



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Análisis, cálculo y diseño de un sistema rompeolas en una cisterna para el transporte de octano por carretera aplicado a la normativa ADR 2021

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Autor: ISMAEL SÁNCHEZ LÓPEZ
Director: ISIDORO JOSÉ MARTÍNEZ MATEO
Codirector: JUAN JOSÉ HERNÁNDEZ ORTEGA

Cartagena, FEBRERO 2022

A mi padre Manuel y mi madre Isabel por ser lo que soy hoy día gracias a ellos. A mis hermanas Cristina y Verónica por ser la razón de mi esfuerzo, alegría y mi ayuda diaria. A mis abuelos por sus tantos consejos y enseñanzas que me han llevado a alcanzar mis metas, y a todos mis familiares, mis tíos, mis primos, mis amigos, tutor de TFG y profesores que han hecho esto posible gracias a su ayuda y compañía durante todos estos años. Y especial mención a aquellas personas que me han visto crecer y que desde arriba me cuidan y se sienten igual de orgullosos que yo de hacer realidad el sueño que he perseguido durante tanto tiempo.

ÍNDICE CONTENIDO TEÓRICO

Documento I: Diseño, caracterización del elemento a transportar y adecuación a la normativa ADR 2021

1. Identificación del fluido a transportar:	14
1.1. Propiedades fisicoquímicas del Octano:	15
2. Definición de mercancía peligrosa, clases de mercancías peligrosas según el ADR 2021 y clasificación para nuestro fluido a transportar	15
2.1. Clase 3: Líquidos inflamables. Criterio de clasificación, referencias y propiedades generales de nuestro fluido a transportar	16
3. Etiquetado de la cisterna	18
3.1. Etiquetado (placas-etiqueta) para el caso de las cisternas portátiles:	18
3.2. Características y dimensiones de la etiqueta:.....	19
3.3. El panel naranja:.....	20
4. Recipientes a presión para líquidos: Utilización de vehículos cuyos depósitos estén contruidos con materiales metálicos, requisitos y características	23
4.1. Codificación, aproximación racionalizada y jerarquía de las cisternas:.....	25
5. Diseño y construcción de cisternas fijas. Controles y ensayos a los que se deben de someter, disposiciones relativas a la construcción, los equipos, la aprobación del prototipo y marcado	27
5.1. Cumplimiento de las normas UNE-EN de aplicación.....	28
6. Disposiciones generales para tener en cuenta a la hora de realizar el diseño y a la construcción de la cisterna:.....	36
6.1. Requisitos para las diferentes partes que conforman la cisterna:.....	38

Documento II: Interpretación de los planos de la cisterna mediante un diseño en 3D y control de las tensiones admisibles en diferentes modelos de rompeolas propuestos

1. Explicación de la herramienta empleada para el diseño de nuestra cisterna:	41
2. Diseño del rompeolas, tensiones máximas a soportar y características significativas.	41
Comparación entre diferentes diseños de rompeolas y selección del óptimo:	41
2.1. El efecto ola. Fenómeno físico, explicación y fundamento teórico:	59
3. Otros elementos que conforman el compartimento de la cisterna:	63
3.1. Virolas:.....	63
3.2. Oreja de izaje:	64
3.3. Boca hombre “brida incrustada”:	64
3.4. Boca hombre “tapa ciega”:	65

3.5. Fondos delanteros y posteriores:.....	67
3.6. Rompeolas:.....	67
3.7. Conjunto soporte de fijación:.....	70
3.8. Válvula de fondo modelo “Fisher C483-24”:.....	73
3.9. Válvula de sello en VRego modelo “A7518FP en ángulo”:	74
3.10. Válvula de alivio modelo Fisher “H722-312”:	75
3.11. Indicador de nivel Rochester modelo “MAGNETEL C6342-11-108”:.....	75

Documento III: Planos

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales propiedades del Octano (n-Octano)	15
Tabla 2. Lista de mercancías peligrosas acotada a la clase 3	15
Tabla 3. Primera parte de la Tabla A para el Octano en base a la normativa ADR 2021	18
Tabla 4. Segunda parte de la Tabla A para el Octano en base a la normativa ADR 2021	18
Tabla 5. Modelo de etiqueta (signo, color y cifra) para el Octano.....	19
Tabla 6. Número ONU para nuestra mercancía a transportar, con diferentes características en cuanto a la lista de materias asimiladas.....	21
Tabla 7. Indicaciones adicionales sobre las características de peligro de las mercancías peligrosas en las materias de clase 3.....	23
Tabla 8. Códigos de la cisterna en función del tipo de descripción	26
Tabla 9. Características de tracción a temperatura ambiente para algunos aceros de acuerdo con la normativa UNE-EN 10028-3:20	29
Tabla 10. Características de energía de rotura en flexión por choque de diferentes aceros en base a la normativa ADR2021	29
Tabla 11. Comparativa entre las presiones de cálculo y las presiones de prueba en base a la normativa ADR2021.....	32
Tabla 12. Valores tabulados de espesores mínimos para el depósito en función del material empleado en su fabricación	33
Tabla 13. Valores tabulados de espesores mínimos para el depósito en función del material empleado, del radio de curvatura máximo del depósito y de la capacidad del depósito	34
Tabla 14. Propiedades del acero escogido para el diseño de nuestra cisterna	34
Tabla 15. Composición del acero escogido y características mecánicas.....	34

ÍNDICE DE IMAGENES

- Imagen 1. Molécula del Octano formada por 8 átomos de carbono y 18 de hidrógeno 14*
- Imagen 2. Modelo de etiqueta para un líquido inflamable como el Octano, situado en la clase 3 según la normativa ADR 2021 19*
- Imagen 3. Dimensiones de la etiqueta 20*
- Imagen 4. Ejemplo de panel naranja con su número de identificación de peligro (parte superior) y número ONU (parte inferior), según el apartado 5.3.2.2.3 de la Normativa ADR 2021 21*
- Imagen 5. Esquema de fuerzas actuantes en la cisterna cuando se encuentra en acto de servicio, es decir, en marcha 27*
- Imagen 6. Selección del material P460 NH para nuestra cisterna y rompeolas en el paquete de datos de la herramienta SolidWorks 42*
- Imagen 7. Modelo de rompeolas tipo 1 realizado con SolidWorks donde se marca una geometría fija en sus bordes (flechas verdes) 43*
- Imágenes 8 y 9. Esfuerzos de presión (flechas rojas) y de fuerza (flechas moradas) en el modelo rompeolas tipo 1 44*
- Imagen 10. Mallado del rompeolas tipo 1 para su posterior análisis estático 44*
- Imagen 11. Escala de colores de los componentes de deformación unitaria para el rompeolas tipo 1 45*
- Imagen 12. Escala de colores de tensión de Von Mises para el rompeolas tipo 1 45*
- Imagen 13. Escala de colores de los desplazamientos resultantes para el rompeolas tipo 1 46*
- Imágenes 14 y 15. Modelo de rompeolas tipo 2 realizado con SolidWorks donde se marca una geometría fija en sus bordes (flechas verdes) 47*
- Imágenes 16 y 17. Esfuerzos de presión (flechas rojas) y de fuerza (flechas moradas) en el modelo rompeolas tipo 2 47*
- Imagen 18. Mallado del rompeolas tipo 2 para su posterior análisis estático 48*
- Imagen 19. Escala de colores de tensión de Von Mises para el rompeolas tipo 2 48*
- Imagen 20. Escala de colores de los desplazamientos resultantes para el rompeolas tipo 2 49*
- Imagen 21. Escala de colores de la escala de deformación unitaria para el rompeolas tipo 2 49*
- Imágenes 22 y 23. Modelo de rompeolas tipo 3 realizado con SolidWorks donde se marca una geometría fija en sus bordes (flechas verdes) 50*
- Imágenes 24 y 25. Esfuerzos de presión (flechas rojas) y de fuerza (flechas moradas) en el modelo rompeolas tipo 3 50*
- Imagen 26. Mallado del rompeolas tipo 3 para su posterior análisis estático 51*
- Imagen 27. Escala de colores de tensión de Von Mises para el rompeolas tipo 3 51*
- Imagen 28. Escala de colores de los desplazamientos resultantes para el rompeolas tipo 3 52*
- Imagen 29. Escala de colores de la escala de deformación unitaria para el rompeolas tipo 3 52*
- Imágenes 30 y 31. Diseño del rompeolas plano tipo 1 mediante SolidWorks y representación de los esfuerzos a los que se encuentra sometido con flechas rojas (presión) y moradas (fuerza) 54*
- Imagen 32. Mallado del rompeolas plano tipo 1 para su posterior análisis estático 54*
- Imagen 33. Escala de colores de tensión de Von Mises para el rompeolas plano tipo 1 55*

Imágenes 34 y 35. Escala de colores de tensión de desplazamientos resultantes y de escala de deformación unitaria para el rompeolas plano tipo 1 55

Imágenes 36 y 37. Diseño del rompeolas plano tipo 2 mediante SolidWorks 55

Imagen 38. Mallado del rompeolas plano tipo 2 y representación de los esfuerzos a los que se encuentra sometido con flechas rojas (presión) y moradas (fuerza) 56

Imagen 39. Escala de colores de tensión de Von Mises para el rompeolas plano tipo 2 56

Imágenes 40 y 41. Escala de colores de tensión de desplazamientos resultantes y de escala de deformación unitaria para el rompeolas plano tipo 57

Imágenes 42 y 43. Diseño del rompeolas plano tipo 3 mediante SolidWorks 57

Imagen 44. Mallado del rompeolas plano tipo 3 y representación de los esfuerzos a los que se encuentra sometido con flechas rojas (presión) y moradas (fuerza) 58

Imagen 45. Escala de colores de tensión de Von Mises para el rompeolas plano tipo 3 58

Imagen 46. Escala de colores de desplazamientos resultantes para el rompeolas plano tipo 3 59

Imagen 47. Escala de colores de tensión de deformación unitaria para el rompeolas plano tipo 3 59

Imagen 48. Representación esquemática de los centros de gravedad que se producen en la cisterna en diferentes situaciones de transporte 60

Imagen 49. Efecto ola producido tras el primer frenazo del camión o en situación de carga, donde se pueden observar picos de velocidad máxima en colores llamativos (amarillo y rojo) 61

Imagen 50. Efecto ola producido por el efecto vuelta de la primera ola de presión donde se pueden observar picos de velocidad máxima en colores llamativos (amarillo y rojo) 61

Imagen 51. Segundo efecto ola dentro de la cisterna, donde se pueden observar unos picos de velocidad menores (amarillo) 62

Imagen 52. Modelo estabilizado del funcionamiento de los rompeolas dentro de la cisterna, donde se observa una atenuación en la velocidad de la onda de presión 62

Imagen 53. Diseño de la virola que compone el cuerpo de la cisterna 63

Imagen 54. Ensamblado de las 4 virolas que componen la totalidad del cuerpo de la cisterna 64

Imagen 55. Diseño de la oreja de izaje 64

Imagen 56. Diseño de la brida incrustada 65

Imagen 57. Brida incrustada soldada al fondo posterior de la cisterna 65

Imagen 58. Diseño de la tapa ciega 66

Imagen 59. Tapa ciega unida a la brida incrustada a falta de colocar tornillos 66

Imágenes 60, 61 y 62. Ensamblaje en perspectiva isométrica, alzado y perfil del fondo trasero, brida incrustada y tapa ciega con los tornillos M36 66

Imagen 63. Diseño del fondo delantero de la cisterna 67

Imagen 64. Diseño del fondo posterior de la cisterna 67

Imagen 65. Diseño del primer tipo de rompeolas 68

Imagen 66. Diseño del segundo tipo de rompeolas 68

Imagen 67. Diseño del tercer tipo de rompeolas 68

Imagen 68. Ensamblaje de los rompeolas dentro de la cisterna, con el modelo rompeolas 1 69

Imagen 69. Ensamblaje de la cisterna completa sin accesorios vista por su fondo delantero 69

Imagen 70. Ensamblaje de la cisterna completa sin accesorios vista por su fondo posterior 70

Imágenes 71 y 72. Diseño del soporte de anclaje visto en perspectiva isométrica y en planta 70

Imagen 73. Diseño de la viga 71

Imagen 74. Diseño del soporte base 71

Imagen 75. Ensamblaje del soporte, excepto el soporte que colinda con la cisterna 71

Imágenes 76 y 77. Vista isométrica delantera y posterior del soporte que colinda con la cisterna 72

Imagen 78. Ensamblaje del soporte de la cisterna en su totalidad 72

Imagen 79. Válvula de fondo 73

Imágenes 80 y 81. Válvula de sello en imagen normal y croquizada 74

Imagen 82. Válvula de alivio 75

Imagen 83. Indicador de nivel 76



Universidad
Politécnica
de Cartagena | Campus
de Excelencia
Internacional



Diseño, caracterización del elemento a transportar y adecuación a la normativa

Documento 1

TRABAJO FINAL DE GRADO
GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

Autor: ISMAEL SÁNCHEZ LÓPEZ
Director: ISIDORO JOSÉ MARTÍNEZ MATEO
Codirector: JUAN JOSÉ HERNÁNDEZ ORTEGA

A continuación, se muestran algunas definiciones de importancia para la realización de esta memoria y las que haremos referencia en su posterioridad.

“Acero de referencia”: “acero con una resistencia a la tracción de 370N/mm² y un alargamiento a la ruptura del 27%”.

“Acero dulce”: “acero cuyo límite mínimo de la resistencia a la ruptura por tracción está comprendido entre 360N/mm² y 440N/mm²”.

“Aseguramiento de la calidad”: “programa sistemático de controles y de inspecciones aplicado por toda organización o todo organismo y dirigido a ofrecer una garantía apropiada de que las disposiciones de seguridad del ADR sean respetadas en la práctica”.

“Autoridad competente”: “la/s autoridad/es o cualquier organismo/s designado/s como tal/es en cada Estado y en cada caso en particular según el derecho nacional”.

“Capacidad de un depósito o de un compartimento de un depósito”: “para cisternas, es el volumen total interior de un depósito o del compartimento de este (expresado en litros o metros cúbicos), que determina el grado de llenado y el marcado de la cisterna cuando es imposible llenar completamente el depósito o, en su caso, cuando el compartimento del depósito se ve reducido por su forma o construcción”.

“Capacidad máxima”: “volumen interior máximo de los recipientes, envases o embalajes, incluidos los grandes embalajes y recipientes para mercancía a granel (GRC/IBC), expresado en litros o metros cúbicos”.

“Cargamento completo”: “comprende todo cargamento proveniente de un solo expedidor a quien queda reservado el empleo exclusivo de un vehículo o de un gran contenedor y para quien se efectúan todas las operaciones de carga y descarga, conforme a las instrucciones del expedidor o del destinatario”.

“Cargador”: “carga de mercancías peligrosas en bultos, pequeños contenedores o cisternas portátiles sobre un vehículo o contenedor. También se puede expresar como carga de un contenedor, un contenedor para granel, un CGEM, un contenedor cisterna o una cisterna portátil sobre un vehículo”.

“Cierre”: “dispositivo que sirve para cerrar la abertura de un recipiente”.

“Cisterna”: “equivale a un depósito incluyendo sus equipos de servicio y de estructura. Cuando la palabra se utiliza sola engloba los contenedores cisterna, las cisternas portátiles, las desmontables y las fijas, así como las cisternas que constituyen elementos de vehículos batería”.

“Cisterna cerrada herméticamente”: “aquella cisterna que está provista de válvulas de seguridad precedidas de un disco de ruptura conforme a 6.8.2.2.10, pero no está equipada con válvulas de depresión. También se considera cerrada herméticamente aquellas cisternas destinadas al transporte de líquidos con una presión de cálculo de al menos 4 bares o las destinadas al transporte de materias sólidas cualquiera que sea su presión de cálculo, si está provista de válvulas de seguridad precedidas de un disco de ruptura conforme a 6.8.2.2.10, y de válvulas de depresión conforme a lo dispuesto en 6.8.2.2.3 de la Normativa ADR 2019”.

“Cisterna desmontable”: “aquella que presenta una capacidad superior a 450 litros que no ha sido concebida para el transporte de mercancías sin operaciones intermedias de carga y descarga y que, normalmente, no puede manipularse más que cuando está vacía”.

“Cisterna fija”: “aquella cuya capacidad es superior a 1000 litros y que se encuentra fijada a un vehículo (vehículo cisterna), o que forma parte integrante del chasis de tal vehículo”.

“Componente inflamable”: “de líquidos inflamables, sólidos inflamables o gases o mezclas inflamables, tal como se definen en el Manual de Pruebas y de Criterios. Esta designación no incluye las materias pirofóricas, las que experimentan un calentamiento espontáneo ni las materias que reaccionan en contacto con el agua”.

“Depósito para cisternas”: “parte de la cisterna que contiene la materia a transportar, incluidas las aberturas y sus medios de obturación, pero con exclusión de los equipos de servicio y de las estructuras exteriores”.

“Diámetro”: “diámetro interno del depósito para depósitos de cisternas”.

“Directiva CE”: “disposiciones decididas por las instituciones competentes de la Comunidad Europea y que afectan a todo Estado miembro destinatario en cuanto a los resultados a alcanzar, dejando a las instancias nacionales la competencia en cuanto a la forma y a los medios”.

“Dossier de la cisterna”: “un expediente que contiene todas las informaciones técnicas importantes relativas a la cisterna, vehículo batería o CGEM, tales como las actas y los certificados mencionados en los apartados 6.8.2.3, 6.8.2.4 y 6.8.3.4 de la normativa ADR 2019”.

“EN”: “norma europea publicada por el Comité europeo de normalización (CEN)”.

“Envase/embalaje”: “uno o varios recipientes y todos los demás elementos o materiales necesarios para permitir al recipiente cumplir con su función de retención t cualquier otra función de seguridad”.

“Equipo de servicio”: “de la cisterna, los dispositivos de llenado, de descarga, de respiración, de seguridad, de calefacción y de aislamiento térmico, los dispositivos de aditivos y los aparatos de medida”.

“Evaluación de la conformidad”: “se refiere al proceso de verificar la conformidad de un producto según lo previsto en las secciones 1.8.6 y 1.8.7 de la normativa ADR 2019 relativas a la aprobación de tipo, la supervisión de fabricación, la inspección y pruebas iniciales”.

“Grupo de embalaje”: “a los fines de embalaje, un grupo al que pertenecen algunas materias en función del grado de peligrosidad que presentan para el transporte. Los grupos de embalaje tienen el significado, precisado en la parte 2. (grupo I para materias muy peligrosas, II para materias medianamente peligrosas y III para materias poco peligrosas)”.

“ISO”: “norma internacional publicada por la Organización internacional de normalización”.

“Líquido”: “materia que, a 50°C, tiene una tensión de vapor de como máximo 300kPa y que no es totalmente gaseosa a 20°C y presión atmosférica (101.3kPa), y que:

- Tiene un punto de fusión o de fusión inicial igual o inferior a 20°C para una presión atmosférica.
- Es un líquido según el método de prueba ASTM D 4359-90.
- No es pastoso según los criterios aplicables a la prueba de determinación de la fluidez descrita en el punto 2.3.4 de la normativa ADR 2019”.

“Llenador”: “empresa que se encarga del llenado de mercancías peligrosas en una cisterna”.

“Nombre técnico”: “nombre químico reconocido, en su caso un nombre biológico reconocido, o cualquier nombre que se suele emplear en los manuales, publicaciones periódicas y textos científicos y técnicos”.

“Número ONU”: “número de identificación de 4 cifras de las materias u objetos extraídos del Reglamento Tipo de la ONU”.

“Presión de alivio”: “presión a la cual comienza a abrirse el respiradero de presión y de depresión”.

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

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

“Presión de prueba”: “presión que debe ejercerse en el transcurso de la prueba de presión de la cisterna para el control inicial o periódico”.

“Presión de servicio”: “presión estabilizada de un gas comprimido a la temperatura de referencia de 15°C en un recipiente a presión lleno”.

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

“Presión estabilizada”: “es la presión alcanzada por el contenido de un recipiente a presión en equilibrio térmico y de difusión”.

“Presión máxima de servicio”: “(presión manométrica), es el más alto de los tres valores siguientes, susceptible de ser medida en la parte alta de la cisterna en su posición de explotación:

- Valor máximo de la presión efectiva autorizada en la cisterna durante una operación de llenado (presión máxima autorizada de llenado).
- Valor máximo de la presión efectiva autorizada en la cisterna durante una operación de vaciado (presión máxima autorizada de vaciado).
- Presión manométrica efectiva a la cual la cisterna está sometida por su contenido (incluidos los gases extraños que pueda contener) a la temperatura máxima de servicio.

El valor numérico de esta presión de servicio (presión manométrica) no debe ser inferior a la tensión de vapor de la materia de llenado a 50°C (presión absoluta).
Para cisternas provistas de válvula de seguridad (con o sin disco de ruptura), la presión máxima de servicio es sin embargo igual a la presión prescrita para el funcionamiento de estas válvulas de seguridad”.

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

“Reacción peligrosa”: “debido a una combustión o desprendimiento de calor considerable, la emanación de gases inflamables o asfixiantes, o una elevación peligrosa de la presión”.

“Recipiente a presión de socorro”: “es un recipiente a presión, con una capacidad de agua no superior a 3000 litros en el que uno o más recipientes a presión dañados, defectuosos, presentando fugas o no conformes, son colocados para el transporte con el propósito de su recuperación o eliminación”.

“Recipiente interior”: “recipiente que debe estar provisto de un embalaje exterior para poder desempeñar su función de retención”.

“Reglamento ONU”: “reglamento anejo al Acuerdo referente a la adopción de disposiciones técnicas uniformes aplicables a los vehículos de ruedas, a los equipos y a las piezas susceptibles de ser montadas o utilizadas en un vehículo con ruedas y las condiciones de reconocimiento recíproco de las homologaciones entregadas de acuerdo con estas disposiciones”.

“Reglamento tipo de la ONU”: “es el Reglamento tipo anejo a la vigésima edición revisada de las Recomendaciones relativas al transporte de mercancías peligrosas publicada por la Organización de las Naciones Unidas”.

“Revestimiento protector”: “es un revestimiento o recubrimiento que protege el material metálico de la cisterna contra las materias que han de transportarse”.

“Temperatura crítica”: “es la temperatura por encima de la cual una materia no puede existir en estado líquido”.

“Tiempo de retención”: “es el tiempo que se encuentra entre el momento cuando la cisterna alcanza su estado de relleno inicial y el momento cuando la presión alcanza, por efecto del flujo de calor, la presión mínima asignada a los limitadores de presión en las cisternas destinadas al transporte de gases licuados refrigerados”.

“Transporte”: “es el cambio de lugar de las mercancías peligrosas, incluidas las paradas necesarias para las condiciones de transporte, la estancia de las mercancías peligrosas en los vehículos, cisternas y contenedores necesaria por las condiciones de tráfico antes, durante y después del cambio de lugar”.

“Válvula de depresión”: “es un dispositivo con resorte sensible a la presión y que funciona automáticamente para proteger a la cisterna contra una depresión interior inadmisibles”.

“Válvula de seguridad”: “es un dispositivo con resorte sensible a la presión y que funciona automáticamente, para proteger la cisterna contra una sobrepresión interior inadmisibles”.

“Vehículo-cisterna”: “es un vehículo construido para transportar líquidos, gases o materias pulverulentas o granuladas y que comprenden una o varias cisternas fijas. Además del vehículo propiamente dicho o los elementos de vehículo portador, un vehículo cisterna tiene uno o varios depósitos, sus equipos y las piezas de unión al vehículo o a los elementos del vehículo portador”.

1. Identificación del fluido a transportar:

El octano o n-octano es un hidrocarburo alcano lineal compuesto por 8 átomos de carbono y 18 de hidrógeno, cuya fórmula es C_8H_{18} , y presenta varios isómeros llamados del mismo modo.

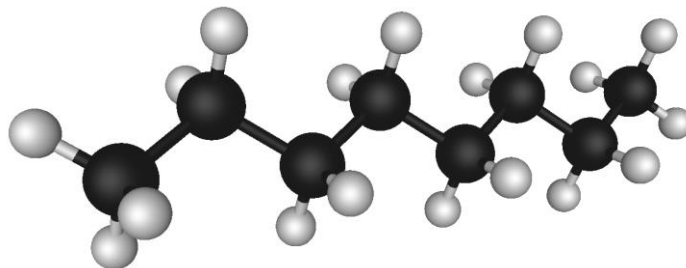


Imagen 1. Molécula del Octano formada por 8 átomos de carbono y 18 de hidrógeno

Es una molécula orgánica y se usa sobre todo para el octanaje de las gasolinas y los gasoiles. Es un compuesto altamente inflamable que reacciona con oxidantes provocando riesgos de incendio y explosión, por lo que su manipulación requiere de una higiene estricta para evitar sufrir náuseas, pérdida de conocimiento o dificultad respiratoria, entre otras causas.

Otras definiciones de Octano quedan reflejadas a continuación:

- **“Líquido combustible más ligero que el agua, que se obtiene por destilación del petróleo y se emplea en la preparación de gasolina para conseguir que aumente la resistencia a la explosión o detonación durante el proceso de compresión que sucede en el interior de los cilindros de un motor en vehículos”.**

- **“Unidad que mide la resistencia a la explosión de un carburante”.**

De la palabra Octano surge lo que se denomina “Número de octano”, cuya definición queda reflejada del siguiente modo:

- **“Escala que es capaz de medir la capacidad antidetonante del combustible cuando se comprime dentro de los cilindros de un motor”.**

- **“Propiedad esencial que presentan los carburantes y que son utilizados en los motores de encendido por desarrollo de arco voltaico entre los electrodos de las bujías y que sigue un ciclo termodinámico”.**

Haciendo referencia al número de octano en el comportamiento de la gasolina tenemos dos definiciones:

R.O.N, que es el “número que suele estar presente en cualquier estación de servicio, y representa de manera aproximada el comportamiento que tendría el motor en ciudad, es decir, en condiciones de bajo régimen de giro con numerosas aceleraciones, además de bajas velocidades y temperatura”.

M.O.N, que corresponde al “octanaje que ha sido probado en un motor estático, e intenta reproducir su situación en carretera, es decir, en condiciones de alto régimen de giro y conducción regular, que usa además una mezcla precalentada y con tiempos de ignición variables”.

La diferencia entre ambos se sitúa en 10 puntos, siendo el R.O.N superior al M.O.N.

1.1. Propiedades fisicoquímicas del Octano:

Compuesto	Octano (Norma IUPAC)	n-Octano
Fórmula desarrollada	CH ₃ – CH ₂ - CH ₂ - CH ₂ - CH ₂ - CH ₂ - CH ₂ - CH ₃	
Fórmula molecular	C ₈ H ₁₈	
Propiedades físicas		
	Apariencia	Incoloro
	Densidad	703kg/m ³
	Punto de fusión	216°K (-57°C)
	Punto de ebullición	398.7°K (126°C)
	Viscosidad	0.542 cP (a 20°C)
	Índice de refracción	1.398
	Masa molar	114.22g/mol
	Presión de vapor a 20°C	1.33kPa
Propiedades químicas		
	Solubilidad	Es insoluble en agua
Propiedades termoquímicas		
	Variación de entalpía	-250kJ/mol
	Entropía	360J/(mol*°K)
Peligrosidad		
	Punto inflamabilidad	286°K (13°C)
	Temperatura autoignición	493°K (220°C)

Tabla 1. Principales propiedades del Octano (n-Octano)

2. Definición de mercancía peligrosa, clases de mercancías peligrosas según el ADR 2021 y clasificación para nuestro fluido a transportar

Una mercancía peligrosa de alto riesgo es aquella que, mal utilizada por el ser humano, puede llegar a causar pérdidas de vidas humanas, destrucciones masivas o incluso trastornos socioeconómicos. En el caso del Octano, al ser un hidrocarburo, está encuadrado en el grupo 3, y a continuación se muestra la cantidad en litros de la cisterna para la cual se encuentra encuadrada en la lista de mercancías peligrosas de alto riesgo, como así figura en la Tabla 1.10.3.1.2. de la Normativa ADR 2021:

Clase	División	Materia u objetos	Cantidad		
			Cisterna (l) ^c	Granel (kg) ^d	Bultos (kg)
3		Líquidos inflamables de los grupos de embalaje I y II	3.000	a	b

Tabla 2. Lista de mercancías peligrosas acotada a la clase 3

En base a la parte 2 de clasificación según lo establecido en la Normativa ADR 2021 de mercancías peligrosas, tenemos que éstas se encuentran divididas en 9 clases, pero nuestro fluido se encuentra englobado en la siguiente clase:

“Clase 3: Líquidos inflamables”.

A efectos del embalaje, al ser de la clase 3, se le asignan a su vez a grupos de embalaje según el grado de peligro que presentan:

Grupo de embalaje I → “materias muy peligrosas”.

Grupo de embalaje II → “materias medianamente peligrosas”.

Grupo de embalaje III → “materias con un grado menor de peligrosidad”.

Del mismo modo, el octano pertenece al segundo grupo de embalaje.

2.1. Clase 3: Líquidos inflamables. Criterio de clasificación, referencias y propiedades generales de nuestro fluido a transportar

Nuestro fluido a transportar se encuentra encuadrado en la Tabla A y está catalogado como mercancía peligrosa. Dentro de esta tabla se localizan columnas que se dedican a un aspecto en concreto:

- La columna 1 hace referencia al número ONU, y “contiene la referencia de la materia u objeto peligroso si se le ha asignado un número ONU determinado, o bien del epígrafe genérico al que deben asignarse las materias o los objetos no mencionados expresamente de conformidad con los criterios de la parte 2 de “diagramas de decisión” dentro de la normativa ADR 2021”.

- La segunda columna hace referencia al nombre y descripción, y “contiene en mayúsculas el nombre de la materia u objeto asignado en anterioridad en la columna, y se debe de usar este nombre como designación oficial de transporte o, en su caso, como parte de la designación oficial de transporte”.

- En la columna 3a, denominada “Clase”, se “enumera de 1 a 9 el tipo de mercancía peligrosa que se pretende transportar de acuerdo con su peligrosidad antes mencionada”. **En nuestro caso correspondería a la clase 3 catalogada como líquido inflamable.**

- La columna 3b hace referencia al “código de clasificación”, y representa el “tipo de mercancía peligrosa al que pertenece esa sustancia dentro de la clase anteriormente citada”. **Al ser del tipo F1 y basándonos en lo explicado anteriormente, correspondería a un líquido inflamable con punto de inflamación inferior a 60°C.**

- La columna 4 caracteriza el “grupo de embalaje”, y hace referencia a la “peligrosidad de las materias”, y **al estar catalogado como tipo II, nuestro fluido es de peligrosidad media.**

- La columna 5 comprende las “etiquetas”, y nos indica la “etiqueta que debería de acompañar al producto, que en este caso sería la que se encuentra enumerada con un 3, que nos indica que el producto es inflamable”. Además, esto se explicará con mayor claridad en el apartado de etiquetado que posteriormente mencionaremos.

- La columna 6 comprende las “disposiciones especiales”, e “indica a través de códigos numéricos las disposiciones especiales que deben de respetarse”. Puede darse el caso de que, en nuestro fluido a transportar, esta columna esté vacía, por lo que no se le aplica ninguna disposición especial al contenido de las columnas anteriormente mencionadas para las mercancías peligrosas que tratamos.

- La cantidad limitada y exceptuada (columnas 7a y 7b), hace referencia a la “cantidad máxima autorizada por envase interior u objeto para el transporte de mercancías peligrosas como cantidades limitadas conforme a lo dispuesto en el capítulo 3.4. de la Normativa ADR 2021, o bien contienen un código alfanumérico en el que E0 hace referencia a que no existe ninguna

exención a las disposiciones del ADR para las mercancías peligrosas embaladas en cantidades exceptuadas, mientras que los códigos alfanuméricos que empiecen por la letra E indican que las disposiciones del ADR no son aplicables si se cumplen las condiciones que se señalan en el capítulo 3.5. de la Normativa ADR 2021”.

- La columna 8 recoge las “instrucciones de embalaje”, y contiene los “códigos alfanuméricos de las instrucciones de embalaje aplicables”, que serían:

“Letra P para los envases, embalajes o recipientes a excepción de los GRG”.

“Letra R para los embalajes metálicos ligeros”.

“Letras IBC para los GRG”.

“Letras LP para los grandes embalajes, que sería el que catalogaría a nuestro fluido a transportar”.

- La columna 9a y 9b hacen referencia a las “disposiciones especiales de envase/embalaje” y a las “disposiciones relativas al embalaje en común” respectivamente, y de igual modo que sucedía con la columna 8 se asignan diferentes códigos o referencias alfanuméricas

“Letras PP o RR para embalajes y recipientes a excepción de los GRG”.

“Letra B para los GRG”.

“Letras L o LL para los grandes embalajes”.

En cuanto a la columna 9b, contiene los códigos alfanuméricos de las disposiciones aplicables al embalaje en común, que empiezan por las letras MP.

- La columna 10 hace referencia a las “Instrucciones de transporte en cisternas portátiles y contenedores para granel”.

- La columna 11 hace referencia a las “Disposiciones especiales relativas a las cisternas portátiles y los contenedores para graneles”.

- La columna 12 comprende los “Códigos de cisterna para las cisternas ADR”, y si en esta columna “se indica un código de cisterna para materias sólidas S o líquidas L, significa que la materia de que se trate puede entregarse al transporte en estado sólido o líquido fundido, y este tipo de disposición es aplicable a las materias cuyo punto de fusión está comprendido entre 20°C y 180°C”.

- La columna 13 comprende las “Disposiciones especiales para las cisternas ADR”.

- La columna 14 comprende el “Vehículo para el transporte en cisternas”, y contiene un “código que indica el vehículo que debe utilizarse para el transporte de la materia en cisternas de conformidad con el apartado 7.4.2. de la Normativa ADR 2021”.

-La columna 15 corresponde a la “Categoría de transporte/Código de restricciones en túneles”.

- La columna 16 establece las “Disposiciones especiales relativas al transporte-Bultos”.

- La columna 17 hace referencia a las “Disposiciones especiales para el transporte-Granel”.

- La columna 18 hace referencia a las “Disposiciones especiales relativas al transporte de carga y descarga”, y contiene los “códigos alfanuméricos que empiezan por la letra CV”.

-La columna 19 comprende las “Disposiciones especiales relativas al transporte o explotación”.

-La columna 20 comprende el “Número de identificación del peligro”.

N° ONU	Nombre y descripción	Clase	Código de clasificación	Grupo de embalaje	Etiquetas	Disposiciones especiales	Cantidades limitadas y exceptuadas		Embalaje		
									Instrucciones de embalaje	Disposiciones especiales de embalaje	Disposiciones para el embalaje en común
	3.1.2	2.2	2.2	2.1.1.3	5.2.2	3.3	3,4	3.5.1.2	4.1.4	4.1.4	4.1.10
(1)	(2)	(3a)	(3b)	(4)	(5)	(6)	(7a)	(7b)	(8)	(9a)	(9b)
1262	OCTANOS	3	F1	II	3		1 L	E2	P001 IBC02 R001		MP19

Tabla 3. Primera parte de la Tabla A para el Octano en base a la normativa ADR 2021

Cisternas portátiles y contenedores para granel		Cisternas ADR	Disposiciones especiales	Vehículos para transporte en cisternas	Categoría de transporte (Código de restricción en túneles)	Disposiciones especiales de transporte	Granel	Carga, descarga y manipulado	Explotación	Número de identificación de peligro
Instrucciones de transporte	Disposiciones especiales	Código cisterna				Bultos				
4.2.5.2 7.3.2	4.2.5.3	4.3	4.3.5, 6.8.4	9.1.1.2	1.1.3.6 (8.6)	7.2.4	7.3.3	7.5.11	8.5	5.3.2.3
(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)
T4	TP1	LGBF		FL	2 (D/E)				S2 S20	33

Tabla 4. Segunda parte de la Tabla A para el Octano en base a la normativa ADR 2021

Las tablas anteriores hacen referencia a las columnas que hemos explicado detalladamente, pero asociadas a nuestro fluido a transportar, el Octano.

3. Etiquetado de la cisterna

3.1. Etiquetado (placas-etiqueta) para el caso de las cisternas portátiles:

Para la señalización y el etiquetado de las cisternas se fijarán placas-etiquetas en las paredes exteriores de los mismos. Las placas-etiquetas corresponderán a las etiquetas prescritas en la columna (5) y (6) de la tabla A que se muestra en nuestra Tabla 2.

“Las placas-etiquetas deberán figurar sobre un fondo de color que ofrezca un buen contraste o ir rodeadas de un borde de trazo continuo o discontinuo, además de ser resistentes a la intemperie y garantizar una señalización que dure todo el transporte”. (ADR 2021)

Como así lo marca el punto 5.3.1.2 de la Normativa ADR 2021, “las placas-etiquetas deberán fijarse en los dos costados y en cada extremo de la cisterna portátil.

Si el contenedor-cisterna o la cisterna portátil tienen varios compartimentos y transporta dos o más mercancías peligrosas, las placas-etiqueta de cada mercancía se deben colocar a los dos lados del compartimento correspondiente y en los dos extremos”.

Del mismo modo, el punto 5.3.1.3 de la Normativa ADR 2021 establece que “si estas placas-etiquetas no son visibles desde el exterior de un vehículo portador, las mismas placas-etiquetas se fijarán además en los dos laterales y en la trasera del vehículo, y, salvo excepción, no será necesario fijar placas-etiquetas en el vehículo portador”.

Según lo establecido en el punto 5.3.1.6.1 de dicha normativa, “estos vehículos cisterna citados anteriormente que se encuentren vacíos, sin limpiar o sin desgasificar, deberán continuar llevando las placas-etiquetas requeridas para la carga precedente”.


N.º de modelo de etiqueta	División o categoría	Signo y color de este	Fondo	Cifra de la esquina inferior (y color de esta)	Modelos de etiquetas
Peligro de clase 3: líquidos inflamables					
3	-	Llama: negro o blanco	Rojo	3 (negro o blanco)	

Tabla 5. Modelo de etiqueta (signo, color y cifra) para el Octano



Imagen 2. Modelo de etiqueta para un líquido inflamable como el Octano, situado en la clase 3 según la normativa ADR 2021

3.2. Características y dimensiones de la etiqueta:

En lo que respecta a la placa etiqueta, según la normativa, “deberá tener la forma de un cuadrado colocado sobre un vértice formando un ángulo de 45° en rombo. Las dimensiones mínimas deberán ser de 250mmx250mm (hasta el borde de la placa-etiqueta). La línea interior deberá ser paralela al borde de la placa-etiqueta y encontrarse a una distancia de 12.5mm”.

“El símbolo y la línea trazada en el interior de la placa-etiqueta deberán ser del mismo color que la etiqueta de la clase o división que formen parte de las mercancías peligrosas en cuestión”. (ADR 2021).

El símbolo/cifra correspondiente a la clase o división “deberán ser colocados y proporcionados conforme a las prescripciones respectivas del punto 5.2.2.2 para las materias peligrosas en cuestión. La placa-etiqueta llevará el número de la clase o división de las materias peligrosas de que se trate, de la manera prescrita en el punto 5.2.2.2 de la normativa ADR 2021 para la etiqueta correspondiente, la altura de los caracteres no debe ser inferior a 25mm. Cuando las dimensiones no estén especificadas, todos los elementos deben respetar aproximadamente las proporciones representadas”.

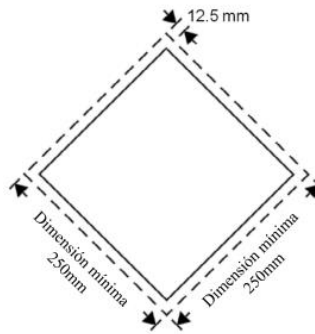


Imagen 3. Dimensiones de la etiqueta

3.3. El panel naranja:

En cuanto al panel naranja tenemos que “las unidades de transporte que lleven mercancías peligrosas llevarán, dispuestos en un plano vertical, dos paneles rectangulares de color naranja conforme al apartado 5.3.2.2.1. de la normativa ADR 2021”.

“Se fijará uno en la parte delantera de la unidad de transporte y el otro en la parte trasera, perpendicularmente al eje longitudinal de ésta, y deberán de ser visibles”. (ADR 2021)

“En el caso de que se separe un remolque que contiene mercancías peligrosas de su vehículo portador durante el transporte de mercancías peligrosas, el panel naranja deberá permanecer unido a la parte trasera del remolque”. (ADR 2021)

Cuando las cisternas estén señalizadas conforme al apartado 5.3.2.1.3. de la normativa ADR 2021, este panel deberá corresponder a la materia más peligrosa transportada en la cisterna.

Si el número de identificación de peligro está indicado en la columna (20) de la tabla A, la norma exige que “los vehículos cisterna, de batería o las unidades de transporte que consten de una o varias cisternas que transporten mercancías peligrosas, deberán llevar, además, en los costados de cada cisterna o cada compartimento de la cisterna o cada elemento de los vehículos batería, paralelamente al eje longitudinal del vehículo, de manera claramente visible, paneles de color naranja idénticos a los dispuestos en 5.3.2.2.1 de la normativa, y deberán ir provistos del número de identificación de peligro y del número ONU dispuestos respectivamente en las columnas (20) y (1) de la Tabla A del capítulo 3.2, para cada una de las materias transportadas en la cisterna”.

Los paneles “deben ser retro-reflectantes y tener una base de 40cm y una altura de 30cm, además de tener un ribete negro de 15mm”. (ADR 2021)

El material utilizado debe ser resistente a la intemperie y garantizar una señalización duradera.

“Si el tamaño y la construcción del vehículo son tales que la superficie disponible sea insuficiente para fijar estos paneles naranjas, sus dimensiones podrán ser reducidas hasta un mínimo de 300mm para la base, 120mm para la altura y 10mm para el reborde negro, y de igual modo, en el caso de los dos paneles naranja descritos en el punto 5.3.2.1.1 de la normativa, pueden tener dimensiones diferentes dentro de los límites prescritos”. (ADR 2021)

De acuerdo con el punto 5.3.2.2.2 de la normativa, el número de identificación de peligro y el número ONU deberán estar constituidos por cifras negras de 10cm de altura y 15mm de espesor.

En la parte superior se escribe el número de identificación del peligro, mientras que el número ONU se colocará en la parte inferior, y ambos estarán separados por una línea negra horizontal de 15mm de espesor que atraviese el panel a media altura.

“Ambos números deberán permanecer visibles e indelebles después de un incendio de una duración de 15 minutos”. (ADR 2021)

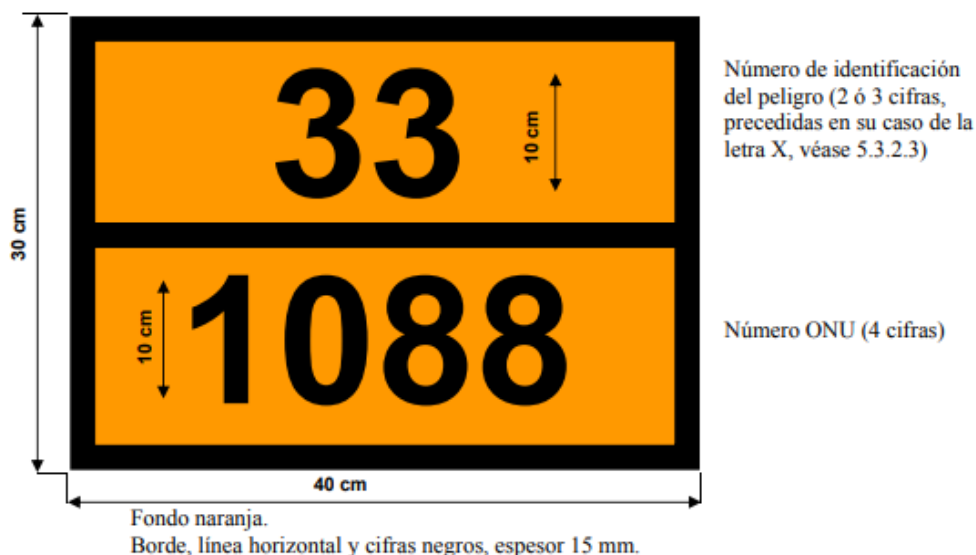


Imagen 4. Ejemplo de panel naranja con su número de identificación de peligro (parte superior) y número ONU (parte inferior), según el apartado 5.3.2.2.3 de la Normativa ADR 2021

En nuestro caso, al tratar con un líquido inflamable como el octano, tendremos las siguientes referencias:

Nº ONU	Designación oficial del transporte o nombre técnico	Descripción	Clase	Código de clasificación	Grupo de embalaje	Líquido patrón
(1)	(2a)	(2b)	(3a)	(3b)	(4)	(5)
1262	Octanos	isómeros puros y mezcla isómera	3	F1	II	Mezcla de hidrocarburos

Tabla 6. Número ONU para nuestra mercancía a transportar, con diferentes características en cuanto a la lista de materias asimiladas

En la Tabla 6 se relacionan las materias peligrosas según su número ONU. Por regla general, cada línea corresponde a una materia peligrosa, de epígrafe individual o colectivo con un número ONU específico.

Puede suceder que varias líneas consecutivas puedan utilizar el mismo número ONU, si las materias a las que corresponden tienen nombres diferentes, propiedades físicas o químicas diferentes, y condiciones de transporte diferentes.

Las columnas de 1-4 de la Tabla 8 nos sirven para identificar la materia a los fines de esta sección, siendo una estructura similar a la de la Tabla A del capítulo 3.2. La última columna indica los líquidos patrones a los que se puede asimilar la materia.

[Si explicamos en detalle cada columna:](#)

- Columna 1. Número ONU:

Contiene el “número ONU de la materia peligrosa, si se ha atribuido un número ONU específico a esta materia, o bien del epígrafe colectivo al cual se asignan las materias peligrosas no mencionadas específicamente conforme a los criterios (“diagramas de decisión”) de la Parte 2 de la normativa ADR 2021”.

En nuestro caso tenemos un número ONU igual a 1262.

- Columna 2a. Designación oficial del transporte o nombre técnico:

Contiene el “nombre de la materia, el nombre del epígrafe individual que puede tener varios isómeros, o el nombre del epígrafe colectivo.

Del mismo modo, el nombre indicado puede diferir de la designación oficial del transporte aplicable”.

En nuestro caso tenemos el nombre de la materia correspondiente a “Octanos”.

- Columna 2b. Descripción:

Contiene un “texto descriptivo que permite precisar el ámbito de aplicación del epígrafe en el caso en el que la clasificación, las condiciones de transporte y/o la compatibilidad química de la materia puedan variar”.

En nuestro caso tenemos el nombre de la materia correspondiente a “Octanos”, y presenta una descripción relativa a isómeros puros y mezclas isómeras.

- Columna 3a. Clase:

Contiene el “número de clase, cuyo título corresponde a la materia peligrosa. Este número de clase se atribuye conforme a los procedimientos y criterios de la Parte 2 de la normativa ADR 2021”.

En nuestro caso tenemos el nombre de la materia correspondiente a “Octanos” se encuentra en el grupo 3, catalogado como “líquido inflamable”.

- Columna 3b. Código de clasificación:

Contiene el “código de clasificación de la materia peligrosa que se atribuye conforme a los procedimientos y criterios de la Parte 2 de la normativa ADR 2021”.

En nuestro caso tenemos el nombre de la materia correspondiente a “Octanos” presenta un código de clasificación, dentro del grupo 3, de F1, correspondiente a Líquidos inflamables con un punto de inflamación inferior o igual a 60°C.

- Columna 4. Grupo de embalaje:

Contiene él o los “números del grupo de embalaje (I, II o III) asignados a la materia peligrosa conforme a los procedimientos y criterios de la Parte 2 de la normativa ADR 2021. Puede suceder que ciertas materias no tengan atribuido un grupo de embalaje en concreto”.

En nuestro caso tenemos el nombre de la materia correspondiente a “Octanos” presenta un grupo de embalaje II, correspondiente a materias medianamente peligrosas.

- Columna 5. Líquido patrón:

Indica, como información precisa, o un “líquido patrón o una mezcla de líquidos patrones al que se le puede asimilar la materia, o contiene una referencia a la regla para los epígrafes colectivos del apartado 4.1.1.19.5. de la normativa ADR 2021”.

En nuestro caso tenemos el nombre de la materia correspondiente a “Octanos” presenta un líquido patrón correspondiente a una mezcla de hidrocarburos.

En resumen, para nuestro transporte de Octano debemos tener en cuenta:

Número de identificación → 33.

Número ONU → 1262.

Una vez representadas sus identificaciones, tenemos que hacer referencia a la explicación de estos valores:

El número 3 en la identificación del peligro indica que es un hidrocarburo inflamable en estado líquido (vapores) o gas, o bien materia líquida susceptible de autocalentamiento.

Al estar duplicada la cifra se indica que hay una intensificación de peligro hacia ella.

El número ONU corresponde a la identificación por parte de la ONU, de químicos o productos con propiedades similares.


Indicaciones adicionales para los miembros de la tripulación del vehículo sobre las características de peligro de las mercancías peligrosas por clase y sobre las acciones a realizar en función de las circunstancias predominantes		
Etiquetas y paneles de peligro	Características de peligro	Indicaciones suplementarias
(1)	(2)	(3)
Líquidos inflamables  3	Riesgo de incendio. Riesgo de explosión. Los dispositivos de confinamiento pueden explotar bajo los efectos del calor.	Refugiarse. Mantenerse lejos de zonas bajas.

Tabla 7. Indicaciones adicionales sobre las características de peligro de las mercancías peligrosas en las materias de clase 3

4. Recipientes a presión para líquidos: Utilización de vehículos cuyos depósitos estén contruidos con materiales metálicos, requisitos y características

Para este apartado nos hemos basado en lo establecido en los capítulos 4.3 y 4.4 de la Normativa ADR 2021.

Se ha de comentar que una cisterna de este tipo de transporte de mercancías, es decir, de productos químicos diversos o incluso alimentarios si se realiza una buena limpieza, se encuentran contruidas de acero inoxidable cuyo espesor será diferente en función del elemento que se vaya a transportar, y cuya capacidad oscila entre los 20000 y los 35000 litros.

Estas cisternas autoportantes pueden, a su vez, ser compartimentadas o estar dispuestas en forma de monocuba.

Las características principales de las cisternas de este tipo es que presentan una escalera y una pasarela con baranda que recorre toda la cisterna, además de presentar refuerzos en toda la superficie de las virolas que componen la cisterna.

Puede darse el caso de que el transporte de determinados productos precise de un sistema de calorificación. Esto quiere decir que éstas deben de estar preparadas para que el producto que se transporta consiga una temperatura estable durante el transporte. Para que la cisterna sea necesaria que este aislada del contacto exterior debe cumplir que:

- El líquido sea muy volátil a temperatura ambiente y por tanto se tiene que evitar que por acción del sol se produzca el proceso de evaporación de este.

- El líquido a temperatura ambiente aumenta su viscosidad y por lo tanto se dificulta su descarga, por lo que se precisa de estos sistemas aislantes para que la temperatura del fluido se encuentre superior a la temperatura ambiente.

La cantidad máxima de producto que se puede transportar en la cisterna está limitada en base a:

- El peso máximo autorizado del vehículo, que generalmente no suele ser superior a 40 toneladas.

- Cada cisterna se debe de llenar de acuerdo con lo establecido en la normativa ADR 2021, y siempre se debe de dejar un espacio libre determinado, generalmente la proporción suele ser 15% gas y 85% líquido, dependiendo del producto.

Esto debe de ser así debido a que “hay que establecer un equilibrio entre las fases de líquido y de gas, ya que todo producto genera vapores que dependen de las condiciones de presión y de temperatura en la que se encuentran, por lo que dichos vapores necesitan de un espacio para poder expandirse sin ningún inconveniente”.

“Se podrá transportar una materia sometida al ADR en cisternas fijas (vehículos cisterna) si en la columna 12 de la tabla A del capítulo 3.2 se prevé un código cisterna según los apartados 4.3.3.1.1. y 4.3.4.1.1. de la Normativa ADR 2021”.

“El tipo requerido de cisterna se indicará en forma de código en la columna 12 de la tabla A del capítulo 3.2 de la Normativa ADR 2021”. Los códigos de identificación que allí se encuentran están compuestos por letras o números en un orden dado.

“Las explicaciones para leer las 4 partes del código se indican en el apartado 4.3.4.1.1. de la Normativa ADR 2021, cuando la materia a transportar pertenece a la clase 3”.

Las cisternas “podrán cargarse únicamente con las materias para cuyo transporte hayan sido aprobados de conformidad con lo establecido en el apartado 6.8.2.3.1 de la Normativa ADR 2021 y que, en contacto con los materiales del depósito, las juntas de estanqueidad, los equipos, así como revestimientos protectores, no sean susceptibles de reaccionar peligrosamente con éstos, de formar productos peligrosos o de debilitar estos materiales de manera apreciable”.

“Los productos alimenticios únicamente podrán transportarse en cisternas utilizadas para el transporte de mercancías peligrosas si se han tomado las medidas necesarias con vistas a prevenir todo perjuicio a la salud pública”. (ADR 2021)

Es decir, que realizando una limpieza adecuada del interior de la cisterna se podría transportar productos alimenticios ya sea líquido (leche, zumo) como parcialmente líquido (pulpa de fruta).

Según la normativa, “se debe de cumplir un **grado de llenado** para las materias inflamables que presentan peligros para el medio ambiente, pero que no presentan otros peligros como puede ser toxicidad o corrosividad.

Estas cisternas a su vez deben de estar provistas de dispositivos de respiración y de válvulas de seguridad (incluso si éstas están precedidas por un disco de ruptura)”.

La fórmula del grado de llenado para nuestro caso se establece como:

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

El coeficiente alfa representa el coeficiente medio de dilatación cúbica del líquido entre 15°C y 50°C, y se puede calcular conociendo las densidades del líquido a 15°C y 50°C y la temperatura media del líquido en el momento de llenado.

Estos valores son experimentales y se adjuntan en la memoria como nota aclaratoria e informativa, pero a nivel de la práctica en el siguiente trabajo no pasaremos a desarrollar matemáticamente.

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

“Los depósitos o cisternas destinados al transporte de materias en estado líquido o gas licuado/refrigerado que no estén divididos en secciones de una capacidad máxima de 7500 litros por medio de mamparos o rompeolas se llenarán hasta no menos del 20% o no más del 80% de su capacidad”. (ADR 2021)

“A la hora del servicio, el espesor de las paredes del depósito y cisterna deberá, durante toda su utilización, ser superior o igual al valor mínimo definido para el metal del que se encuentra fabricado el depósito”. (ADR 2021)

En nuestro caso, al estar construido de acero inoxidable, el espesor de la cisterna es de unos 15mm para asegurar que el material no falle por fatiga y del mismo modo que no se produzcan pérdidas o fugas por rotura de la carcasa.

Como explicaremos posteriormente, el espesor mínimo de nuestra cisterna sería de 6mm, lo que cumpliría con total normalidad los límites admisibles.

Según la normativa, “durante el llenado y el vaciado de las cisternas, deberán adoptarse medidas apropiadas para impedir que se liberen cantidades peligrosas de gases y vapores. Éstas deberán cerrarse de manera que el contenido no pueda derramarse de forma descontrolada al exterior. Las aberturas de las cisternas de vaciado por el fondo deberán ir cerradas por medio de tapones roscados, de bridas ciegas o de otros dispositivos de la misma eficacia”.

“Si varios sistemas de cierre están colocados unos a continuación de otros, deberá cerrarse en primer lugar el que se encuentre más cerca de la materia transportada”. (ADR 2021)

“Durante el transporte, ningún resto peligroso de la materia de llenado deberá ir adherido en el exterior de las cisternas”. (ADR 2021)

“En el caso de que la cisterna se encuentre vacía y sin limpiar, después de su operación, deberán estar cerrados de la misma manera que lo explicado anteriormente y presentar las mismas garantías de estanqueidad como si estuvieran llenos,

Si no se encuentran cerradas o no presentan las mismas garantías de seguridad, deberán ser transportadas en condiciones de seguridad adecuadas hacia el lugar apropiado más próximo donde pueda tener lugar la limpieza o la reparación”. (ADR 2021)

4.1. Codificación, aproximación racionalizada y jerarquía de las cisternas:

Las 4 partes de los códigos-cisterna indicados en la Normativa ADR 2021 tiene los significados siguientes:

Parte	Descripción	Código cisterna
1	Tipos de cisterna	L = cisterna para materias en estado líquido (materias líquidas o materias sólidas entregadas para el transporte en estado fundido); S = cisterna para materias en estado sólido (pulverulentas o granuladas).
2	Presión de cálculo	G = presión mínima de cálculo según las disposiciones generales del 6.8.2.1.14; o 1,5; 2,65; 4; 10; 15 o 21 = presión mínima de cálculo en bar (véase 6.8.2.1.14).
3	Aberturas (véase 6.8.2.2.2)	A = cisterna con aberturas de llenado y vaciado situadas en la parte inferior con 2 cierres; B = cisterna con aberturas de llenado y vaciado situadas en la parte inferior con 3 cierres; C = cisterna con aberturas de llenado y vaciado situadas en la parte superior que, por debajo del nivel del líquido, sólo tiene orificios de limpieza; D = cisterna con aberturas de llenado y vaciado situadas en la parte superior sin aberturas por debajo del nivel del líquido.
4	Válvulas/ dispositivos de seguridad	V = cisterna con dispositivo de respiración resistente a los golpes, según 6.8.2.2.6, sin dispositivo de protección contra la propagación del fuego; o cisterna no resistente a la presión generada por una explosión; F = cisterna con dispositivo de respiración resistente a los golpes, según 6.8.2.2.6, provisto de un dispositivo de protección contra la propagación del fuego o cisterna resistente a la presión generada por una explosión N = cisterna sin dispositivos de respiración según 6.8.2.2.6 que no está cerrada herméticamente; H = cisterna cerrada herméticamente (véase 1.2.1).

Tabla 8. Códigos de la cisterna en función del tipo de descripción

Para el caso de nuestro líquido a transportar, podemos ver como presenta un **código LGBF, con código de clasificación F1 y catalogado como grupo de embalaje II (peligrosidad media) al tener una presión de vapor a 50°C por debajo de los 1.1 bares.**

Cada letra del código LGBF representa:

1. **Tipo de cisterna= L.** Corresponde a una cisterna para materiales en estado líquido (materias líquidas o materias sólidas entregadas para el transporte en estado fundido).
2. **Presión de cálculo= G.** Presión mínima de cálculo según las disposiciones generales del apartado 6.8.2.1.14 del ADR 2021, que establece que:

“Los depósitos destinados al transporte de materias cuya presión de vapor a 50°C sea superior a 1.1 bares y un punto de ebullición superior a 35°C, cualquiera que sea el método de llenado o vaciado, se calcularán como mínimo, para una presión de 1.5 bares (presión manométrica) o, a 1.3 veces la presión de llenado o vaciado, si esta presión fuera superior”.

En nuestro caso, como el octano presenta una presión de vapor equivalente a 1.33kPa a 20°C, tenemos que esta presión es inferior y por lo tanto cumple con los límites expuestos anteriormente. Por lo que consideramos una presión de cálculo de 1.5 bares.

3. **Aberturas= B.** Cisterna con aberturas de llenado y vaciado situadas en la parte inferior con 3 cierres.
4. **Válvulas y dispositivos de seguridad= F.** Cisterna con dispositivo de respiración resistente a los golpes, según el apartado 6.8.2.2.6 de la normativa ADR, provisto de un dispositivo de protección contra la propagación del fuego o cisterna resistente a la presión generada por una explosión.

5. Diseño y construcción de cisternas fijas. Controles y ensayos a los que se deben de someter, disposiciones relativas a la construcción, los equipos, la aprobación del prototipo y marcado

Características del depósito: Construcción y tensiones máximas admisibles:

Los depósitos, sus sujeciones y equipos de servicio y de estructura se diseñarán para resistir, sin pérdida de contenido:

- “Las solicitaciones estáticas y dinámicas, en condiciones normales de transporte”, tal como se definen en los apartados 6.8.2.1.2 y 6.8.2.1.13 de la Normativa ADR 2021.
- “Las tensiones mínimas impuestas”, tal como se definen en el apartado 6.8.2.1.15 de la normativa ADR 2021.

Según el apartado 6.8.2.1.2. de la normativa, “las cisternas, así como sus medios de sujeción, deben ser capaces de absorber, con la carga máxima admisible, las siguientes fuerzas, equivalentes a las ejercidas por”:

- “En el sentido de la marcha, dos veces el peso total”.
- “En sentido transversal al de la marcha, una vez el peso total”.
- “En sentido vertical, de abajo a arriba, una vez el peso total”.
- “En sentido vertical, de arriba hacia abajo, dos veces el peso total”.



Imagen 5. Esquema de fuerzas actuantes en la cisterna cuando se encuentra en acto de servicio, es decir, en marcha

Las paredes de los depósitos también se tienen que diseñar en función de lo que se regula en la normativa vigente, y deben de cumplir un espesor mínimo para evitar que se provoquen situaciones de vuelque, fugas u otros problemas durante el proceso de transporte por carretera.

Los depósitos se deben diseñar y construir conforme a las disposiciones de las normas relacionadas en el apartado 6.8.2.6 de la normativa ADR 2021 o bien de un código técnico reconocido por la autoridad competente, de acuerdo con el apartado 6.8.2.7 y en el que, para la elección del material y la determinación del espesor de las paredes del depósito, será conveniente tener en cuenta las temperaturas máxima y mínima de llenado y de servicio.

“Las cisternas destinadas a contener ciertas materias peligrosas deben estar dotadas de protección, bien realizando un aumento de la presión de cálculo, o bien fijando a partir de la naturaleza del peligro que ofrezcan las materias de que se trate.” (ADR 2021)

“Las uniones soldadas se deben realizar perfectamente y deberán ofrecer una garantía total de seguridad.” (ADR 2021)

Como norma general, y para evitar efectos de sobrepresión en la cisterna, los depósitos se deben de proteger frente a un riesgo de deformación ocasionado por una posible depresión interna, y para ello deben de estar equipados con una válvula de depresión, capaces de resistir una presión exterior superior en 21kPa.

5.1. Cumplimiento de las normas UNE-EN de aplicación

En base a la “normativa UNE-EN 14025:2019 Cisternas para el transporte de mercancías peligrosas. Cisternas metálicas sometidas a presión. Diseño y fabricación.”

- “La envolvente de la cisterna debe de fabricarse con materiales metálicos que deben ser resistentes a la fractura frágil y de adecuada resistencia al choque en el rango de temperatura de diseño. El material debe ser adecuado para su formación.”

La adecuada resistencia al choque se evaluará con la “norma UNE-EN 13445-2”.

Este apartado de la norma a continuación remite a la “norma UNE-EN 13445-2”, ya que nos centraremos al estudio de recipientes cuyo material es acero dulce, y no aluminio.

En cuanto a estos requisitos tenemos que, la normativa “**UNE-EN 13445-2:2014 Recipientes a presión no sometidos a llama. Materiales**” debe de cumplir lo siguiente:

- “Los materiales han de cumplir con los requerimientos del estándar europeo de acuerdo con la normativa EN 10204:2004. Para ello debe ser requerido un certificado específico de control junto al suministro de los materiales según la norma EN 764-5:2002”.

Para que se lleve a cabo esto, debemos de asegurarnos que al solicitar el material al proveedor se nos suministren los documentos de control necesarios que garanticen que se cumplen con los requerimientos según la “normativa EN 764-5:2002”.

- “Los materiales deben estar libres de defectos internos y superficiales que puedan afectar a la usabilidad prevista”. (UNE-EN 13445-2:2014)

- “A los materiales se les realizará un control en la recepción mediante técnicas END o ensayos no destructivos para asegurar que estén libres de defectos”. (UNE-EN 13445-2:2014)

- Los materiales deben de tener una elongación específica mínima tras fractura medida con una galga de:

$$L_0 = 5.65 \cdot \sqrt{S_0}$$

Donde S_0 es el área de sección original.

La elongación mínima en cualquier dirección ha de ser de al menos un 14%.

Designación del acero		Espesor nominal t mm	Límite elástico R_{eH} MPa mín.	Resistencia a la tracción R_m MPa	Alargamiento después de rotura A % mín.
Simbólica	Númerica				
P275NH, P275NL1, P275NL2	1.0487, 1.0488	≤ 16	275	390 a 510	24
		$16 < t \leq 40$	265		
	1.1104	$40 < t \leq 60$	255	370 a 490	23
		$60 < t \leq 100$	235		
		$100 < t \leq 150$	225		
	$150 < t \leq 250$	215	360 a 480		
			350 a 470		
P355N, P355NH, P355NL1, P355NL2	1.0562, 1.0565	≤ 16	355	490 a 630	22
		$16 < t \leq 40$	345		
	1.0566, 1.1106	$40 < t \leq 60$	335	470 a 610	21
		$60 < t \leq 100$	315		
		$100 < t \leq 150$	305		
	$150 < t \leq 250$	295	460 a 600		
			450 a 590		
P420NH, P420NL1, P420NL2	1.8932, 1.8912	≤ 16	420	540 a 690	19
		$16 < t \leq 40$	405		
	1.8913	$40 < t \leq 60$	395	515 a 665	19
		$60 < t \leq 100$	370		
		$100 < t \leq 150$	350		
	$150 < t \leq 250$	340	500 a 650		
			490 a 640		
P460NH, P460NL1, P460NL2	1.8935, 1.8915	$\leq 16^a$	460	570 a 730	16
		$16^a < t \leq 40$	445		
	1.8918	$40 < t \leq 60$	430	540 a 710	16
		$60 < t \leq 100$	400		
		$100 < t \leq 150$	380		
	$150 < t \leq 250$	370	520 a 690		
			510 a 690		

^a En el caso de los tipos P460NH y P460NL1, hasta un espesor nominal de 20 mm, en el momento de solicitar la oferta y hacer el pedido se puede acordar un valor mínimo de R_{eH} de 460 MPa y un intervalo de R_m comprendido entre 630 MPa y 725 MPa.

Tabla 9. Características de tracción a temperatura ambiente para algunos aceros de acuerdo con la normativa UNE-EN 10028-3:20

En la tabla anterior podemos observar lo siguiente:

En el caso de los aceros ferríticos la energía mínima de impacto medida en una prueba de péndulo de Charpy ha de ser de al menos 27J.

En concreto, en las características del acero P420NH tenemos que la energía de rotura en flexión por choque es de al menos 30J en temperaturas superiores a -20°C , por lo que cumpliría con el límite, basándonos en la normativa UNE-EN 10028-3:2017:

Tipo de acero	Espesor nominal mm	Energía de rotura en flexión por choque KV_2 J mín.									
		transversal					longitudinal				
		a la temperatura en $^{\circ}\text{C}$ de									
		-50	-40	-20	0	+20	-50	-40	-20	0	+20
P...N, P...NH	≤ 250	-	-	30 ^a	40	50	-	-	45	65	75
P...NL1		-	27 ^a	35 ^a	50	60	30 ^a	40	50	70	80
P...NL2		27 ^a	30 ^a	40	60	70	42	45	55	75	85

^a En el momento de solicitar la oferta y hacer el pedido se puede acordar un valor mínimo de la energía de rotura en flexión por choque de 40 J.

Tabla 10. Características de energía de rotura en flexión por choque de diferentes aceros en base a la normativa ADR2021

Materiales para los depósitos:

Según lo establecido en la normativa, “Los depósitos se deben de fabricar con materiales metálicos adecuados que deben ser insensibles a la rotura frágil y a la corrosión con fisuras bajo tensión, a temperaturas entre -20°C y +50°C.”

Además, “Los materiales de los depósitos y sus revestimientos de protección en contacto con el contenido deben de carecer de materias susceptibles de reaccionar peligrosamente con el contenido, de formar productos peligrosos o de debilitar el material de modo apreciable bajo el efecto de este.”

En cuanto a aquellos depósitos que estén soldados, sólo se utilizarán materiales de un perfecto comportamiento a la soldadura y para los que se pueda garantizar un valor satisfactorio de resiliencia a una temperatura ambiente de -20°C, haciendo especial referencia a las juntas soldadas y a las zonas adyacentes a ellas, más propensas a estar sobretensionadas.

Se consideran aceros frágiles a aquellos que presentan una relación R_e/R_m superior a 0.85. Por eso no son admisibles para su empleo en la fabricación de cisternas soldadas.

Para nuestros cálculos tomaremos como R_e el valor de 460MPa, ya que corresponde con el caso más desfavorable, mientras que para el valor de R_m tomaremos el de 570MPa, ya que el acero empleado para nuestra cisterna es el P460NH.

Los diferentes parámetros presentan el siguiente significado:

R_e , “límite de elasticidad aparente para los aceros.”

R_m , “resistencia a la rotura por tracción.”

Al realizar la siguiente operación podemos admitir este hecho y por lo tanto afirmar que el acero sí sería válido a criterios de la normativa ADR:

$$\frac{R_e}{R_m} = \frac{460}{570} = 0.81$$

Al tener esta relación podemos decir que el acero P460NH es de caracterización dúctil y por lo tanto podría servir como material de fabricación de nuestra cisterna.

Si calculamos ahora el alargamiento a la rotura en tanto por ciento, para nuestro acero seleccionado, corresponderá como mínimo al valor:

$$\frac{10000}{\text{resistencia a la rotura por tracción en } \frac{N}{mm^2}}$$

Se debe de cumplir que, en ningún caso, este valor sea inferior a un 16% para aceros de grano fino ni a un 20% para los restantes aceros.

Como nuestro acero P460NH es de grano fino, tenemos que la siguiente relación nos arrojará un valor de:

$$\frac{10000}{570} = 17.54\%$$

Al ver que se cumple la relación anterior tenemos que el alargamiento a la rotura es de un 17.54%, superior al límite fijado en 16% para aceros de grano fino, lo que cumple con nuestras características en cuanto a la fabricación de la cisterna.

Cálculo del espesor del depósito:

Según la normativa, "Para determinar el espesor del depósito, se parte de una presión igual a la presión de cálculo (como mínimo). Además, en el caso de que la cisterna constituya un componente autoportante sometido a una sollicitación, el depósito se calculará para resistir las tensiones que deriven de esta causa, además de las tensiones de otro origen."

También se incluye un rango de valores admisibles que, bajo la acción de unas sollicitaciones que se han descrito previamente, la tensión en el punto sometido a mayor esfuerzo, en los medios de sujeción del depósito o en el propio depósito, no podrá superar el valor siguiente:

$$\sigma \leq 0.75 \cdot R_e \text{ ó } \sigma \leq 0.5 \cdot R_m$$

Siendo R_e y R_m los valores explicados en anterioridad.

Si tomamos el caso más desfavorable para nuestra tensión admisible, tendremos como resultados:

$$0.75 \cdot R_e = 345 \text{MPa}$$

$$0.5 \cdot R_m = 285 \text{MPa}$$

Estos valores corresponden al límite de tensión que puede soportar la sección más desfavorable de nuestra cisterna, y a partir de la cual procederemos a calcular en posterioridad con más detalle.

Espesor mínimo del depósito:

Tal y como se formula en la normativa ADR 2021, "el espesor del depósito no será menor que el mayor de los valores calculados por las siguientes fórmulas:"

$$e = \frac{P_{ep} \cdot D}{2 \cdot \sigma \cdot \gamma}$$

$$e = \frac{P_{cal} \cdot D}{2 \cdot \sigma}$$

En las que:

e, "espesor mínimo del depósito en mm."

P_{ep} , "presión de prueba en MPa."

P_{cal} , "presión de cálculo en MPa."

D, "diámetro interior del depósito en mm."

σ , "tensión admisible en N/mm²."

γ , "coeficiente menor o igual a la unidad, teniendo en cuenta el posible debilitamiento debido a las juntas soldadas y vinculado a los métodos de control", que se encuentran definidos en el apartado 6.8.2.1.23 de la normativa ADR 2021

Como nuestra cisterna está catalogada con un código LGBF, tenemos que la presión de cálculo y de prueba coinciden como vemos en la siguiente tabla:

Presión de cálculo (bar)	Presión de prueba (bar)
G ¹³	G ¹³
1,5	1,5
2,65	2,65
4	4
10	4
15	4
21	10 (4 ¹⁴)

Tabla 11. Comparativa entre las presiones de cálculo y las presiones de prueba en base a la normativa ADR2021

Por ley se establece que, “La prueba de presión hidráulica deberá efectuarse sobre el conjunto del depósito y por separado en cada compartimento de los depósitos divididos en compartimentos, y se deberá de realizar antes de colocar el aislamiento térmico eventualmente necesario.”

Como en nuestro caso tenemos que la presión de cálculo corresponde a 1.5 bares (0.15N/mm²), tenemos que la presión de prueba deberá ser la misma si nos fijamos en la tabla anterior. Sustituyendo podemos obtener el valor de nuestro espesor equivalente:

$$e = \frac{P_{cal} \cdot D}{2 \cdot \sigma} = \frac{1.5 \cdot 2500}{2 \cdot 345} = 0.563mm \text{ de espesor}$$

De este modo tenemos que el mínimo espesor de la envolvente requerido en la cisterna para que cumpla correctamente el límite de tensiones admisibles en el cuerpo de la cisterna debe ser mínimo de este valor.

En nuestro caso, al considerar un espesor mínimo de 6mm, se cumple de sobra con lo estipulado en la Normativa ADR2021 y nos encontramos dentro del marco legal vigente como así marca la normativa para comenzar con el diseño de la cisterna.

Del mismo modo, además de un cálculo analítico (como el que hemos desarrollado en anterioridad), el espesor de los depósitos fabricados con acero dulce también tiene valores de espesor mínimo tabulados, y cumplen los siguientes puntos:

- “El espesor será de 5mm si el diámetro de la cisterna es inferior o igual a 1.8m, si están contruidos de acero dulce o un espesor equivalente si están hechos de otro metal.
- El espesor mínimo será de 6mm si el diámetro de la cisterna es superior a 1.8m, y del mismo modo, si están contruidos de acero dulce, o hasta un espesor equivalente si están contruidos de otro metal.” (Normativa ADR 2021)

En lo que respecta a las siguientes explicaciones, el espesor equivalente se puede calcular como:

$$e_1 = \frac{464 \cdot e_0}{\sqrt[3]{(R_{m1} \cdot A_1)^2}}$$

Siendo los siguientes valores:

e_1 , “espesor mínimo del depósito en mm para el metal elegido.”

e_0 , “espesor mínimo del depósito en mm para el acero dulce de acuerdo con los apartados 6.8.2.1.18 y 6.8.2.1.19 de la normativa ADR 2021.”

R_{m1} , “límite mínimo de resistencia a la rotura por tracción del metal elegido, en N/mm².”

A_1 , “alargamiento mínimo a la rotura por tracción del metal elegido, en %.”

Tal y como se incluye en el apartado de normativas de la cisterna, “Cuando la cisterna esté dotada de una protección contra daños ocasionados por colisión lateral o por vuelco, la autoridad competente podría autorizar que los espesores mínimos se reduzcan en proporción a la protección garantizada; sin embargo, los espesores mínimos se elevarán hasta 4mm de acero dulce o hasta un espesor equivalente si se trata de otro metal cuando los depósitos tengan un diámetro superior a 1.80m.”

Del mismo modo, “el espesor mínimo absoluto de los depósitos protegidos contra daños no podrá ser menor que los valores indicados en la tabla siguiente:”

	Diámetro del depósito	≤ 1.80 m	> 1.80 m
Espesor mínimo del depósito	Aceros inoxidables austeníticos	2,5 mm	3 mm
	Aceros inoxidables austeno-ferríticos	3 mm	4 mm
	Otros aceros	3 mm	4 mm
	Aleaciones de aluminio	4 mm	5 mm
	Aluminio de pureza 99,80%	6 mm	8 mm

Tabla 12. Valores tabulados de espesores mínimos para el depósito en función del material empleado en su fabricación

Los vehículos cisterna deben diseñarse para estar protegidos contra daños mediante la adopción de las medidas explicadas en la Normativa ADR 2021.

En este caso, las dimensiones que hacen referencia a las distancias entre los elementos de refuerzo deben tomarse entre sus puntos de anclaje al depósito de la cisterna:

a). Para depósitos con una sección transversal circular o elíptica con un radio máximo de curvatura de 2m, el depósito ha de estar equipado con elementos de refuerzo que comprendan separaciones tabiques rompeolas, o anillos externos o internos, colocados de tal forma que al menos se cumpla una de las siguientes condiciones:

- La distancia entre dos elementos de refuerzo adyacentes sea inferior o igual a 1.75m.
- El volumen contenido entre dos separaciones o tabiques rompeolas sea inferior o igual a 7500 litros.

Cuando se hagan cálculos alrededor del eje neutro paralelo al depósito, el anillo y su depósito asociado deben tener un módulo de sección de, al menos, 10cm³ de acero de referencia, o un módulo de sección equivalente en otro metal.

Los elementos de refuerzo externos no deben tener bordes cortantes con un radio inferior a 2.5mm.

También se establece en la normativa que, “Cuando se emplee un metal distinto del acero dulce, el espesor se calculará según la fórmula de equivalencia prevista en el apartado 6.8.2.1.18 de la Normativa ADR 2021, y no deberá de ser inferior a los valores indicados en el cuadro siguiente:”

	Radio de curvatura máximo del depósito (m)	≤ 2	2 - 3	2 - 3
	Capacidad del depósito o del compartimento del depósito (m ³)	≤ 5,0	≤ 3,5	> 3,5 pero ≤ 5,0
Espesor mínimo del depósito	Aceros inoxidable austeníticos	2,5 mm	2,5 mm	3 mm
	Aceros inoxidable austenoferríticos	3 mm	3 mm	3 mm
	Otros aceros	3 mm	3 mm	4 mm
	Aleaciones de aluminio	4 mm	4 mm	5 mm
	Aluminio puro al 99,80%	6 mm	6 mm	8 mm

Tabla 13. Valores tabulados de espesores mínimos para el depósito en función del material empleado, del radio de curvatura máximo del depósito y de la capacidad del depósito

Para los espesores de los rompeolas, nunca deberán ser inferior al espesor mínimo que hemos calculado para nuestro depósito.

- “Los rompeolas serán de forma cóncava, con una profundidad mínima de la concavidad de 10cm, o de forma ondulada, perfilado o reforzados de otro modo hasta alcanzar una resistencia equivalente.

La superficie de los rompeolas será, como mínimo, un 70% de la superficie de la sección recta del depósito en el punto en el que se instalen.” (ADR 2021)

En cuanto al diseño de la cisterna, tenemos que su diámetro es de 2500mm mientras que su espesor es de 15mm.

La longitud de la cisterna será la formada por las 4 virolas, el fondo delantero y el fondo posterior, y cuya longitud total es de 11022.28mm.

Del mismo modo, la cisterna estará formada en su totalidad por 4 orejas de izaje, una boca hombre para facilitar la manipulación manual (con su correspondiente tapa ciega), y válvulas de alivio para equilibrar el todo momento la presión en el depósito, además de los diferentes rompeolas que se situarán dentro de la cisterna.

Material que compone la cisterna:

El material empleado es un acero P460NH. Este tipo de acero es de grano fino y se utiliza para la fabricación de cisternas al ser muy buen resistente a la temperatura y a la presión.

Entre sus características más importantes tenemos:

Soldadura	Excelente	Usar sistemas adecuados para grano fino
Plegado	Excelente	Excelente característica de doblado en el sentido de la laminación
Transformación	Excelente	Buena reproducción
Mecanización	Excelente	Proceso de oxicortado, taladrado y mecanizado por cualquier sistema

Tabla 14. Propiedades del acero escogido para el diseño de nuestra cisterna

Las chapas de este acero son fabricadas para diferentes tipos de construcciones soldadas, desde material base, ya que presentan buena resistencia al calor y es tenaz a bajas temperaturas.

Composición química tras análisis de colada, según la normativa EN 100028-3:
Acero P460NH con designación numérica 1.8935.

Composición en %masa	Carbono	0.20
	Silicio	0.6
	Manganeso	1-1.70
	Fósforo	0.030
	Azufre	0.025
	Aluminio	0.02
	Cromo	0.30
	Cobre	0.70
	Molibdeno	0.10
	Nitrógeno	0.025
	Niobio	0.05
	Niquel	0.80
	Titanio	0.03
	Vanadio	0.20
Niobio+Titanio+Vanadio	0.22	
Características mecánicas para un espesor de 15mm	“Límite elástico”, ReH	460N/mm ²
	“Resistencia a tracción”, Rm	570-720N/mm ²
	“Alargamiento a rotura”	17%

Tabla 15. Composición del acero escogido y características mecánicas

La composición de estos elementos tiene su explicación, que pasamos a explicar a continuación:

- **El carbono** en porcentaje dentro de los aceros hipoeutectoides (por debajo del 0.8%), se considera soldable. Este elemento aumenta el temple, la resistencia y la dureza, pero a su vez disminuye la ductilidad y la tenacidad, por eso es importante limitar su contenido.
- **El manganeso** es el elemento más predominante en porcentaje de masa en nuestra cisterna. Este elemento incrementa sus propiedades mecánicas evitando fisuraciones en caliente además de ser un elemento desoxidante. Además de estas propiedades, favorece la templabilidad y la aparición de martensita, y aumenta la resistencia mecánica y al desgaste.
- **El níquel** se encarga de afinar el grano si se incluye en pequeñas cantidades. Es un elemento que mejora la resistencia a baja temperatura, la resistencia frente a la corrosión y además mejora la tenacidad en el proceso de soldeo.
- **El cobre** se encarga de mejorar la resistencia a la corrosión en contenidos moderados. Añadiéndole pequeñas cantidades de Cromo, Niquel y Fósforo puede llegar a formar películas protectoras de sales complejas que tienen la capacidad de ser insolubles en agua y que protege muy bien al acero.
- **El Aluminio** es un desoxidante enérgico cuya función es afinar el grano. Combinado con nitrógeno puede llegar a formar nitruros que afinan el grano, elevan su límite elástico y disminuye su susceptibilidad a rotura frágil.
- **El Vanadio** tiene la capacidad de formar carburos y nitruros con efecto similar al del aluminio, además de que tiene la capacidad de aumentar la templabilidad, la resistencia y la ductilidad, y mejorar su límite elástico.

- **El Titanio** tiende a formar carburos y a combinarse con el Nitrógeno, además de ser un excelente afinador de grano y de mejorar la deformabilidad en frío.

- **El Niobio**, por su parte, mejora el límite elástico al precipitar en un carburo de fase austenítica. Si se incluye en ciertos valores se puede aumentar la temperatura de transición, por lo que se debe de limitar su contenido a niveles bajos.

6. Disposiciones generales para tener en cuenta a la hora de realizar el diseño y a la construcción de la cisterna:

Como así lo marca la Normativa ADR 2021, los puntos para diseñar y construir la cisterna son los siguientes, de acuerdo con el apartado 6.7.2.2 de la Normativa ADR 2021 para vehículos cisterna o cisternas portátiles son los que pasamos a explicar a continuación, haciendo especial referencia a nuestro diseño:

- “Los depósitos deben diseñarse y construirse de acuerdo con las disposiciones de un código para aparatos a presión reconocido por la autoridad competente. Deberán construirse con material metálico susceptible de conformación.”

- “Para los depósitos soldados sólo se utilizarán materiales cuya soldabilidad esté perfectamente demostrada, y las soldaduras se deben realizar según las reglas de buena práctica y ofrecer todas las garantías de seguridad.”

- “Los materiales deberán someterse a tratamientos térmicos si el procedimiento de fabricación o los materiales así lo exigen, para garantizar una resistencia adecuada de la soldadura y de las zonas que son más propensas a sufrir efectos térmicos adversos.”

- “Durante el proceso de selección del material, se debe tener en cuenta el intervalo de temperaturas de cálculo desde el punto de vista de los riesgos de rotura frágil bajo tensión, formación de fisuras por corrosión y resistencia a los choques. Si se utiliza un acero de grano fino, el valor de su límite elástico aparente no debe ser superior a 460N/mm^2 , y el valor garantizado del límite superior de la resistencia a la tracción no debe superar los 725N/mm^2 .”

- “El aislamiento deberá conservar su eficacia a cualquier temperatura inferior a 649°C y estará cubierto de un material que tenga un punto de fusión mínimo de 700°C .”

- “Los depósitos de cisternas portátiles, así como sus órganos y tuberías deben construirse:
a). De un material que sea prácticamente inalterable a la materia o materias a transportar.
b). De un material eficazmente pasivado o neutralizado por reacción química.
c). De un material revestido de otro material resistente a la corrosión directamente pegado sobre el depósito o fijado mediante un método equivalente.”

- “Las juntas de estanqueidad deben hacerse con un material que no pueda ser atacado por la materia o materias a transportar.”

- “Las uniones y las soldaduras del revestimiento deberán asegurarse por fusión mutua de los materiales o por otro medio cualquiera igualmente eficaz.”

- “El contacto entre metales distintos deberá de evitarse para que no se produzca una corrosión galvánica, del mismo modo que los materiales de la cisterna portátil que se encuentren comprendidos entre los dispositivos, juntas de estanqueidad, accesorios y revestimientos, no pueden llegar a alterar la materia destinada a ser transportada en la cisterna portátil.”

- “En cuanto a la base de la cisterna, debe de diseñarse de manera que sus soportes ofrezcan una base estable durante el transporte, y con capacidad para soportar como mínimo la presión interna ejercida por el contenido y sus correspondiente cargas estáticas, dinámicas y térmicas en condiciones normales de transporte y manipulación.”

- “Si la cisterna se encuentra equipada con válvulas de depresión se debe de diseñar para resistir como mínimo, y sin deformación permanente, una sobrepresión manométrica exterior superior de al menos 0.21 bares sobre la presión interna.”

- “Las válvulas de depresión que se utilizan en las cisternas portátiles destinadas al transporte de materias que por su punto de inflamación corresponden a los criterios de la clase 3, comprendidas a una temperatura igual o superior a su punto de inflamación, deberá impedir el paso inmediato de una llama al interior del depósito o, alternativamente, el depósito de las cisternas portátiles destinadas al transporte de estas materias deberá de ser capaz de soportar una explosión interna resultante del paso inmediato de una llama al interior del depósito.”

Se ha de tener en cuenta que estos ensayos se deben de realizar con una cisterna llena de agua, con al menos una capacidad superior al 90% de su contenido, donde los siguientes ensayos que se ponen a prueba son:

- **Ensayo de frenado**, en el que el camión cisterna se prueba en una pista plana y se somete a una deceleración de 0.6 veces la gravedad terrestre, y cuyos valores pueden ser extrapolados hasta un valor dos veces superior a dicha gravedad.

- **Conducción lenta en círculo**, donde la velocidad alcanzada no debe de superar el límite de vuelco, y se intenta conseguir unos valores de aceleración transversal cercanos a 0.4 veces el valor de la gravedad terrestre y debe de realizarse su correspondiente extrapolación lineal. De este modo lo que se busca es ver la capacidad de estabilidad que presenta la base y el soporte de la cisterna.

- **Conducción en pista con obstáculos**, donde también se pone a prueba la estabilidad de la cisterna y de sus soportes a través del uso de obstáculos de madera que se sitúan inclinados en la dirección de la marcha. Además, estos obstáculos deben de situarse de manera alternativa a derecha e izquierda de la pista, mientras que sus valores resultantes deben de permitir alcanzar extrapolaciones de hasta dos veces la gravedad terrestre.

En cuanto a los ensayos de las soldaduras, se deben de realizar a partir de ensayos no destructivos (END), y generalmente se usará el ultrasonido y por rayos x, asegurando en todo momento que se cumple con la normativa que se encuentre vigente en ese momento.

Estas soldaduras, para su inspección, deben de realizarse de manera que cumplan los criterios establecidos en la “norma EN ISO 5817:2007 nivel C “, para el acero del que se encuentre fabricada nuestra cisterna.

Del mismo modo, existe una proporción de las soldaduras que se debe someter a ensayos no destructivos de acuerdo con la normativa UNE EN 12972, mientras que el ensayo radiográfico debe de cumplir lo establecido en la norma EN 1435.

Los ensayos deben de ser realizados por las personas competentes y cualificada según la norma EN 473, y del mismo modo, trabajado conforme los procedimientos cualificados mediante unos operadores nivel 3.

Para los informes de las inspecciones, éstos deberán de estar firmados por personas cualificadas con al menos un nivel 2.

6.1. Requisitos para las diferentes partes que conforman la cisterna:

→Equipos de servicio para cisternas, respiradero de presión y de depresión (Norma UNE-EN-14595-2005)

“Este documento forma parte de un programa de normas en el que incluye su uso en cisternas para el transporte de mercancías peligrosas con una presión de vapor que no exceda 110kPa de presión absoluta a 50°C y gasolina – equipos de servicio.”

Un respiradero de presión y depresión corresponde a la aireación normal del compartimento de la cisterna.

En el documento se especifican los requisitos y prestaciones además de las dimensiones críticas de los respiraderos de presión y de depresión, además de que especifica los ensayos necesarios para verificar el cumplimiento de los equipos.

Las normas que requieren su consulta para la correcta aplicación de la norma se recogen en los siguientes puntos:

“Norma EN 12266-1:2003- Válvulas industriales. Ensayo de válvulas. Parte 1.”

“Norma EN 12266-2- Válvulas industriales. Ensayo de válvulas, Parte 2.”

“Norma EN ISO 228-1- Roscas de tuberías para uniones sin estanqueidad de la rosca. Parte 1.”

“Norma ISO 2859-1- Procedimientos de muestreo para la inspección por atributos. Parte 1.”

La normativa establece que, en el caso de disponer de respiraderos, “deben de proporcionar un venteo de presión/depresión para un compartimento de la cisterna, aunque estas funciones pueden llevarse a cabo mediante otros mecanismos durante la carga y descarga, y además debe de actuar como contención de la sustancia en el caso de derrame o vuelco.”

En cuanto a las válvulas de descarga, generalmente funcionan de la siguiente forma, diferenciándose unas de otras por su tipo de accionamiento:

- **Válvula de volante y de palanca, por accionamiento manual.**
- **Válvula neumática, a través de aire a presión.**
- . **Válvula hidráulica, a través de líquido hidráulico.**

Estas válvulas se cargan por la boca de hombre, pero la descarga la realizan por los colectores que se sitúan en la parte inferior de la cisterna. Al final de cada colector se encuentra otra válvula de salida manual, que dependiendo del tipo de cisterna puede ser de mariposa, compuerta o de bola.

Los giros de las válvulas son siempre el giro a izquierdas para abrir, y el giro a derechas para cerrar, pero puede darse el caso de que numerosas válvulas inglesas funcionen de manera inversa a lo citado anteriormente.

Se puede precisar a la hora de la descarga de colectores de presión. Este elemento se encarga de conectar la boca hombre con el lateral de la cisterna el cual inyecta aire a una presión de unos 2 bares como máximo para facilitar el proceso de descarga.

En cuanto a los dispositivos de seguridad, deben de estar incluidos en los equipos de servicio e incluyen las válvulas de apertura y cierre de seguridad, además de la caja de protección que evita que se produzca un vuelco. Además, el uso de un manómetro nos permitirá saber en todo momento la presión a la que se encuentra el interior del depósito, así como sus límites en el caso de que se produzca una anomalía (baja o alta presión).

El conexionado eléctrico se encuentra en el siguiente esquema, y está compuesto por indicadores intermitentes luminosos en los laterales (9 al principio y al final de la cisterna, además de varios en la zona intermedia de la cisterna, mientras que en la parte posterior de la cisterna habrá dos intermitentes direccionales que se activarán cuando se produzca la marcha atrás o el frenado del camión cisterna.

Cabe destacar que el conexionado a tierra que se realiza en el cableado eléctrico de la cisterna evita que pueda interactuar con las intermediaciones del entorno de carga y descarga, y evita así que se produzca una electricidad estática, muy importante para tener en cuenta sobre todo en los procesos de carga y descarga. Su objetivo principal es el de derivar la electricidad estática al producirse el movimiento del fluido en conducción cuando se encuentra en situación de carga/descarga.

Qué hacer en el caso de accidente:

Una de las directrices básicas de Protección Civil frente al riesgo de accidentes en los transportes de mercancías por carretera queda recogido en el “RD 387/1996.”

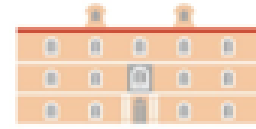
La responsabilidad de cada persona en caso de que suceda un imprevisto durante el transporte del material es:

- 1. El expedidor (empresa que contrata el transporte)**, presenta la responsabilidad de enviar representante si así requiere, proporcionar información sobre lo acontecido y colaborar en la contaminación.
- 2. El transportista (empresa que realiza el transporte)**, presenta la responsabilidad de enviar personal y material para recuperar, custodiar, transvasar y trasladar los materiales involucrados, además de que deben de contribuir a colaborar con la descontaminación.
- 3. La actuación de los bomberos (terceras personas)** presentan la responsabilidad de ser la máxima autoridad ante la coordinación de las actuaciones que se deben de llevar a cabo para solucionar el problema.



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Campus
de Excelencia
Internacional



industriales
UPCT

Interpretación de los planos de la cisterna mediante un diseño en 3D y control de las tensiones admisibles en diferentes modelos de rompeolas propuestos

Documento 2

TRABAJO FINAL DE GRADO
GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

Autor: ISMAEL SÁNCHEZ LÓPEZ
Director: ISIDORO JOSÉ MARTÍNEZ MATEO
Codirector: JUAN JOSÉ HERNÁNDEZ ORTEGA

1. Explicación de la herramienta empleada para el diseño de nuestra cisterna:

El diseño de los rompeolas y de los diferentes compartimentos de la cisterna se ha realizado en su totalidad mediante la herramienta “Solidworks 2020” y en ella se han establecido las diferentes cotas y geometrías que componen dicha cisterna.

Solidworks corresponde a “un software de diseño CAD 3D para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. Este software ofrece un amplio abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto.”

Diseño de la geometría exterior de la cisterna:

En primer lugar, la cisterna presenta una longitud total de 11022.28mm dividido en 4 virolas y 2 fondos, uno lateral y otro posterior.

En cuanto a su diámetro, la cisterna presenta un diámetro de 2500mm.

En lo que respecta al espesor de las paredes de la cisterna, las mismas tendrán un espesor de unos 15mm, tal y como estipula la normativa, al estar la cisterna fabricada por un acero P460 NH.

2. Diseño del rompeolas, tensiones máximas a soportar y características significativas.

Comparación entre diferentes diseños de rompeolas y selección del óptimo:

Los rompeolas normalmente se suelen colocar aproximadamente cada 7500 litros. Como en nuestro caso tenemos una cisterna de transporte de unos 25000 litros con unos 4 rompeolas se podría atenuar el efecto de onda de presión producida por la ola dentro de la cisterna.

El espesor del rompeolas debe ser igual o superior al del depósito, y su forma será cóncava, para aumentar el contacto del líquido del recipiente con la superficie del rompeolas.

Del mismo modo se aplicarán chaflanes o distintas geometrías para aliviar el exceso de concentraciones y evitar que se produzcan secciones críticas en la pieza.

Como ya se comentó anteriormente, los rompeolas actúan como paredes y se colocan en los depósitos con el fin de amortiguar el movimiento del fluido que se sitúa dentro de la cisterna.

Son eficaces porque atenúan el movimiento del fluido al acelerar y girar el vehículo cisterna en los movimientos de cabeceo.

Del mismo modo, los rompeolas no pueden formar compartimentos estancos, sino que el fluido debe de poder moverse entre las distintas zonas o compartimentos de la cisterna, ya que si no el llenado y vaciado del tanque no podría llevarse a cabo.

Se pueden diseñar dos tipos de agujeros para formar el rompeolas:

- “Usar la realización de agujeros en el centro del rompeolas, por lo que el fluido quedaría limitado a su llenado siempre y cuando no se alcance este orificio.”

- “Usar la realización en los puntos que colindan la superficie del rompeolas con la pared del depósito.”

En este caso estudiaremos cuáles de estos son los más idóneos para el transporte de octano, en base a sus tensiones y límites admisibles.

Otro aspecto que tener en cuenta es que la mejor forma de aprovechar el funcionamiento de un rompeolas es aumentando el área de contacto entre el fluido y el rompeolas.

Esto podría conseguirse si se aumenta el tiempo de paso entre compartimentos dentro de la cisterna, lo que se traduce en una desaceleración del fluido al reducir su velocidad de desplazamiento.

The image shows a screenshot of the SolidWorks software interface. On the left, the 'SolidWorks DIN Materials' tree is expanded to 'DIN Acero (estructural)', where '1.8903 (S460NL)' is selected. On the right, the 'Propiedades de material' tab is active, displaying the following information:

- Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal
- Unidades: SI - N/m² (Pa)
- Categoría: DIN Acero (estructural)
- Nombre: 1.8903 (S460NL)
- Criterio de fallos predeterminado: Tensión de von Mises máx.
- Descripción: TStE 460
- Origen: Límite de tracción y límite elástico para 100<t<=150
- Sostenibilidad: Definido

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2.100000031e+11	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.28	N/D
Módulo cortante	7.9e+10	N/m ²
Densidad de masa	7800	kg/m ³
Límite de tracción	530000000	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	370000000	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica	1.1e-05	/K
Conductividad térmica	14	W/(m·K)

Imagen 6. Selección del material P460 NH para nuestra cisterna y rompeolas en el paquete de datos de la herramienta SolidWorks

En primer lugar, se escoge el material con el que se va a fabricar el rompeolas. Este será del mismo que para la fabricación de la cisterna.

Como bien se especifican en los planos, el material idóneo es un acero estructural cuya referencia es S460NL (1.8903), y cuyas características se reflejan a continuación:

- **Módulo elástico de $2.1 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$.** “Constante elástica que deriva de las propiedades elásticas de los materiales, y que involucra una medida relacionada con la tensión y otra con la deformación. También corresponde a la medida de la tenacidad y rigidez que presenta el material, o su capacidad elástica.” Mientras mayor sea el valor del módulo, más rígido será el material y serán más difíciles de doblar bajo carga.

- **Coefficiente de Poisson de 0.28.** “Diferencia entre la deformación transversal y la deformación longitudinal que experimenta un material frente a cambios debido a estar sometidos a esfuerzos de tensión, ya sea a tracción o compresión (esfuerzos que implican una deformación).” Este valor nos indica que la deformación transversal corresponde a un 28% de la deformación longitudinal.

- **El módulo de corte o cizalladura.** “Mide la elasticidad de un sólido cuando la presión para deformarlo se aplica universalmente desde todos los lados, y es lo opuesto a lo que sucede cuando se comprime el material.”

- **El límite de tracción.** “Esfuerzo de tracción mecánico máximo con el que se puede someter a carga el material sin que se produzca la rotura de este.” Un valor de límite alto nos indica que el material es muy resistente frente a esfuerzos de estas características.

- **El límite elástico.** “Esfuerzo máximo que se puede aplicar a un material sin que se le cause una deformación permanente.” Un valor alto del mismo nos indica que este material es muy resistente a micro deformaciones provocadas por fuerzas externas.

- **El coeficiente de expansión o dilatación térmica.** “Cociente que mide el cambio relativo de longitud o volumen que se produce cuando un cuerpo sólido o un fluido dentro de un recipiente cambia de temperatura provocando una dilatación térmica.” Un valor tan bajo de este coeficiente para este material nos indica que apenas se dilata frente a agentes térmicos.

- **La conductividad térmica.** “Habilidad intrínseca que presenta un material al transferir o conducir calor. Los materiales aislantes térmicos se consideran así al tener un valor inferior a $0.10 W/m^2K$.” En nuestro caso tenemos que este material presenta una conductividad térmica superior a este rango para considerarlo como material no aislante.

→ Una vez definidas las propiedades del material que vamos a emplear definimos las características de esfuerzos del primer tipo de rompeolas.

ROMPEOLAS TIPO 1:

En este caso el rompeolas presenta una geometría fija en sus bordes, cuya representación queda marcada en el programa a través de las flechas verdes que se pueden observar en la Imagen 2.

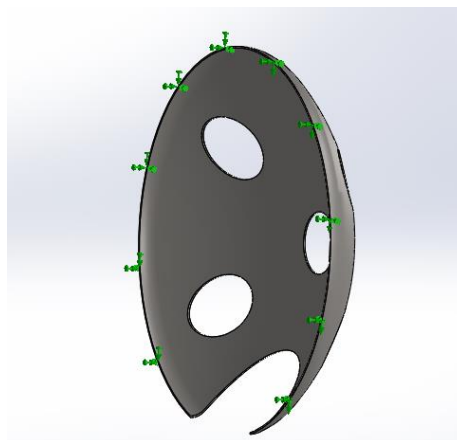
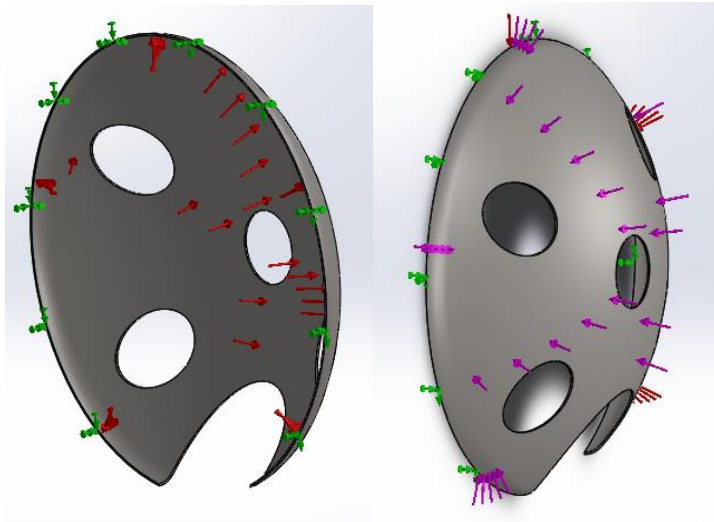


Imagen 7. Modelo de rompeolas tipo 1 realizado con SolidWorks donde se marca una geometría fija en sus bordes (flechas verdes)

En el caso de los esfuerzos, se ha considerado que el rompeolas se verá sometido principalmente a 2 tipos de esfuerzos:

1. Un esfuerzo de presión en el sentido contrario al de la marcha del camión cisterna (indicado con flechas rojas), que afectará a toda la superficie del rompeolas, mientras que otro esfuerzo de fuerza vendrá transmitido en el mismo sentido de la marcha, buscando el equilibrar las fuerzas dentro de la cisterna.

2. En este análisis se puede ser más preciso si además se incluye el frenazo del camión cisterna o el efecto ola de la onda de presión en su efecto de ida y vuelta dentro del depósito antes de estabilizarse, por lo que la cara interna podemos asumirla como aquella que soporta esfuerzos de presión del fluido (en rojo), mientras que la cara externa generalmente soporta esfuerzos de fuerza (en morado) y de presión, pero con un valor bastante inferior al valor de presión que actúa en la cara interior del rompeolas.



Imágenes 8 y 9. Esfuerzos de presión (flechas rojas) y de fuerza (flechas moradas) en el modelo rompeolas tipo 1

A través de la herramienta “SOLIDWORKS” realizamos el mallado fino para obtener definitivamente los puntos más propensos a que este rompeolas pueda sufrir alguna zona de sobreesfuerzos y de rotura del material.

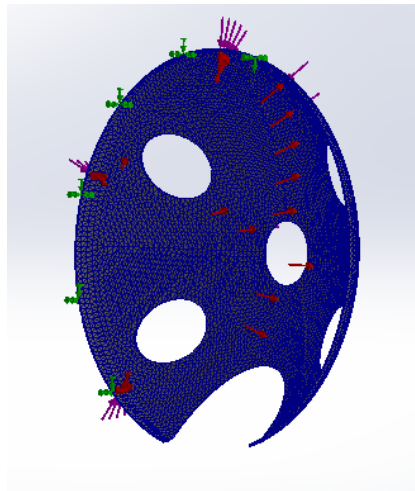


Imagen 10. Mallado del rompeolas tipo 1 para su posterior análisis estático

Como se puede observar, si el siguiente rompeolas lo sometemos a esfuerzos de estas características nos arroja las siguientes características:

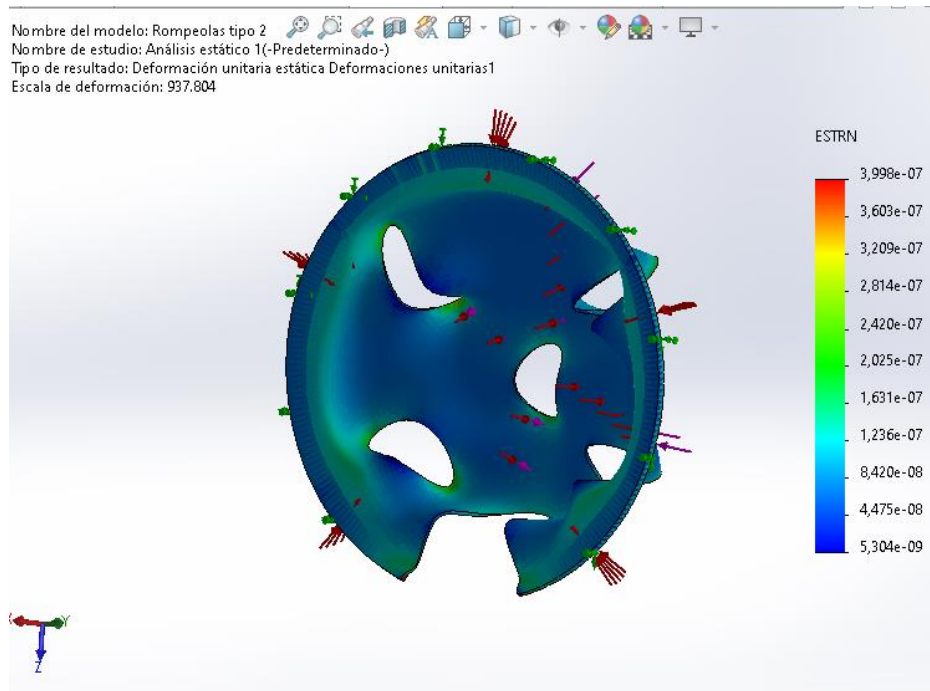


Imagen 11. Escala de colores de los componentes de deformación unitaria para el rompeolas tipo 1

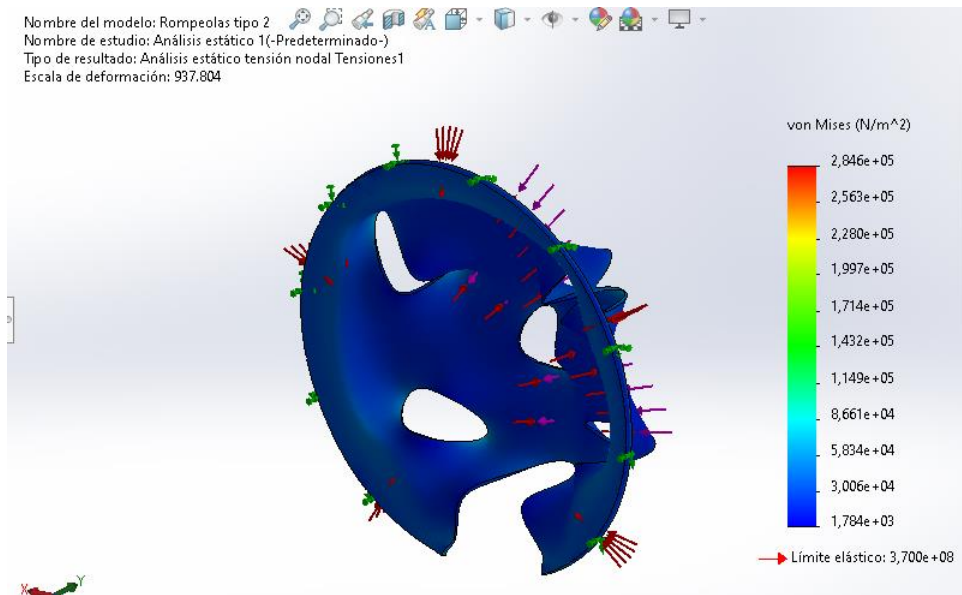


Imagen 12. Escala de colores de tensión de Von Mises para el rompeolas tipo 1

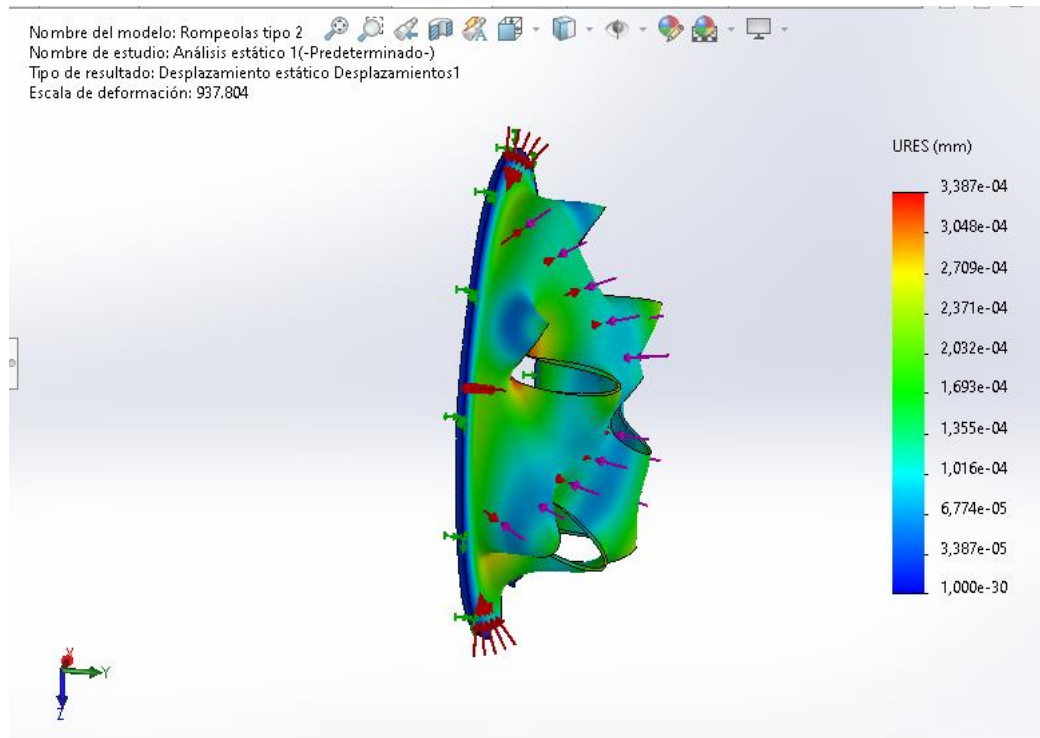


Imagen 13. Escala de colores de los desplazamientos resultantes para el rompeolas tipo 1

Como se puede observar las deformaciones principales se producirían generalmente en la sección donde se encuentran los orificios de suavizado de la ola de presión (parte central del rompeolas), mientras que el contorno del rompeolas que se encuentra conectada con la cisterna no se vería muy cargado frente a esfuerzos de este tipo.

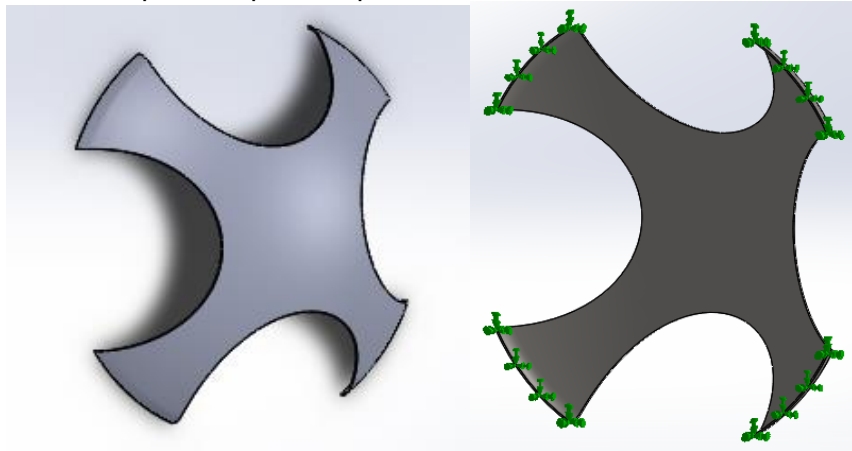
Otro dato que se puede visualizar es que la zona de los orificios que actúan como aliviaderos y paso de caudal entre compartimentos de la virola dentro de la cisterna concentran la gran mayoría de tensiones a las que se ve afectado el rompeolas, razón por la que esta zona sea más propensa a este efecto de deformación.

Como solución podríamos disminuir la concavidad del rompeolas disminuyendo su radio y haciéndola más estrecha, o bien redistribuyendo los orificios aliviaderos y limitándolos a los extremos del rompeolas, lo que nos podría disminuir esta concentración excesiva de esfuerzos en la parte central del rompeolas.

La tensión de Von Mises no llega a valores límites o críticos en la simulación a estos valores de carga de presión y esfuerzo, pero hay que tener en cuenta que cuando dicha tensión se iguala al límite de tensión del material asignado, empieza a ceder en una ubicación provocando su desplazamiento o, en su defecto, su rotura si el esfuerzo es prolongado y desmedido, en cualquier material dúctil.

ROMPEOLAS TIPO 2:

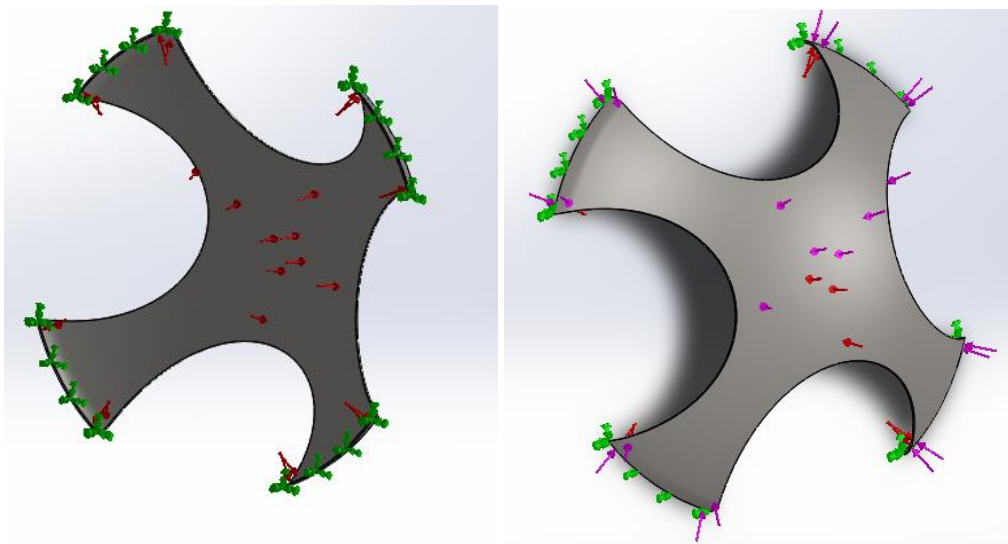
En este caso el rompeolas que se presenta únicamente presenta orificios pasantes en la superficie externa. El rompeolas tipo se representa a continuación:



Imágenes 14 y 15. Modelo de rompeolas tipo 2 realizado con SolidWorks donde se marca una geometría fija en sus bordes (flechas verdes)

Los esfuerzos a los que se verá sometido el rompeolas es similar al caso expuesto anteriormente: un esfuerzo de presión en el sentido contrario al de la marcha del camión cisterna (indicado con flechas rojas), que afectará a toda la superficie del rompeolas, mientras que otro esfuerzo de fuerza vendrá transmitido en el mismo sentido de la marcha.

En este análisis se puede ser más preciso si además se incluye el frenazo del camión cisterna o el efecto ola de la onda de presión en su efecto de ida y vuelta dentro del depósito antes de estabilizarse, por lo que la cara interna podemos asumirla como aquella que soporta esfuerzos de presión del fluido (en rojo), mientras que la cara externa generalmente soporta esfuerzos de fuerza (en morado) y de presión.



Imágenes 16 y 17. Esfuerzos de presión (flechas rojas) y de fuerza (flechas moradas) en el modelo rompeolas tipo 2

A través de la herramienta “SOLIDWORKS” realizamos el mallado fino para obtener definitivamente los puntos más propensos a que este rompeolas pueda sufrir alguna zona de sobreesfuerzos y de rotura del material.

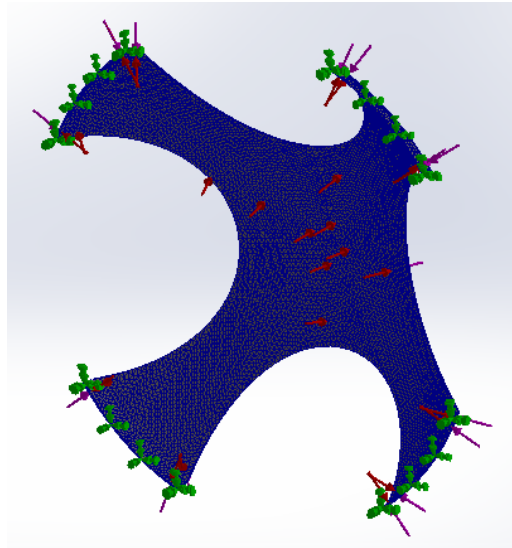


Imagen 18. Mallado del rompeolas tipo 2 para su posterior análisis estático

Como se puede observar, si el siguiente rompeolas lo sometemos a los esfuerzos mencionados anteriormente, nos arroja las siguientes características:

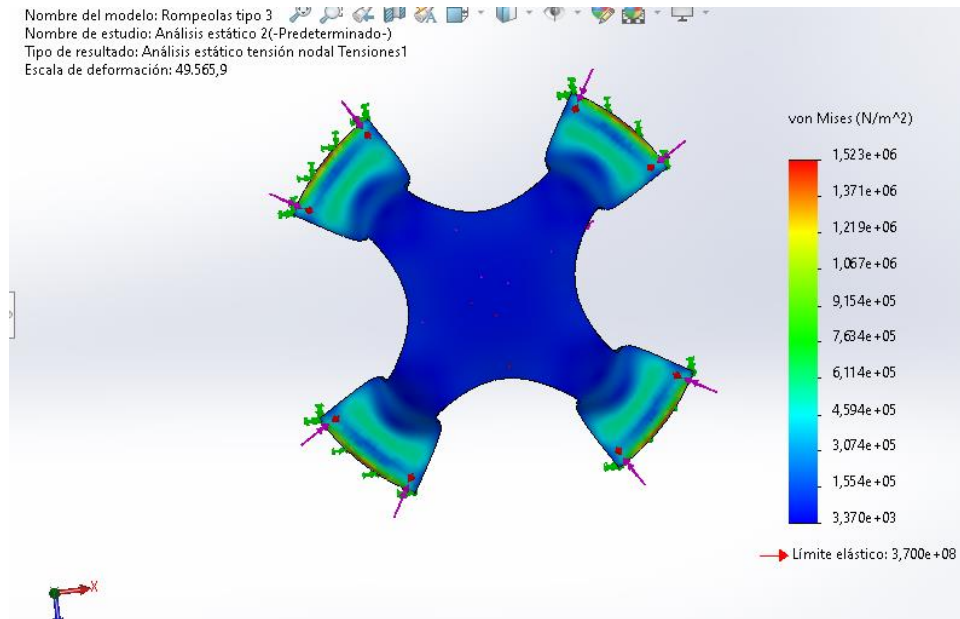


Imagen 19. Escala de colores de tensión de Von Mises para el rompeolas tipo 2

Para este nuevo modelo de rompeolas podemos ver como las tensiones de Von Misses alcanzan valores más elevados, e incluso los valores más críticos de tensión se alcanzan en los extremos. Esto nos da una idea de la cantidad de tensión que es posible soportar el rompeolas, por lo que podemos considerar que en este criterio el rompeolas tipo 2 presenta un comportamiento mejor al rompeolas tipo 1.

En el caso de las deformaciones que se presentan tenemos las siguientes distribuciones a lo largo de la superficie del rompeolas:

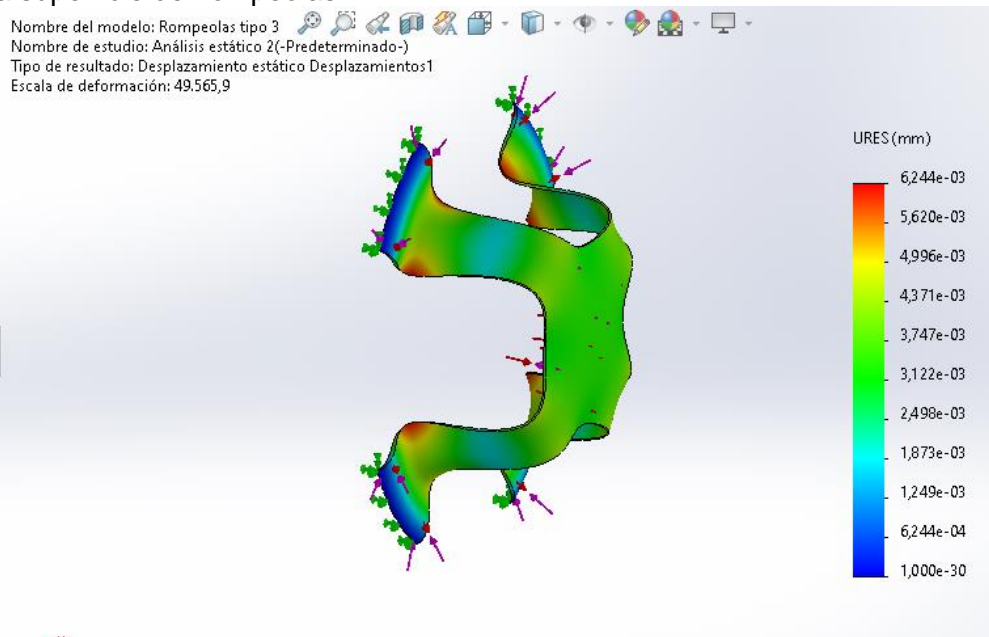


Imagen 20. Escala de colores de los desplazamientos resultantes para el rompeolas tipo 2

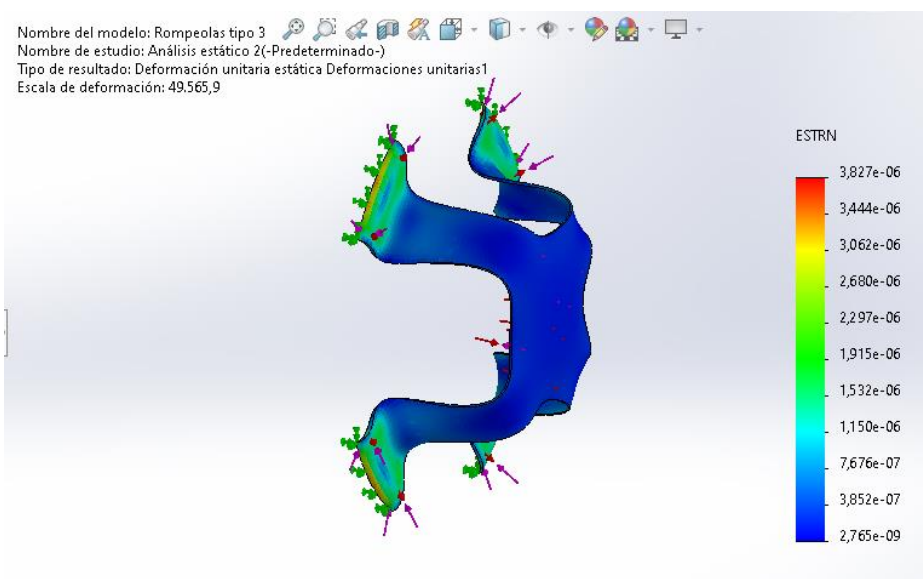


Imagen 21. Escala de colores de la escala de deformación unitaria para el rompeolas tipo 2

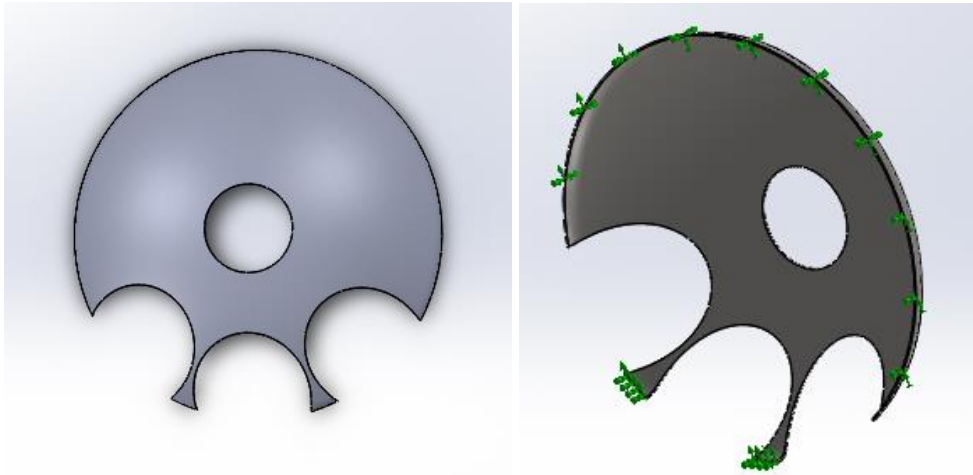
Como se puede observar las deformaciones principales se producirían generalmente en la sección donde se encuentran los orificios de suavizado de la ola de presión, en este caso en la periferia del rompeolas. Los valores de desplazamientos y deformaciones unitarias son bastante pequeños y muy similares a los del rompeolas del tipo 1, por lo que para la misma cantidad de esfuerzo podemos ver como la geometría del rompeolas tipo 2 sería más idóneo para su uso como transporte de mercancías peligrosas.

Otro dato que se puede visualizar es que la zona de los orificios que actúan como aliviaderos y paso de caudal entre compartimentos de la virola dentro de la cisterna concentran la gran

mayoría de tensiones a las que se ve afectado el rompeolas, razón por la que esta zona sea más propensa a este efecto de deformación.

ROMPEOLAS TIPO 3:

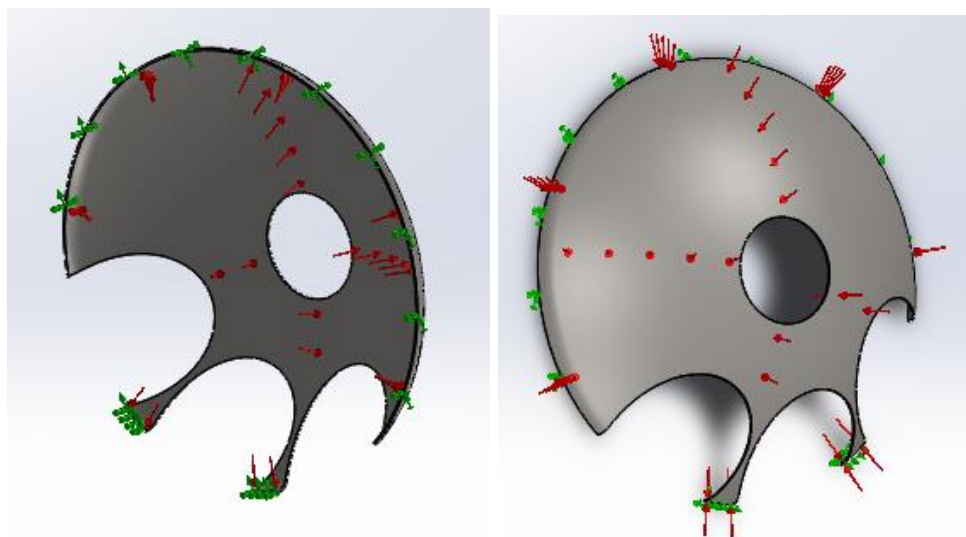
El último caso de rompeolas que se presenta es aquél que presenta un orificio pasante en su parte central, y tres en su parte inferior, para permitir el paso del fluido entre los distintos compartimentos de la cisterna:



Imágenes 22 y 23. Modelo de rompeolas tipo 3 realizado con SolidWorks donde se marca una geometría fija en sus bordes (flechas verdes)

Los esfuerzos a los que se verá sometido el rompeolas es similar a los casos expuestos anteriormente.

Del mismo modo, la cara interna podemos asumirla como aquella que soporta esfuerzos de presión del fluido (en rojo), mientras que la cara externa generalmente soporta esfuerzos de fuerza (en morado) y de presión.



Imágenes 24 y 25. Esfuerzos de presión (flechas rojas) y de fuerza (flechas moradas) en el modelo rompeolas tipo 3

A través de la herramienta “SOLIDWORKS” realizamos el mallado fino.

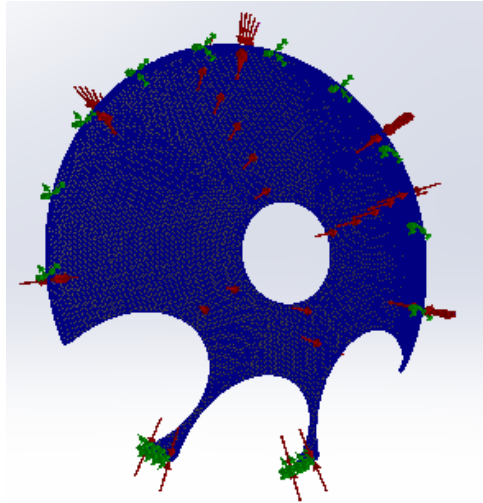


Imagen 26. Mallado del rompeolas tipo 3 para su posterior análisis estático

Como se puede observar, si sometemos al rompeolas a los esfuerzos descritos anteriormente obtenemos las siguientes informaciones:

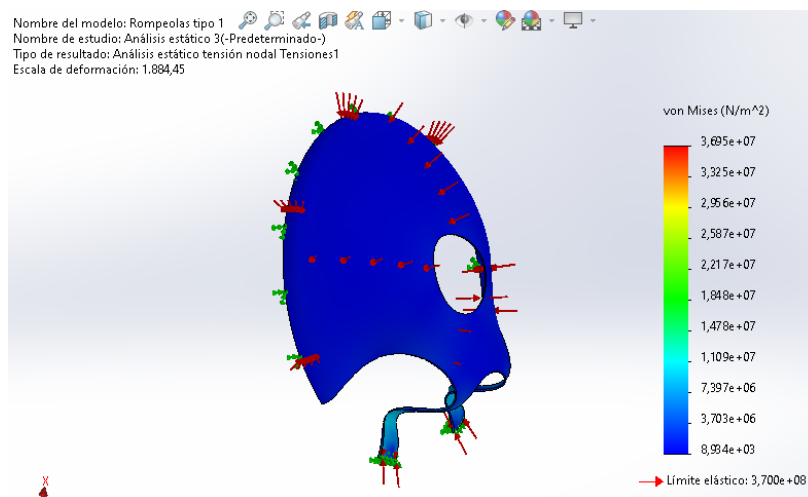


Imagen 27. Escala de colores de tensión de Von Mises para el rompeolas tipo 3

Para este nuevo modelo de rompeolas podemos ver como las tensiones de Von Misses alcanzan valores más elevados, e incluso los valores más críticos de tensión se alcanzan en los extremos. Esto nos da una idea de la cantidad de tensión que es posible soportar el rompeolas, por lo que podemos considerar que en este criterio el rompeolas tipo 3 presenta un comportamiento mejor al rompeolas tipo 1 y 2.

En el caso de las deformaciones que se presentan tenemos las siguientes distribuciones a lo largo de la superficie del rompeolas:

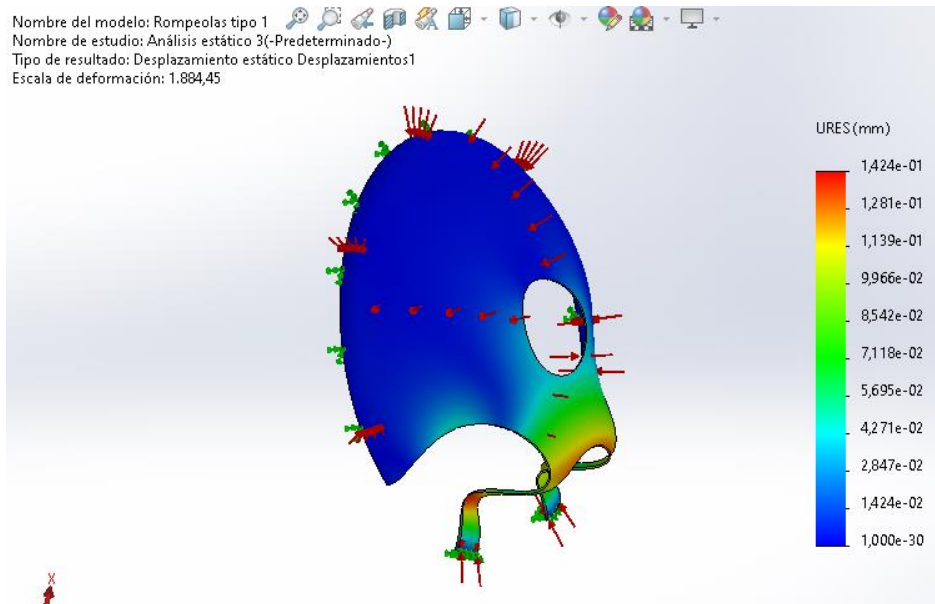


Imagen 28. Escala de colores de los desplazamientos resultantes para el rompeolas tipo 3

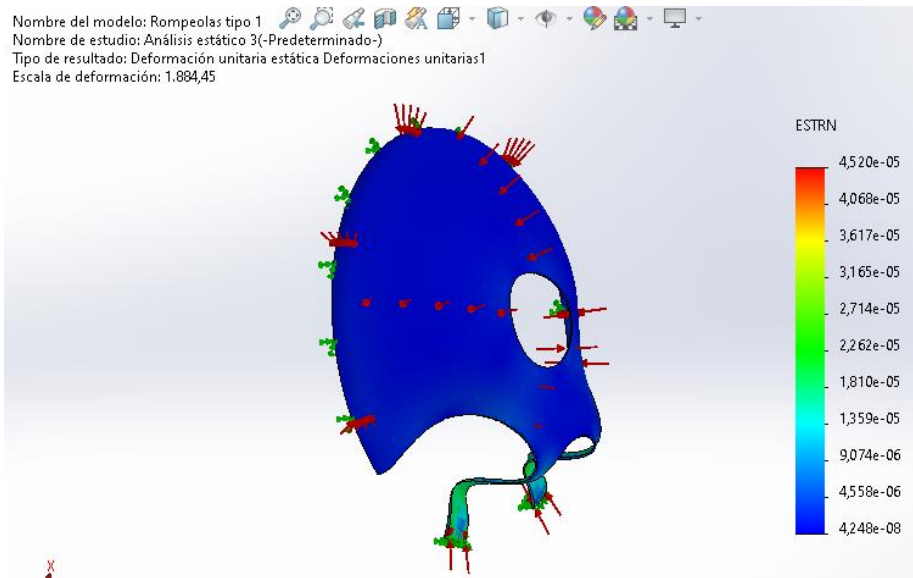


Imagen 29. Escala de colores de la escala de deformación unitaria para el rompeolas tipo 3

Como se puede observar las deformaciones principales se producirían generalmente en la sección donde se encuentran los orificios de suavizado de la ola de presión situados en la parte inferior del rompeolas.

A efectos de funcionamiento, podemos decir que el rompeolas tipo 3 presenta unas características mejores en comparación con los rompeolas tipo 1 y 2, ya que soporta unas tensiones mayores para el mismo nivel de esfuerzo, además de que la distribución de desplazamientos no es muy elevada.

Primera conclusión:

Basándonos en los datos proporcionados por el simulador de tensiones y deformaciones de SolidWorks podemos hacer una primera aproximación en cuanto al rompeolas idóneo para su uso. La escala de deformación es significativamente inferior en el rompeolas tipo 1, seguido del tipo 3 y continuando con el 2; esto nos puede dar una idea de cual escoger en primera instancia, pero también debemos de tener en cuenta otras características para dar con la solución adecuada.

El rompeolas tipo 1 presenta una tensión de Von Mises máxima bastante elevada, pero muy alejada del límite de tensión del material con el que se ha fabricado, y este punto se encuentra en la zona de los orificios centrales de dicho rompeolas.

En cuanto a los desplazamientos podemos observar cómo los máximos también se producen en dichos orificios, pero son valores relativamente bajos para este esfuerzo de cargas externas que hemos considerado, mientras que la parte en la que se sujeta el rompeolas el desplazamiento es considerablemente menor.

Las deformaciones unitarias también presentan valores pequeños, cuyos valores máximos se encuentran concentrados en los orificios y cuyos valores son muy pequeños.

El rompeolas tipo 2, en cambio, presenta una tensión de Von Mises máxima superior al rompeolas tipo 1, pero en este caso la mayor concentración de esfuerzos se produciría en los soportes de unión con la carcasa del rompeolas, por lo que sería una zona crítica para sufrir deformaciones.

Las deformaciones, en cambio, son mayores para el mismo esfuerzo de tensiones a las que se encuentra sometido el rompeolas, por lo que podemos llegar a la conclusión de que este rompeolas si soportara un mayor nivel de esfuerzos, pero en cambio las deformaciones que se producirían serían mayores.

El rompeolas tipo 3 llega a superar valores de tensión de Von Mises muy por encima de los otros dos tipos, mientras que su desplazamiento también sería significativamente superior a los dos casos citados anteriormente.

Podemos llegar a la conclusión de que, de estos 3 rompeolas, los idóneos serían los modelos 1 y 3, ya que el primero presenta una tensión de Von Mises aceptable y sus deformaciones son muy pequeñas, mientras que el modelo 3 soportaría una tensión bastante superior, pero también conllevaría un aumento del nivel de deformación que se produciría, eso sí, siempre teniendo en cuenta que se alcanzaría a un nivel de tensiones mayor que el del modelo 1.

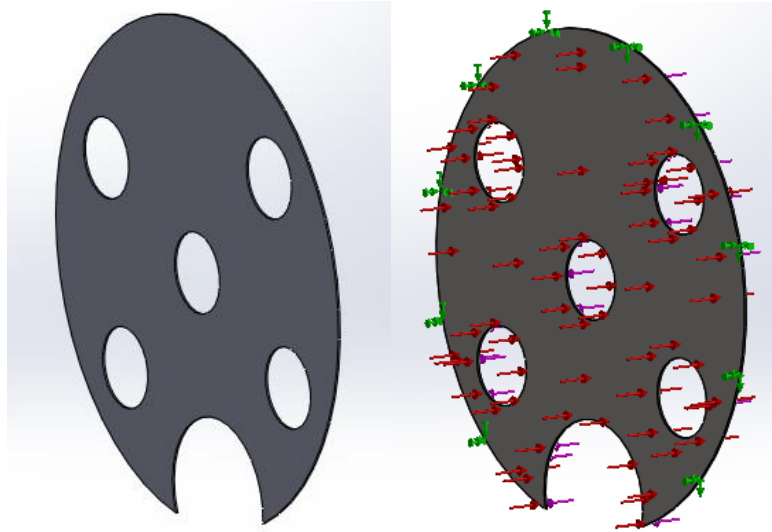
Se ha de tener en cuenta que el rompeolas se coloca con una forma ovalada ya que permite recoger una mayor concentración de líquido y por lo tanto suavizar la velocidad con la que se desplaza la onda de presión dentro de la cisterna, y también permite en cierto modo adaptarse a cualquier cambio de pendiente que se produzca durante la marcha del camión cisterna.

De igual modo, la simulación se ha realizado considerando estos esfuerzos actuantes sobre el rompeolas y con una contribución de estos de una manera aproximada, por lo que pueden existir diversas soluciones al mismo problema.

Si hacemos ahora la comparación considerando los rompeolas sin ninguna curvatura, es decir, como si fueran totalmente planos, o chapas planas, tendríamos la siguiente respuesta frente a esfuerzos de semejante magnitud:

Para el caso del rompeolas tipo 1:

Los esfuerzos actuantes son los mismos, por lo que pasamos a realizar exclusivamente la ejecución y resolución de lo obtenido una vez simulado el proceso.



Imágenes 30 y 31. Diseño del rompeolas plano tipo 1 mediante SolidWorks y representación de los esfuerzos a los que se encuentra sometido con flechas rojas (presión) y moradas (fuerza)

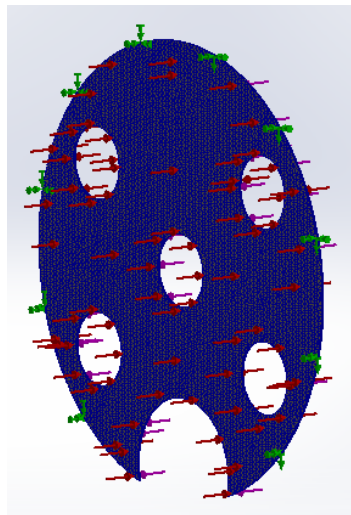


Imagen 32. Mallado del rompeolas plano tipo 1 para su posterior análisis estático

Los valores que se han obtenido tras la simulación quedan recogidos en las siguientes imágenes:

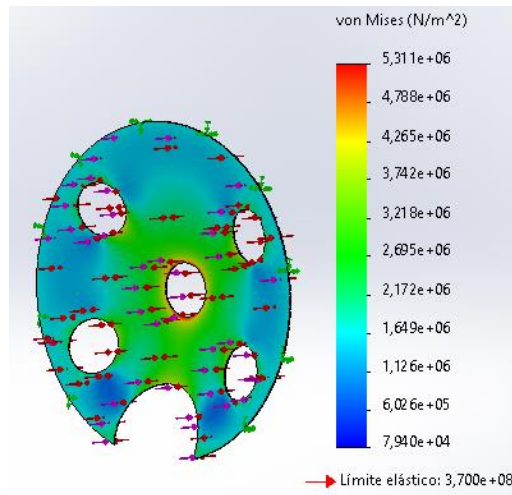
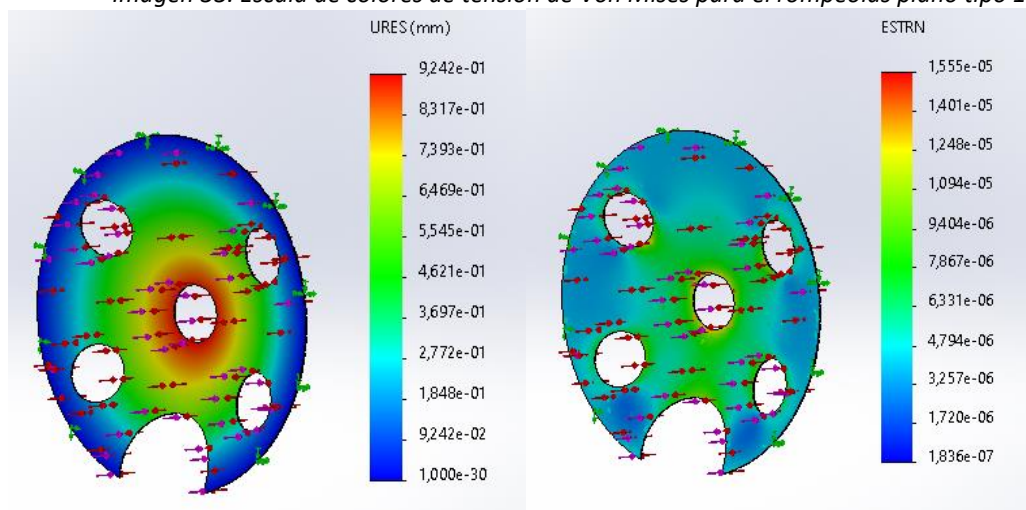
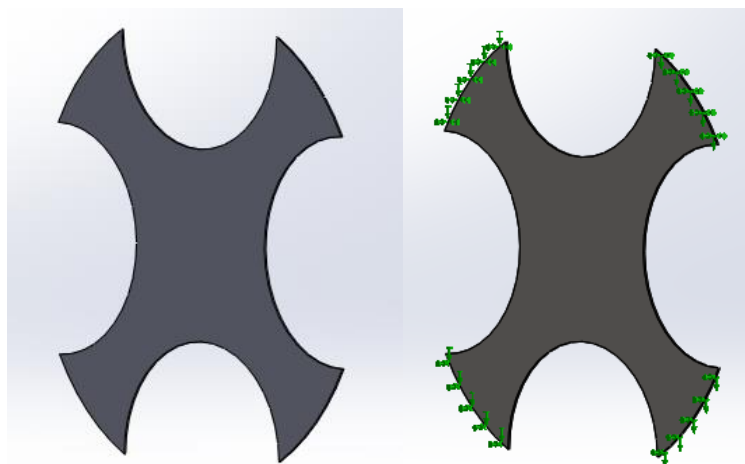


Imagen 33. Escala de colores de tensión de Von Mises para el rompeolas plano tipo 1



Imágenes 34 y 35. Escala de colores de tensión de desplazamientos resultantes y de escala de deformación unitaria para el rompeolas plano tipo 1

Para el caso del rompeolas tipo 2:



Imágenes 36 y 37. Diseño del rompeolas plano tipo 2 mediante SolidWorks

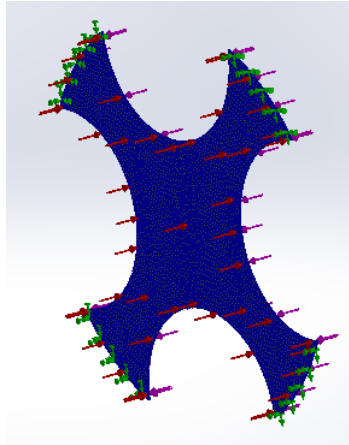


Imagen 38. Mallado del rompeolas plano tipo 2 y representación de los esfuerzos a los que se encuentra sometido con flechas rojas (presión) y moradas (fuerza)

Los valores que se han obtenido tras la simulación quedan recogidos en las siguientes imágenes:

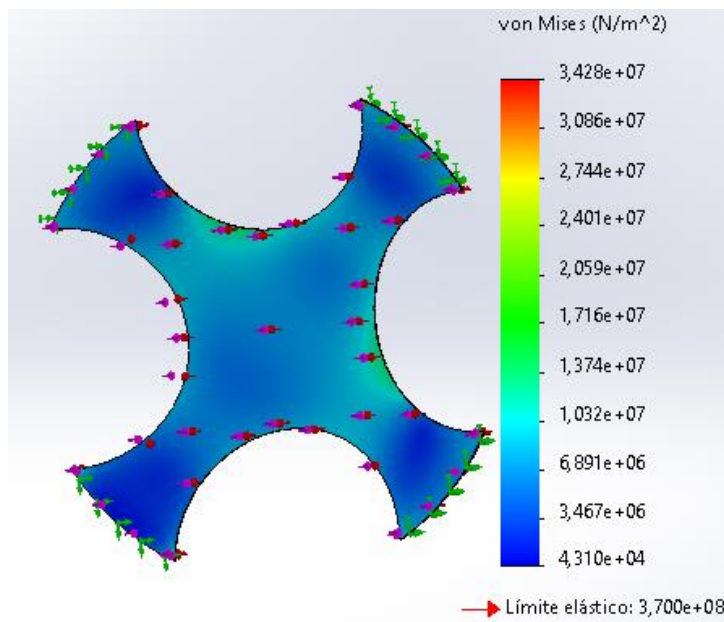
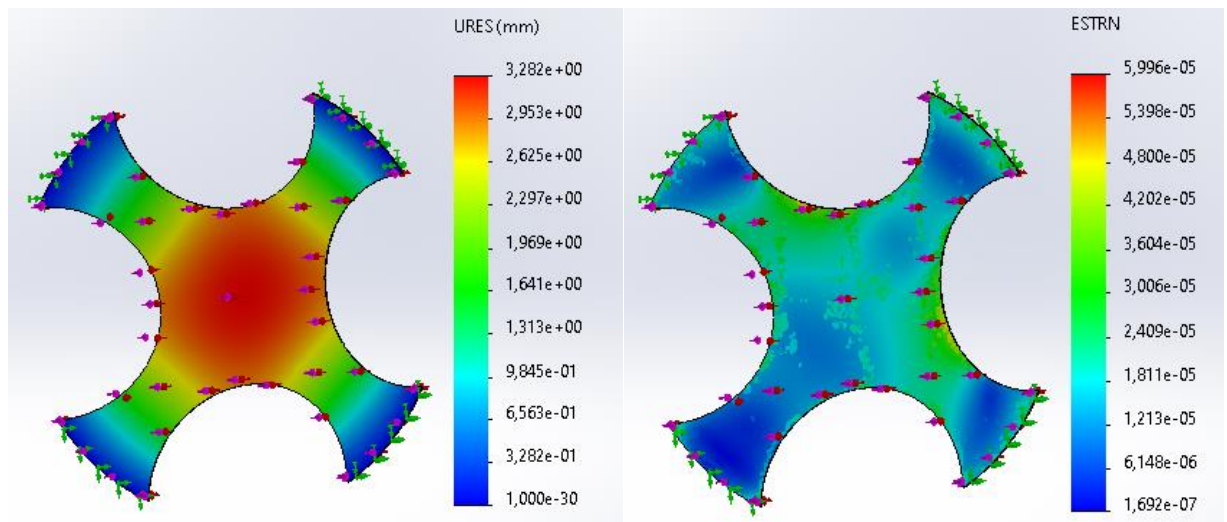
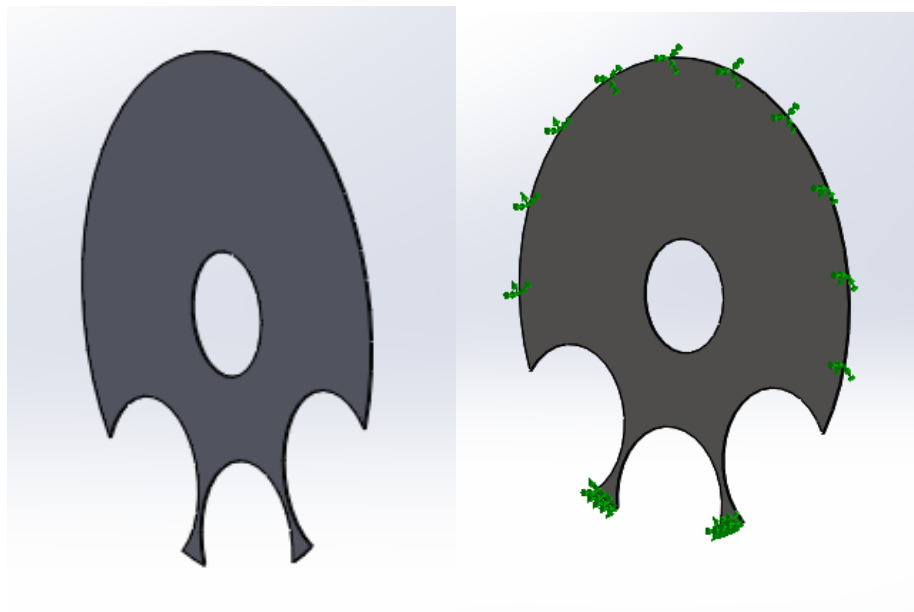


Imagen 39. Escala de colores de tensión de Von Mises para el rompeolas plano tipo 2



Imágenes 40 y 41. Escala de colores de tensión de desplazamientos resultantes y de escala de deformación unitaria para el rompeolas plano tipo

Para el caso del rompeolas tipo 3:



Imágenes 42 y 43. Diseño del rompeolas plano tipo 3 mediante SolidWorks

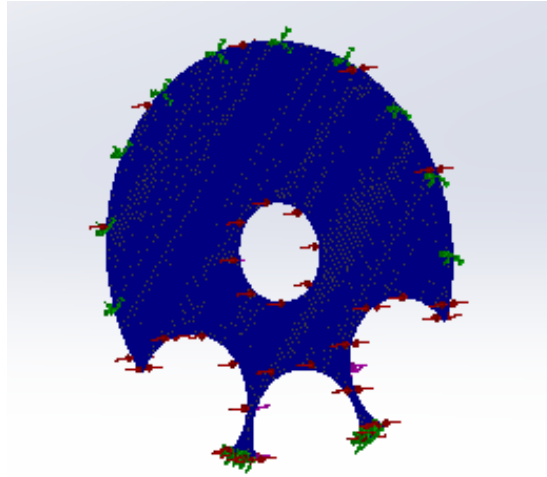


Imagen 44. Mallado del rompeolas plano tipo 3 y representación de los esfuerzos a los que se encuentra sometido con flechas rojas (presión) y moradas (fuerza)

Los valores que se han obtenido tras la simulación quedan recogidos en las siguientes imágenes:

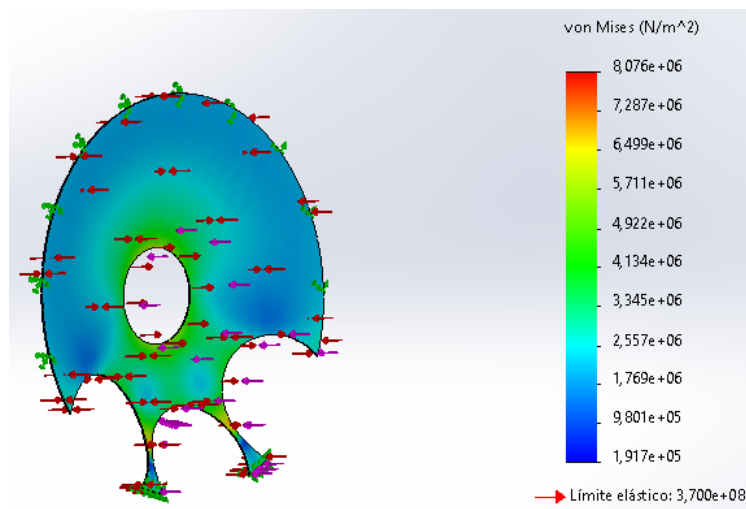


Imagen 45. Escala de colores de tensión de Von Mises para el rompeolas plano tipo 3

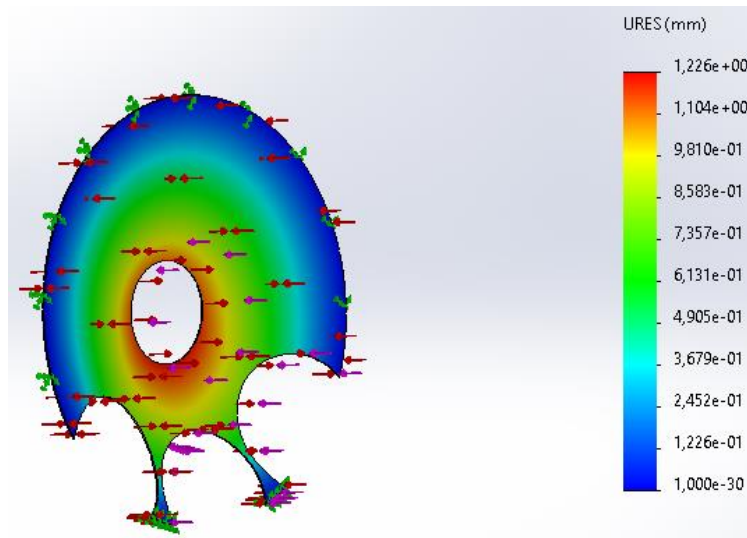


Imagen 46. Escala de colores de desplazamientos resultantes para el rompeolas plano tipo 3

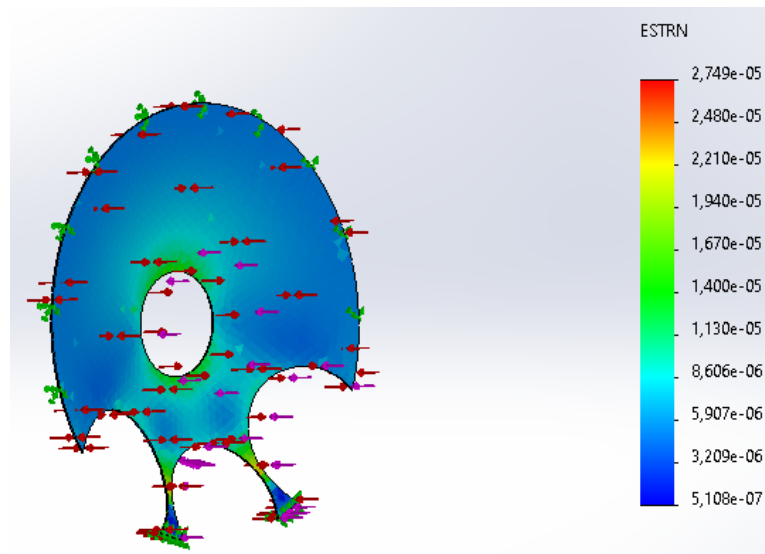


Imagen 47. Escala de colores de tensión de deformación unitaria para el rompeolas plano tipo 3

Como se puede observar, en el caso del diseño totalmente plano la tensión soportada es algo inferior al diseño ovalado. Del mismo modo se puede observar cómo las deformaciones son mayores en el diseño plano para la misma sollicitud de esfuerzos.

Podemos llegar a la conclusión que el rompeolas debe de presentar una forma ovalada para atenuar el efecto ola dentro de la cisterna, pero teniendo en cuenta que este radio no debe de ser excesivo, ya que puede dar lugar a un comportamiento contradictorio en el efecto de atenuación y provocar la rotura del rompeolas con el transcurso del tiempo.

2.1. El efecto ola. Fenómeno físico, explicación y fundamento teórico:

El efecto ola se produce al transportar líquidos generalmente en el compartimento de una cisterna o un recipiente tanto abierto como cerrado, cuando dicho compartimento está a medio cargar de líquido, lo que hace que, en cualquier cambio de giro, se produzca un balanceo debido al

desplazamiento del centro de gravedad, que, si es muy inestable, puede llegar a volcar el vehículo.

Uno de los momentos más críticos de este tipo de dispositivos es cuando se llena a media carga, ya que, para las demás cargas, ya sean tipo total o vacío, no producen este efecto. En la cisterna se pueden dar diferentes centros de gravedad en función de si se está circulando por una carretera recta o bien si se va a tomar una curva:

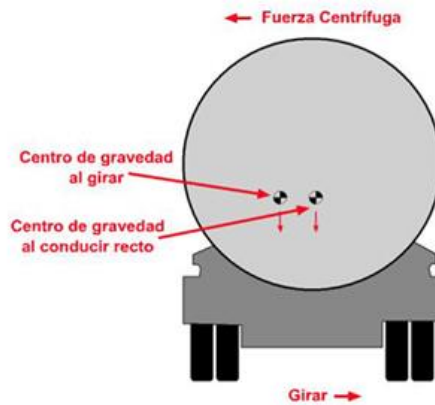


Imagen 48. Representación esquemática de los centros de gravedad que se producen en la cisterna en diferentes situaciones de transporte

El efecto más peligroso que puede darse dentro del compartimento es cuando la carretera está bacheada o en forma de S, que lo que hace es que la carga se balancee de un lado hacia otro y pueda provocar un vuelco si esto no se controla.

Por eso se emplean el uso de compartimentos rompeolas, que lo que hacen es evitar que el líquido se acumule y que pueda generar movimientos en la carga que puedan llegar a desestabilizar el compartimento o el vehículo.

Siempre y cuando no se dispone de este sistema rompeolas, lo que se busca es que se trabaje con la cisterna cargada totalmente, ya que atenuaría la aparición de este efecto.

El transporte de líquidos conlleva tener cuidado con los movimientos bruscos cuando estamos transportando la carga, comprobar antes del viaje que la cisterna dispone de sistemas rompeolas, y además evitar en la medida de lo posible que los desplazamientos se realicen a media carga con líquidos.

En las siguientes imágenes se puede observar con mayor claridad el efecto que se produce dentro de la cisterna cuando disponemos o no de sistemas rompeolas:

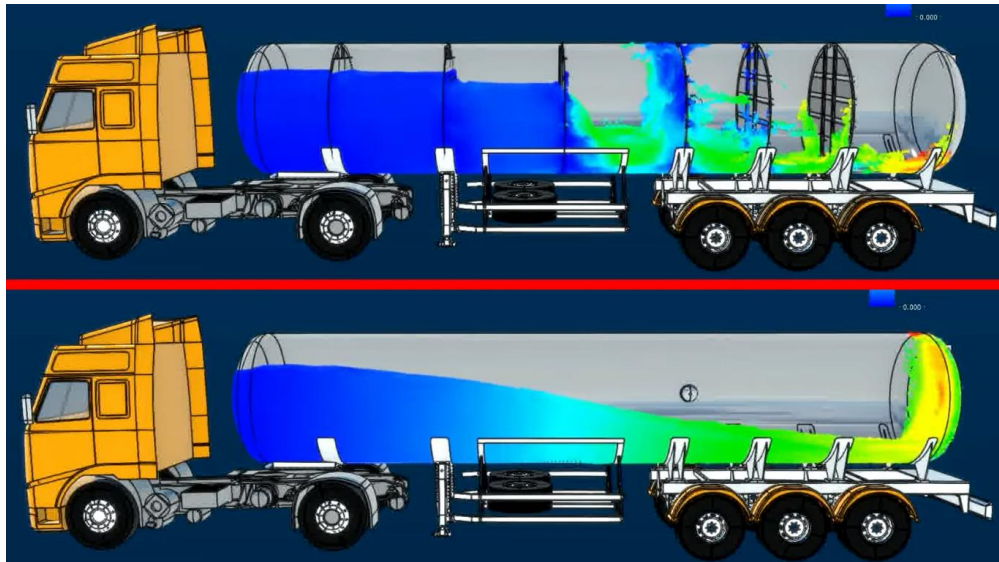


Imagen 49. Efecto ola producido tras el primer frenazo del camión o en situación de carga, donde se pueden observar picos de velocidad máxima en colores llamativos (amarillo y rojo)

En este primer caso tenemos cuando se produce un frenado normal del camión. Como podemos observar, toda la ola de presión choca con la parte inferior de la cisterna a una gran velocidad. En el caso del rompeolas vemos como este efecto ola se va aminorando conforme se cambia de compartimento, llegando a la parte inferior con una velocidad bastante inferior a como llegaría si se tratara de una cisterna sin rompeolas incorporados.

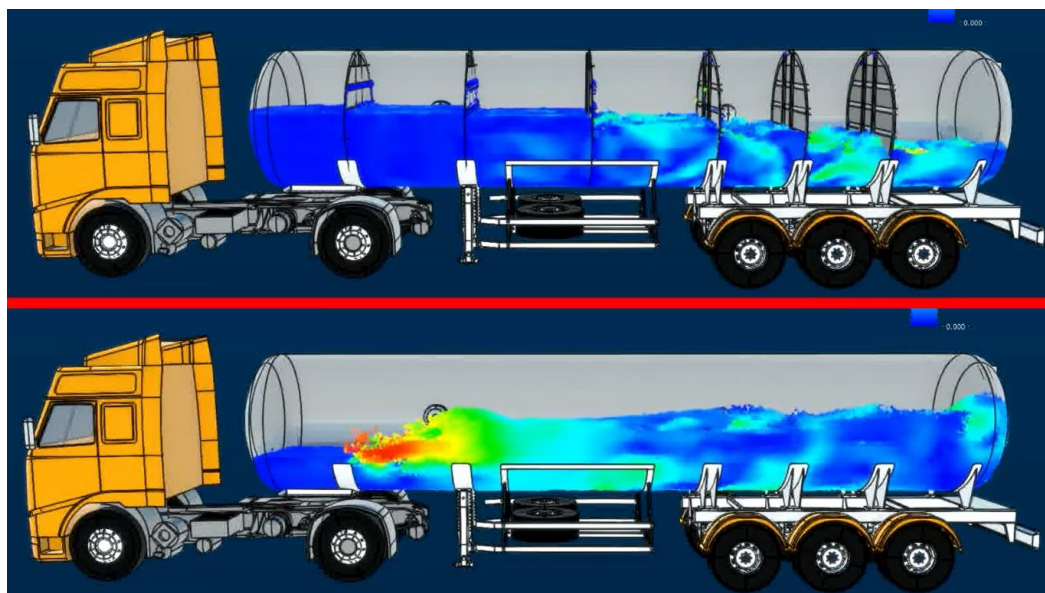


Imagen 50. Efecto ola producido por el efecto vuelta de la primera ola de presión donde se pueden observar picos de velocidad máxima en colores llamativos (amarillo y rojo)

En esta segunda imagen podemos observar como en la parte de la cisterna con rompeolas el fluido se ha estabilizado casi por completo, y no se produce un efecto vaivén hacia la parte superior de la cisterna. En cambio, si nos damos cuenta de la imagen inferior, podemos ver como el efecto de la ola lleva una velocidad mucho más elevada que la de partida (como se puede observar con picos rojo y amarillo), por lo que la ventaja de disponer rompeolas dentro de la cisterna es más que evidente.

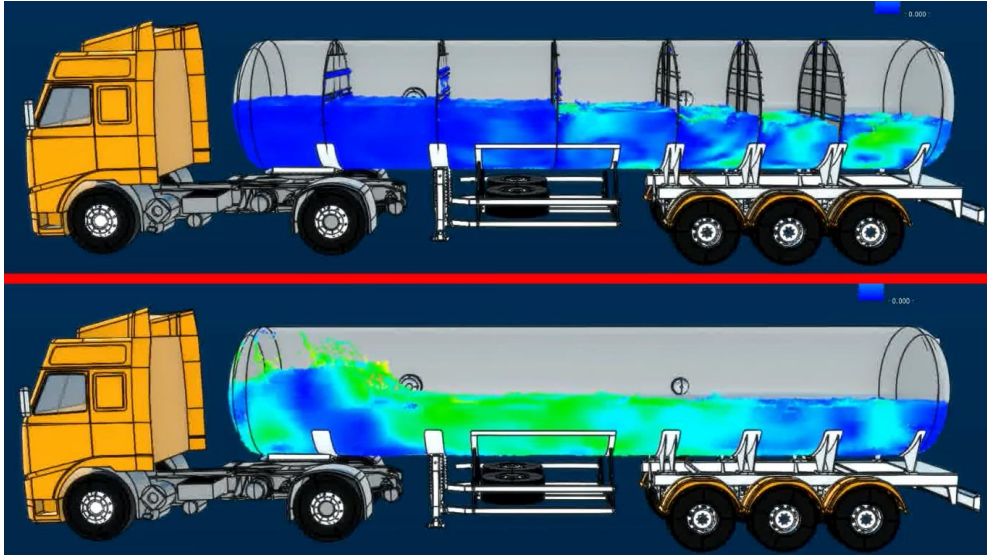


Imagen 51. Segundo efecto ola dentro de la cisterna, donde se pueden observar unos picos de velocidad menores (amarillo)

Mientras que la cisterna con rompeolas incorporados ha logrado estabilizarse casi por completo, vemos que la cisterna sin rompeolas todavía genera otra ola que vuelve hacia la parte interior de la cisterna con una cierta velocidad.

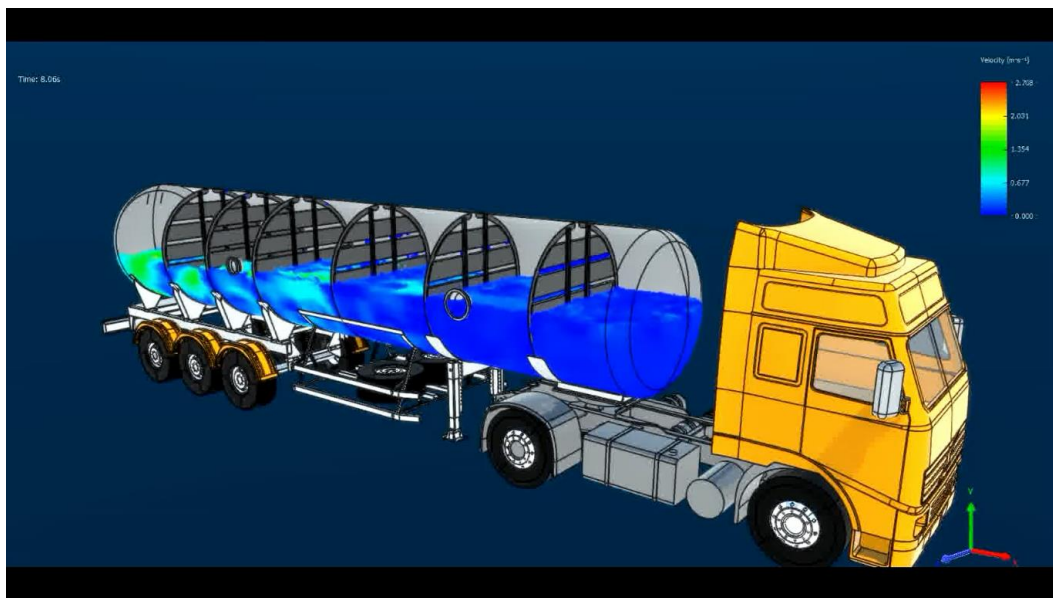


Imagen 52. Modelo estabilizado del funcionamiento de los rompeolas dentro de la cisterna, donde se observa una atenuación en la velocidad de la onda de presión

La estabilidad de la cisterna se consigue cuando se disponen de los rompeolas adecuados, con su correcta separación y con la geometría lo más eficiente posible para atenuar al máximo el efecto ola que se produce.

La principal ventaja además de reducir el efecto ola que puede resultar perjudicial para el conjunto depósito-soporte de la cisterna es que evita que se produzcan velocidades muy elevadas, atenuándose también los picos de tensión y de presión que se podrían llegar a alcanzar dentro de la cisterna.

3. Otros elementos que conforman el compartimento de la cisterna:

3.1. Virolas:

Una virola corresponde a “una parte del depósito de la cisterna que habitualmente suele tener forma cilíndrica, aunque puede tener también forma troncocónica, y hace que esta cisterna sea un recipiente totalmente cerrado.” (Normativa ADR 2021)

En nuestro caso tenemos 4 virolas diferentes, aunque semejantes en cuanto a diámetro y longitud transversal.

Virola 1: Es la que comprende la primera parte de la cisterna y únicamente presenta orejas de izaje en su superficie. Dichas orejas se encuentran situadas un ángulo de 40° respecto al eje transversal de la superficie circular.

Virola 2: En la segunda virola la diferencia es que se le añaden 2 orificios de igual diámetro, en el que el situado más a la izquierda de la imagen siguiente es el que se encuentra la válvula de fondo para la fase líquida, mientras que el que se encuentra situado a la derecha corresponde a la válvula de fondo de la fase gaseosa. Del mismo modo la virola tendría en su interior una tubería de válvula de fondo a fase gaseosa.

Virola 3: esta tercera sección que compone la cisterna presenta tres orificios, el situado más a la izquierda para la toma de indicador de nivel, la que se sitúa en la parte central para el termómetro mientras que la situada a la derecha hace la conexión al termómetro. Visto la virola desde su parte frontal presenta una longitud de vástago del termómetro de unos 1730mm en relación con los 2500mm de diámetro de la cisterna, para que tome correctamente la temperatura de dicho fluido en todo momento y así evitar situaciones extremas.

Virola 4: en la última sección de nuestra cisterna tenemos que esta presenta un orificio para la válvula de alivio, y una oreja de izaje de igual geometría que la virola 1 mencionada anteriormente.

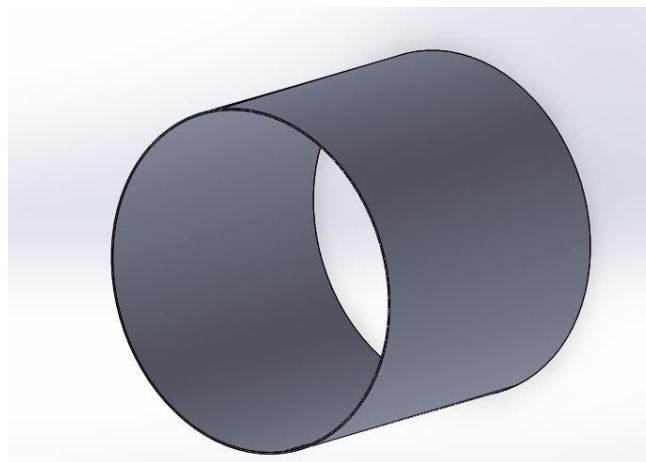


Imagen 53. Diseño de la virola que compone el cuerpo de la cisterna

Una vez establecidas las 4 partes que componen la cisterna, el conjunto de las 4 virolas queda ensamblado de la siguiente manera:

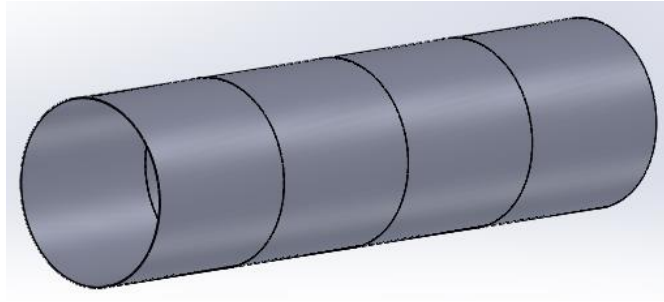


Imagen 54. Ensamblado de las 4 virolas que componen la totalidad del cuerpo de la cisterna

El material empleado para la realización de estas virolas y de la totalidad de elementos que componen el cuerpo de la cisterna es un Acero P460NH con baja aleación al Carbono-Manganeso.

3.2. Oreja de izaje:

Las orejas de izaje son elementos de sujeción del tanque. Su principal función es “dar los puntos de apoyo para que el tanque pueda ser elevado y de esta manera transportarlo hasta el sitio donde va a operar.” (Normativa ADR 2021)

En cuanto a su geometría, está compuesto por dos placas con orificios que se sueldan en el tanque para sujetarse al cuerpo cilíndrico del mismo.

La geometría de la oreja de izaje queda como se presenta a continuación:

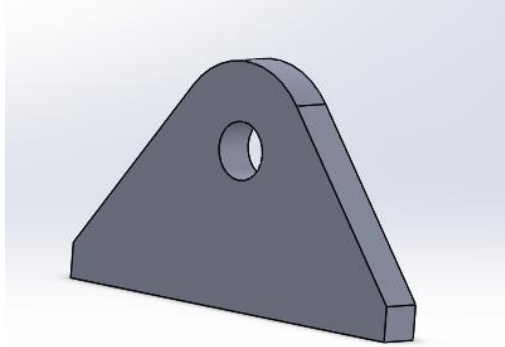


Imagen 55. Diseño de la oreja de izaje

Las orejas de izaje se encuentran soldadas a las virolas 1 y 4 para que su uso sea lo más eficiente posible, ya que esto permitirá un correcto desplazamiento de la cisterna y del mismo modo conseguirá que el recipiente se encuentre lo más estable posible.

3.3. Boca hombre “brida incrustada”:

El siguiente elemento en la cisterna es la boca hombre. En este caso tenemos la brida incrustada, que es la que se encuentra soldada a la cisterna.

La boca hombre es una “apertura que se encuentra en el depósito y que permite la inspección del material que esta contiene por parte de una persona que puede pasar a través de ella con facilidad.” (Normativa ADR 2021)

En nuestro caso tenemos una boca de sección circular con 20 orificios que no son totalmente pasantes, a partir de los cuales se enroscará posteriormente una tapa ciega con unos tornillos de métrica M36.

La geometría de la brida incrustada es la siguiente:

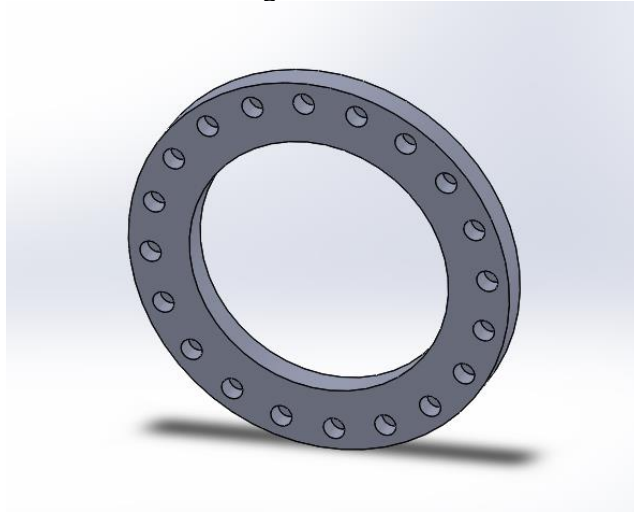


Imagen 56. Diseño de la brida incrustada

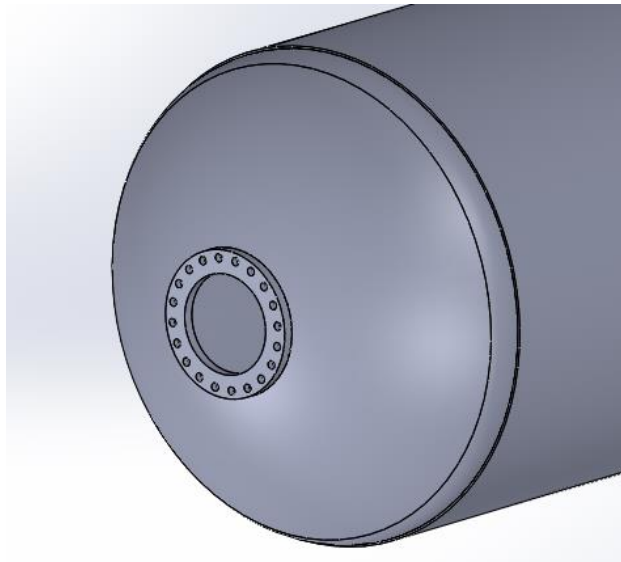


Imagen 57. Brida incrustada soldada al fondo posterior de la cisterna

3.4. Boca hombre “tapa ciega”:

La tapa ciega permite cerrar totalmente la brida incrustada para evitar así cualquier vertido fuera de la cisterna y que se produzca un cierre totalmente compacto.

Las dimensiones son exactamente iguales en ambos elementos, lo único que varía es que en este caso los agujeros donde van insertados los tonillos M39 si son totalmente pasantes y en este caso la tapa es totalmente llena.

La geometría de la tapa ciega es la siguiente:

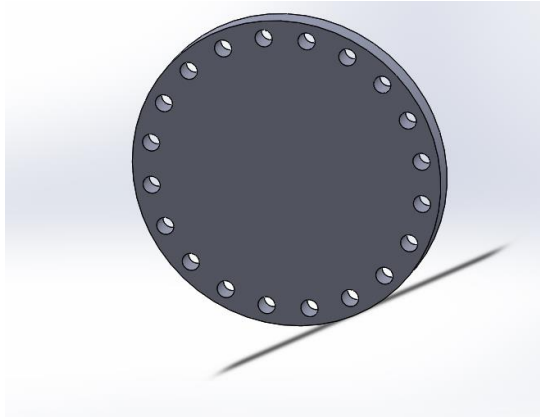


Imagen 58. Diseño de la tapa ciega

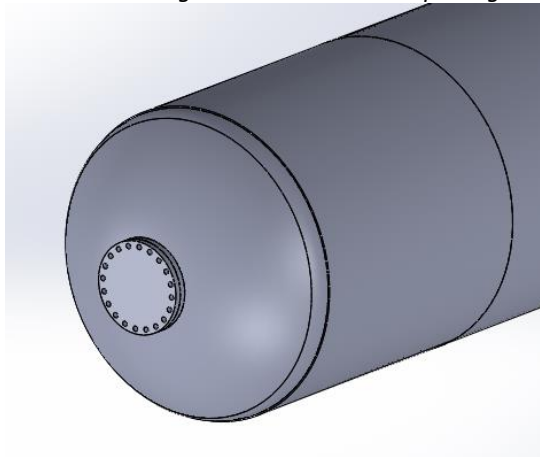
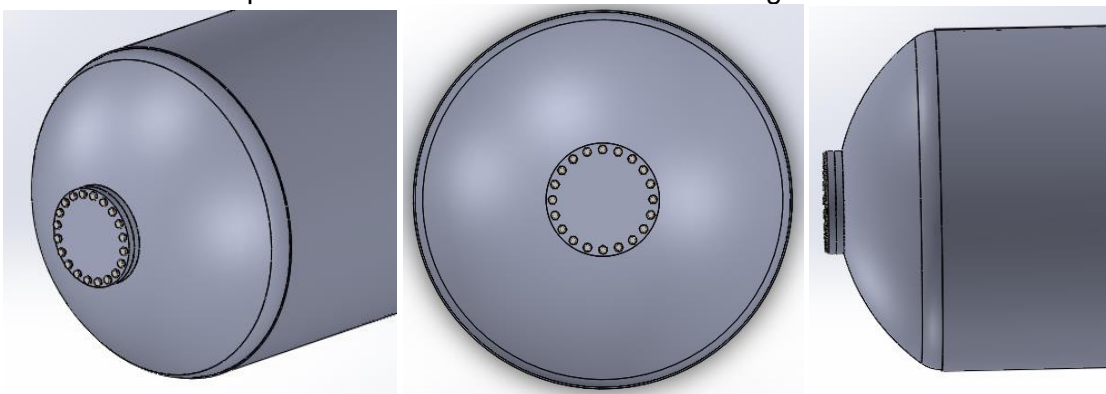


Imagen 59. Tapa ciega unida a la brida incrustada a falta de colocar tornillos

Este elemento anterior debe ser lo suficientemente resistente como para evitar vuelcos o vertidos durante la marcha o el estacionamiento del depósito, por lo que debe de ir perfectamente encajado a la brida incrustada a través de los tornillos anteriormente citados.

La tapa ciega queda perfectamente encajada a la brida incrustada a través de tornillos de métrica M36. Esta brida incrustada se encuentra soldada al fondo posterior de la cisterna, por lo que si ensamblamos los 3 componentes anteriores el resultado es el siguiente:



Imágenes 60, 61 y 62. Ensamblaje en perspectiva isométrica, alzado y perfil del fondo trasero, brida incrustada y tapa ciega con los tornillos M36

Si ahora incluimos los tornillos M36 tenemos que los 3 componentes forman un único ensamblaje, y esta tapa podrá ser abierta según la manipulación que le quiera realizar el operario para su limpieza interior.

3.5. Fondos delanteros y posteriores:

Los fondos son tipo Klopper con un espesor de 15mm. El fondo delantero se encuentra lleno en su totalidad, mientras que el fondo posterior presenta un agujero totalmente pasante donde debe ir insertada la boca hombre.

La geometría del fondo delantero es la que se muestra a continuación:

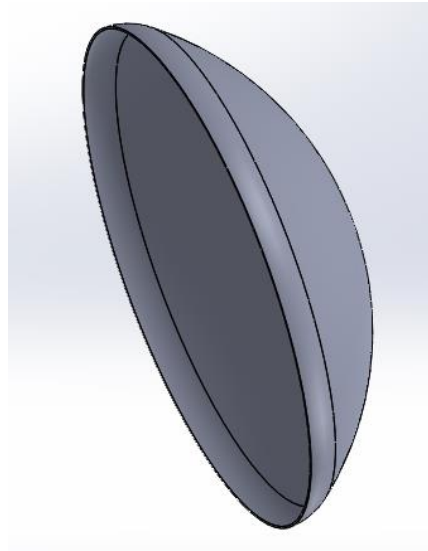


Imagen 63. Diseño del fondo delantero de la cisterna

En cuanto al fondo posterior, tenemos que su geometría es la siguiente:

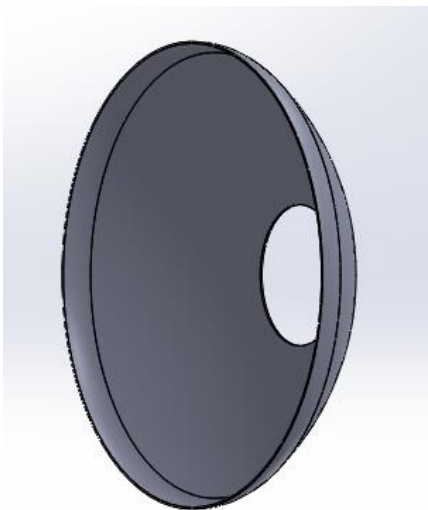


Imagen 64. Diseño del fondo posterior de la cisterna

3.6. Rompeolas:

Los rompeolas son “elementos que permiten lograr la estabilidad del fluido dentro del depósito, evitando que se produzca un efecto ola dentro de la cisterna y atenuando las posibles consecuencias que podría llevar el no limitar este fenómeno.” (Normativa ADR 2021)

El espesor debe ser igual o superior al espesor de la cisterna de 15mm, mientras que su distribución dentro del cuerpo de la cisterna es de tal modo que sea efectivo su uso. Para nuestro proyecto hemos hecho uso de varios rompeolas con diferente geometría, y posteriormente, en el apartado de simulación escogeremos cual es el más conveniente para nuestro proyecto en base a tensiones admisibles y eficacia de este.

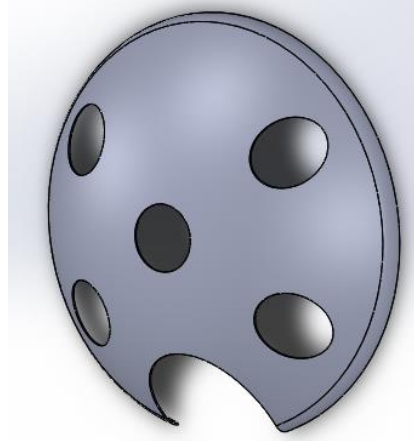


Imagen 65. Diseño del primer tipo de rompeolas

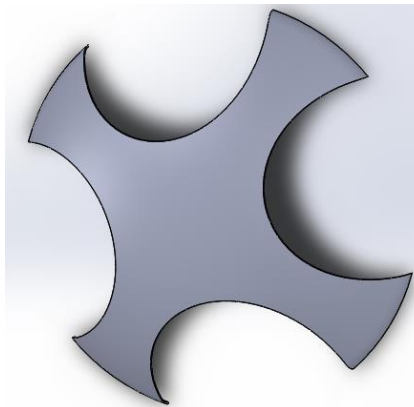


Imagen 66. Diseño del segundo tipo de rompeolas

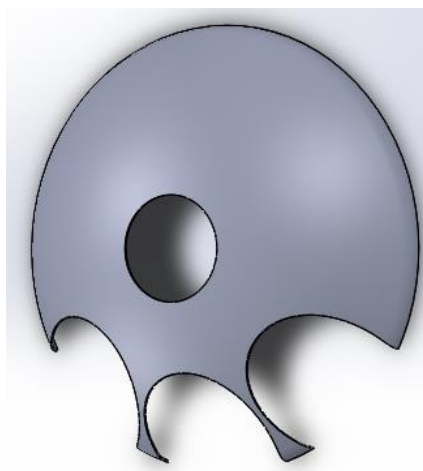


Imagen 67. Diseño del tercer tipo de rompeolas

Una vez establecida la geometría de los rompeolas, la distribución dentro de la cisterna queda como se presenta a continuación:

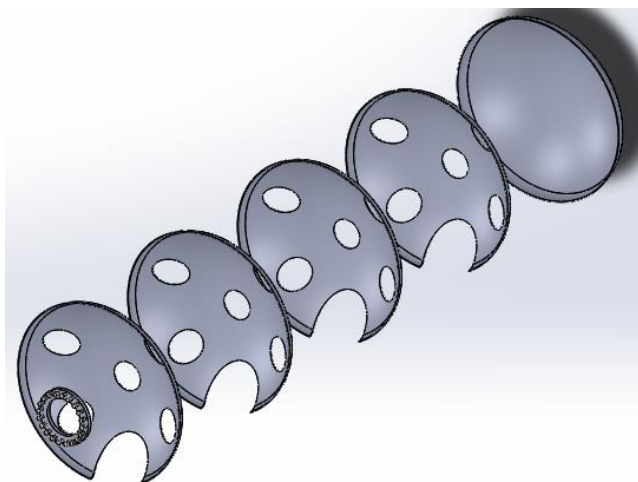


Imagen 68. Ensamblaje de los rompeolas dentro de la cisterna, con el modelo rompeolas 1

Los rompeolas se encuentran distribuidos dentro de la cisterna de tal modo se componen de 4 en su totalidad, 3 colocados entre las juntas de las virolas, y el siguiente con el fondo posterior.

Cabe destacar que, según la longitud que presente dicha cisterna, deberá disponer de más o menos rompeolas de acuerdo con la normativa vigente.

Una vez definidos los elementos que componen la cisterna, esta queda ensamblada del siguiente modo:

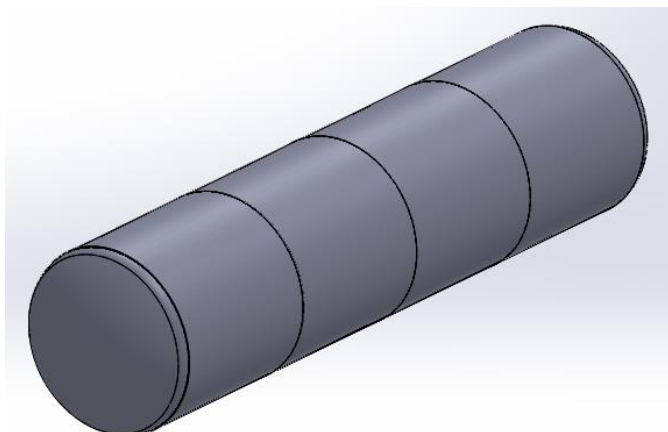


Imagen 69. Ensamblaje de la cisterna completa sin accesorios vista por su fondo delantero

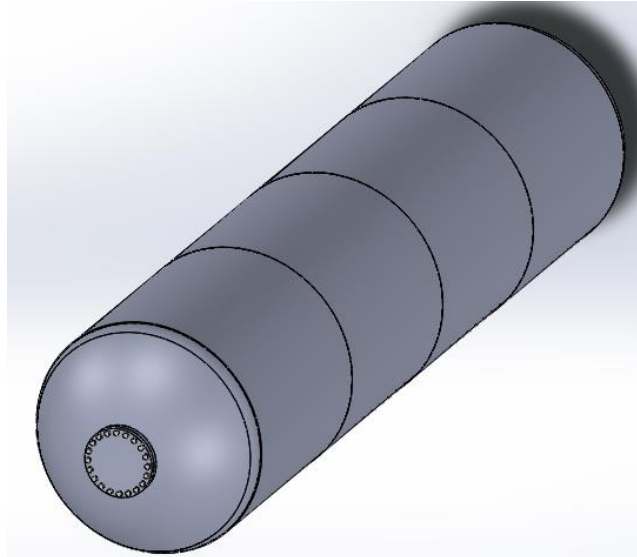


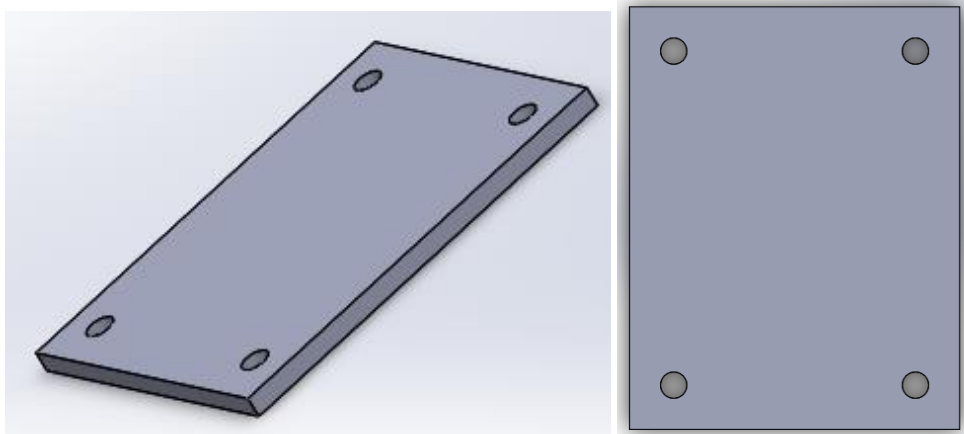
Imagen 70. Ensamblaje de la cisterna completa sin accesorios vista por su fondo posterior

3.7. Conjunto soporte de fijación:

El siguiente elemento que compone la cisterna es su fijación al remolque del camión de transporte.

Para ello se tiene que modelar el soporte de anclaje a través de dos elementos, por un lado, tenemos la placa de anclaje formada por una geometría rectangular y 4 agujeros pasantes (1 en cada esquina de la placa) en los que se introducen tornillos de métrica M20.

El modelado queda como el que se presenta a continuación:



Imágenes 71 y 72. Diseño del soporte de anclaje visto en perspectiva isométrica y en planta

Por otro lado, debemos tener en cuenta también la viga de unión entre la placa de anclaje y la base del soporte que va soldado a la cisterna. La viga presenta un perfil HEM 200:

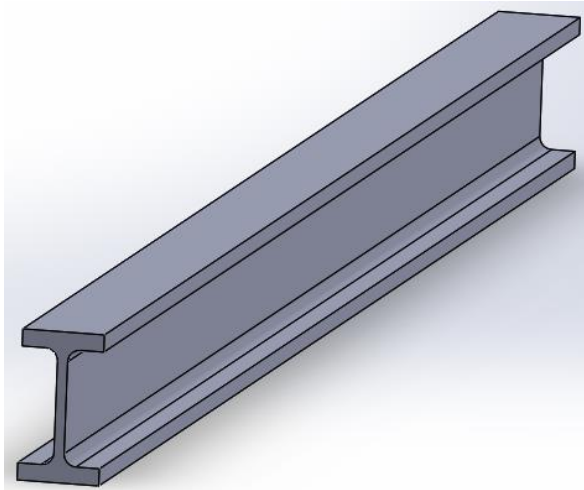


Imagen 73. Diseño de la viga

La placa deberá ir soldada a la viga, y de este modo tendríamos el primer ensamblaje del soporte.

Por otro lado, tenemos la base del soporte, que se une a la placa de anclaje a través de tornillos y tuercas de métrica M20, y que irá soldado al soporte que está en contacto con la cisterna. La geometría de esta base es la siguiente:

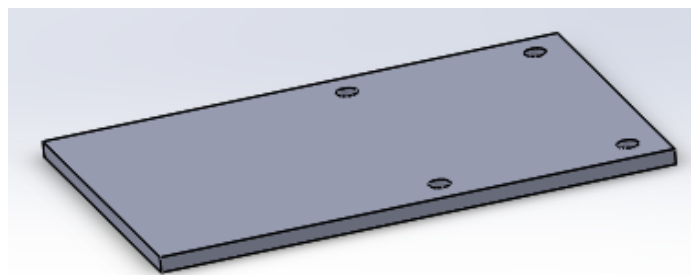


Imagen 74. Diseño del soporte base

Como se puede observar, la base y la placa tienen que coincidir para que se pueda enroscar correctamente los tornillos de métrica M20.

En cuanto al soporte que colinda con la cisterna, tenemos que su geometría es la siguiente:

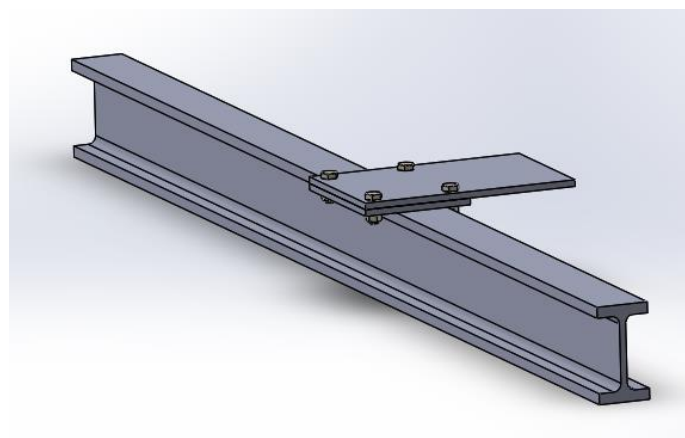
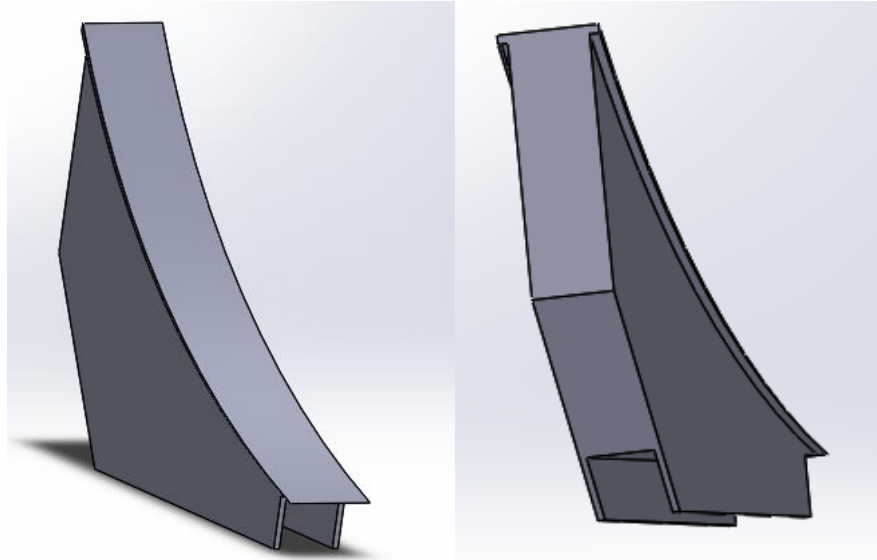


Imagen 75. Ensamblaje del soporte, excepto el soporte que colinda con la cisterna

En la imagen anterior tenemos ya el soporte base anclado a la placa que se encuentra soldada a la viga. Ambas placas se encuentran enroscadas a través de tornillos de métrica M46 y tuercas de la misma métrica, asegurando así una unión rígida. Faltaría ahora el soporte que colinda con la cisterna. Dicho soporte se encuentra soldado al soporte base, y cuya forma es la siguiente, sin tener en cuenta el ensamblado de la Imagen 22:



Imágenes 76 y 77. Vista isométrica delantera y posterior del soporte que colinda con la cisterna

Si se une ahora dicho soporte al soporte base nos quedará ensamblado totalmente el soporte de nuestra cisterna.

Hay que tener en cuenta que tanto el soporte que colinda con la cisterna como la placa base que se encuentra unida a la viga están perfectamente soldadas, por lo que habrá que cuidar minuciosamente el procedimiento utilizado para garantizarnos que no se producirá ningún fallo durante su uso.

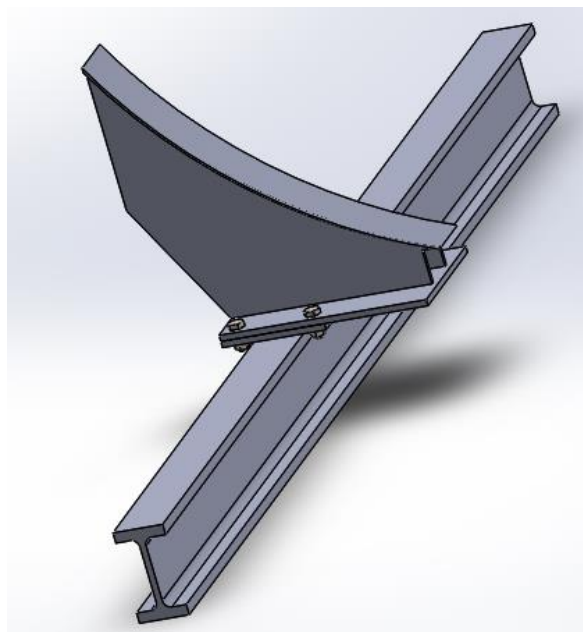


Imagen 78. Ensamblaje del soporte de la cisterna en su totalidad

3.8. Válvula de fondo modelo “Fisher C483-24”:

La válvula de fondo corresponde a una válvula interna de purga por chorro, y se utiliza con frecuencia en aplicaciones de tanques de camiones de transporte, aunque también se pueden utilizar en tanques de almacenamiento fijos, grandes y en instalaciones de línea.

“Las válvulas se pueden operar por cable o por aire, y están diseñadas para usarse aparte de para el octano, para el propano, el butano o el amoniaco anhidro, aunque realmente estas válvulas se podrían usar para cualquier elemento siempre que el usuario verifique con la fábrica para asegurarse de que estas válvulas sean adecuadas para realizar un servicio en particular.”
(Hoja de características válvula de fondo)

Las características principales que ofrece esta válvula de fondo son:

- “Área de sangrado de ecualización rápida patentada.”
- “Cierre por exceso de flujo.”
- “Facilidad de servicio.”
- “Empaquetadura de eje corto de politetrafluoroetileno con resorte.”
- “Almohadillas de desgaste de PTFE en puntos críticos de desgaste.”
- “Actuadores de válvula manual, de cable o de aire para poder abrirla o cerrarla.”
- “Eslabones o tapones termofusibles que se funden a temperatura de unos 100-104°C, y de este modo permiten el cierre de la válvula en el caso de que se produzca un incendio en ella.”



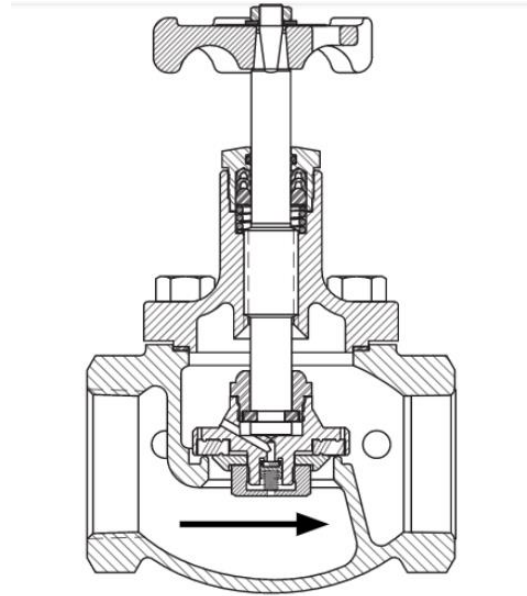
Imagen 79. Válvula de fondo

3.9. Válvula de sello en VRego modelo “A7518FP en ángulo”:

“Estas válvulas se diseñan específicamente para un cierre positivo y una larga vida de servicio libre de mantenimiento con líquido o vapor en cisternas de transporte de almacenamiento, y son ideales debido a su amplio tamaño y su uso con Gas LP, amoníaco anhidro y en diferentes industrias químicas y petroquímicas.” (Hoja de características válvula de sello)

Entre sus características destacan:

- “El sello del vástago a presión de resorte y anillo en V proporciona una operación sin fugas y sin empaques que reapretar ni reemplazar.”
- “El puente circular en el diseño de globo y el asiento caído en el diseño de ángulo logran un mayor flujo con menor caída de presión.”
- “El ensamble del asiento del disco giratorio evita que el asiento del disco roce con el del cuerpo. El asiento del disco deja de rotar tan pronto como toca el asiento del cuerpo, esta característica permite una buena alineación de los asientos y alarga la vida útil de los mismos.”
- “Sus conexiones NPT F de ¼ de pulgada taponadas al lado del cuerpo de la válvula permiten la colocación de una válvula de alivio hidrostático o de una válvula de ventilación.”
- “El sello del vástago de anillo en V elimina los elementos duros de girar que frecuentemente se encuentran en sellos del topo empaque.”
- “Las roscas ACME del vástago roladas y de trabajo pesado proporcionan una rápida acción y una larga vida de servicio.”



Imágenes 80 y 81. Válvula de sello en imagen normal y croquizada

3.10. Válvula de alivio modelo Fisher “H722-312”:

“Estas válvulas se encargan de limpiar las válvulas de descarga con un chorro de agua internas montadas y que trabajan para transportar amoníaco, el LP gas y otros gases comprimidos de diversos puntos a otros.

Su cuerpo de acero inoxidable hace que la válvula esté protegida mientras que permite la prueba ocasional a ocurrir según lo necesitado, además de que trabaja mejor que muchas aberturas ensanchadas del tanque.

Los asientos de la válvula también pueden permitir que los asientos sean sustituidos sin arriesgar la calidad de los puntos de ajuste de la relevación, y está disponible en forma de una llave del tamaño de la tuerca hexagonal que se puede agregar al zócalo de la válvula cuando ésta deba ser instalada o quitada, haciendo más fácil su trabajo para otro tipo de aplicaciones.” (Hoja de características de la válvula de alivio)

Entre sus características destacan:

- “Resistentes a corrosión y oxidación.”
- “Construcción de cuerpo y resortes con acero inoxidable.”
- “Diseño interno para aplicaciones móviles.”
- “Configuración de resorte estándar.”
- “Asiento de nitrilo (NBR).”



Imagen 82. Válvula de alivio

3.11. Indicador de nivel Rochester modelo “MAGNETEL C6342-11-108”:

“Este producto se utiliza para extender la cámara de marcación en cualquier medidor de volumen total y de nivel de líquido total que contiene el depósito lejos de la cabeza del medidor y lo suficientemente lejos como para pasar a través de la chaqueta aislante en los tanques de transporte por carretera, reduciendo así los efectos de refrigeración en la esfera.

El propósito de la extensión de la cabeza es extender la cámara de marcación de la brida de montaje del medidor, ya que aísla el dial de la cámara del tanque y permite el espacio aislante entre el tanque interno y la carcasa exterior.” (Hoja características indicador de nivel)

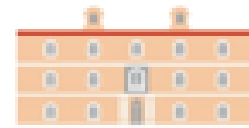


Imagen 83. Indicador de nivel



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Campus
de Excelencia
Internacional



industriales
equil UPCT

Planos de la cisterna

Documento 3

TRABAJO FINAL DE GRADO
GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

Autor: ISMAEL SÁNCHEZ LÓPEZ
Director: ISIDORO JOSÉ MARTÍNEZ MATEO
Codirector: JUAN JOSÉ HERNÁNDEZ ORTEGA



Análisis, cálculo y diseño de un sistema
rompeolas en una cisterna para el transporte de
octano por carretera aplicado a la normativa
ADR 2021

Documento III:
PLANOS

Fecha:
Febrero 2022

Hoja 1 de 16

ÍNDICE DOCUMENTO III

PLANO Nº 1 – ROMPEOLAS TIPO 1

PLANO Nº 2 – ROMPEOLAS TIPO 2

PLANO Nº 3 – ROMPEOLAS TIPO 3

PLANO Nº 4 – OREJA DE IZAJE

PLANO Nº 5– FONDO ANTERIOR

PLANO Nº 6 – FONDO POSTERIOR

PLANO Nº 7 – VIROLAS

PLANO Nº 8 – BOCA HOMBRE, BRIDA INCRUSTADA

PLANO Nº 9 – BOCA HOMBRE, TAPA CIEGA

PLANO Nº 10 – SOPORTE BASE

PLANO Nº 11 – PLACA SOPORTE BASE

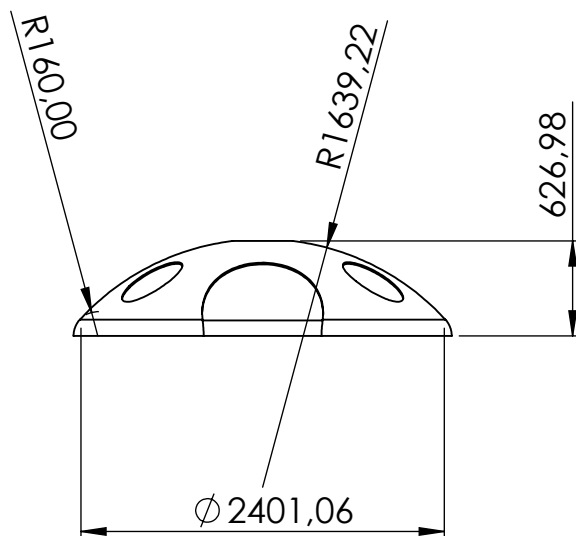
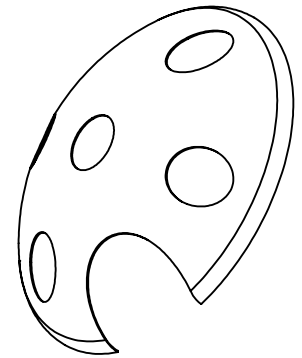
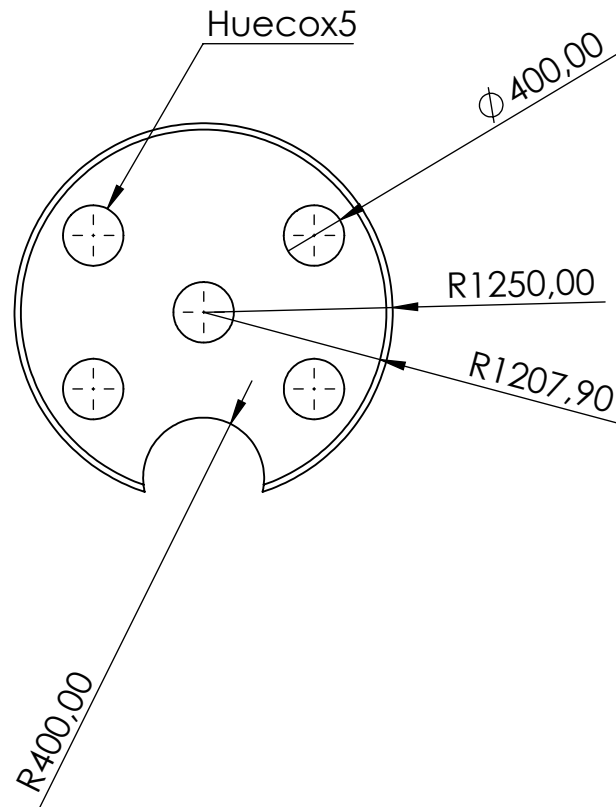
PLANO Nº 12 – PLACA DE ANCLAJE A LA VIGA

PLANO Nº 13 – CISTERNA ENSAMBLADA

PLANO Nº 14 – VÁLVULA DE ALIVIO MODELO Fisher H722-312

PLANO Nº 15 – VÁLVULA DE FONDO MODELO Fisher C483-24

PLANO Nº 16 – INDICADOR DE NIVEL MODELO Magnetel C6342-11-108



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE
CARTAGENA

Trabajo final de grado

Curso 2021/2022

Escala

Titulación

GITI

Plano N°1
Rompeolas tipo 1

1:1

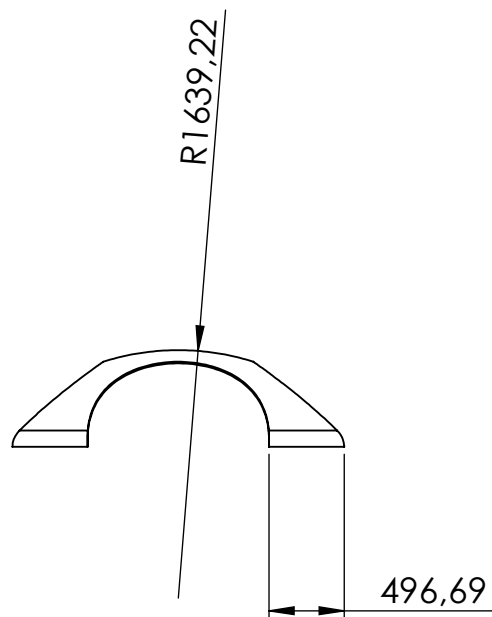
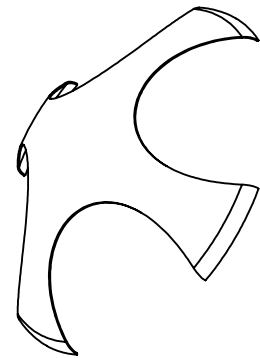
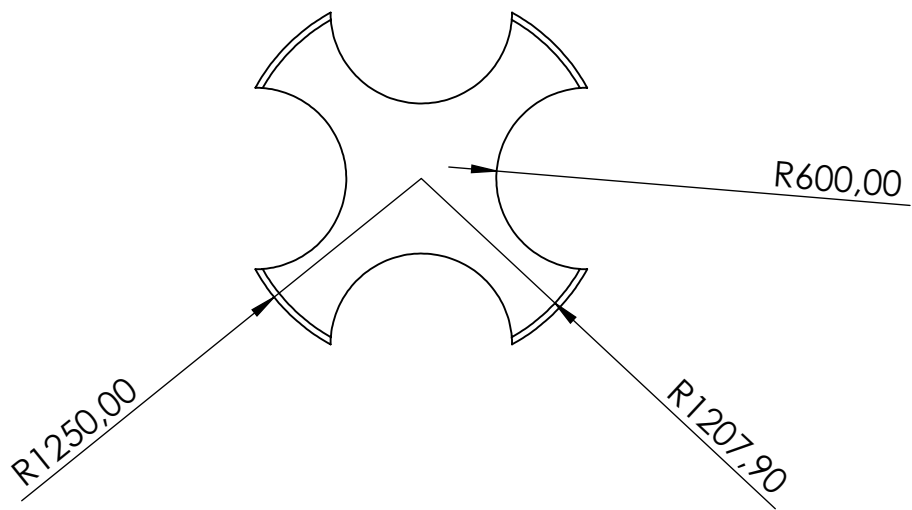
Fecha

Febrero 2022



Apellidos y Nombre: Sánchez López, Ismael

DNI: 77853798V



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE
CARTAGENA

Trabajo final de grado

Curso 2021/2022

Escala

Titulación

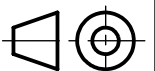
GITI

Plano N°2
Rompeolas tipo 2

1:1

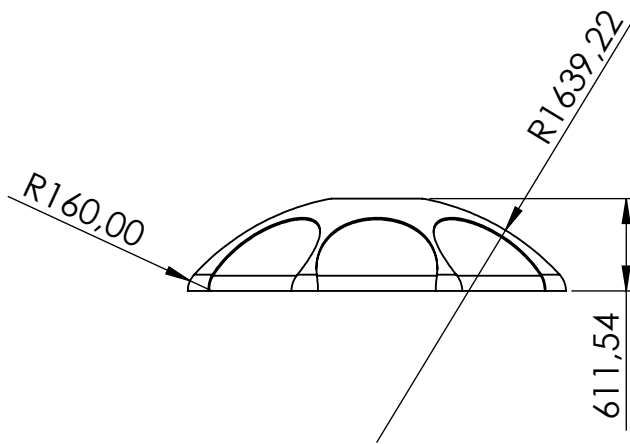
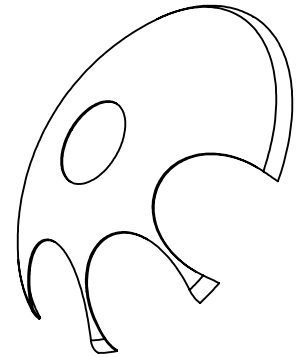
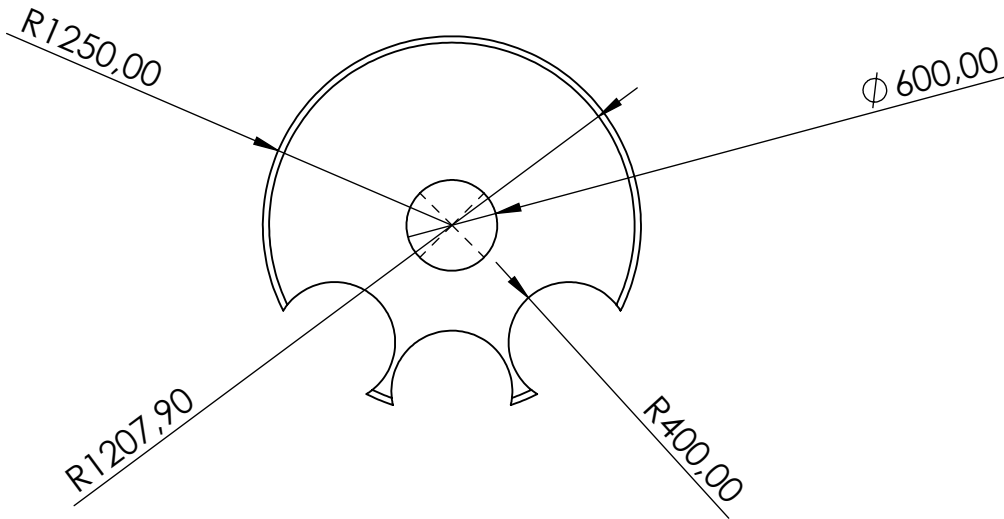
Fecha

Febrero 2022



Apellidos y Nombre: Sánchez López, Ismael

DNI: 77853798V



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE
CARTAGENA

Trabajo final de grado

Curso 2021 / 2022

Escala

Titulación

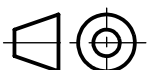
GITI

Plano N°3
Rompeolas tipo 3

1:1

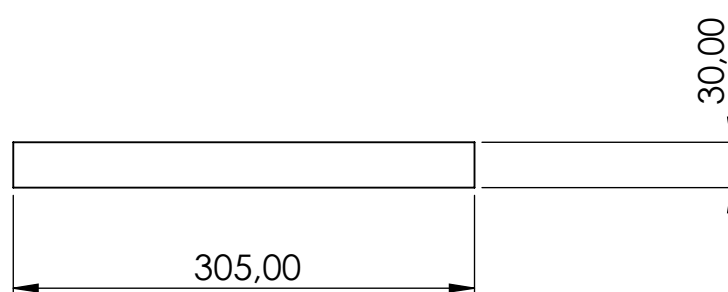
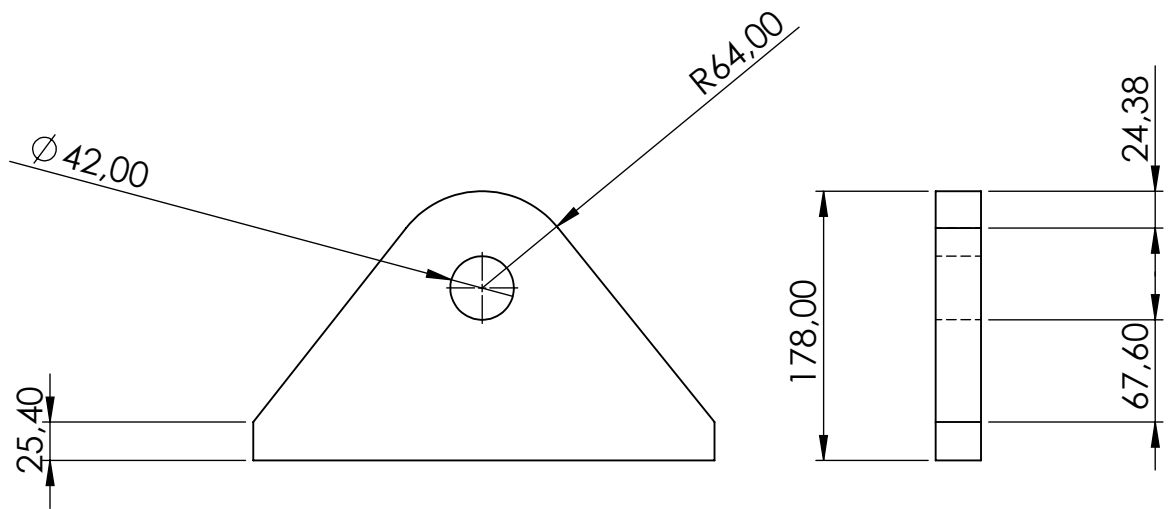
Fecha

Febrero 2022



Apellidos y Nombre: Sánchez López, Ismael

DNI: 77853798V



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE
CARTAGENA

Trabajo final de grado

Curso 2021/2022

Escala

Titulación

GITI

Plano N°4
Oreja de izaje

1:1

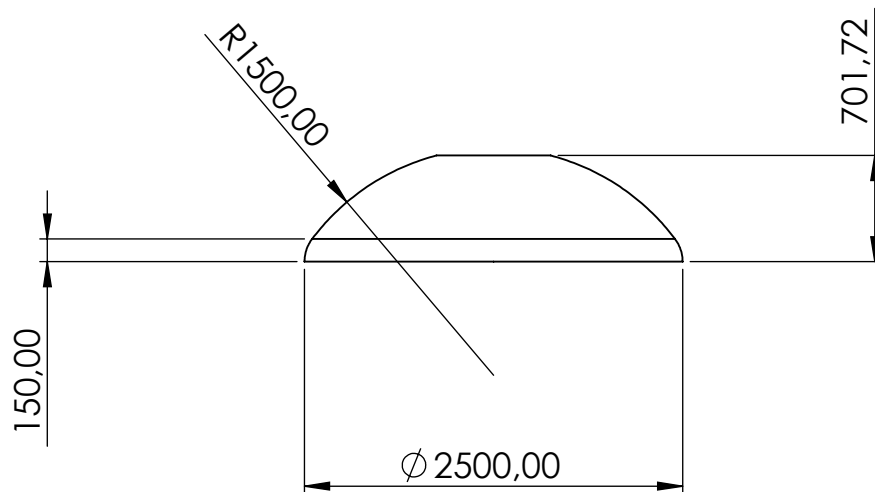
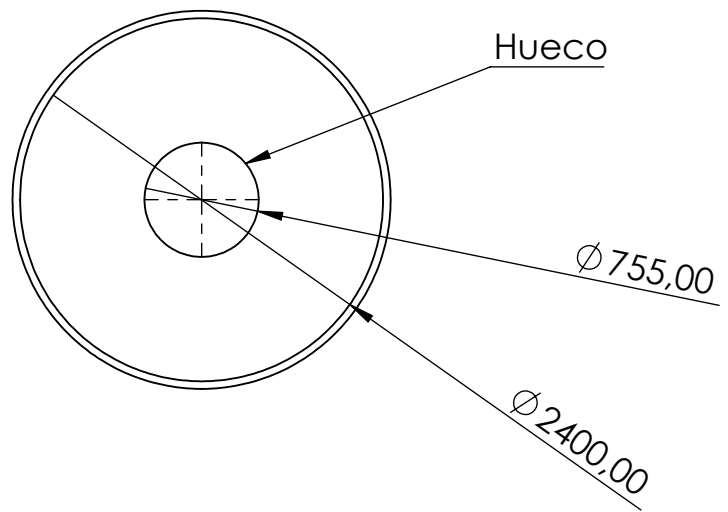
Fecha

Febrero 2022



Apellidos y Nombre: Sánchez López, Ismael

DNI: 77853798V



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE
CARTAGENA

Trabajo final de grado

Curso 2021/2022

Escala

Titulación

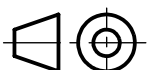
GITI

Plano N°5
Fondo delantero

1:1

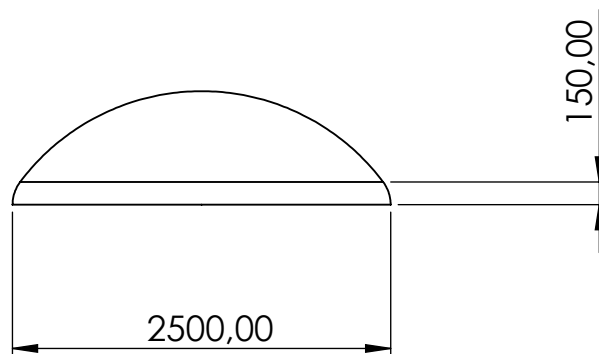
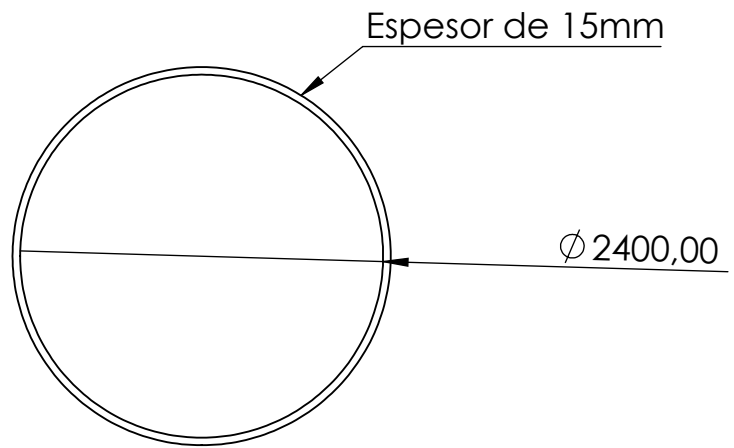
Fecha

Febrero 2022



Apellidos y Nombre: Sánchez López, Ismael

DNI: 77853798V



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE
CARTAGENA

Trabajo final de grado

Curso 2021/2022

Escala

Titulación

GITI

Plano N°6
Fondo posterior

1:1

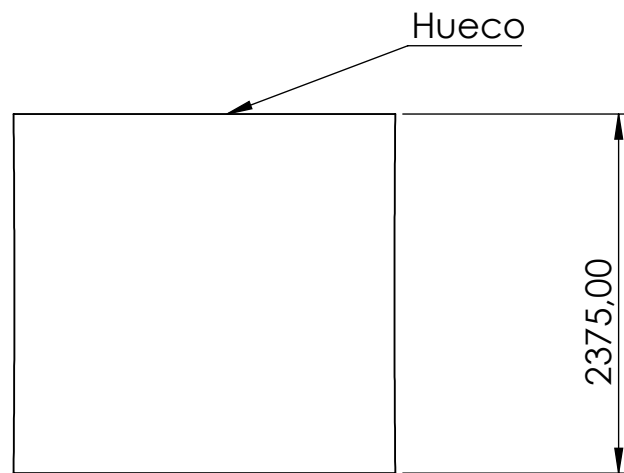
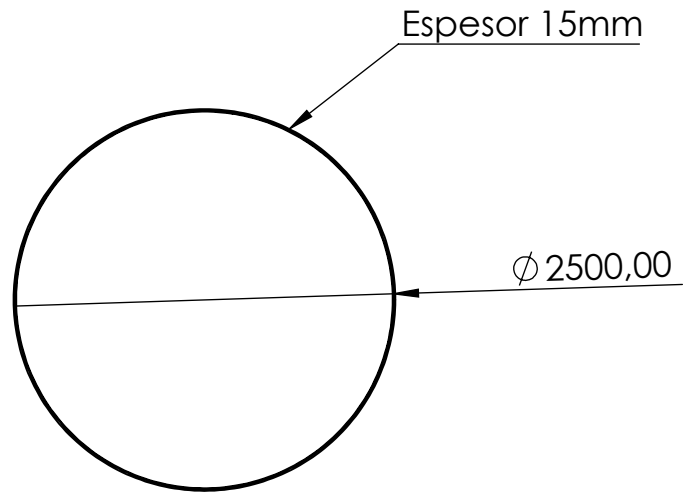
Fecha

Febrero 2022



Apellidos y Nombre: Sánchez López, Ismael

DNI: 77853798V



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE
CARTAGENA

Trabajo final de grado

Curso 2021/2022

Escala

Titulación

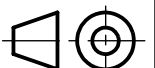
GITI

Plano N°7
Virolas 1, 2, 3 y 4

1:1

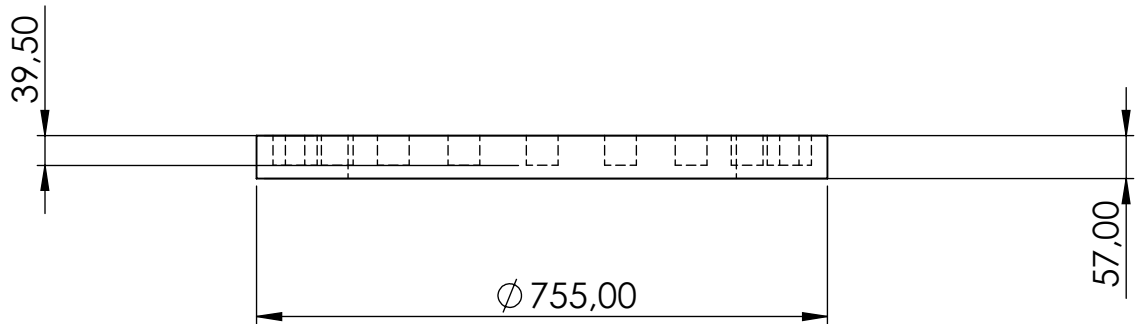
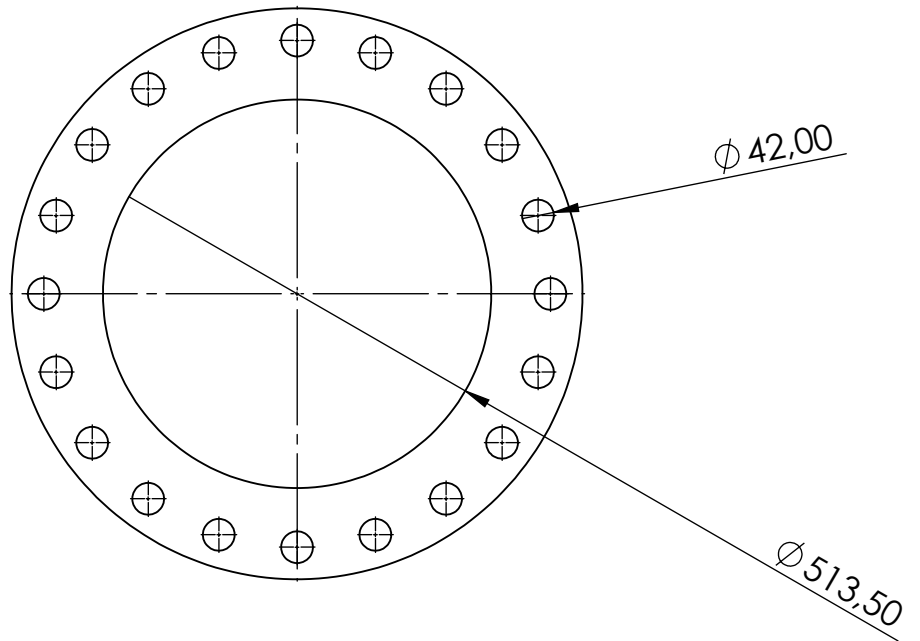
Fecha

Febrero 2022



Apellidos y Nombre: Sánchez López, Ismael

DNI: 77853798V



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE
CARTAGENA

Trabajo final de grado

Curso 2021/2022

Escala

Titulación

GITI

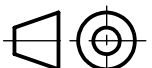
Plano N°8

Boca hombre, brida incrustada

1:1

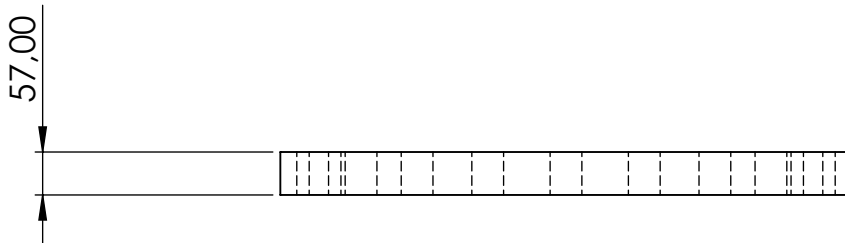
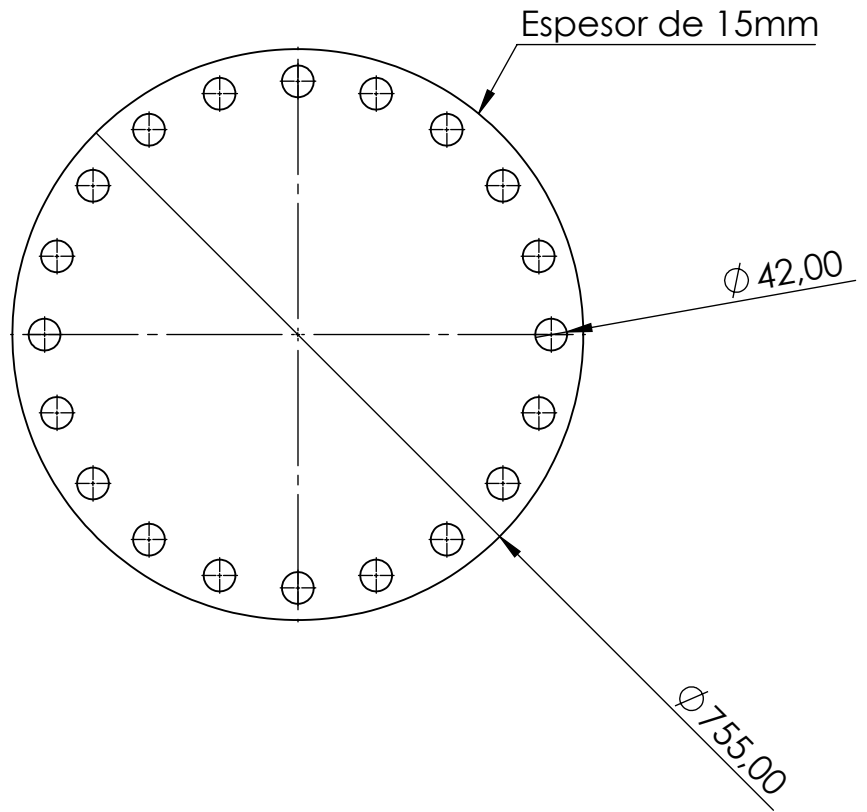
Fecha

Febrero 2022



Apellidos y Nombre: Sánchez López, Ismael

DNI: 77853798V



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE
CARTAGENA

Trabajo final de grado

Curso 2021/2022

Escala

Titulación

GITI

Plano N°9
Boca hombre, tapa ciega

1:1

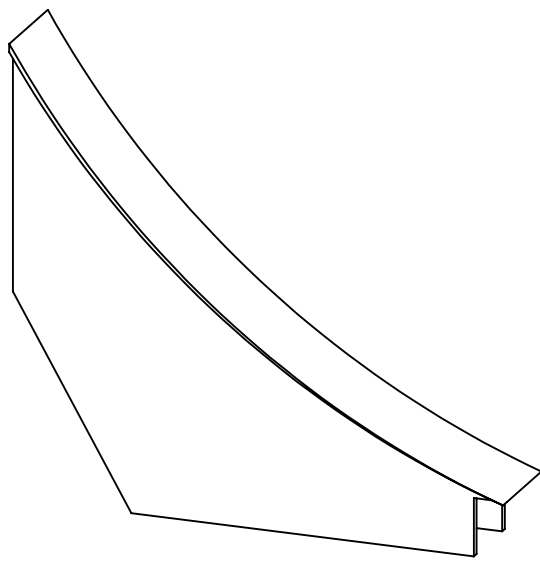
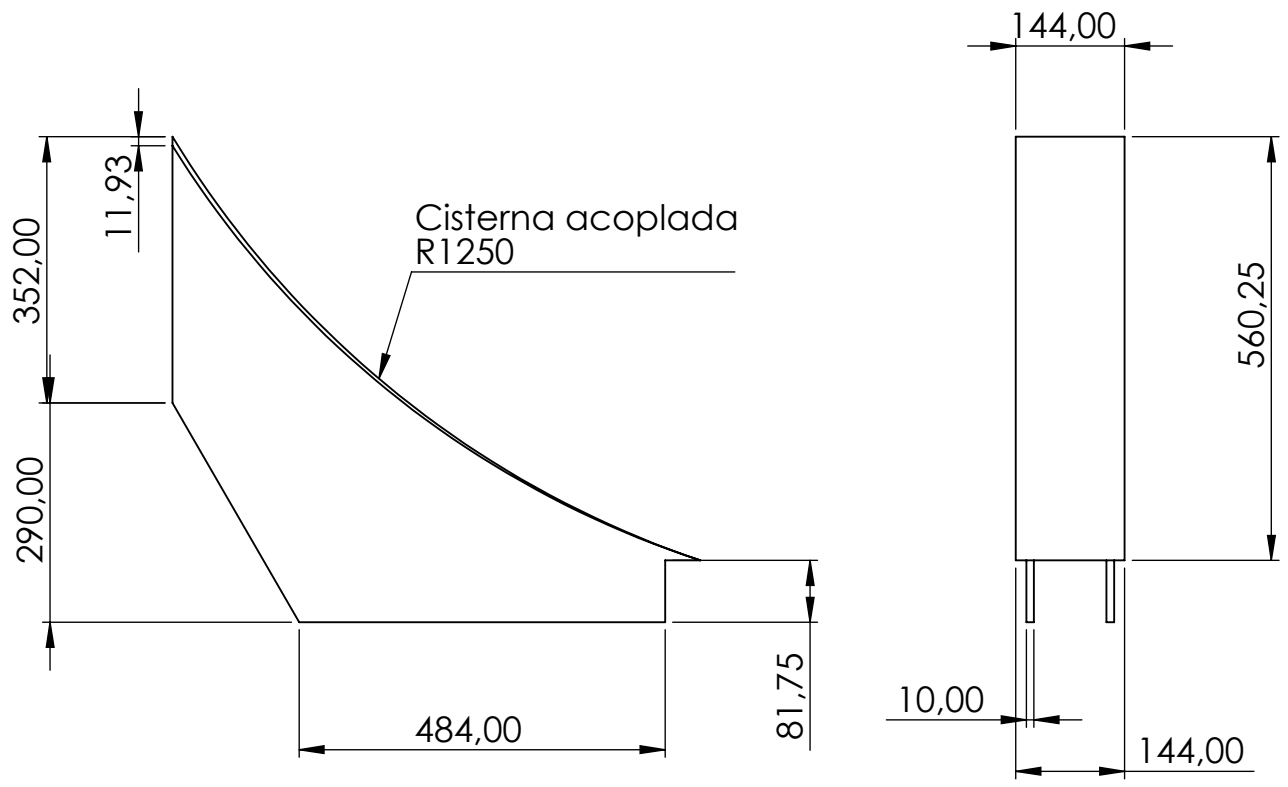
Fecha


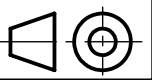
Febrero 2022

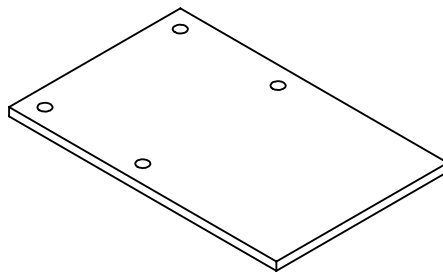
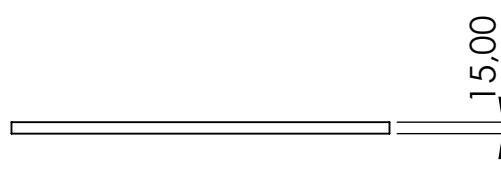
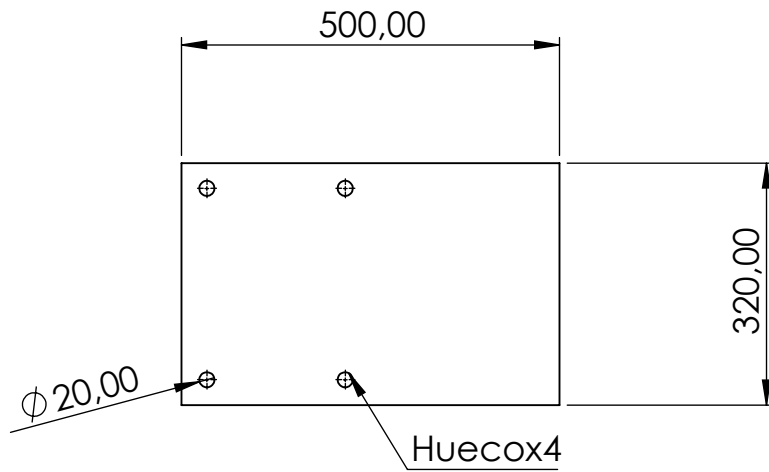


Apellidos y Nombre: Sánchez López, Ismael

DNI: 77853798V



	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA		Trabajo final de grado	
			Curso 2021/2022	Escala
Titulación	GITI	Plano N°10 Soporte base		1:1
Fecha	Febrero 2022			
Apellidos y Nombre: Sánchez López, Ismael			DNI: 77853798V	



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE
CARTAGENA

Trabajo final de grado

Curso 2021/2022

Escala

Titulación

GITI

Plano Nº11
Placa Soporte base

1:1

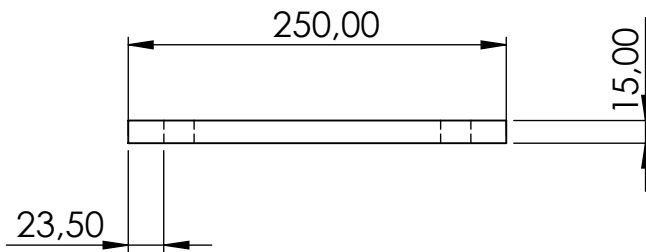
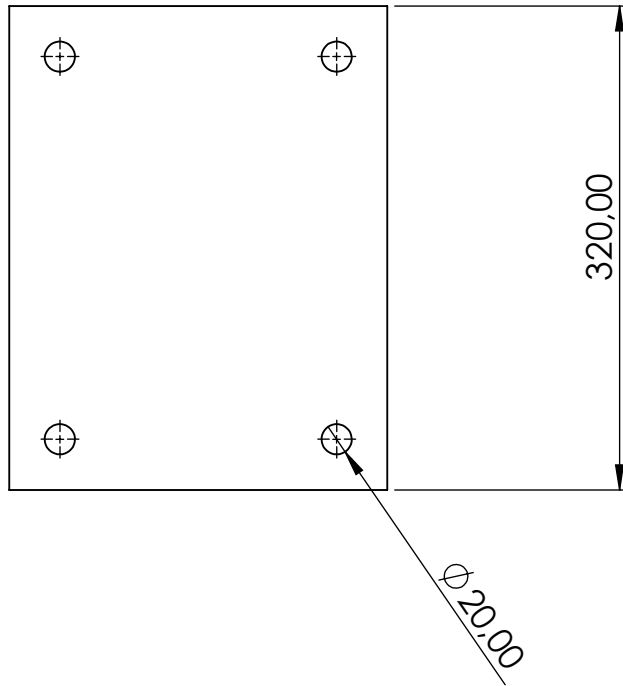
Fecha

Febrero 2022



Apellidos y Nombre: Sánchez López, Ismael

DNI: 77853798V



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE
CARTAGENA

Trabajo final de grado

Curso 2021/2022

Escala

Titulación

GITI

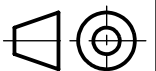
Plano N°12

Placa de anclaje a la viga

1:1

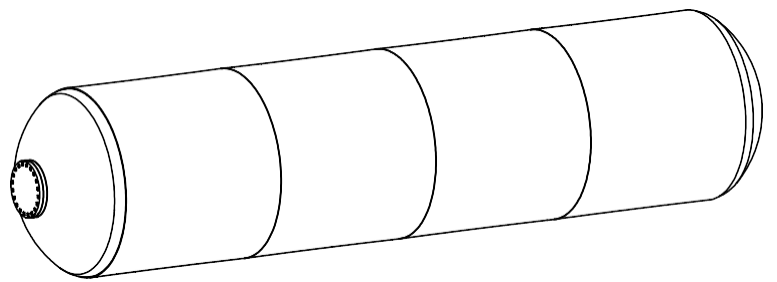
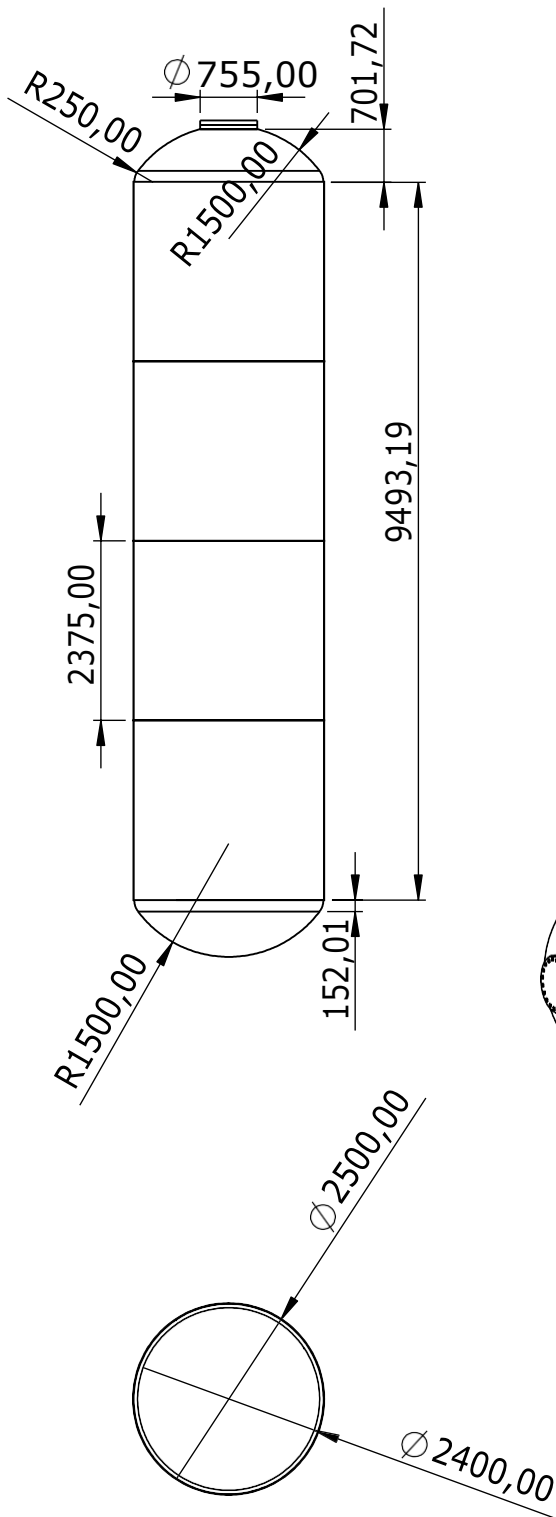
Fecha

Febrero 2022



Apellidos y Nombre: Sánchez López, Ismael

DNI: 77853798V



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE
CARTAGENA

Trabajo final de grado

Curso 2021/2022

Escala

Titulación

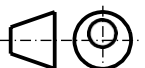
GITI

Plano N°13
Cisterna final

1:1

Fecha

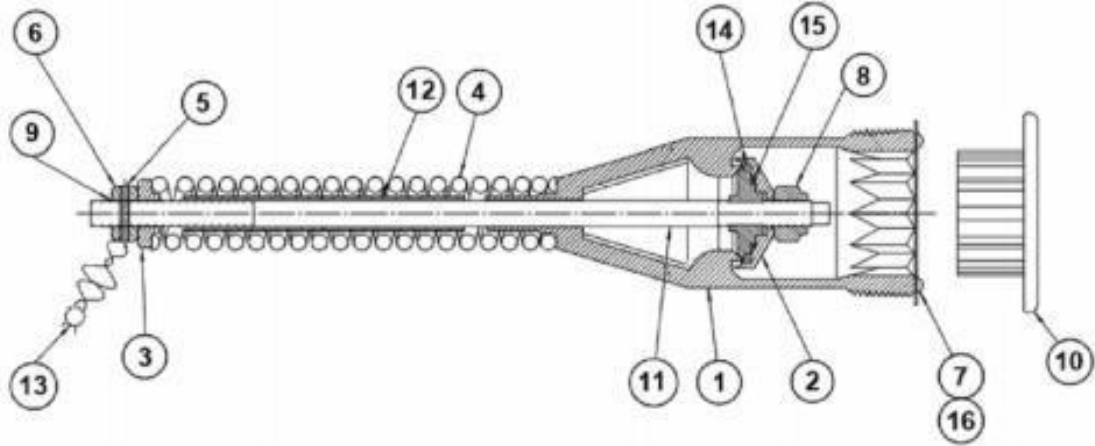
Febrero 2022



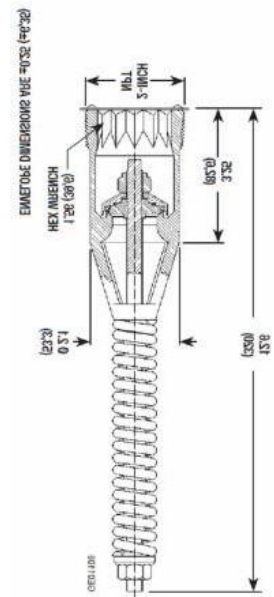
Apellidos y Nombre: Sánchez López, Ismael

DNI: 77853798V

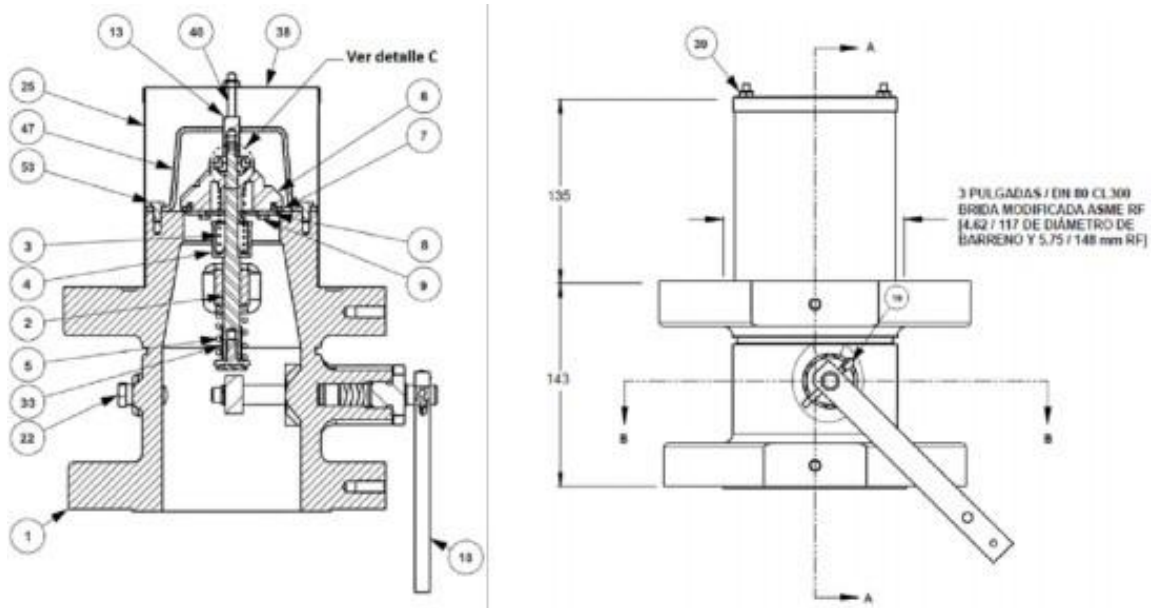
Plano 14. Plano comercial de la válvula de Alivio Modelo Fisher H722-312



NºELEMENTO	DESIGNACIÓN	CANTIDAD
1	CARCASA	1
2	SOSTENEDOR DE DISCO SUPERIOR	1
3	ASIENTO DE RESORTE	1
4	RESORTE	1
5	TUERCA DE AJUSTE HEXAGONAL	1
6	PASADOR DE RODILLO	1
7	TORNILLO DE ACCIONAMIENTO	4
8	TUERCA DE SEGURIDAD EXAGONAL	1
9	LUBRICANTE-9	
10	PROTECTOR DE LLUVIA	1
11	CONJUNTO DE DISCO INTERIOR/VASTAGO	1
12	TUBO DE RESORTE	1
13	SELLO Y CABLE DE PLOMO	1
14	JUNTA TORICA GRANDE	1
15	JUNTA TORICA PEQUEÑA	1
16	PLACA DE DATOS	1

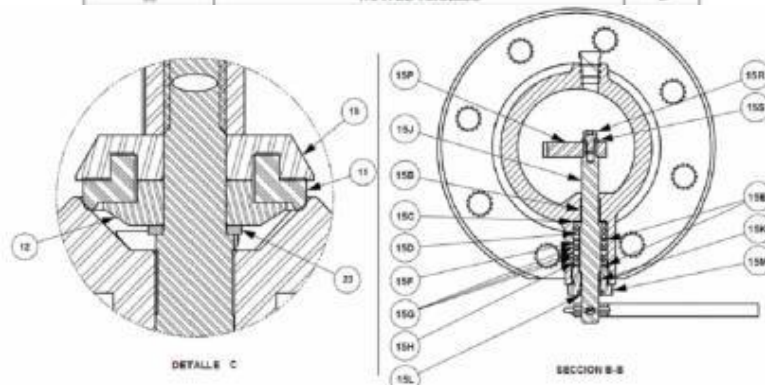


Plano 15. Plano comercial de la válvula de fondo modelo Fisher C483-24



SECCION A-A

NÚMERO	DESIGNACIÓN	CANTIDAD
1	CUERPO	1
2	TIRANCO DE MONTAJE	1
3	MUELLE DE EXCESO DE FLUJO	1
4	ASENTO DEL MUELLE	1
5	MUELLE DE CIERRE	1
6	BOQUILLA DE DISCO	1
7	DISCO PRINCIPAL	1
8	DEPOSITO DEL DISCO	1
9	TORNILLO	6
10	ASENTO DEL DISCO DE EVACUACIÓN	1
11	DISCO DE EVACUACIÓN	1
12	DEPOSITO DEL DISCO DE EVACUACIÓN	1
13	TUERCA	1
15 B	CASCULLO	1
15 C	ARANDELA	1
15 D	MUELLE	1
15 E	ARANDELA	2
15 F	ADAPTADOR MACHO	1
15 G	ANILLO	3
15 H	ADAPTADOR HEMBRA	1
15 J	EJE	1
15 K	CASCULLO	1
15 L	BARRA DE LIMPIEZA	1
15 M	TUERCA	1
15 P	CÁMARA	1
15 R	TAPA DE TORNILLO	1
15 S	ARANDELA	1
18	MANIVELA DE OPERACIÓN	1
19	CRIVETA	1
22	TAPÓN DE LLENADO	1
23	ARANDELA	1
25	PANTALLA	1
33	PARRADA DE FLUJO	1
38	TAPA DE LA PANTALLA	1
39	TUERCA	2
40	PERNO	2
47	SOPORTE DE GUÍA	1
53	TAPA DE TORNILLO	2

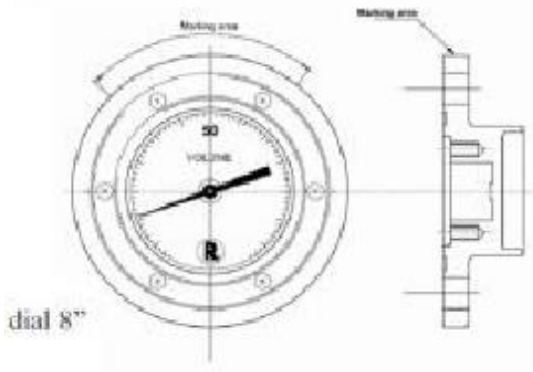
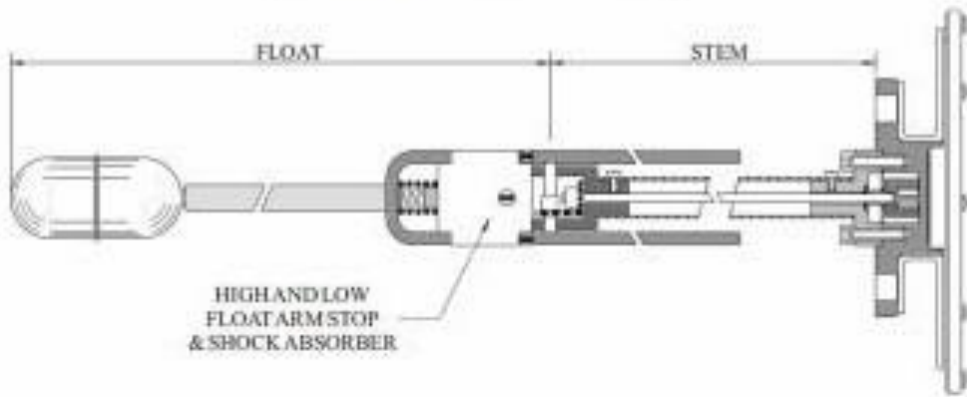


DETALLE C

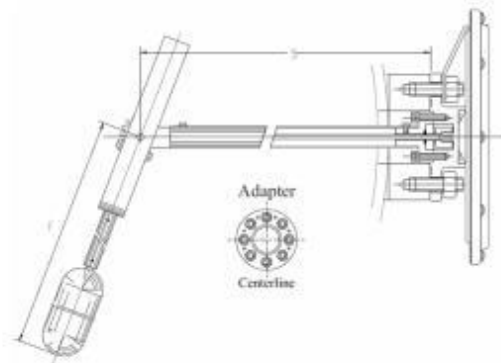
SECCION B-B

Plano 16. Plano comercial del indicador de nivel Rochester, modelo MAGNETEL C6342-11-108

VISTA SUPERIOR



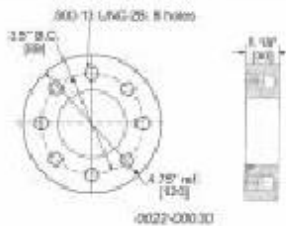
VISTA LATERAL



Bolt Circle Adaptors:

For Magnetel® Gauges Bolt circle applications
Rochester machining standard MS-808

Part #	Mount Width	Type	Material	Bolt Size/Qty
0021-00010	100.00 Series Gauge	Wiring	Forged Steel	1/2" x 1/4" x 20



"S" Longitud del Vástago = 700 mm

"F" Longitud del Flotador (desde el punto de pivote hasta el final de la boya) = 1115 mm

- **Stem length:** by design and for horizontal cylindrical tank, the pivot point of the float should be at the mid height of the tank (50% plane). Hence Stem length should be:
for end or side mounting S = fixed dimension function of tank O.D.

However for this type of mounting the stem length is less critical, as the gauge is installed at the mid height of the tank

- **Float length:** the float length is function of the internal diameter (ID) of the tank, the type of dial used and the float used. For the 6300 family and horizontal cylindrical tank, the dial is generally 5 to 95% for Top, Angle or Mobile application.

With dial graduated 5-95%, float length should be equal to:
 $F = 0.428 * ID + 54$ (with SS float 6020)

Type of float	Product to be gauged	Weight (±5gr)
6020 SS L = 105mm	LPG δ = 0.55	50 gr.

Bibliografía:

Boletines y normativas:

Boletín Oficial del Estado (13 de abril de 2021). ADR. *Acuerdo europeo sobre el transporte de mercancías peligrosas por carretera.*

Norma UNE-EN 13445-2:2021. *Recipientes a presión no sometidos a llama. Parte 2: Materiales. (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en junio de 2021)*

Norma UNE-EN 14595:2005. *Cisternas para el transporte de mercancías peligrosas. Equipos de servicio para cisternas. Respiradero de presión y depresión.*

Normativa UNE-EN 10028-3. *Aceros soldables de grano fino en condición de Normalizado.*

Normativa UNE-EN 14025:2019. *Cisternas para el transporte de mercancías peligrosas. Cisternas metálicas sometidas a presión. Diseño y fabricación.*

Normativa UNE-EN 12972:2015. *Cisternas para el transporte de mercancías peligrosas. Prueba, control y marcado de las cisternas metálicas.*

Páginas de internet:

(Información adicional sobre el número identificativo y número ONU)

https://guiar.unizar.es/1/MMPP/List_ONU.htm

(Principales propiedades del acero P460NH en su uso industrial y aplicaciones)

<https://www.acerosurssa.es>

(Catálogo comercial de la válvula de fondo y explicación teórica de la escogida para nuestra cisterna)

<https://www.directindustry.es>

(Catálogo comercial de la válvula de sello y explicación teórica de la escogida para nuestra cisterna)

<https://docplayer.es/152145900-Equipos-para-camiones-y-plantas.html>

(Catálogo comercial de la válvula de alivio y explicación teórica de la escogida para nuestra cisterna)

<https://www.emerson.com>

<https://www.directindustry.es>

(Catálogo comercial del indicador de nivel y explicación teórica de la escogida para nuestra cisterna)

<https://rochestergauges.com>

(Repositorio UPCT)

<https://repositorio.upct.es>

(Información de algunos términos y definiciones)

<https://www.wikipedia.es>

(Normativas adicionales)

<https://aenor.upct.es>