve a - 42 °C y requiere más de 8,7 bar para licuarlo a 21 °C. También es un gas incoloro, inodoro e insípido con una densidad de medio kilo por litro.

Las principales diferencias entre el propano y el butano son:

- El propano se vaporiza a temperaturas por encima de -42°C a presión atmosférica.
- A diferencia del propano, el butano no vaporiza por debajo de los 0°C.
- El propano tiene una mayor presión de vapor que el butano a cualquier temperatura.
- Cuando se produce una combustión, el propano produce menos calor en comparación con el mismo volumen de gas butano.

Los GLP más comunes son el propano y el butano comercial. Ambos se comercializan cumpliendo las especificaciones vigentes (Real Decreto 61/2006). Son básicamente butano y propano y sus mezclas, como se ve en la tabla 1.

Tabla 1 Requisitos exigidos al propano y butano. Fuente: RD61/2006 [1]

	Propano comercial	Butano comercial
C2	< 2,5 (%)v	< 2 (%)v
C3	>80 (%)v	<20 (%)v
C4	<20 (%)v	>80 (%)v
C5	<1,5 (%)v	<1,5 (%)v
$\rho_{15^{\circ}\text{C}}$	[502 kg/m ³ , 535 kg/m ³]	>580 kg/m ³
Azufre	<50 mg/kg	<50 mg/kg
PCI	10,8 Mcal/kg	10,7 Mcal/kg
PCS	11,9 Mcal/kg	11,8 Mcal/kg

2.3 Principales características del GLP

A continuación describiremos algunas de las características más importantes del GLP.

Se produce en estado de vapor, pero se licúa con cierta facilidad, mediante compresión y enfriamiento, no tiene color, es transparente como el agua en su estado líquido, es inodoro cuando se produce y licúa, pero se le agrega una sustancia de olor penetrante para detectarlo cuando se fugue, no es tóxico, solo desplaza el oxígeno, por lo que no es propio para respirarlo mucho tiempo.

Es muy inflamable, cuando se escapa y se vaporiza se enciende violentamente con la menor llama o chispa, es excesivamente frío, por pasar rápidamente del estado líquido a vapor, por lo cual, al contacto con la piel producirá siempre quemaduras de la misma manera que lo hace el fuego.

Es limpio, cuando se quema debidamente combinado con el aire, no forma hollín, ni deja mal sabor en los alimentos preparados con él, es económico, por su rendimiento en comparación con otros combustibles y por último, es más pesado que el aire, por lo que al escaparse el gas, tenderá a ocupar las partes más bajas, como el piso, fosas y pozos que haya en el área.

2.4 Usos del GLP

Ambos gases que forman el GLP son más pesados que el aire, por lo que forman charcos. Este es un peligro, ya que siendo invisible, una fuga de GLP sólo se detecta por el olor y, si se acumula en el suelo, presenta un peligro potencial. Debido a que ambos gases no están a alta presión, el GLP se almacena en tanques relativamente livianos, de diversos tamaños y formas, de acuerdo al uso, relativamente fáciles de manipular.

A partir de su primera comercialización en el año 1912, la tecnología para el manejo del gas líquido se ha perfeccionado a medida que se ha difundido su uso.

El GLP emite en su combustión menos CO₂; que los combustibles sólidos y líquidos, sin hollín ni azufre, su combustión produce sólo anhídrido carbónico y agua. Con un contenido de energía similar al de la gasolina, pero un octanaje más alto (103 oct.), el GLP es un excelente combustible automotor. Su menor densidad obliga al uso de tanques más grandes y pesados que los que requiere la gasolina, pero permite una mayor compresión, mantiene limpio el motor alargando su vida útil y contamina menos el ambiente. Por estas razones su uso en vehículos está en aumento.

Actualmente unos once millones de automóviles funcionan con GLP y las últimas cifras indican que su número aumenta a razón de más de 3% al año. Al inicio del año pasado había a nivel mundial 48 000 estaciones gasolineras que despachaban GLP, cifra que aumenta a paso más acelerado, aproximadamente 20% al año. Varios factores han contribuido al incremento del uso automotriz del GLP, entre ellos el perfeccionamiento de los sistemas que permiten usar gasolina cuando no se dispone del gas.

- **Agricultura:**

El GLP se utiliza frecuentemente en el sector agrícola para desecación térmica, secado de cultivos, como combustible de vehículos y como repelente de insectos. Al tratarse de una fuente de energía moderna y respetuosa con el medio ambiente, el GLP puede desempeñar un papel muy importante en el futuro desarrollado de la agricultura.

- **Automoción:**

El GLP es el combustible alternativo de automoción mas empleado. A día de hoy, el autogas es el carburante alternativo más extendido en el sector de automoción, con más de trece millones de vehículos en todo el mundo. El valor añadido del GLP como carburante de automóvil reside en que genera considerablemente menos emisiones que otros combustibles fósiles, lo cual ayuda a proteger el medio ambiente y a la vez contribuye a mitigar el cambio climático.

- **Ocio:**

Por su flexibilidad y su naturaleza respetuosa con el medio ambiente, el GLP es un combustible ideal para aplicaciones recreativas terrestres y acuáticas.

El GLP se utiliza habitualmente para cocinar en tiendas de campaña y caravanas. El GLP proporciona una temperatura constante y es la mejor fuente de energía a nuestra disposición en términos de reducción de las emisiones de CO₂.

El GLP ofrece ventajas importantes en lo que respecta a la reducción de emisiones nocivas, se transporta con facilidad y se encuentra disponible en una amplia gama de opciones de almacenamiento. El GLP es la más flexible de las fuentes de energía.

El GLP es también una opción muy atractiva para aplicaciones náuticas, por ejemplo como combustible de embarcaciones de recreo. Su impacto en el agua es insignificante y permite a los usuarios disfrutar de los ríos y lagos preservando la calidad del entorno natural.

- **Hostelería:**

El propano y el butano se utilizan tanto en la restauración como fuente de energía para alimentar cocinas y planchas de los restaurantes, bares y cafeterías, etc. Como en la hostelería, como energía para el funcionamiento de los equipos de producción de agua caliente centralizada en los hoteles, así como para los aparatos (cocinas, neveras, encimeras, etc.) instalados en cocinas de dichos establecimientos.

- **Industria:**

A nivel industrial el uso del GLP, constituye un valor añadido, no solo por ser una energía limpia y económica, sino también por su flexibilidad y por ser una alternativa manejable (envases, depósitos o canalización).

Por ejemplo el GLP en el ámbito industrial se aplica en:

- Manufacturas de vidrio, cerámica, ladrillos y bloques.
- Producción de perfiles de aluminio.
- Acabados de superficies.
- Soldadura, fundición y proceso de metales.
- Plantas desalinizadoras de agua.
- Secado, fijado y remoción de pintura.
- Alimentación

- **Hogar:**

Las viviendas y los hoteles necesitan una fuente de energía fiable para numerosas aplicaciones, como calefacción central, producción de agua caliente, climatización de piscinas o aire acondicionado. El GLP puede cubrir todas esas necesidades, con la ventaja añadida de proteger a particulares y empresas contra la vulnerabilidad de los cortes en el suministro.

- **Cogeneración:**

Al tratarse de una de las energías convencionales más limpias, el GLP es un buen complemento a las fuentes y tecnologías renovables, que requieren luz solar o determinadas condiciones meteorológicas. El GLP también facilita la generación descentralizada de alta eficiencia, mediante pequeños generadores autónomos y la microgeneración combinada de calor y electricidad. En estas aplicaciones de generación localizada, la huella de carbono del GLP es inferior a la del gasóleo y sensiblemente menor que la de la gasolina.

2.5 Ventajas del uso del GLP

La calidad del aire que nos rodea tiene efectos directos en la salud de los seres humanos, en las plantas y los animales. El transporte, la combustión estacionaria y la generación de energía son las principales fuentes de contaminación local del aire. El GLP puede contribuir positivamente a mejorar la calidad del aire, en comparación con el gasóleo, fueloil de calefacción y los combustibles sólidos.

Si nos fijamos en su huella de carbono el GLP es uno de los combustibles convencionales más limpios que existen. El GLP se origina fundamentalmente durante la producción de gas natural. No es tóxico y no afecta negativamente al suelo, las masas de agua o los acuíferos.

El GLP también ayuda a reducir las emisiones de hollín y partículas que, aparte de afectar a la calidad del aire en interiores y exteriores, pueden causar problemas graves de salud.

La industria del GLP está en buena situación para aportar soluciones que mejoren la calidad local del aire. Puede favorecer la adopción de motores híbridos y de autogas en el sector de automoción o puede servir para que los países en desarrollo abandonen la madera y el queroseno para cocinar y calentarse.

El GLP es un combustible poco contaminante y con bajas emisiones de carbono, por lo que puede contribuir a mejorar la calidad de aire así como a reducir la emisión de gases de efecto invernadero.

El autogas puede desempeñar un papel importante en la lucha contra el cambio climático. Es uno de los combustibles comerciales con menores emisiones de gases de efecto invernadero, si se considera todo su ciclo de vida.

Las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de GLP son un 15% inferiores a las del fueloil de calefacción. Y la ventaja del GLP con respecto a la electricidad es todavía mayor.

El GLP es uno de los combustibles más atractivos para calentar agua caliente sanitaria ya que las emisiones de gases de efecto invernadero se ven reducidas considerablemente.

El GLP es un combustible rico en energía, con un poder calorífico unitario mayor que cualquier otro combustible habitual como, por ejemplo, el carbón, el gas natural, el gasóleo, la gasolina, el fueloil y los alcoholes derivados de la biomasa. Dicho de otra manera: una llama de GLP tiene una temperatura más alta y esta ventaja puede traducirse en eficiencia.

Se trata de una fuente de energía rentable y económica, que puede resultar hasta cinco veces más eficiente que otros combustibles tradicionales y utilizarse con menos desperdicio y haciendo un mejor uso de los recursos de nuestro planeta.

El GLP resulta extremadamente versátil y transportable. Puede transportarse por mar, por ferrocarril o por carretera. Se encuentra disponible en una gran variedad de opciones de envasado y almacenamiento, desde bombonas reutilizables hasta tanques enterrados.

Es, por otro lado, un combustible que puede suministrarse incluso a los lugares más remotos, mejorando la calidad de vida de poblaciones de todo el mundo y facilitando el desarrollo regional. Si pensamos que hay relativamente pocas zonas rurales o remotas que puedan beneficiarse del gas natural canalizado, resulta evidente que el GLP es una fuente de energía ideal para este tipo de comunidades, como fuente primaria o en combinación con combustibles renovables.

El GLP no necesita grandes infraestructuras de tubería para su transporte. Con frecuencia, es el único combustible que llega hasta comunidades isleñas o situadas a gran altura. En momentos de emergencia o de catástrofes, puede ser vital para la supervivencia.

En las zonas rurales de los países en desarrollo, el GLP es en muchas ocasiones la primera alternativa moderna a los combustibles de cocina tradicionales, como la leña, el carbón vegetal o el estiércol. Mejora la calidad de vida y, lo que es más importante, hace posible que las mujeres y los niños dediquen menos tiempo a recoger combustible, con lo que disponen de más tiempo para ir al colegio o para realizar actividades económicas de valor añadido dentro de su comunidad.

Al tratarse de una de las energías convencionales más limpias, el GLP es un buen complemento a las fuentes y tecnologías renovables, que requieren luz solar o determinadas condiciones meteorológicas. El GLP es un socio natural de las energías renovables.

Igualmente, puede contribuir a la mejora de la eficiencia energética, puesto que permite la generación descentralizada mediante pequeños generadores autónomos y la microgeneración combinada de calor y electricidad.

El GLP se utiliza frecuentemente en el sector agrícola para desecación térmica, secado de cultivos, como combustible de vehículos agrícolas y como repelente contra insectos. Es una fuente de energía moderna y respetuosa con el medio ambiente, que puede cumplir una función muy importante en el futuro desarrollo de la agricultura, eliminando el uso de productos químicos en determinadas aplicaciones agrícolas, como el control de malas hierbas o la desinfección de establos.

2.6 Consumo global de GLP

Estudios realizados por consultores privados [2] señalan que la oferta actual de GLP se incrementara en 480 MB¹ en el 2010 al pasar de 2700 MB a 3183 MB y a 3750 MB en 2015 Norteamérica se ha destacado como la principal fuente de producción mundial de GLP, cuyos aportes representan cerca de la tercera parte de la oferta mundial total.

En el año 2005, como se observa en la Figura 1, la producción alcanzó 2700 MB provenientes principalmente de Estados Unidos, el Medio Oriente y Asia. Por su parte América Latina contribuyó con el 12,7% del total, mientras Europa, África y Oceanía participan con el 24,8%.

El Medio Oriente produjo cerca de 500 MB de GLP, de los cuales cerca del 90% provienen del procesamiento de gas natural y el restante de los procesos de refinación.

La demanda [3], como se ve en la Figura 2, mundial de GLP creció casi un 26% entre 1998 y el 2005 a una tasa media anual de 3,34% superando el crecimiento económico mundial que fue de 2,9% para el mismo periodo.

¹ MB hace referencia a Millón de Barriles. El barril son 0,159 m³.

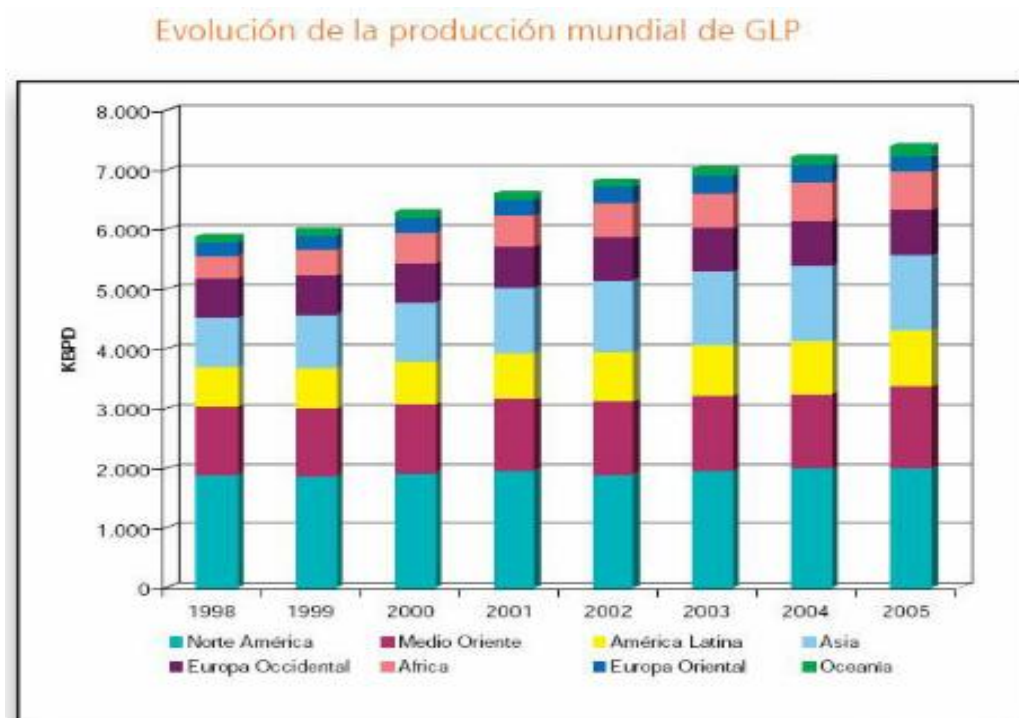


Figura 1 Evolución de la producción de GLP [2]

El consumo actual de GLP, como se puede observar en la Figura 3, en el sector transporte oscila alrededor de los 210 MB en cerca de 11 millones de vehículos. Polonia es el país de mayor consumo representando un 16% del total, seguido de Corea, Japón, Lituania, Turquía y Australia (50% del GLP utilizado a nivel mundial como combustible automotor)

El consumo de los sectores residencial y comercial se incremento en este periodo en casi 325MB, equivalentes a un 31,6%, seguido del sector químico cuyo incremento ascendió a 125 MB correspondientes a 25,2%. El sector transporte pasó de consumir 110 MB en 1998 a 231 MB en el 2005 con un incremento del 95%, siendo en términos relativos, el de mayor crecimiento.

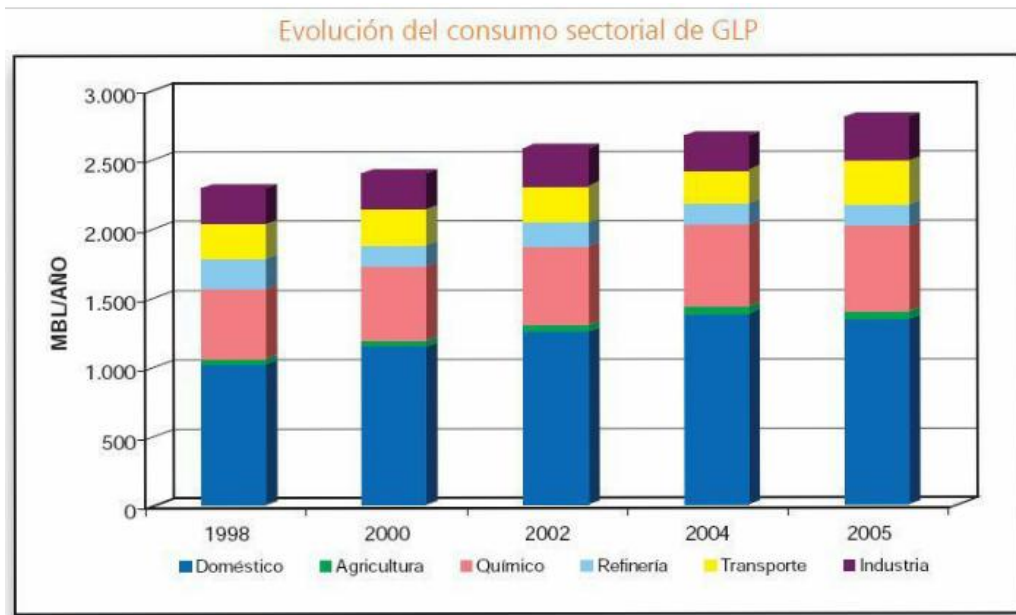


Figura 2 Evolución del consumo sectorial de GLP [3]

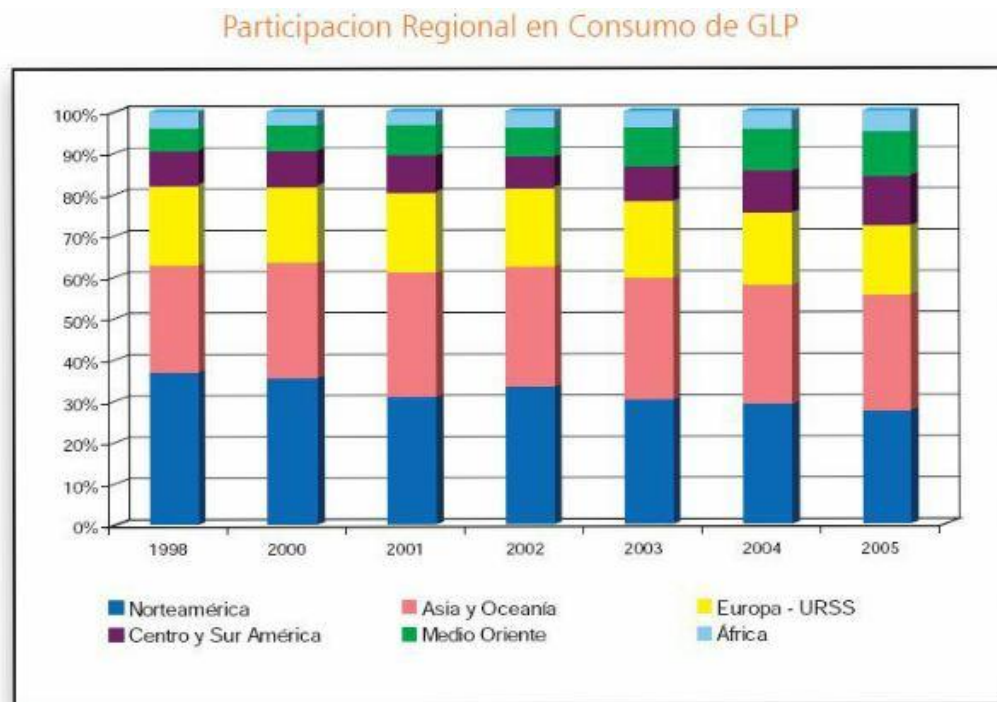


Figura 3 Participación regional en consumo de GLP [4]

2.6.1 OFERTA Y DEMANDA DE GLP

El consumo de GLP en el Mundo [5], Figura 5, ha crecido en forma importante a lo largo de los últimos 11 años, un 45% en el año 2000 respecto de 1990, a una tasa del 3,8% anual acumulada.

Los consumos domésticos son el principal destino del GLP, y representan el 49% del total del consumo mundial. La industria representa el 13%, y el transporte el 7%, entre los sectores de consumo más importantes.

El precio internacional del GLP mantiene un comportamiento similar en los tres principales mercados internacionales de referencia. En el caso del GLP, su precio está relacionado con las cotizaciones del petróleo y del gas natural.

La oferta mundial de GLP crece anualmente, Figura 4, con una tasa aproximada del 3%, debiendo su mayor contribución a las plantas procesadoras de gas natural. La producción global en el año 2002 superó las 207 Mt lo que es energéticamente equivalente a un 10% de la producción de gas natural.

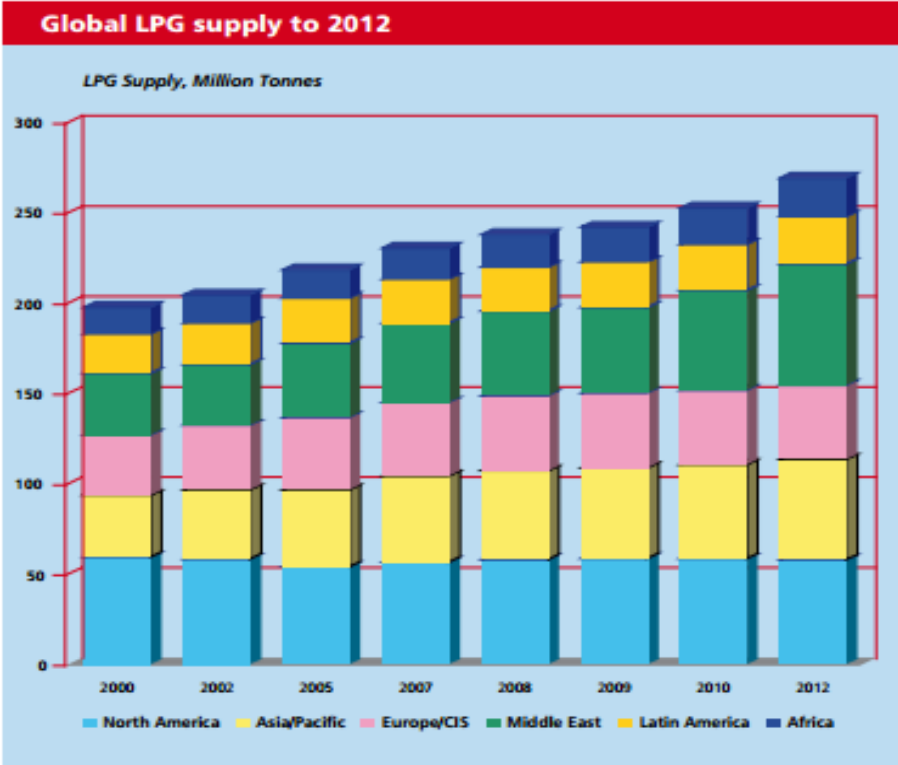


Figura 4 Suministros mundiales de GLP por año y país de origen [5]

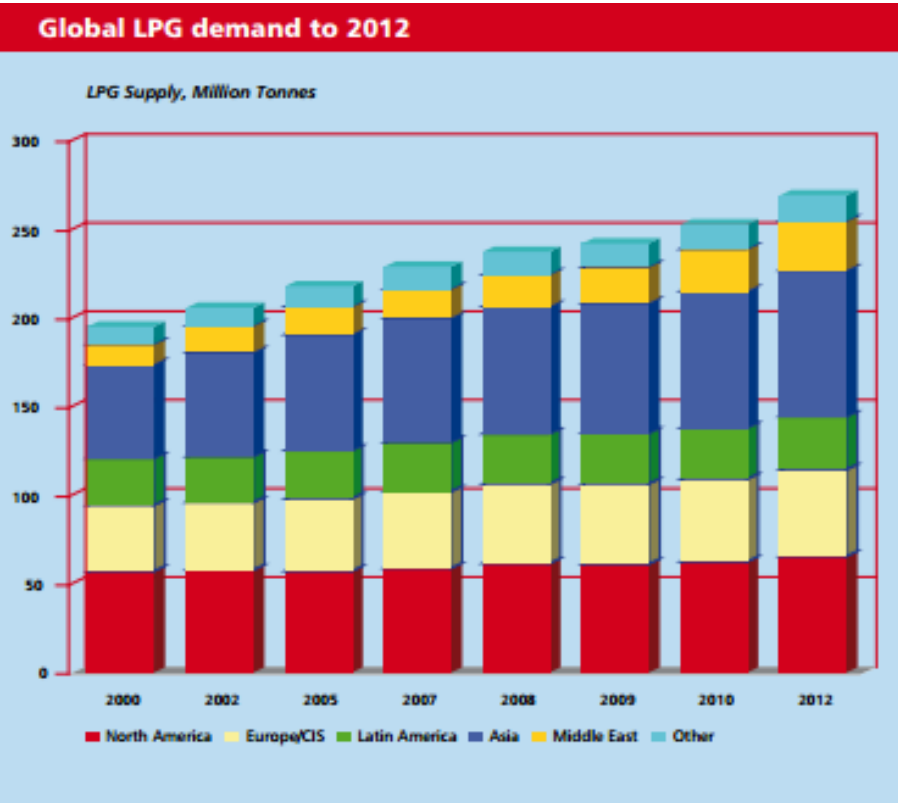


Figura 5 Demanda mundial de GLP por año y país de destino [5]

3 Transporte de GLP

El GLP se transporta y almacena en recipientes en estado líquido, debido a que en este estado ocupan un volumen unas 250 veces menor que en el gaseoso. En los recipientes, la fase líquida ocupa la parte inferior y el vapor la superior a modo de burbuja, coexistiendo en equilibrio de presiones.

Como el consumo de GLP en general se hace en estado gaseoso, es necesario que primero el GLP pase al estado de vapor. La vaporización puede ser natural o forzada.

Vaporización natural: Cuando el gas sale directamente del recipiente que lo contiene, al abrir la llave que éste lleva en su parte superior.

Vaporización forzada: Se produce cuando se calienta de forma artificial la fase líquida para provocar la vaporización. La vaporización forzada puede ser necesaria en algunos casos:

Cuando el caudal de gas requerido en la instalación es superior al que se puede obtener con vaporización natural.

Cuando las temperaturas ambientales son muy bajas, lo que impide que se vaporice lo suficiente.

Cuando se requiere una mezcla constante del GLP, ya que en la vaporización natural se provoca un cierto enriquecimiento de las fracciones pesadas (C4) en la parte que va quedando en el depósito

Para determinar el caudal que un depósito puede vaporizar de forma natural, se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q = p S K (T_e - T_g) / CLV$$

donde:

Q es el caudal másico de vaporización en kg/h

P es el porcentaje de superficie del depósito en contacto con el líquido. Para un 20% de llenado se toma: a = 0,336 y para un 30% vale un 0,397.

S es la superficie del depósito en m^2 .

K es el coeficiente de transmisión de calor a través de las paredes del depósito.

T_e es la temperatura exterior mínima media prevista, del ambiente en el que está instalado el depósito.

T_g es la temperatura de equilibrio líquido-gas en el interior del depósito.

CLV es el calor latente de vaporización del propano. Se toma un valor de 0,11 kWh/kg

3.1 Camión Cisterna

3.1.1 DEPÓSITO

El depósito se construye a partir de virolas cilíndricas y dos fondos (cascos). Las virolas cilíndricas y los cascos están unidos mediante soldaduras.

Los fondos son más abombados si el depósito está diseñado para resistir presiones interiores altas. Los depósitos de transporte líquido, acostumbran a tener los fondos (cascos) más planos y en el transporte de gases licuados a presión más semiesféricos. Para dar mayor resistencia, los depósitos llevan unos aros exteriores soldados (costillas), muy habitual en las cisternas de líquido.

Los fondos abombados del depósito serán toroidales debido a que estos ocupan menos, lo que hace que disminuya la longitud de la cisterna.

El depósito puede tener sección circular o elíptica. Los depósitos que contienen productos a presión siempre son de sección circular.

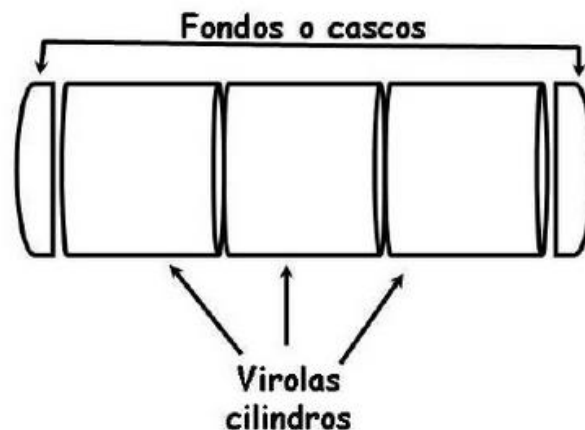


Figura 6 Representación de un depósito [6]

3.1.2 ACCESORIOS Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD

a) Cisterna de gas inflamable (GLP)

Las características de la cisterna de GLP a diseñar son:

- Capacidad: 25 000 L.
- Límite máximo de carga: 85% según indica la normativa ADR [7]
- Compartimento: 1
- Presión de servicio: 20 kg/cm²
- Presión de prueba: entre 27 kg/cm² y 30 kg/cm²
- Válvula de seguridad: Opcional
- Material: Acero al carbono, virolas 10 mm. fondo 12 mm.

b) El depósito.

Es de sección transversal circular (nunca elíptico) para soportar la presión. El depósito puede ser de forma recta o en cuello de cisne.

El grado máximo de llenado según indica el ADR [7] corresponde al 85% de su capacidad volumétrica, considerando la masa en volumen del gas a 20°C, dado que por cuestiones de seguridad es preciso que el depósito disponga de un volumen mínimo libre del 15%, para permitir la expansión del gas en caso de aumento de temperatura en el interior del depósito.

Según define el ADR la cisterna nunca se llena totalmente, hay que dejar un espacio libre, como se muestra en la Figura 7, esto es debido a que hay que respetar el equilibrio de fase líquido y gas. Todo producto genera vapores que dependen de las condiciones de presión y temperatura.

Ejemplo: Una cisterna de 20 m³ lleva 10 t de producto aproximadamente.

No está compartimentada. No está calorifugada.

En la parte superior suelen llevar un parasol (no todas).

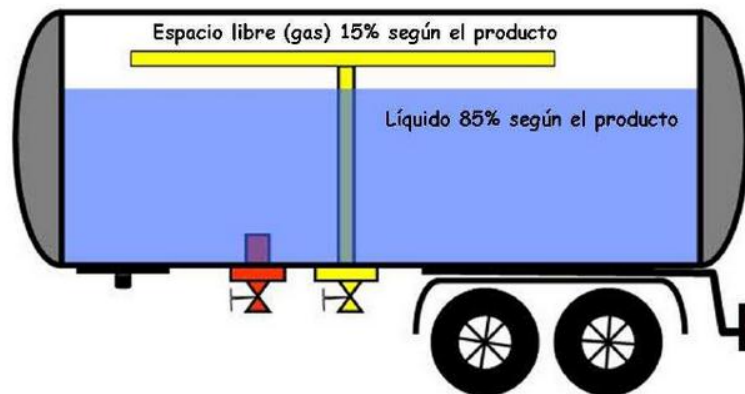


Figura 7 Cisterna de GLP, parte líquida y parte gaseosa. [8]

c) Parasol.

El parasol es característico de las cisternas de GLP. Es una plancha curvada puesta longitudinalmente a unos 4 cm encima del depósito, evitando que la radiación solar incida directamente y caliente el producto, evitando la subida de la presión interior.

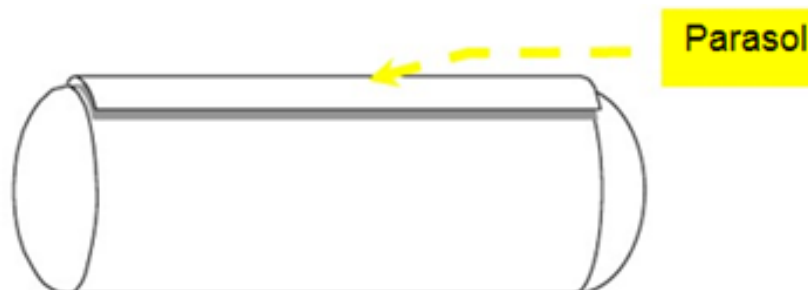


Figura 8 Representación de una cisterna con su parasol [9]

d) Boca de hombre.

No tiene cubeta, la tapa (boca de hombre) es fija. Solo se puede quitar en talleres especializados. Puede estar situada en la parte delantera, trasera o central. En este proyecto estará situada en la parte trasera de la cisterna, como se puede ver en la Figura 9.

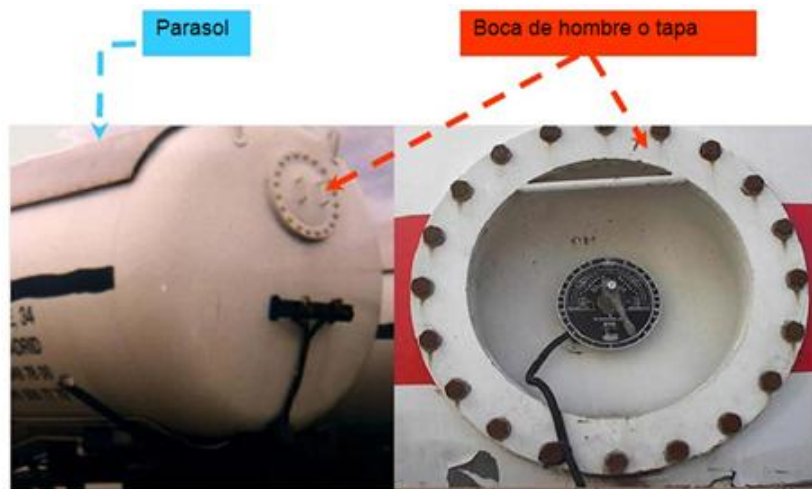


Figura 9 Parasol y Boca de hombre o tapa en una cisterna [10]

e) Conducciones de carga y descarga.

Tiene dos tubos colocados en la parte baja de la cisterna, Figura 11 Uno es la entrada/salida fase líquida y otro entrada/salida fase gas (tubo buzo). El tubo fase líquida, en la gran mayoría de cisternas es de sección mayor que el de fase gas y pintado en color rojo. La fase gas suele estar pintada de color amarillo, como se observa en la Figura 10.

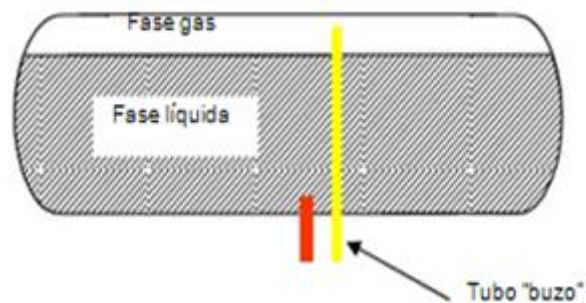


Figura 10 Representación del interior de una cisterna con las conducciones de carga y descarga [11]



Figura 11 Conducciones de carga y descarga [12]

Las válvulas de fondo, una para cada salida/entrada, se accionan mediante presión hidráulica, neumática o manualmente. Algunas cisternas llevan incorporada (en el armario de las válvulas de carga/descarga) una bomba de trasvase.



Figura 12 Armario de válvulas de carga y descarga. [13]

Tubos, conectores de carga/descarga, válvulas de corte y de fondo de las cisternas de GLP (propano, butano, butadieno, etileno...).



Figura 13 Tubos y conectores de carga y descarga y válvula [14]

f) Válvula de fondo (Fischer o Rego).

Las válvulas de fondo de accionamiento manual con palanca (es la más utilizada) habitualmente llevan una cuerda atada al final de la palanca. Durante la carga/descarga la palanca que acciona la válvula de fondo está atada a un punto fijo, fuera de la cisterna. Si durante las maniobras de carga/descarga el vehículo se desplazara por cualquier causa (fallo de frenos, mal calzado, etc.) la cuerda al ser el punto más débil se rompería, cerrando (por acción del muelle) la válvula de fondo. Igualmente si se produjera un incendio durante dichas maniobras, las llamas quemarían la cuerda cerrándose la válvula.

Las válvulas de fondo de las cisternas de GLP nombradas (FISCHER o REGO) se accionan manualmente (con palanca), hidráulica o neumáticamente (abren la palanca mediante un cilindro).

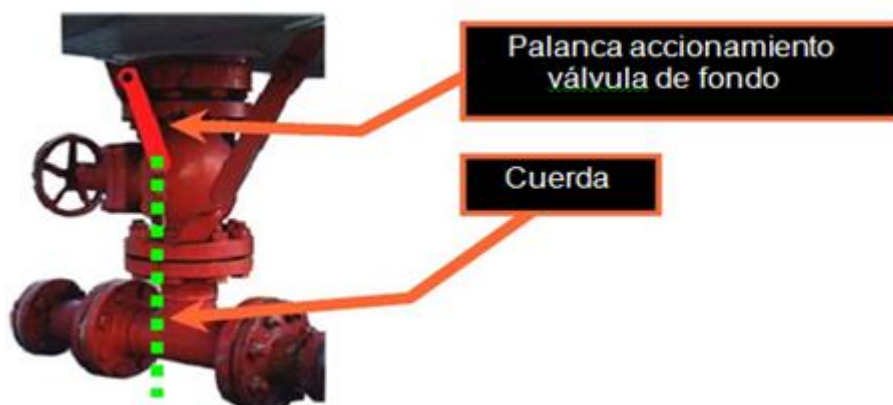


Figura 14 Válvula de fondo [15]

En la unión de válvula de fondo con la platina del colector de salida/entrada, los tornillos (espárragos) que sujetan dicha unión, tienen un punto débil (rebaje, fusible), lugar donde, en caso de impacto, romperían quedando la válvula de fondo sujeta a la cisterna, evitando una posible fuga.

Las válvulas de fondo (Fischer o Rego), actúan además, como válvulas de exceso de flujo; si se rompiera un manguito en las operaciones de carga/descarga (por descompensaciones de presión) se cerraría la válvula.

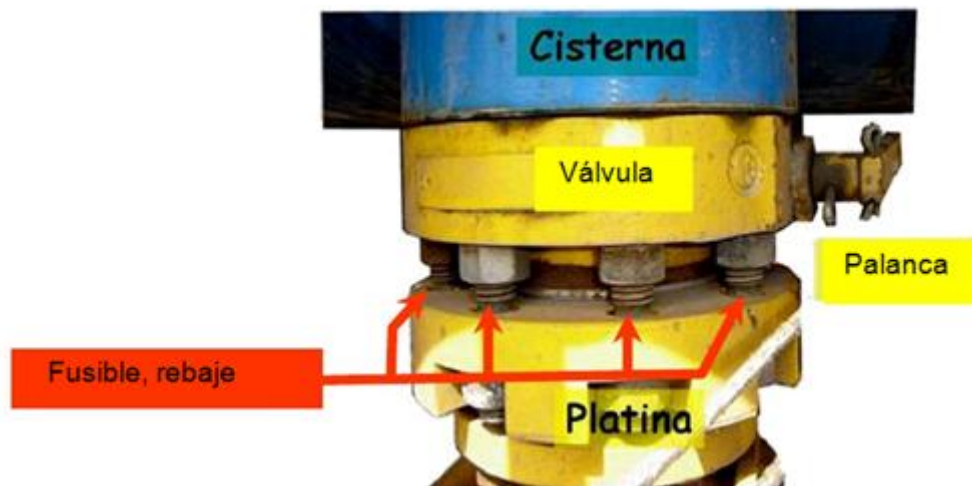


Figura 15 Conexión de la válvula a la cisterna [16]

La válvula de fondo tiene un cuerpo superior en el interior de la cisterna (la válvula propiamente dicha) y un cuerpo inferior al exterior de la cisterna, lugar de acople de la conexión del colector de carga/descarga.

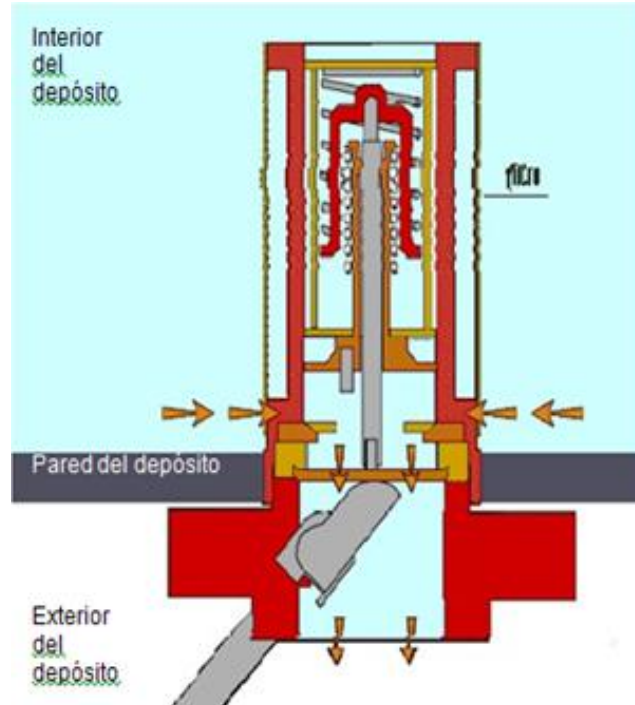


Figura 16 Introducción de la válvula [17]

g) Válvulas de corte.

Las válvulas de corte de las cisternas de GLP, pueden ser de palanca o de volante, las dos actúan de la misma manera.

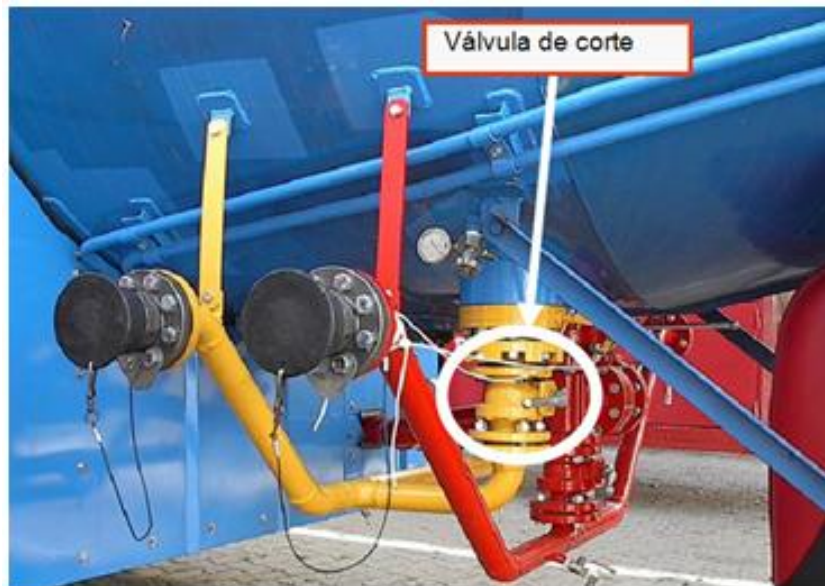


Figura 17 Válvula de corte [18]

En la Figura 18 se observa los dos tipos de válvula de corte, de palanca representada en color rojo y de volante en color amarillo.



Figura 18 Válvula de corte [19]

h) Galga rotativa o indicador de nivel.

La galga rotativa es un instrumento que permite conocer el nivel de líquido contenido en el depósito. La galga rotativa es característica de las cisternas de GLP (butano, propano, butadieno, amoniaco, etc.) y está situada en una concavidad en el exterior del depósito, en un lateral o en el fondo posterior. Está compuesta de una palanca giratoria, un purgador colocado en el eje de la palanca y un disco indicador del porcentaje %. En el centro de la palanca conectado interiormente hay un tubo de pequeño diámetro en forma de codo, que gira cuando se hace girar la palanca.



Figura 19 Indicador de nivel [20]

Para comprobar el nivel del líquido contenido en el depósito, se gira la palanca hasta situar el tubo interior en posición vertical, se abre el tapón del purgador y saldrá gas. Si continuamos girando la palanca, seguirá saliendo gas hasta el momento en que empezará a salir líquido, que será cuando el extremo del tubo llegue a la superficie del líquido (fase líquida). En este momento, si se consulta la lectura de la palanca sobre el disco indicador, se sabrá el volumen del líquido respecto al volumen total del depósito (porcentaje: %). Esta lectura solo será real si la cisterna está en posición vertical y de rodaje.

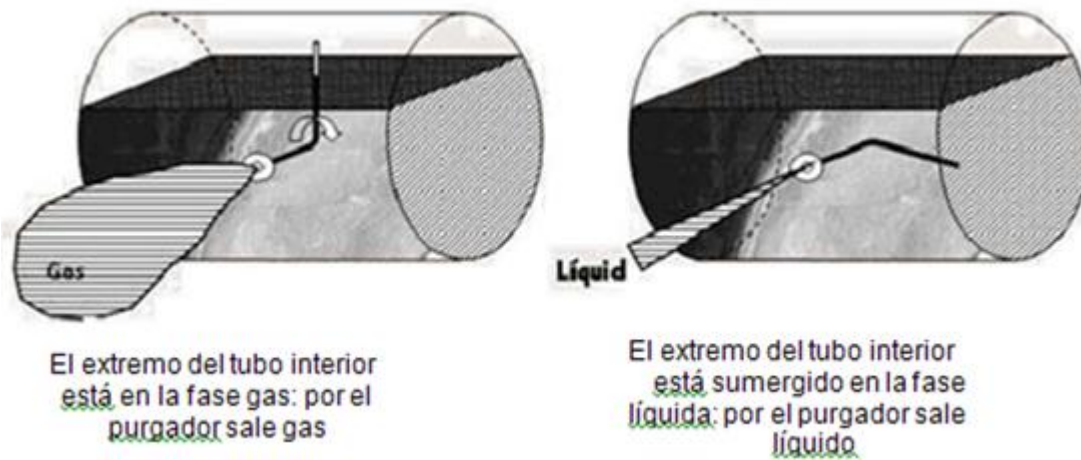


Figura 20 Comprobación del nivel de la cisterna [21]

i) Indicador de nivel de máximo llenado:

Con este indicador se evita el sobrellene.

Está compuesta por una válvula de accionamiento manual (volante) que se encuentra instalada en el orificio de la cisterna destinado a este fin y por cuya parte interior se prolonga por medio de un tubo sonda que desciende hasta el nivel que como máximo debe alcanzar el líquido en el interior de la cisterna, por motivos de seguridad.

La válvula, cuyo orificio de salida es pequeño, permanece abierta durante los últimos momentos de la carga y se conoce que la cisterna ha alcanzado su máximo llenado cuando la pequeña fuga de gas que escapa a través del orificio de purga de la válvula comienza a hacerlo en fase líquida.

La válvula suele llevar alojada un manómetro.

Está diseñada para poder acoplarle un tubo sonda y un manómetro, evitando que éste se halle constantemente bajo presión.

j) Acoplamiento Weco:

Cada una de las válvulas exteriores de trasiego, lleva acoplado un elemento que sirve para facilitar una conexión rápida y segura a la instalación fija.

“Racor macho”: consiste en una pieza de acero que por uno de sus extremos va unido a la referida válvula y por el otro termina en un alojamiento troncocónico y dispone de una rosca externa.

“Racor hembra”: elemento compuesto por una pieza en forma de segmento esférico y otra que pueda girar, dispone de una rosca interior y de dos orejetas sobre las que se puede accionar para su roscado y apriete al racor macho. Está en el extremo libre del brazo de la instalación fija.

Ambas superficies están perfectamente pulidas, cuando están acopladas existe una línea de contacto perfectamente circular. Consiguiendo una perfecta unión estanca entre las dos instalaciones, sin necesidad de juntarlas, ya que la hermeticidad se hace metal con metal.

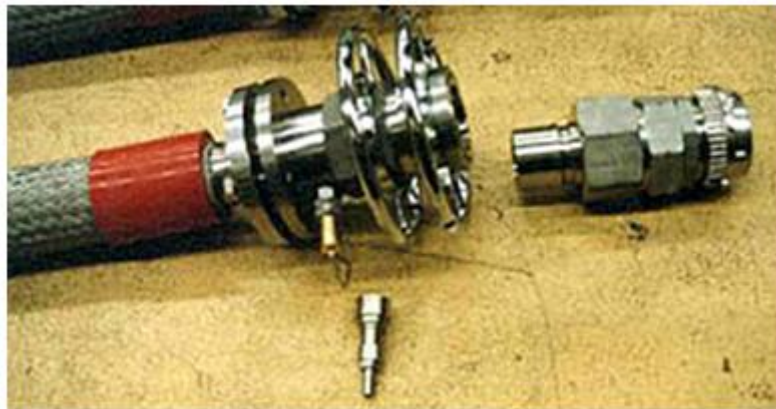


Figura 21 Acoplamiento Weco [22]

k) Manómetro:

Mide la presión del gas en el interior de la cisterna. Con la finalidad de reducir el número de orificios, se suele colocar en la válvula anterior.

l) Orificio de drenaje:

En la parte más baja existe un orificio, dotado de un tapón ciego, que tiene por finalidad eliminar cualquier resto de agua y otros residuos, y que no se podrá retirar mientras la cisterna no se haya vaciado y desgasificado totalmente.

m) Termómetro:

Nos permite conocer la temperatura del producto contenido en la cisterna.

Su bulbo o elemento sensible no se encuentra directamente en contacto con el interior, sino alojado en una funda ciega que impide que el producto pueda escaparse, aunque este se saque.

n) Toma de tierra:

Deben disponer de una borna para la conexión eléctrica entre ellas y tierra, con objeto de eliminar cualquier carga eléctrica que pudiera producir una chispa, provocando la inflamación de una posible fuga de gas.

Esta borna está hecha de un metal blando (cobre) solidario eléctricamente con la cuba, accesible para la fácil colocación del cable de unión a la instalación de tierra y que deberá mantenerse siempre limpia y sin pintar.

o) Brazos de carga articulados (Chiksan):

Los brazos de carga/descarga permiten realizar el transvase de fluidos a camiones cisterna de una manera segura y sin esfuerzo para el operario

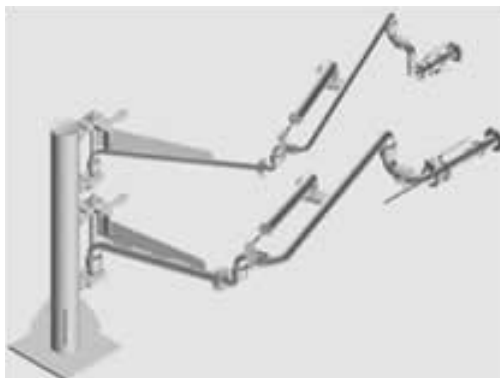


Figura 22 Brazos de carga y descarga de GLP [23]

Todos los terminales donde se realizan las operaciones de carga o descarga de los medios de transporte son similares en su constitución, independientemente que sean cisternas, vagones o buques.

Las conexiones se realizan por brazos articulados compuestos de diversos tramos unidos por rótulas que permiten girar el brazo en cualquier dirección. La estanqueidad en las rótulas se consigue por medio de empaquetaduras y bolas de acero que permiten el giro de la rótula.

Los brazos disponen en su extremo de un acoplamiento roscado para la conexión al medio de transporte sin utilizar bridas.

Las líneas que alimentan el terminal están dotadas en su extremo de una válvula de accionamiento hidráulico a distancia.

Cuando los brazos no están conectados a un medio de transporte se conectan a unos anclajes apropiados para evitar que puedan girar libremente en caso de error en las operaciones

3.2 Protección de depósitos

3.2.1 PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN

El acero es un metal que sufre dos tipos básicos de corrosiones: la ocasionada por los agentes atmosféricos y la iónica. La primera debida principalmente por el oxígeno del aire y la humedad, y la segunda al formarse pares galvánicos. Estas son las que se tienen en cuenta en las instalaciones de gas.

La protección consiste en las operaciones que se realizan para evitar la corrosión. Se distingue entre protección pasiva y activa.

3.2.2 PROTECCIÓN PASIVA

Consiste en la aplicación de diferentes recubrimientos (pinturas, cintas aislantes, recubrimientos plásticos, etc.).

3.2.3 PROTECCIÓN ACTIVA

Consiste en la conexión del metal a proteger con otro metal auxiliar originando o inyectando una corriente de sentido contrario a la que se originaría de forma natural, que ocasione solamente la corrosión del metal auxiliar. Se trata de la llamada protección catódica.

3.3 Procedimiento de carga de camión cisterna

Las operaciones de carga de camiones cisterna se pueden realizar de dos maneras: mediante compresor o mediante bomba. Generalmente la carga suele realizarse por medio de bomba debido a la mayor efectividad del proceso. Por ello se describe la operación de carga de camiones cisterna por bombeo.

Antes de realizar la carga, se realiza un análisis cromatográfico de la muestra tomada del depósito. Una vez que el camión accede a la planta se comprueba la vigencia de los documentos del vehículo, producto y conductor. Si no se encuentra ninguna anomalía en los mismos se procede al pesaje del camión. Después del pesaje se le indica el puesto de carga del recorrido que debe realizar hasta dicha área de estacionamiento.

Al detenerse el camión y antes de proceder a la carga del mismo se verifica la parada del motor del camión, la desconexión del interruptor de batería del vehículo, la retirada de la llave de contacto, debiendo ubicarse en lugar seguro y la inmovilización mediante calzos separados y ubicados en ambos sentidos de las ruedas motrices.

Después de comprobar los puntos recogidos en el párrafo anterior se procede a eliminar las posibles cargas electrostáticas conectando a tierra la masa metálica del camión.

Posteriormente se realizan todas las conexiones a la boca de carga por medio de las conducciones flexibles (mangueras) o los brazos de carga, verificando la continuidad del recorrido tanto en la fase líquida como en la gaseosa.

Se abren las válvulas como objeto de permitir el trasvase desde el depósito hasta el camión cisterna (válvulas del fondo del camión y manuales del camión, válvulas del fondo del depósito, válvulas del punto de carga y, por último, mangueras).

Finalmente y, después de purgar el punto de carga de ambas fases, se pone en funcionamiento la bomba procediendo a realizarse el trasvase de producto desde el depósito hasta la cisterna del camión.

Periódicamente se comprueba el correcto paso de líquido, mediante manómetros ubicados en la línea y el indicador de flujo situado en el puesto de carga/descarga. Además se comprueba la velocidad de llenado por medio de la galga rotativa de la cisterna del camión.

Asimismo, ésta se emplea para verificar su nivel de llenado.

Si surgiera cualquier incidente durante esta operación se podría accionar los paros de emergencia, tipo seta, situados en un lugar próximo al puesto de carga/descarga, en las oficinas y en la puerta de entrada a la instalación. Estos paros actuarían sobre la bomba.

Al finalizar la descarga se procede a cerrar la válvula de la fase líquida del camión, el extremo de la manguera y la situada en el punto de carga. Se para la bomba y se procede a cerrar las válvulas de aspiración e impulsión de la bomba, conducciones y punto de carga de la fase gaseosa.

Se desconectan las mangueras flexibles de las bocas de carga del camión cisterna. Se purgan con el objeto de eliminar posibles restos de producto. Posteriormente se tapan las bocas de carga del camión y se desconecta la toma de tierra de la masa de camión. Finalmente se procede a repesar dicha cisterna.

3.4 Descarga de camión cisterna

Las operaciones de descarga de camiones cisterna se realizan por medio de compresores situados en paralelo, utilizando un caudal que oscila entre 8 kg/s y 10 kg/s, aproximadamente.

Una vez que el camión accede a la planta se comprueba la vigencia de los documentos del vehículo, producto y conductor. Si no se encuentra ninguna anomalía en los mismos se procede al pesaje del camión. Después del pesaje se le indica el puesto de descarga y el recorrido que debe realizar hasta dicha área de almacenamiento. Antes de realizar la descarga, se realiza un análisis cromatográfico de la muestra tomada de la cisterna.

Al detener el camión y antes de proceder a la descarga del mismo se verifica la parada del camión, la desconexión del interruptor de batería del vehículo, la retirada de la llave de contacto, debiendo ubicarse en lugar seguro y la inmovilización mediante calzos separados y ubicados en ambos sentidos de las ruedas motrices.

Tras asegurar la sujeción del camión se procede a eliminar las posibles cargas electrostáticas al conectar a tierra la masa metálica del camión.

Posteriormente se realizan las conexiones a la boca de carga, por medio de brazos de carga. Se desconecta una para la fase líquida y otra para la fase gas.

Después de realizar las conexiones a la boca de carga del camión cisterna sólo queda abrir las válvulas en el RACK de tuberías, de la fase líquida y la fase gaseosa, necesarias para el vaciado del camión cisterna, la posterior entrada de producto en los depósitos de almacenamiento.

Periódicamente se comprueba el correcto trasvase de producto, mediante indicadores de flujo ubicados en el punto de carga/descarga y manómetros instalados en distintos tramos de la línea de gas o en el compresor.

Si surgiera cualquier incidente durante esta operación de descarga se podría accionar los paros de emergencia, tipo seta, situados en diferentes puntos estratégicos de la instalación en un lugar próximo al puesto de carga/descarga, en las oficinas y en la puerta de entrada a la instalación. Estos paros actuarían sobre el compresor.

Al finalizar la descarga se procede a desconectar el compresor y cerrar las válvulas del tanque, así como las válvulas del fondo del camión cisterna y todas las abiertas con anterioridad a lo largo de las diferentes líneas.

4 Diseño de la cisterna de GLP

El objetivo es diseñar una cisterna de 25 000 l. que transporte propano comercial, suponiendo un 70% de propano y un 30% butano.

El diseño de la cisterna se ha realizado para un clima con temperatura máxima de 60°C según lo establecido en la norma UNE-EN_12493 [24] anexo B, debido a que el depósito se ha diseñado con pantalla solar y con un diámetro mayor de 1,5m, como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2 Temperaturas de diseño del depósito según la norma UNE [24] Fuente [24]

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

En la Figura 23 se muestran las propiedades de ambos compuestos.

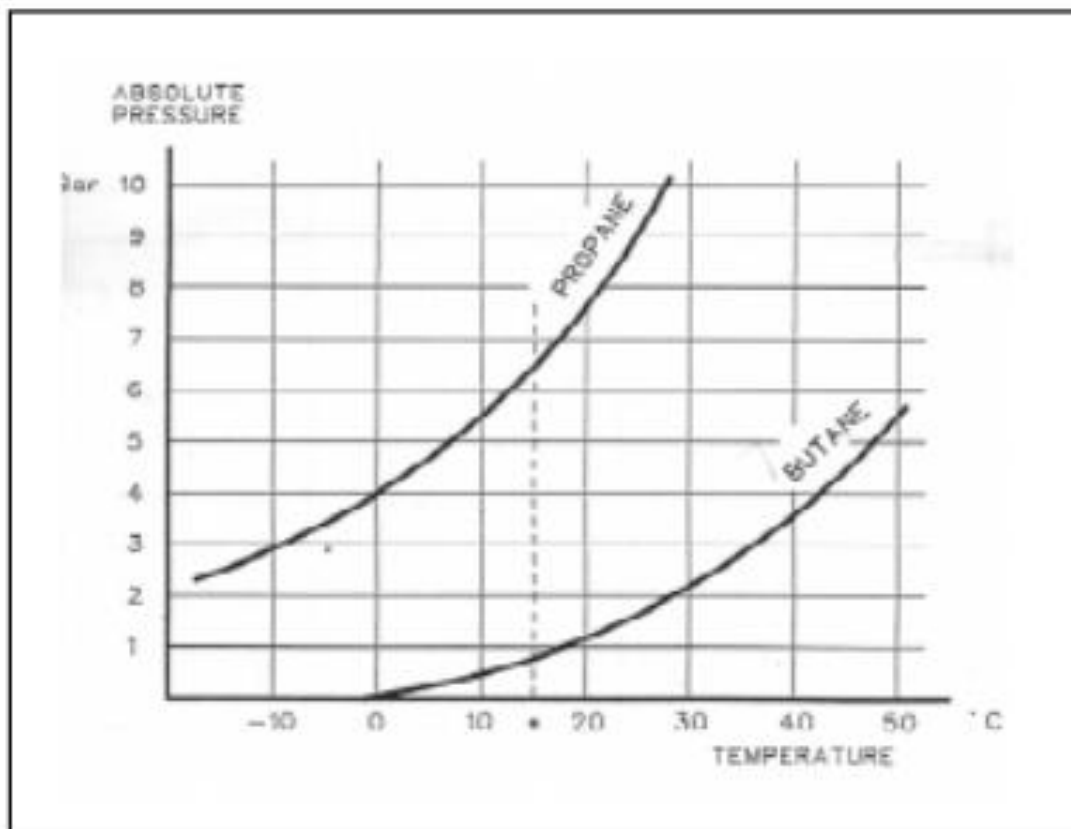


Figura 23 Propiedades del Propano y Butano [24]

Transportar GLP supone unos riesgos debido a la sustancia transportada. El propano y el butano pueden crear una atmósfera explosiva por lo tanto hay que llevar a cabo unas normas de seguridad y de diseño.

Debido a que a temperatura y presión ambientes son sustancias peligrosas, ya que se presentan en estado gaseoso, hay que transportarlas por carretera en fase líquida en equilibrio con su gas, esto es posible gracias a presurizarlas a una presión alta por lo tanto tendremos en cuenta la temperatura ambiente por la que circulará el camión.

Dada la importancia de transportar GLP por carretera, existe una norma Europea por la que se rige España, para crear un diseño del tanque seguro. Dicha norma es UNE-EN_12493=2009+A1=2012: *Equipos y accesorios para GLP. Tanques de acero soldados para gases licuados del petróleo (GLP). Diseño y fabricación de camiones cisterna.*

4.1 Cálculos para el diseño

En este apartado se muestran los cálculos necesarios para el diseño de la cisterna de GLP.

Lo primero que se calculan son las presiones de vapor y las dimensiones del tanque.

a) Cálculo de las presiones de vapor:

Para calcular las presiones de vapor se recurre a la fórmula de Antoine:

$$\log P = A - \frac{B}{T + C}$$

donde:

P: presión de vapor

A, B y C: constantes específicas para cada gas

T: temperatura del sistema

En la Tabla 3 se muestran los valores correspondientes de las constantes **A**, **B** y **C** para cada gas:

Tabla 3 Constantes de los gases para la formula de Antoine

Gas	Constante A	Constante B	Constante C
Propano	13,71	1873	-25,1
Butano	13,98	2292	-27,86

Con estos valores se puede hallar las presiones de vapor de propano y butano para las temperaturas de 50 °C y 60 °C. Se han establecido estas temperaturas en función de lo establecido en el Anexo B de la norma UNE-EN_12493 [24] como se observa en la Tabla 2. Mediante la cual podremos conocer la presión que tendrá que soportar nuestro tanque, algo muy importante a fin de realizar correctamente el diseño de éste. Dicha presión será igual a la suma de las presiones parciales, siendo éstas a su vez iguales a la presión de vapor por la fracción molar.

- Cálculo de las presiones de vapor para una temperatura de **50°C**:

Gas Propano:

$$P = 1673,47 \text{ kPa } \text{ ó } 16,73 \text{ bar } \text{ ó } 16,51 \text{ atm}$$

$$X_{C_3H_8} = 0,7$$

$$P_i = \text{Presión parcial} = 11,557 \text{ atm}$$

Gas Butano:

$$P = 499,79 \text{ kPa } \text{ ó } 4,93 \text{ bar } \text{ ó } 4,86 \text{ atm}$$

$$X_{C_4H_{10}} = 0,3$$

$$P_i = 1,458 \text{ atm}$$

Presión total:

$$P_{T_{atm}} = 13,015 \text{ atm } \rightarrow P_{T_{rel}} = 12,015 \text{ atm}$$

(Para realizar los cálculos trabajaremos con la presión relativa)

- Cálculo de las presiones de vapor para una temperatura de **60°C**:

Gas Propano:

$$P = 2262,12 \text{ kPa } \text{ ó } 22,91 \text{ bar } \text{ ó } 22,61 \text{ atm}$$

$$X_{C_3H_8} = 0,7$$

$$P_i = \text{Presión parcial} = 15,827 \text{ atm}$$

Gas Butano:

$$P = 727,62 \text{ kPa } \text{ ó } 7,275 \text{ bar } \text{ ó } 7,18 \text{ atm}$$

$$X_{C_4H_{10}} = 0,3$$

$$P_i = 2,154 \text{ atm}$$

Presión Total:

$$P_{T_{atm}} = 17,981 \text{ atm} \quad \rightarrow \quad P_{T_{rel}} = 16,981 \text{ atm}$$

Como se ha comentado con anterioridad se han calculado las presiones de vapor para dos temperaturas diferentes, una de 50°C y otra de 60°C, ya que la temperatura de llenado de nuestro tanque será de 50°C, pero este será diseñado por motivos de seguridad para alcanzar unas temperaturas de 60°C ya que es la que da mayores valores de presión interior.

b) Volúmenes del tanque:

En este apartado se calcula el volumen que transportará la cisterna de 25 m^3 , en estado líquido y en estado gaseoso, para de esta forma poder determinar la masa de mezcla líquida y de mezcla gaseosa y obtener la masa total que transportará.

La temperatura de llenado será de 50° C , según el anexo B de la norma UNE-EN_12493 [24] como se observa en el apartado 4.3 y éste se efectuará con propano comercial de la siguiente composición: 70% C_3H_8 y 30% C_4H_{10} se ha escogido este producto para que el tanque sea capaz de soportar las condiciones más desfavorables.

Asimismo, será diseñado para transportar un volumen de 25 m^3 . El 85% de dicho volumen será transportado en estado líquido mientras que el 15% restante consistirá en una mezcla de propano y butano gaseosos en equilibrio con el volumen de líquido.

Por lo tanto el volumen del tanque será:

$$V_{(\text{tanque})} = 25 \text{ m}^3 = 25\,000 \text{ l}$$

El volumen del líquido, al ser el 85% será:

$$V_{(\text{liquido})} = 21,25 \text{ m}^3 = 21\,250 \text{ l}$$

El volumen de la mezcla gaseosa corresponde al 15% restante:

$$V_{(\text{gas})} = 3,75 \text{ m}^3 = 3\,750 \text{ l}$$

El siguiente paso es determinar el peso del tanque, el cual vendrá determinado por la suma de la masa de líquido y la masa de gas del mismo.

Lo primero es calcular de forma separada la masa de líquido y la masa de gas y por último la masa total de producto contenido en el tanque.

c) Masa de Líquido:

Conocemos la densidad del líquido: $\rho_{liq} = 0,502 \text{ kg/l}$

Masa de líquido (m_{liq}) = $\rho_{liq} \times v_{liq} \times G = 9.067,375 \text{ kg}$

donde

G es el grado de llenado = 0,85 (véase apartado 4.3)

d) Masa de Mezcla Gaseosa:

Primero se determinan los moles de gas:

$$n_{gas} = P \cdot V / (R \cdot T) = 1.699,89 \text{ mol gaseosos}$$

donde:

$$R = 0,08206 \text{ l} \cdot \text{atm} / (\text{mol} \cdot \text{K})$$

$$P = 12,015 \text{ atm}$$

$$T = 50^\circ\text{C} = 323 \text{ K}$$

$$V = 3750 \text{ l}$$

Por último se determinan los moles de cada gas ya que la composición de la mezcla es conocida:

$$n_{C_3H_8} = 0,7 \times n_{gas} = 1189,92 \text{ mol}$$

$$n_{C_4H_{10}} = 0,3 \times n_{gas} = 509,967 \text{ mol}$$

Se determina ahora la masa de cada gas:

$$m_{C_3H_8} = n_{C_3H_8} \times P_{mC_3H_8} = 52.356,48 \text{ g}$$

$$m_{C_4H_{10}} = n_{C_4H_{10}} \times P_{mC_4H_{10}} = 29.578,086 \text{ g}$$

Donde P_m representa los pesos moleculares:

$$P_{mC_3H_8} = 44 \text{ g/mol}$$

$$P_{mC_4H_{10}} = 58 \text{ g/mol}$$

Masa total de gas (m_{gas}) = 81 934,56 g = 81,93 kg

La densidad del gas calculada resulta ser entonces:

$$\rho_{C_3H_8 \text{ comercial}} = 0,0218 \text{ kg/l}$$

e) Masa Total del Tanque:

$$m_{tanque} = m_{liq} + m_{gas} = 9 149,305 \text{ kg}$$

Una vez definidas los volúmenes de fase gas y líquida del tanque se realizan los cálculos correspondientes a los diferentes anexos pertenecientes a la normativa UNE-EN_12493 [24].

4.2 Directrices para la selección de los grados de material

Se escoge un tipo de acero aleatoriamente de la Tabla 4 de clases de acero que aparece en el anexo A de la normativa a seguir, este acero será el material con el que se construye el tanque.

Tabla 4 Clases de acero [24]

Especificación	Clase	Límite elástico ^a R_{eH} N/mm ²	Resistencia a la tracción ^b R_m 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			43,75	35	-20		St 1.1
	P275NL2			37,5	30	-40		St 1.1
	P355N	355	490	37,5	30	-20	22	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	460	570 ^e	37,5	30	-20	17	St 2.1
	P460NL1			43,75	35	-20		St 2.1
	P460NL2			37,5	30	-40		St 2.1
EN 10025-2:2004	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	510	34	27	-20	22	St 1.2

^a Los valores de R_{eH} sólo se aplican a espesores inferiores o iguales a 16 mm.

^b Los valores de R_m 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 {A1} EN ISO 6892-1 {◀A1}.

^e La resistencia máxima a la tracción no excede 720 N/mm², véase el {A1} apartado 4.3. {◀A1}

El acero escogido será el de la **clase P265GH**, dentro de la **especificación EN 10028-2**, con **las características mecánicas de la Tabla 5**.

Tabla 5 Características del Acero según la norma UNE [24]

Límite elástico (R_{eH})	265 N/mm ²
Resistencia mínima a la tracción (R_m)	410 N/mm ²
Resiliencia	34 J/cm ²
Energía	27 J
Temperatura de ensayo	0°C
Alargamiento después de la rotura	22%
Grupo de acero	St. 1.1

4.3 Temperaturas de referencia para el diseño

El tanque a diseñar tendrá un diámetro escogido para ser mayor de 1,5 m y contará con pantalla solar, por lo que, según la tabla del anexo B de la norma UNE-EN_12493 [24], la temperatura de referencia para la presión desarrollada será de 60° C, tal y como se indicó en la Tabla 2 del apartado 4.

Tabla 6 Características de la cisterna de GLP

Diámetro del depósito	1,8 m
Temperatura de referencia para la presión desarrollada	60 °C
Temperatura de referencia para el llenado	50 °C
Grado de llenado (kg/L) = 0,95 x densidad de la fase líquida a la T ^a _{referencia} (50 °C)	0,4769 kg/l

4.4 Temperaturas de referencia alternativas para el diseño

Las temperaturas de referencia alternativas para el diseño en este caso no son alternativas ya que son las mismas que se han tomado en el apartado anterior (apartado 4.3) siendo estas:

- Temperatura de referencia para la presión desarrollada = 60 °C
- Temperatura de referencia para el llenado = 50 °C

4.5 Espesor del cuerpo de la cisterna de GLP

En este punto se calcularán todos los datos que son necesarios para realizar el diseño de la cisterna tal y como se indica en la norma UNE-EN_12493 [24].

4.5.1 TENSION DE DISEÑO

La *tensión nominal de diseño* (f) será el menor valor de $R_{eH}/1,5$ y $R_m/2,4$, que conforme a la Tabla 5, son:

$$R_{eH}/1,5 = 156,66 \text{ N/mm}^2$$

$$R_m/2,4 = 170,83 \text{ N/mm}^2$$

Por lo tanto, $f = 156,66 \text{ N/mm}^2$

4.5.2 PRESIÓN DE DISEÑO

Debido a que la tensión básica de diseño perteneciente a la norma UNE-EN_12493 [24] es diferente al ADR [7], se deberá aplicar el factor de correlación para determinar la presión de diseño a utilizar en las ecuaciones de diseño, este factor de correlación será 1,2.

La presión de diseño del depósito cisterna de tipo semirremolque viene dada por la siguiente expresión:

$$P = \frac{P_d}{1,2}$$

donde

P_d es la presión manométrica máxima desarrollada para los productos transportados, a la T^a de referencia (60° C), en atmósferas.

P es la presión de vapor, en el apartado Diseño de la cisterna de GLP, “Cálculo de las presiones de vapor”, en atmósferas.

$P = 16,981 \text{ atm}$

1,2 = Factor de correlación.

$$P_d = 1,2 \times P = 20,3772 \text{ atm}$$

El dimensionamiento se realiza para soportar al menos 1,2 veces la presión de diseño.

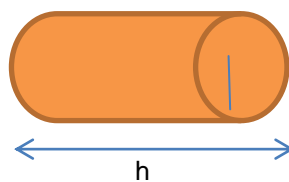
4.5.3 ECUACIONES DE DISEÑO

a) Cálculo de la envolvente cilíndrica:

Dado que la forma central del tanque es cilíndrica, su volumen responde a la fórmula siguiente:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

Además el volumen del tanque es de 25 000 l y se ha supuesto un diámetro interior de al menos 1,5m.



Se realiza el cálculo de las dimensiones del cilindro para unos diámetros interiores superiores a 1,5 m y se calcula el valor de la longitud del tanque.

Se escoge el valor de 1,8 m para el diámetro interior, ya que tiene que ser mayor de 1,5 m al cual le corresponde una longitud de 9,82 m. El diámetro exterior de la cisterna viene dado por el interior y el espesor.

$$D_0 = D_{int} + 2e$$

El espesor mínimo requerido debe ser el mayor de:

$$e_{min} = \frac{pD_0}{2fz + p} = 11,94 \text{ mm}$$

$$e_{min} = \frac{D_0}{500} + 1,5 = 5,12 \text{ mm}$$

donde:

f: tensión nominal de diseño, hallada en el apartado Tensión de diseño. (N/mm^2)

p: presión de diseño, también hallada en el apartado Presión de diseño. (atm)

z: eficiencia de unión = 1,0

D_0 : Diámetro exterior de la envolvente (m)

Se determina el mayor valor y a partir de ello el diámetro exterior D_0 :

$$D_0 = D_{int} + 2e = 1,823 \text{ m}$$

4.5.3.1 Cálculo de fondos toroidales

Para depósitos de diámetro $D \geq 1,5 \text{ m}$ el espesor de fondo requerido debe ser de al menos 7 mm.

b) Cálculo de los radios R y r:

El radio del casquete (R) debe ser inferior al valor indicado en el diseño, y el radio de acuerdo (r) debe ser superior o igual al valor indicado en el diseño.

Ambos radios son calculados a partir del dibujo del fondo toroidal, Figura 24 mediante una simple semejanza conociendo la escala.

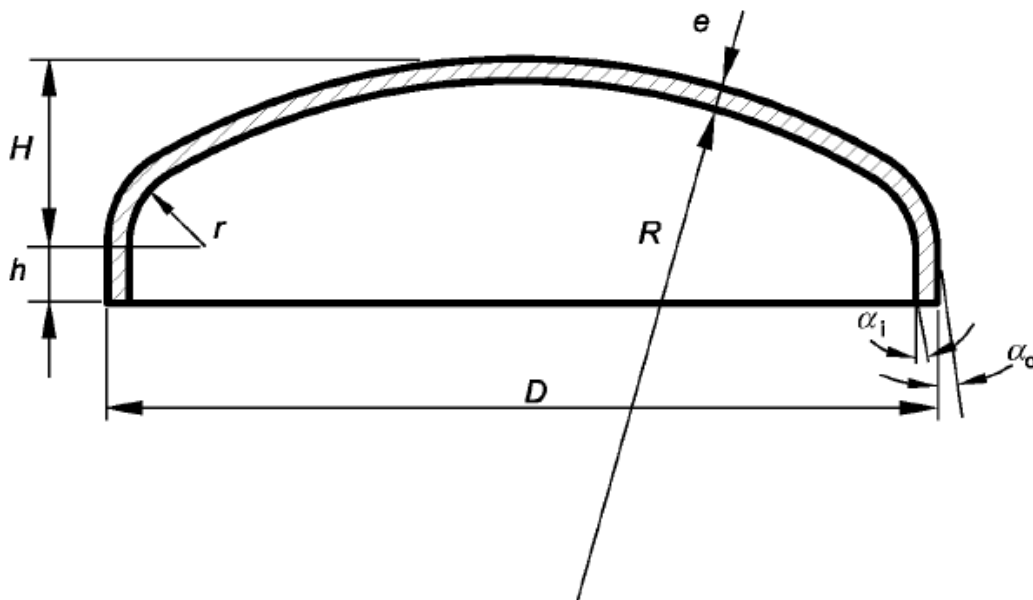


Figura 24 Dibujo del fondo abombado toroidal a partir del cual se han calculado los radios R y r. [24]

donde:

R = Radio del casquete = 1 580 mm

r = Radio de acuerdo = 173,49 mm

H = Altura de la parte abombada

h = Altura de la parte recta

e = Espesor de pared

D = Diámetro Exterior

Las reglas de cálculo sólo son aplicables si se cumple que:

$$r \geq 0,06 D_i$$

$$r > 3 \cdot e$$

$$e \leq 0,08 \cdot D_i$$

$$R \leq D_0$$

donde:

r = radio interior de acuerdo del fondo toroidal en mm = 173,49

D_i = diámetro interior del fondo en mm = 1 800 mm

e = espesor requerido para el fondo en mm. = 20,39 mm

D_0 = diámetro exterior de la envolvente en mm = 1 823,88 mm

R = Radio del casquete = 1580 mm

Se observa que sustituyendo por los valores correspondientes, las cuatro inecuaciones anteriores se cumplen para las características de la cisterna diseñada.

$$r \geq 0,06 \cdot D_i \rightarrow 173,49 \text{ mm} \geq 108 \text{ mm}$$

$$r > 3 \cdot e \rightarrow 173,49 \text{ mm} > 61,19 \text{ mm}$$

$$e \leq 0,08 \cdot D_i \rightarrow 20,39 \text{ mm} < 144 \text{ mm}$$

$$R \leq D_0 \rightarrow 1 580 \text{ mm} < 1 823 \text{ mm}$$

El espesor requerido será el mayor valor entre e_s , e_y y e_b

$$e_s = \frac{p \cdot R}{2 \cdot f \cdot z - 0,5 \cdot p}$$

$$e_y = \frac{\beta \cdot p(0,75 \cdot R + 0,2 \cdot D_i)}{f}$$

$$e_b = (0,75 \cdot R + 0,2 \cdot D_i) \cdot \left\{ \frac{p}{111f_b} \cdot \left[\frac{D_i}{r} \right]^{0,825} \right\}^{\frac{1}{1,5}}$$

Donde:

$f_b = R_{eH}/1,5 = 156,66 \text{ N/mm}^2 =$ tensión de diseño para el cálculo de deformación

$\beta =$ factor determinado en el apartado “Ecuaciones para el calculo de beta” 4.5.3.2 = 1,015

$D_i =$ diámetro interior del fondo = 1 800 mm

$D_0 =$ diámetro exterior de la envolvente = 1 823,88 mm

$e =$ espesor requerido para el fondo = 20,39 mm (Según la norma UNE [24] se ha de escoger el mayor de los tres siguientes)

$e_s =$ espesor mínimo del fondo para limitar la tensión de membrana en la parte central = 10,44 mm

$e_y =$ espesor mínimo del radio de acuerdo para evitar límites elásticos axisimétricos = 20,39 mm

$e_b =$ espesor mínimo del radio de acuerdo para evitar deformaciones = 13,39 mm

$f:$ tensión nominal de diseño = 156,66 N/mm^2

$p =$ presión de diseño = 20,3772 atm = 2,0377 N/mm^2

$R =$ radio interior de curvatura de la parte central del fondo toroidal = 1580 mm

$r =$ radio interior de acuerdo = 173,49 mm

Ambos radios son calculados en el apartado **Calculo de los radios R y r:**, a partir del dibujo del fondo toroidal mediante una simple semejanza conociendo la escala.

$z =$ eficiencia de la junta = 1,0

Los fondos abombados deben construirse dentro de las tolerancias indicadas en la Tabla 7.

Tabla 7 Tolerancias de los fondos abombados según la norma UNE-EN_12493 [24]

Característica		Tolerancia	Observaciones
C	$D = 1\ 000\ \text{mm}$	$\pm 0,4\%$	Condiciones especiales de fabricación pueden requerir tolerancias inferiores
	$D > 1\ 000\ \text{mm}$	$\pm 0,3\%$	
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
$e = 10\ \text{mm}$		- 0,3 mm	El espesor real de pared debe ser superior o igual al valor mínimo calculado en el anexo D
$e > 10\ \text{mm}$		- 0,5 mm	
α_i		2°	Para fondos abombados cuyo ángulo del lado exterior está influido por un recalado 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°	

4.5.3.2 Ecuaciones para el cálculo de beta (β)

El cálculo de beta es un cálculo en el que se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$Y = \text{mín.} (e/R; 0,04) = 4,43 \times 10^{-3}$$

$$Z = \log \frac{1}{Y} = 2,353$$

$$X = r/D_{int} = 0,096$$

$$N = \left\{ 1,006 - \frac{1}{6,2 + (90 \cdot Y)^4} \right\} = 0,845$$

Para $X = 0,096$ la fórmula correspondiente para el cálculo de β es:

$$\beta_{0,06 < X < 0,1} = 25 [(0,1 - X)\beta_{0,06} + (X - 0,06)\beta_{0,1}]$$

Primero se calcula $\beta_{0,1}$ y $\beta_{0,06}$

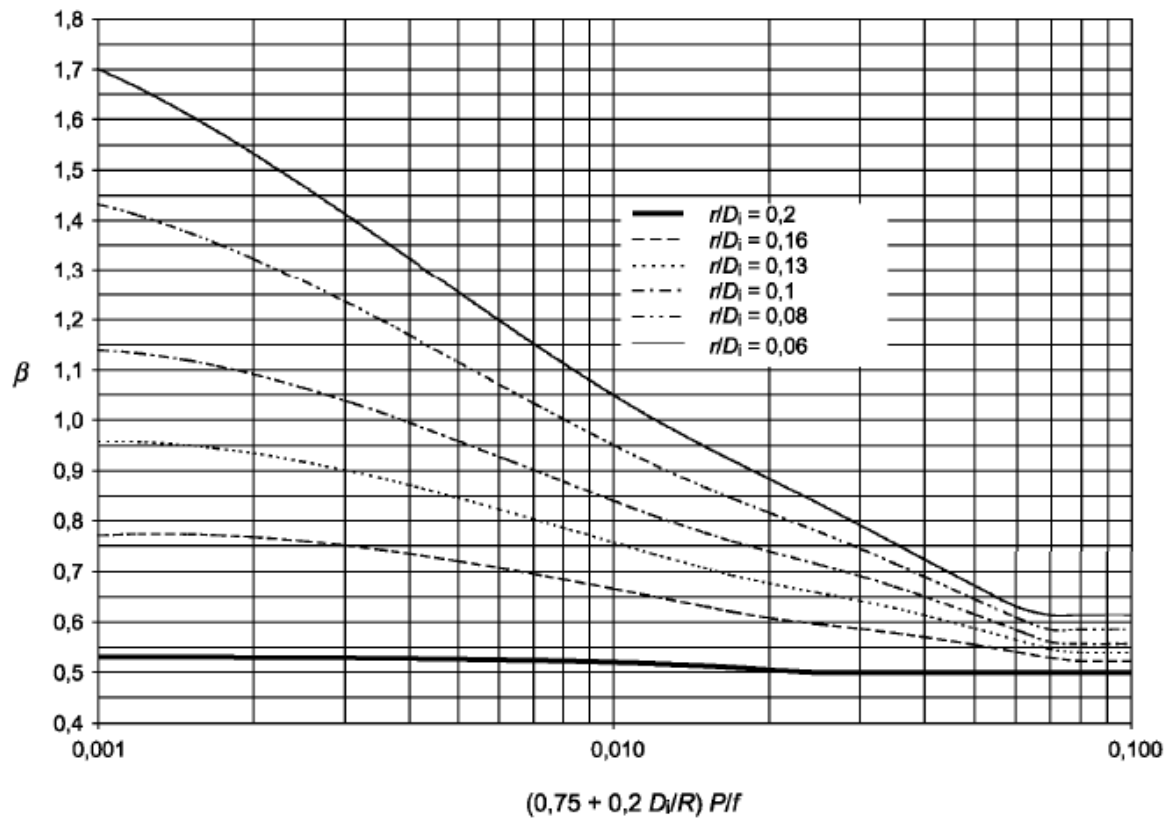
$$\beta_{0,1} = (-0,1833Z^3 + 1,0383Z^2 - 1,2943Z + 0,837)N = 0,973$$

$$\beta_{0,06} = (-0,3635Z^3 + 2,2124Z^2 - 3,2937Z + 1,8873)N = 1,395$$

Y se introducen los resultados en la fórmula de $\beta_{0,06 < X < 0,1}$

$$\beta_{0,06 < X < 0,1} = 25 [(0,1 - X)\beta_{0,06} + (X - 0,06)\beta_{0,1}] = 1,015$$

Tabla 8 Parámetro β para fondos toroidales sacado de la norma UNE-EN_12493 [24]



5 Unión Cisterna Chasis

Un chasis de semirremolque se construye con dos vigas longitudinales en sección de doble T, de altura variable, son más estrechas en la parte delantera, para formar el cuello, y más altas en la trasera, para crear el cuerpo del chasis, unidas por travesaños. En la zona anterior se fija la placa porta “king pin”, que hace de soporte de este elemento de unión entre el semirremolque y el camión, por lo que debe ser muy resistente a deformaciones. En la parte trasera del chasis se fijan los ejes, reforzando esa zona, ya que soportará la mayor parte del peso. En ambas áreas se marcarán las diferencias entre las deformaciones que presenten los chasis de los semirremolques respecto de los chasis de los camiones.

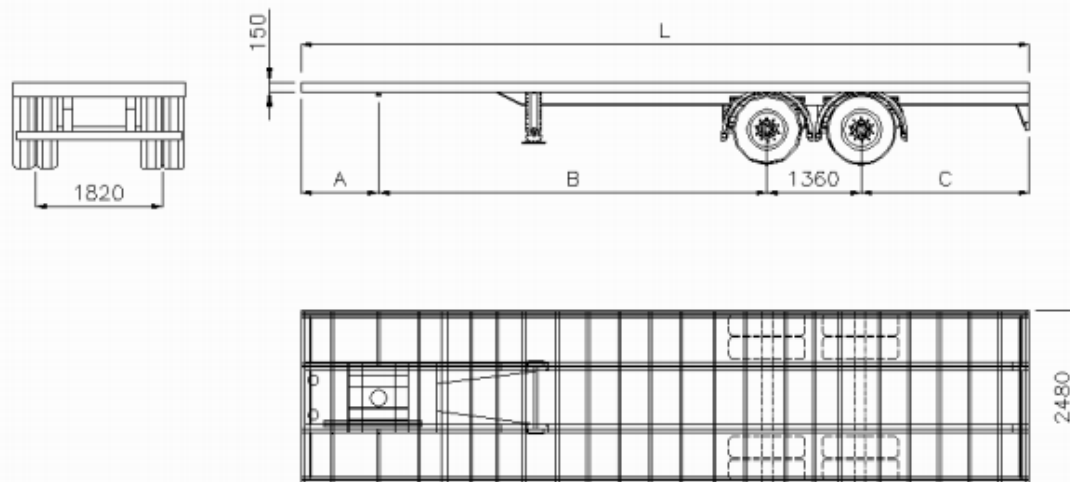


Figura 25 Chasis semirremolque 2 ejes [25]

Tabla 9 Pesos recomendados [25]

Sobre King Pin	12 000 kg
Sobre ejes	18 000 kg
Total	30 000 kg

La unión entre la cisterna (semirremolque) y el chasis se realiza mediante dos dispositivos de conexión. Uno es la "quinta rueda" que está montado en el bastidor trasero del camión tractor. El otro es llamado el "King pin", que está situado en el extremo delantero del remolque de camión.

5.1 Quinta rueda (5th Wheel)

La quinta rueda sirve como un dispositivo de acoplamiento que se acopla un camión tractor a un semirremolque. Una quinta rueda es un disco de heavy metal con una ranura en forma de "V" como se observa en la Figura 26. Se fija al chasis horizontalmente por encima de los ejes traseros del camión tractor. La ranura en forma de "V" está situada en la parte trasera y contiene un dispositivo de bloqueo. El mecanismo de la quinta rueda para conectar los tractores y los remolques de hoy es muy similar al diseño de Endebrock de principios del siglo XX.



Figura 26 Quinta rueda (5th Wheel) [26]

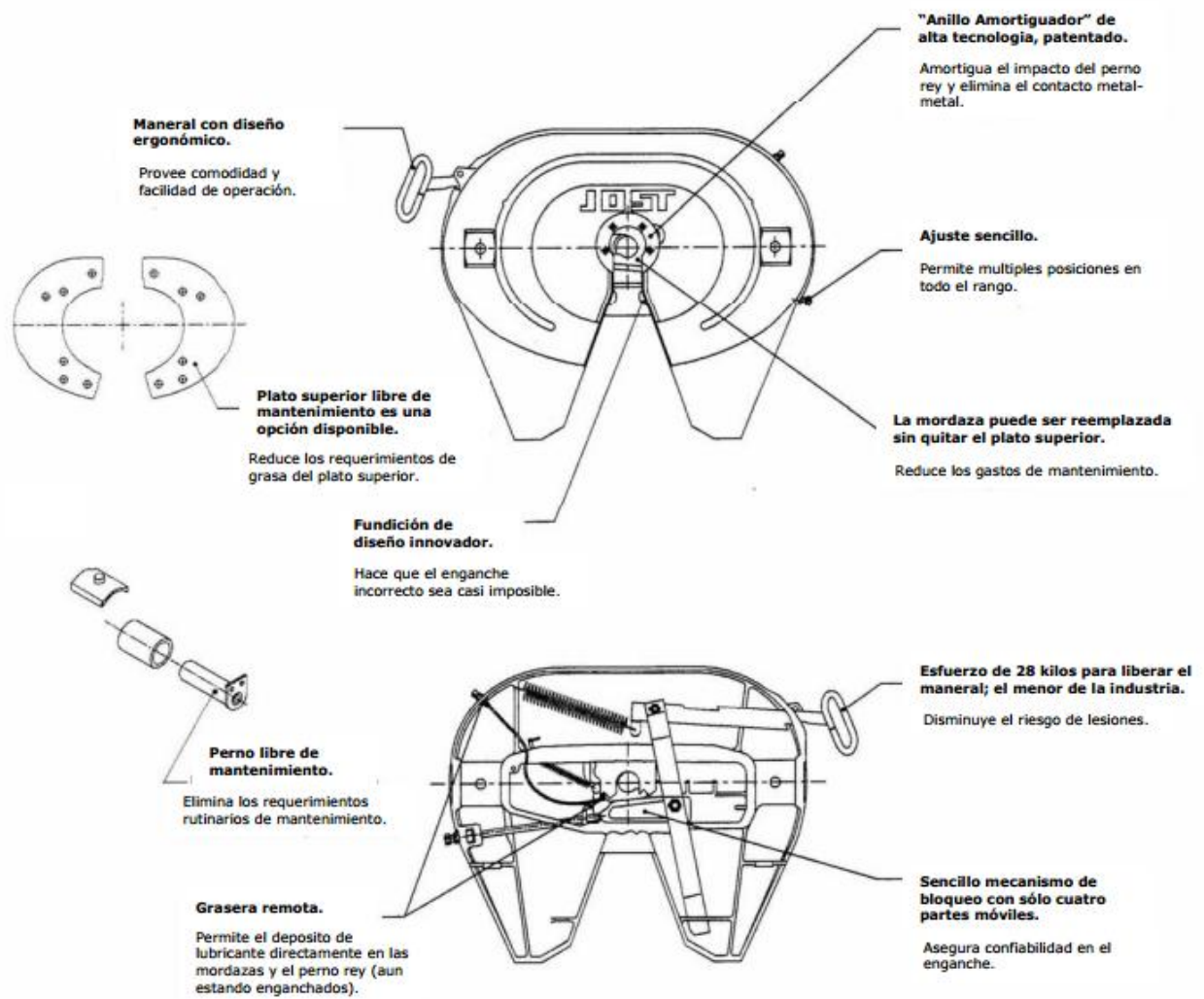


Figura 27 Partes de la quinta rueda [27]

5.2 King-pin

El King-pin es un componente de acoplamiento entre el semi-remolque y el camión, que se encuentra debajo de la parte delantera del semirremolque y consistente en un bulón dispuesto en sentido vertical, Figura 28, que permite la articulación del acoplamiento.

El acoplamiento mecánico se efectúa alojando el King - pin en el centro de la 5ª rueda (quinta rueda) y fijándolo por medio de unas mordazas dispuestas a tal efecto.

Para facilitar la maniobra de acoplamiento, la 5ª rueda dispone de una garganta que orienta el King - pin hasta el centro de la misma.

Cuando se combina con el “king pin”, la quinta rueda permite que el semirremolque pueda girar en el punto donde se unen. El accesorio de rotación permite que el conjunto camion-semirremolque pueda hacer giros y proporciona estabilidad y maniobrabilidad en la carretera.



Figura 28 King Pin [28]

5.3 Ubicación de la quinta rueda

En la elección de la ubicación más idónea de la quinta rueda sobre el bastidor de la tractora intervienen varios factores, por ejemplo: tipo de chasis, distancia entre ejes de la cabeza tractora, equipamiento del chasis, cargas deseadas sobre los ejes y legislación.

Si se adelanta demasiado la quinta rueda, a más de 700 mm. por delante del eje propulsor en un vehículo de dos ejes, se perjudica la maniobrabilidad y existe además un riesgo de superar el peso admitido sobre el eje delantero. No obstante, en caso de camiones largos, para aprovechar al máximo la carga sobre el eje delantero se suele adelantar más esta posición, lo cual aumenta también el riesgo de oscilación del bastidor.

Si por el contrario, se coloca la quinta rueda justamente sobre el centro del eje trasero o el centro teórico del bogie, se reduce este efecto. No obstante, empeora la capacidad direccional y el conductor no tiene buen control del semirremolque.

Asimismo, si se toma una corta distancia entre la quinta rueda y la sección del eje trasero, el semirremolque tiende a desplazar lateralmente el tractocamión al inclinarse (al tomar una curva o en caso de patinado). Esta situación constituye un peligro para el caso de piso resbaladizo. No obstante, este efecto varía con la carga, las condiciones de la carretera y el grado de aceleración o deceleración.

Por tanto, se debe elegir una posición intermedia, que combine buenas características de conducción con una distribución aceptable de la carga sobre los ejes.

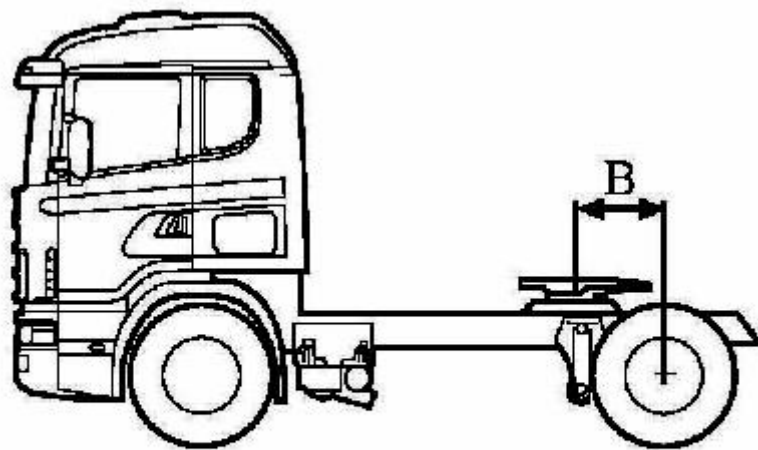
La experiencia demuestra que la combinación del vehículo tiene buenas características de conducción cuando:

- la quinta rueda de un vehículo de dos ejes se encuentra a una distancia por delante del eje trasero igual al 10% de la distancia entre ejes;
- la quinta rueda de un vehículo de tres ejes se encuentra a una distancia por delante del centro teórico del bogie igual al 10 % de la distancia entre ejes. El centro teórico del bogie se puede obtener a partir de las cotas indicadas por el fabricante de la tractora.

No obstante, esta ubicación produce una carga relativamente baja sobre el eje delantero. Si se desea aumentarla, la quinta rueda suele situarse un poco más adelante.

Para sacar el mejor provecho de la carga máxima sobre el eje delantero en los vehículos largos, la quinta rueda se suele situar muy adelantada, lo cual aumenta el riesgo de que se produzcan oscilaciones del bastidor.

El montaje de una quinta rueda somete el bastidor del chasis a una carga muy concentrada. Desde el punto de vista de la carga, por lo tanto, la quinta rueda se debe situar como se observa en la Figura 29 a no más de 600 mm delante del eje trasero en los vehículos de dos ejes. Esto no incluye el chasis de tractora adaptado en fábrica, en el cual la quinta rueda se puede colocar en una posición pretaladrada a no más de 760 mm por delante del eje trasero.



$B = \text{máx.}600 \text{ mm}$
(de fábrica 760 mm)

Figura 29 Representación de la correcta situación de la quinta rueda [29]

Para poder transportar un remolque de la UE de 13,6 m dentro de una longitud total de 16,5 m, la distancia máxima entre el extremo delantero de la tractora y el centro de la quinta rueda debe ser de 4 500 mm. Un remolque de la UE tiene 12 m entre el pivote de mangueta y la parte trasera del semirremolque.

5.4 Maniobrabilidad

Para poder maniobrar libremente el tractocamión, el voladizo delantero del semirremolque en diagonal (ángulo de barrido delantero D) no deberá ser mayor de 2 040 mm. Esta cifra equivale a un voladizo delantero de 1 600 mm desde el kin-pin hasta el cato delantero del semirremolque con una anchura del remolque de 2 500 mm.

Además, la parte posterior del tractocamion necesita suficiente espacio para maniobras. La distancia mínima del king-pin a las patas de apoyo del semirremolque se denomina G.

Se recomienda un juego adicional de 100 mm entre los radios J y G, para permitir las diferencias de ángulo necesarias entre el tractocamión y el semirremolque. Controlar esta dimensión para un ángulo de maniobra de 90°.

$$J = \text{max. } 1\,940 \text{ mm}$$

$$D = \text{max. } 2\,040 \text{ mm}$$

$$G = \text{max. } 2\,300 \text{ mm}$$

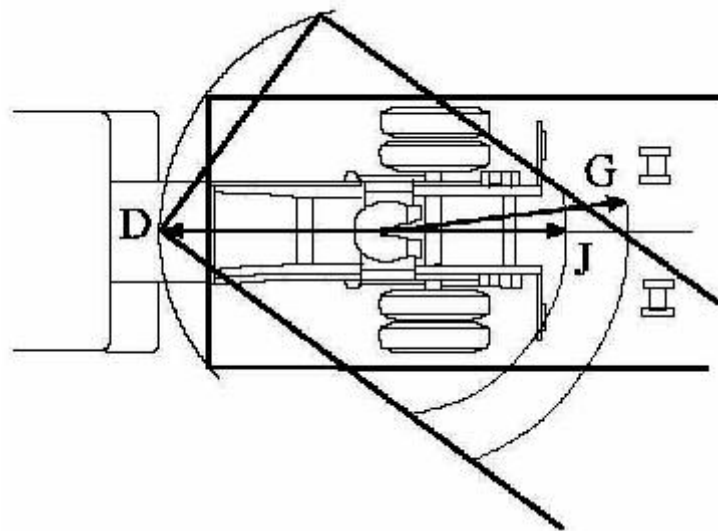


Figura 30 Representación de los radios para permitir la maniobrabilidad del semirremolque [30]

6 Electricidad Estática en la Carga y Descarga

6.1 Introducción:

La electricidad estática constituye un desequilibrio transitorio en la distribución de cargas por transferencia entre la superficie de dos elementos o medios suficientemente próximos, con la creación de un campo eléctrico y una diferencia de potencial que pueden alcanzar valores muy elevados.

Cuando dos elementos con carga de igual valor y signo contrario se encuentran separados por un medio aislante, entre los que se encuentra el aire, puede establecerse, de existir una vía conductora, una descarga disruptiva con liberación de energía. Tales descargas también se producen entre un cuerpo cargado eléctricamente y otro cuerpo próximo exento de cargas pero conectado eléctricamente a tierra. Al disminuir la distancia, también resulta menor la tensión precisa para que se opere la descarga disruptiva. La energía liberada al producirse la chispa es el parámetro determinante en la peligrosidad de la chispa.

El mecanismo de carga de los líquidos en circulación, considerados como electrolitos débiles, obedece a la teoría de la "doble capa eléctrica", según la cual los iones de un determinado signo son absorbidos preferentemente por la superficie del sólido que los contiene, formándose, consecuentemente, una capa de determinada polaridad, sobre la que se deposita una segunda capa de iones de carga opuesta. Por otra parte, la densidad de carga del líquido decrece al aumentar la distancia a la pared del contenedor.

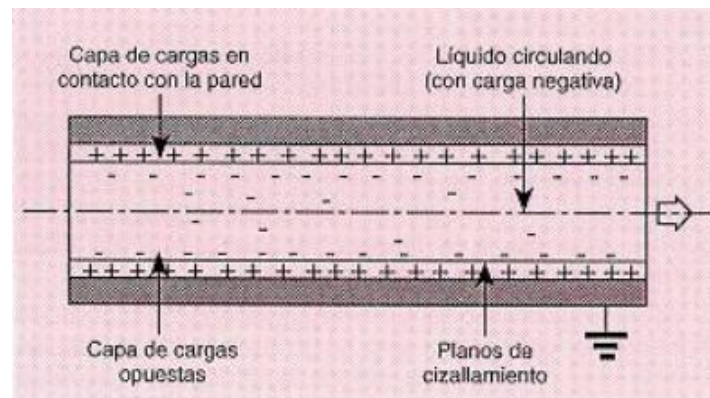


Figura 31 Transferencia de cargas entre líquidos y sólidos. Según la teoría de la "doble capa", la segunda capa está indicada con signos + en la superficie interna del tubo [31]

La generación de electricidad estática en la actividad de carga y descarga de camiones cisterna, cuando se manipulan inflamables, admite varios orígenes.

Uno de ellos es el resultado de la filtración del producto a través de los diminutos orificios del filtro, operación que puede producir muy altos niveles de cargas y que requiere, para su disipación, un periodo de tiempo considerable.

Un segundo mecanismo es el producido por el movimiento del producto a través de los filtros de malla intercalados en los circuitos de manipulación (bridas con filtro), debiendo precisarse que con tamaños de orificio mayores de 300 micras existe poca probabilidad de que se generen situaciones peligrosas. De ahí que, en estos casos, el tiempo de relajación a que se hacía referencia pueda ser reducido, por ejemplo a 30 segundos. Sin embargo, cuando el orificio de malla disminuye, la generación de cargas podría acercarse, en ciertas circunstancias, a niveles considerables de riesgo. Tamaños de poro por debajo de las 150 μm puede entrañar peligrosidad, especialmente si se encuentran obturados, debiendo recurrirse al intervalo de disipación de cargas, al tiempo que se procede a la limpieza o sustitución de filtros cuando la presión llega a ser excesiva.

El tercer mecanismo de generación es el debido al simple movimiento del líquido a lo largo de la tubería, dependiendo la generación de cargas de la clase de producto y de su velocidad de circulación.

Para que una carga electrostática pueda constituir una fuente de ignición en el interior de un recinto vacío, deben concurrir las condiciones siguientes:

- Existencia de elementos generadores de cargas electrostáticas.
- Acumulación suficiente de cargas e.e. como para generar chispas.
- Presencia de una mezcla inflamable susceptible de ignición.

Una descarga electrostática es capaz de causar una ignición, siempre y cuando la energía liberada sea mayor que la energía mínima de ignición de la mezcla combustible presente en ese momento.

A su vez, para que una mezcla gas/aire o vapor/aire se inflame, no sólo la relación de la concentración del material inflamable frente a la concentración de aire (oxígeno) debe encontrarse dentro de los límites de inflamabilidad, sino que sólo será susceptible de ignición si la temperatura del líquido del que emana supera el punto de inflamación. Especial atención debe prestarse, no obstante, a los aerosoles en los que las pequeñas gotas pueden incrementar muy rápidamente su temperatura, superando el punto de inflamación, debido a su baja capacidad calorífica.

En general, la probabilidad de que se den simultáneamente una atmósfera explosiva y una descarga con liberación suficiente de energía como para causar una ignición, es relativamente baja. Por ello, no resulta raro constatar la existencia de operaciones con riesgo de cargas electrostáticas que llevan realizándose indefinidamente sin que hayan surgido incidentes.

Esta liberación de energía durante la descarga depende, entre otras causas, del tipo de ésta.

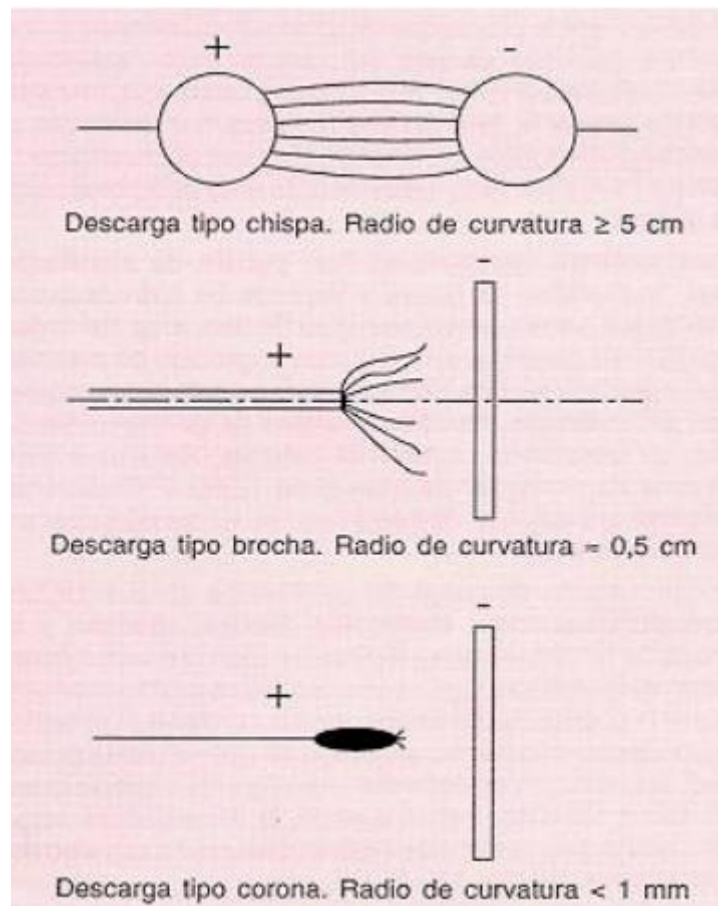


Figura 32 Tipos diferentes de descargas según la geometría de la disposición de los elementos y materiales afectados [31]

6.2 Prevención contra ignición por electricidad estática

a) Control de la velocidad de flujo y del sistema de llenado

Hasta fecha reciente era criterio generalizado que una velocidad de 4 m/s a 7 m/s era la adecuada para impedir la acumulación de cargas dentro de unos límites aceptables. Sin embargo, el empleo de diámetros mayores de tubería, tendente a reducir tiempos con el empleo de tubería cada vez de mayor diámetro, ha permitido limitar la generación de cargas, siempre que:

$$v d < 0,5$$

siendo "v" la velocidad lineal de flujo en m/s y "d" el diámetro del brazo de carga en metros.

La tabla relaciona los valores de "v" y "vd" para distintos diámetros de tubería.

DIÁMETRO NOMINAL (pulgadas)	DIÁMETRO INTERIOR (mm)	VELOCIDAD (m/s)	v.d (m ² /s)
1 1/2	40.9	1.00	0.041
		7.00	0.286
2	52.5	1.00	0.053
		7.00	0.368
3	77.9	1.00	0.078
		6.41	0.500
4	102.3	1.00	0.102
		4.89	0.500
5	128.2	1.00	0.128
		3.90	0.500
6	154.1	1.00	0.154
		3.24	0.500
8	202.7	1.00	0.203
		2.47	0.500
10	254.5	1.00	0.255
		1.96	0.500
12	303.2	1.00	0.303
		1.65	0.500

Figura 33 Velocidades y valores de "vd" en tuberías [31]

No obstante esta limitación, la velocidad del flujo no debería exceder de 7 m/s. El límite de 0,5 m/s no garantiza que no pueda desarrollarse una ignición estática, si bien reduce su probabilidad.

Puede impedirse la existencia de un campo electrostático alto, aún cuando el mecanismo potencial de carga pueda ser grande, si la conductividad del producto es lo suficientemente alta como para limitar la retención de cargas.

b) Incremento de la conductividad del producto manipulado

Dado que las cargas e.e. pueden acumularse sobre la superficie de los materiales de baja conductividad, resulta posible controlar la acumulación de aquéllas, antes de que lleguen a alcanzar niveles peligrosos, mediante aditivos que incrementen la conductividad (disminución de la resistividad). Son productos polares que se mezclan a concentraciones bajas y en muy pequeñas cantidades (del orden de 1 g/m³ a 2 g/m³), hasta conseguir resistividades inferiores a 108 Ω·m. Niveles de conductividad mayores de 50 pS/m, a temperaturas normales, se consideran como no peligrosos. La resistividad de la gasolina. auto (del orden de 10¹³ Ω·m), puede ser reducida a 108 Wm añadiendo entre 1 g y 2 g por m³ de aditivo antiestático (Teepol 530, Aerosol TT, ASA-3).

El efecto de estos aditivos decrece con la disminución de la temperatura. De ahí, que la proporción de mezcla debe ser suficiente como para asegurar una conductividad satisfactoria a los niveles de temperatura más bajos. Debe precisarse que estos aditivos no impiden la generación de e.e. Su influjo consiste en atenuar las cargas como si se combinaran con sustancias de polaridad opuesta. Consecuentemente, su uso debe complementarse con la conexión y puesta a tierra, a fin de que se establezca un drenaje y disipación de cargas. Esta aditivación requiere que el producto sea soluble en el líquido, dado que, en su defecto, la formación de gotas (por ejemplo el agua como aditivo) podría originar el efecto contrario. Conviene también tener presente que el paso del producto por filtros puede conllevar la retención de aditivo o, tratándose de suspensiones, el material sólido puede absorberlo, con independencia de que, por simple envejecimiento, puede disminuir o desaparecer el efecto antiestático del mismo.

c) Conexiones equipotenciales y puestas a tierra

Una vez conseguido el control apropiado sobre la generación y acumulación de cargas electrostáticas, se hace necesario crear las condiciones precisas para que las cargas que se puedan formar sean fácilmente eliminadas. Ello se consigue mediante la interconexión de todas las superficies conductoras sobre las que se puede formar e.e, estando a su vez el conjunto conectado a tierra. La conexión englobaría a los compartimentos objeto de trasvase y al equipo de bombeo y sus conducciones. A tal efecto, pueden considerarse aceptables resistencias de puesta a tierra inferiores a 1 megohm ($10^6 \Omega$).

Desde una perspectiva operativa, en la modalidad de carga de cisternas por arriba, donde normalmente los vapores inflamables están presentes al abrirlas bocas de carga, debe conseguirse, tal y como ha quedado referenciado, que los compartimentos estén eléctricamente conexiónados al brazo de carga, tuberías de llenado o a la estructura del cargadero. Si la unión se hace a esta última, es preciso que la tubería y la estructura estén interconexionadas. En tal supuesto, la puesta a tierra de la estructura no reporta ninguna protección adicional contra la posible ignición por electricidad estática.

La conexión debe hacerse antes de proceder a la apertura de la boca de carga, debiendo mantenerse hasta en tanto no se haya cerrado aquélla, una vez completada la carga.

De esta forma, la unión equipotencial impedirá cualquier crecimiento de los potenciales electrostáticos entre brazo de carga y compartimento, eliminándose la posibilidad de destello en las proximidades de la abertura de la boca de carga. La importancia de una buena conexión no sólo debe procurarse con productos cuya presión de vapor sea alta o media, sino que debe hacerse extensible asimismo a los de baja, por cuanto no puede descartarse contaminaciones ocasionales con productos de alta-media presión procedentes, por ejemplo, del cargamento anterior o, sin que se incurra en estos supuestos, tratándose de productos con baja presión de vapor, por casual elevación de la temperatura y superación de la correspondiente a la de "flash point" (punto de destello), si se trata de productos con baja presión de vapor.

Los cables de conexión pueden ser aislados o no. El uso de estos últimos permite visualizar la continuidad eléctrica. En el caso de utilizar los aislados se precisa de una comprobación que constate su continuidad. Estos registros, en modalidad de continuo, operan en conjunción con señales luminosas o de parpadeo, impidiendo la selección y puesta en marcha de los grupos de bombeo ante deficiencias de un contacto idóneo.

La conexión equipotencial para el control de electricidad estática no resulta procedente en los casos siguientes:

- En cargas de producto carentes de capacidad para acumular e.e. (asfaltos y la mayoría de aceites de petróleo crudo).
- Con productos en los que, en su transporte, no se alcanza el punto de destello, así como en aquellos terminales de carga en los que sólo se manipulan líquidos con "flash point " igual o superior a 38 °C (combustibles líquidos).
- Operaciones en las que el acoplamiento del dispositivo de carga se hace antes de que el caudal de flujo se inicie y la desconexión se efectúe después de que el flujo se haya extinguido.

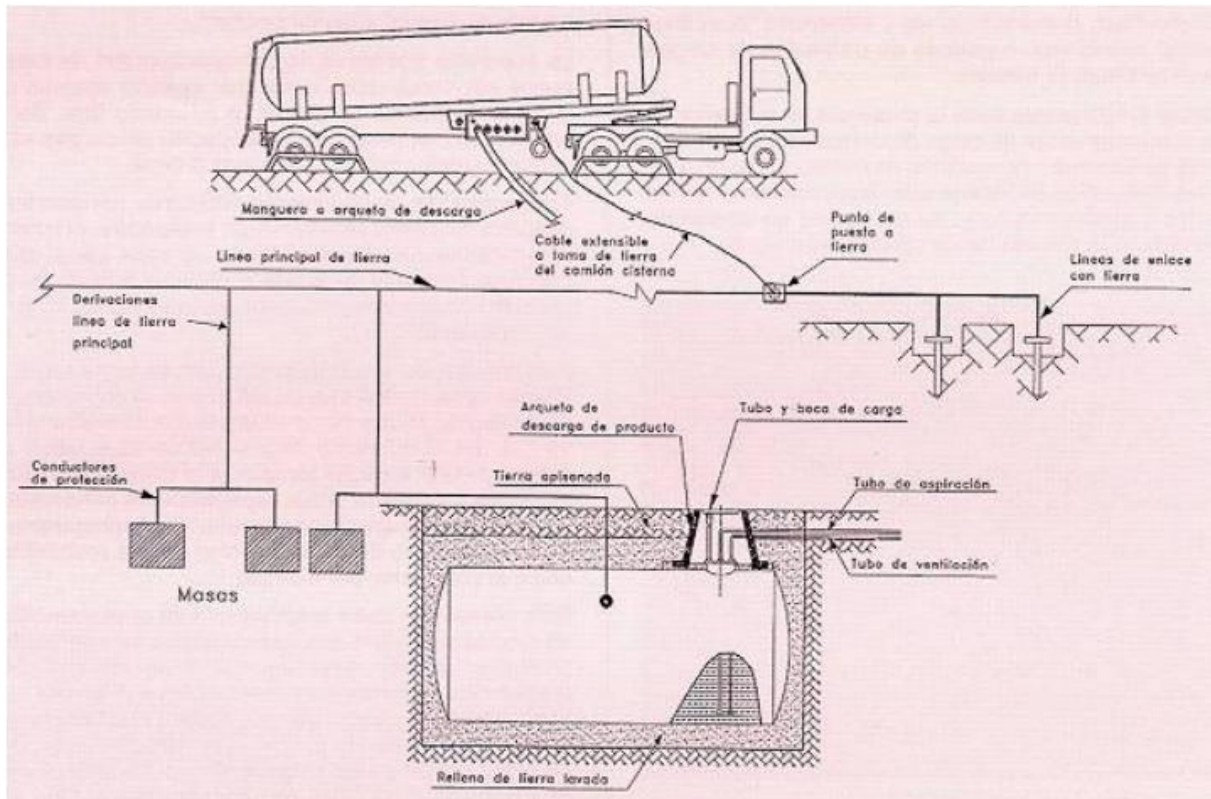


Figura 34 Esquema de instalación de puesta a tierra para un camión cisterna de hidrocarburos líquidos.[31]

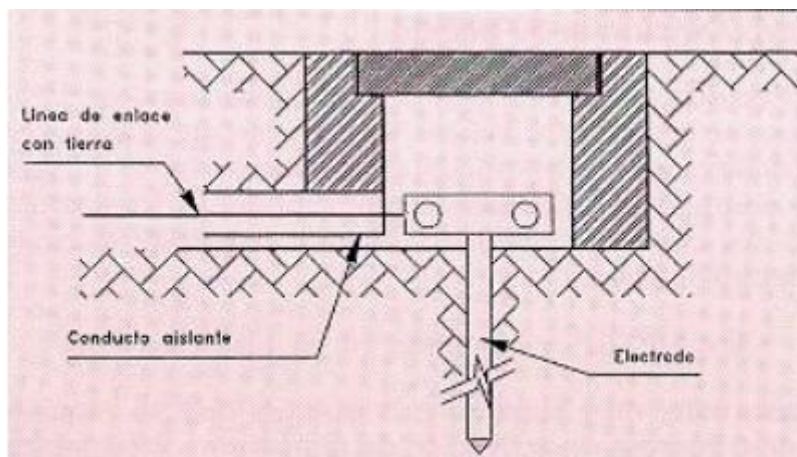


Figura 35 Detalle arqueta puesta a tierra[31]

A tal efecto son de interés las definiciones siguientes:

- Línea principal de tierra: es el conductor que, partiendo del punto de puesta a tierra, conecta con las derivaciones necesarias para la puesta a tierra de las masas.
- Punto de puesta a tierra: punto que sirve de unión entre la línea de enlace con tierra y la línea principal de tierra. Está constituido por un dispositivo de conexión (regleta, placa, borne, etc.) que permita la separación entre los conductores de las líneas de enlace y la línea principal de tierra y haga posible la medida de las resistencias de tierra.

- Líneas de enlace con tierra: conductor de unión del electrodo, placa o pica con el punto de puesta a tierra.
- Conductores de protección: conductor que une eléctricamente las masas de una instalación con ciertos elementos, con el fin de asegurar la protección contra contactos indirectos. En condiciones normales, no se produce por él circulación de corriente alguna, circunstancia que lo diferencia del neutro y cualquier otro conductor de fase.

d) Brazos de carga

La carga por el fondo viene a reducir los riesgos de electricidad estática que pueden darse por un inapropiado posicionamiento del brazo de llenado. Sin embargo, en su fase inicial, la proyección ascendente del producto puede incrementar la generación de electricidad estática, efecto que puede impedirse reduciendo la velocidad de llenado o usando deflectores u otros dispositivos contra esta proyección, la cual, tratándose de productos con baja presión de vapor, origina o puede originar una niebla o atmósfera susceptible de ignición. Asimismo, en esta modalidad de carga, al introducirse la varilla de medición en el espacio libre puede originarse un destello de electricidad estática, al no poderse contar con el influjo del brazo de carga. Para evitar esta posibilidad, la varilla debería hacerse solidaria o conectarse con la cisterna por medio de cadena o cable conductor, asegurándose así la equipotencialidad.

Complementariamente, se hace preciso que con carácter previo a la introducción de cualquier objeto metálico conductor (varillas metálicas de medición, sacamuestras, termómetros, densímetros, etc.), transcurra "cumplidamente" el intervalo o periodo de disipación de cargas electrostáticas (1 min).

7 Normativa en el transporte de GLP

Hasta 1978, la construcción de cisternas para mercancías peligrosas se realizaba aplicando el “*Reglamento de recipientes a presión*”. En el verano del mismo año tuvo lugar el accidente del camping de Los Alfaques lo cual marco un antes y un después respecto a las normativas aplicables y los requisitos del transporte de mercancías peligrosas en toda Europa.

Hasta 1998, el transporte por carretera era regulado por el “*Reglamento de Transporte de Mercancías Peligrosas por Carretera (TPC)*” cuyo equivalente en Europa era el Acuerdo europeo para el transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR). En la actualidad, el transporte de mercancías peligrosas por carretera en España está regulado por el Real Decreto 2115/1998 el cual deroga el TPC, y por el ADR [7].

El ADR [7] diferencia 3 376 materias que pueden ser consideradas mercancías peligrosas y fija las características y requisitos para el transporte de cada una de ellas. El butano y propano comerciales, así como sus mezclas se incluyen en el número ONU 1965, cuya descripción es Hidrocarburos gaseos licuados en mezcla, n.e.p. tales como mezcla A, A0, A01, A02, A1, B, B1, B2 ó C.

Según el ADR [7], toda cisterna que transporte GLP debe ir señalizada con tres etiquetas de peligro con forma cuadrada apoyada sobre un vértice, conteniendo una llama negra o blanca en su mitad superior y el número 2 en el vértice inferior, como se observa en la Figura 36. El color de fondo de la etiqueta es rojo y la colocación debe ser una en cada lado de la cisterna y otra en su parte posterior.

También deben llevar dos paneles naranjas rectangulares con el número de identificación de peligro (23) en su mitad superior y el número de identificación de la mercancía (1965) en su mitad inferior, como se observa en la Figura 37. Un panel debe ir colocado en la parte delantera del vehículo y otro en la parte trasera.

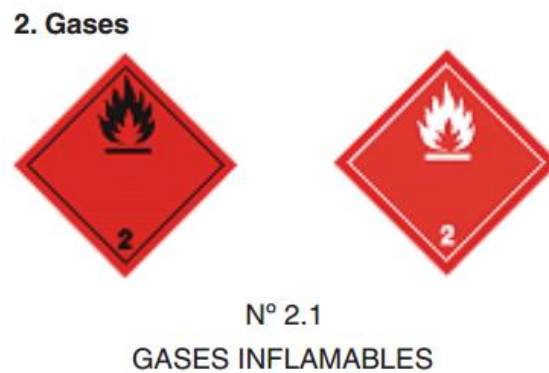


Figura 36 Etiqueta identificativa del transporte de GLP [32]



Figura 37 Panel de identificación de GLP [33]

Además de la señalización de los vehículos, el ADR [7] establece las disposiciones relativas a la construcción y ensayos tanto de las unidades de transporte como de los recipientes destinados a contener mercancías peligrosas, como deben efectuarse los embalajes, la documentación que debe llevar a bordo todo vehículo, disposiciones relativas a las condiciones de transporte, carga, descarga y manipulación, formación de los conductores de vehículos, etc.

8 Referencias y Bibliografía

8.1 Referencias bibliograficas

- [1] <http://www.boe.es/boe/dias/2006/02/17/pdfs/A06342-06357.pdf>
- [2] <http://www.purvingertz.com/>
- [3] <http://www.worldlpgas.com/>
- [4] <http://www.poten.com/>
- [5] http://es.exceptionalenergy.com/uploads/Ressources/wlpga_layout_webFINALPRINT.PDF
- [6] <http://es.scribd.com/doc/31606680/Cisternas-para-El-Transporte-de-MMPP>
- [7] Normativa ADR 2013 Para el transporte de mercancías peligrosas.
- [8] <http://es.scribd.com/doc/31606680/Cisternas-para-El-Transporte-de-MMPP>
- [9] <http://bomberiles.com/>
- [10] http://bomberiles.com/miquelvalls/_private/glp_1.htm
- [11] http://bomberiles.com/miquelvalls/_private/glp_1.htm
- [12] http://bomberiles.com/miquelvalls/_private/glp_1.htm
- [13] <http://www.marlia-ing.com/Productos/brazos/brazos.htm>
- [14] <http://es.scribd.com/doc/31606680/Cisternas-para-El-Transporte-de-MMPP>
- [15] http://bomberiles.com/miquelvalls/_private/Presentacion%20MMPP%20castella1.pdf
- [16] <http://es.scribd.com/doc/31606680/2/Valvula-sobrepresion-y-disco-de-ruptura>
- [17] <http://bomberiles.com/>
- [18] <http://es.scribd.com/doc/31606680/2/Valvula-sobrepresion-y-disco-de-ruptura>
- [19] <http://bomberiles.com/>
- [20] <http://bomberiles.com/>
- [21] <http://es.scribd.com/doc/31606680/3/Galga-rotativa-o-indicador-de-nivel>
- [22] <http://bomberiles.com/>
- [23] <http://es.scribd.com/doc/123479805/CAPITULO-3-GLP>

- [24] UNE-EN_12493=2009+A1=2012 *Equipos y accesorios para GLP. Tanques de acero soldados para gases licuados del petróleo (GLP). Diseño y fabricación de camiones cisterna.*
- [25] <http://www.sical.es/pdfs/estandar.pdf>
- [26] <http://catalogues.jost-world.com/jost-truck-trailer/fifth-wheel-couplings-and-mounting-plates/general-information.html?L=1>
- [27] <http://www.repsmkj.cr/catalogos/jost/esp%20-%20ffth%20whl%20catALOGO.pdf>
- [28] <http://catalogues.jost-world.com/jost-truck-trailer/king-pins.html?L=1>
- [29] <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn92.html#seccion2>
- [30] http://prodsupport.scania.com/groups/bwd/documents/bwm/bwm_0000002_03.pdf
- [31] NTP 375: Electricidad estática: carga y descarga de camiones cisterna
- [32] http://www.traficoadr.com/cartel_etiquetas_de_mercancias_peligrosas.pdf
- [31] http://www.traficoadr.com/mercancias_peligrosas.php?onu=1965

CAMIÓN CISTERNA DE GLP

DOCUMENTO N° 2: ESTUDIO ECONÓMICO

1 Costes del proyecto

1.1 Generalidades

Todos los trabajos, suministros, actividades u operaciones necesarias para la realización del diseño, incluidos en el alcance de los precios unitarios, se ejecutaran conforme a los planos, especificaciones, códigos, normas y condiciones del Proyecto.

La reposición o reconstrucción de aquella parte o partes que hayan sufrido daños o deterioros durante la ejecución y/o plazos de garantía, por descuidos, errores, vicios ocultos, etc., será realizada de acuerdo con las instrucciones que para cada caso sean ordenadas por la normativa correspondiente.

Los precios comprenden todos los gastos directos e indirectos de todos los trabajos y suministro necesarios para la ejecución, así como los gastos generales, impuestos, tasas, arbitrios, beneficio industrial y demás derivados.

Los precios unitarios deben incluir todos los impuestos propios generados por los trabajos que comprenden el proyecto.

1.2 Precios unitarios

Tabla 10 Precios unitarios de los materiales

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	Uds	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (€)	PRECIO TOTAL (€)
Depósito	ud	1	10 950	10 950
Indicador de nivel	ud	1	500	500
Manómetro	ud	1	100	100
Valvulas de carga y descarga	ud	2	750	1 500

Depósito: Depósito simple pared en acero al carbono soldados para GLP, conforme UNE-EN_12493=2009+A1=2012 (Ø 1,8 m) y de acuerdo a las especificaciones particulares según Plano “PFC-GLP-PLN-B-01 Camión cisterna de GLP”

Capacidad 25 000 l.

Indicador de nivel:

De acero al carbono y aluminio y los interiores de acero inoxidable y teflón.

El precio incluye el indicador de nivel mas los materiales de montaje y los trabajos de montaje asociados.

Manómetro:

El precio incluye el manómetro mas los materiales de montaje y los trabajos de montaje asociados.

Válvulas de Carga y Descarga:

Válvula de bola Materiales ASTM. Cuerpo y Tapa A216 WCB, TRIM según API-600 F6. Conexiones embridadas ANSI B 16.5

Tabla 11 Precios unitarios de la ingeniería

INGENIERÍA			
DESCRIPCION	Uds	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (€)
Ingeniería	PA*	1	3 000

*Partida alzada

1.3 Presupuesto

Presupuesto total:

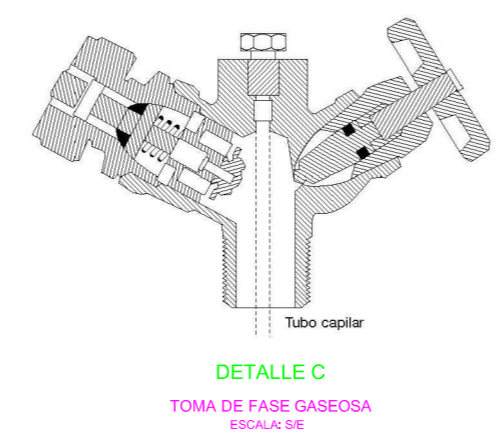
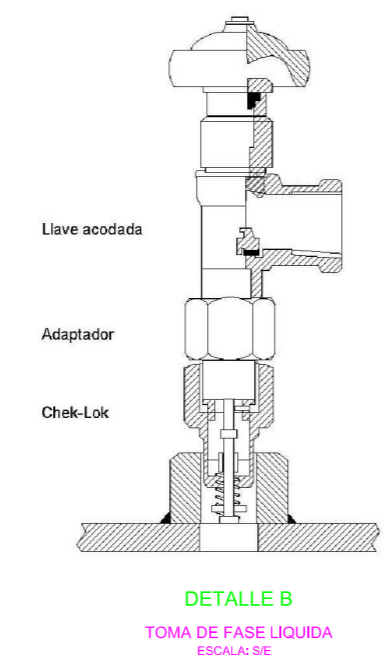
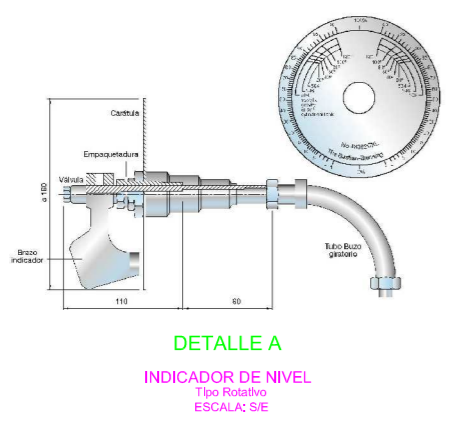
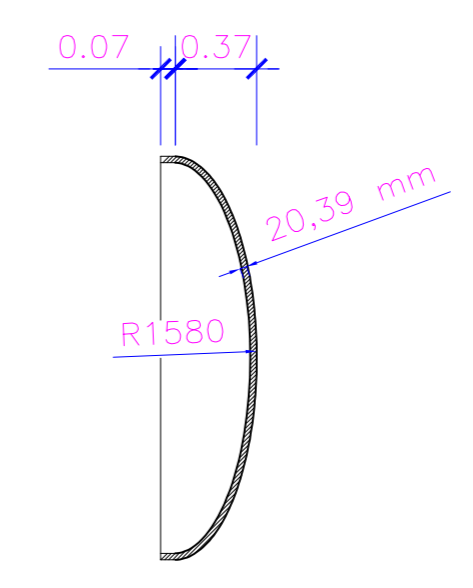
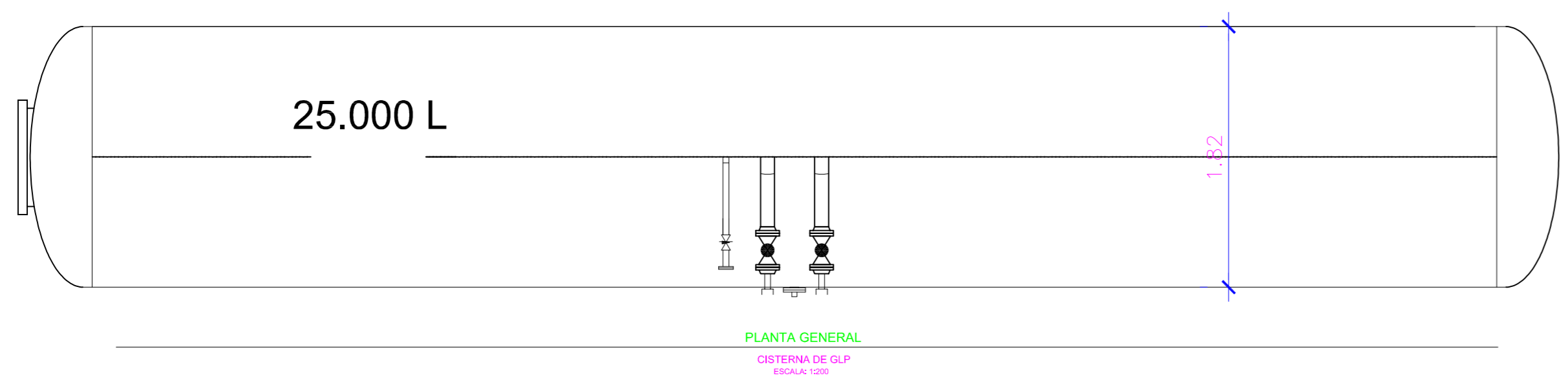
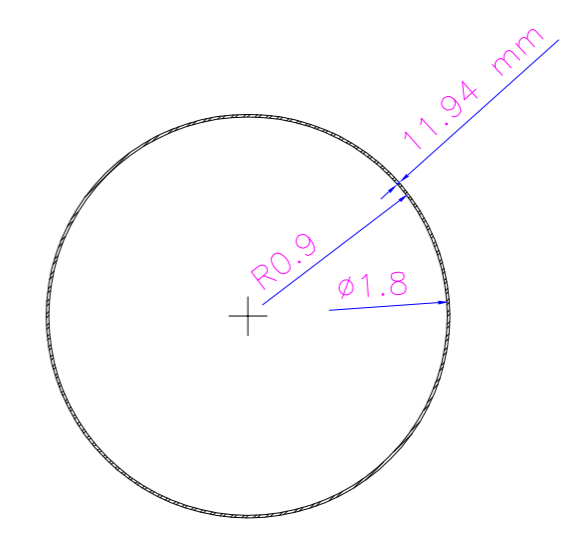
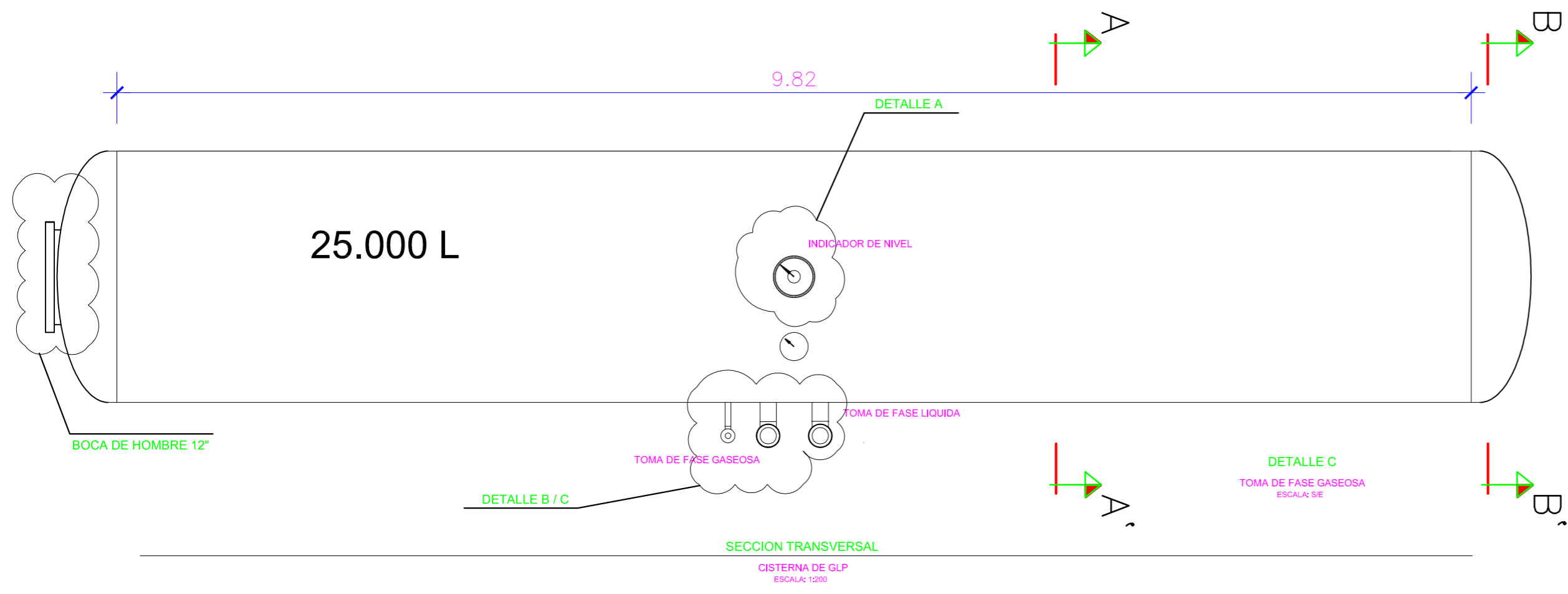
MATERIALES.....	13 050 €
INGENIERÍA.....	3 000€
TOTAL PRESUPUESTO.....	16 050 €

CAMIÓN CISTERNA DE GLP

DOCUMENTO N° 3: PLANOS

Plano: Implantación general y detalles de la cisterna de GLP:

- “PFC-GLP-PLN-B-01 Camión cisterna de GLP”



E.T.S. DE INGENIEROS DE MINAS	
Autor: ALEJANDRO HURTADO DE MENDOZA M.	CAMION CISTERNA DE GLP
Fecha: 06/09/2013	IMPLANTACION GENERAL Y DETALLES CISTERNA DE GLP
Nº de Plano: PFC-GL-PLN-001	