



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

TRABAJO FIN DE MASTER EN INGENIERÍA QUÍMICA

DISEÑO DE UN DEPÓSITO PARA ALMACENAMIENTO CRIOGÉNICO DE 50 M3 DE OXÍGENO LÍQUIDO

AUTOR: DAVID ALGARRA HUÉLAMO

TUTOR: ALFONSO CRISTÓBAL CARCEL GONZÁLEZ

Curso Académico: 2019-20

RESUMEN

El presente Trabajo de Fin de Máster parte de la necesidad de mejorar el proceso de combustión de los hornos de una empresa fabricante de fritas, esmaltes y colores cerámicos de la provincia de Castellón. Una frita es una mezcla de sustancias inorgánicas obtenida mediante un enfriamiento rápido de una masa fundida. Para lograr fundir las sustancias de partida es necesario alcanzar temperaturas de 1600 °C. El proceso de fusión de la frita se lleva a cabo mediante hornos alimentados con gas natural. La combustión fuera de los parámetros estequiométricos ideales produce un aumento de gasto en combustible y de las emisiones. El aporte controlado de oxígeno mediante una fuente externa permitirá optimizar el proceso de combustión para ser más eficiente y menos contaminante. Dado que el proceso de fusión se realiza de forma continua, debe garantizarse el suministro de oxígeno. Para ello se debe diseñar e instalar un depósito criogénico de 50 metros cúbicos en el que se almacenará el oxígeno en forma líquida a -185 °C. Desde este depósito, el oxígeno se pasará a un evaporador desde el que se enviará en fase gas a los quemadores de los hornos.

El TFM incluye el diseño mecánico básico del depósito empleando códigos de diseño para equipos a presión y el proyecto de las medidas de seguridad necesarias para su instalación en el emplazamiento de la empresa.

Palabras clave: depósito, criogénico, presión, diseño, inspección, normativa, diámetro, espesor.

RESUM

El present Treball de Fi de Màster parteix de la necessitat de millorar el procés de combustió dels forns d'una empresa fabricadora de fregides, esmalts i colors ceràmics de la província de Castelló. Una fregida és una mescla de substàncies inorgàniques obtinguda mitjançant un refredament ràpid d'una massa fosa. Per a aconseguir fondre les substàncies de partida és necessari aconseguir temperatures de 1600 °C. El procés de fusió de la fregida es duu a terme mitjançant forns alimentats amb gas natural. La combustió fora dels paràmetres estequiomètrics ideals produeix un augment de despesa en combustible i de les emissions. L'aportació controlada d'oxigen mitjançant una font externa permetrà optimitzar el procés de combustió per a ser més eficient i menys contaminant. Atés que el procés de fusió es realitza de manera contínua, ha de garantir-se el subministrament d'oxigen. Per a això s'ha de dissenyar i instal·lar un depòsit criogènic de 50 metres cúbics en el qual s'emmagatzemarà l'oxigen en forma líquida a -185 °C. Des d'aquest depòsit, l'oxigen es passarà a un evaporador des del qual s'enviarà en fase gas als cremadors dels forns.

El Treball de Fi de Màster inclou el disseny mecànic bàsic del depòsit emprant codis de disseny per a equips a pressió i el projecte de les mesures de seguretat necessàries per a la seua instal·lació en l'emplaçament de l'empresa.

Paraules clau: depòsit, criogènic, pressió, disseny, inspecció, normativa, diàmetre, grossària.

ABSTRACT

This Master's Thesis is based on the need to improve the combustion process of the furnaces of a company that manufactures frits, enamels and ceramic colors in the province of Castellón. A frit is a mixture of inorganic substances obtained by rapid cooling of a melt. To melt the starting substances, it is necessary to reach temperatures of 1600 ° C. The frit melting process is carried out by furnaces fired with natural gas. Combustion outside the ideal stoichiometric parameters results in increased fuel consumption and emissions. The controlled supply of oxygen through an external source will allow optimizing the combustion process to be more efficient and less polluting. Since the melting process is carried out continuously, the supply of oxygen must be ensured. For this, a 50 cubic meter cryogenic tank must be designed and installed in which oxygen will be stored in liquid form at -185 ° C. From this tank, the oxygen will be passed to an evaporator from which it will be sent in the gas phase to the burners of the furnaces.

The Master's Thesis includes the basic mechanical design of the tank using design codes for pressure equipment and the project of the security measures necessary for its installation at the company's site.

Keywords: tank, cryogenic, pressure, design, inspection, regulations, diameter, thickness.

ÍNDICE GENERAL

MEMORIA

1. Introducción
2. Descripción del proceso
3. Descripción del producto a almacenar
4. Normativa y reglamentación
5. Descripción del equipo
6. Cálculos y dimensionamiento
7. Operación y mantenimiento del equipo
8. Estudio básico de seguridad y salud
9. Conclusiones
10. Bibliografía

PRESUPUESTO

1. Cuadro de mano de obra
2. Cuadro de maquinaria
3. Cuadro de materiales
4. Descompuesto
5. Presupuestos y mediciones
6. Resumen

PLANOS

1. Tanque exterior
2. Diagrama de flujo
3. Tanque interior

ANEXOS

- I. Ficha de seguridad del oxígeno

MEMORIA

ÍNDICE

- 1. INTRODUCCIÓN 1
 - 1.1. OBJETIVO 1
 - 1.2. JUSTIFICACIÓN..... 1
 - 1.3. ALCANCE DEL PROYECTO 2
- 2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO..... 3
- 3. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO A ALMACENAR..... 4
 - 3.1. CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO..... 4
 - 3.2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS 4
 - 3.3. PRINCIPALES RIESGOS ASOCIADOS A LA SUSTANCIA..... 5
 - 3.4. USOS DEL OXÍGENO..... 5
- 4. NORMATIVA Y REGLAMENTACIÓN 6
- 5. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO 7
 - 5.1. CAPACIDAD Y DIMENSIONES GENERALES..... 7
 - 5.2. ELEMENTOS DE SEGURIDAD..... 9
 - 5.3. ELEMENTOS AUXILIARES 10
 - 5.4. UBICACIÓN DE LA INSTALACIÓN 10
 - 5.5. NORMATIVA DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN..... 11
 - 5.6. SUSTENTACIÓN Y CERCADO 11
 - 5.7. OTRAS INSTALACIONES AUXILIARES..... 11
- 6. CÁLCULOS Y DIMENSIONAMIENTO 12
 - 6.1. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN..... 12
 - 6.2. DIMENSIONAMIENTO GENERAL..... 14
 - 6.2.1. DISEÑO DEL TANQUE INTERIOR 14
 - 6.2.2. DISEÑO DEL TANQUE EXTERIOR..... 18
 - 6.3. PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN..... 20
 - 6.4. PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN..... 21
 - 6.5. ACCIONES Y RIESGOS A CONSIDERAR 22
 - 6.5.1. COMPRESIÓN DEBIDA AL PESO 23
 - 6.5.2. ESTABILIDAD FRENTE A LA ACCIÓN DEL VIENTO..... 23
 - 6.5.3. ESTABILIDAD FRENTE A LAS CARGAS SÍSMICAS 24

6.5.4.	COMPROBACIÓN DE EFECTOS DE LAS ACCIONES EXTERNAS	25
6.5.5.	PANDEO ELÁSTICO.....	25
6.5.6.	DEFORMACIÓN PLÁSTICA.....	26
6.6.	DISEÑO DE ABERTURAS Y CONEXIONES.....	27
6.6.1.	TANQUE INTERIOR.....	27
6.6.2.	TANQUE EXTERIOR	31
6.7.	DISEÑO DE LOS SOPORTES	31
6.8.	DISEÑO DE LAS OREJETAS DE ELEVACIÓN.....	35
6.8.1.	OREJETA PARA IZAR LONGITUDINAL.....	35
6.8.2.	OREJETA PARA IZAR TANGENCIAL.....	37
6.9.	DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN.....	38
7.	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO.....	39
7.1.	CONDICIONES GENERALES DE MANIPULACIÓN Y USO	39
7.2.	PLAN DE INSPECCIONES	40
8.	ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD.....	41
8.1.	GENERALIDADES.....	41
8.2.	ENTORNO LEGAL	41
8.3.	MEDIDAS DE SEGURIDAD	43
8.3.1.	EQUIPO DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL (EPI)	43
8.3.2.	PROTECCIÓN DE LA SALUD.....	44
8.3.3.	PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE	44
8.3.4.	USO DE VEHÍCULOS Y HERRAMIENTAS	44
8.3.5.	PREVENCIÓN Y EXTINCIÓN DE INCENDIOS.....	45
8.4.	MEDIDAS ESPECÍFICAS PARA EL MONTAJE E INSTALACIÓN.....	45
9.	CONCLUSIONES	46
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	48

Índice de figuras

Figura 1: Esquema del proceso de fabricación de las fritas cerámicas.	3
Figura 2:Pictograma Materias comburentes.....	4
Figura 3:Pictograma gases a presión.....	4
Figura 4: Categoría del depósito..	9
Figura 5: Fondo torisférico tipo Korbboegen.	16
Figura 6: Espesor aumentado de una envolvente cilíndrica.	29
Figura 7: Refuerzo de anillo superpuesto (izquierda) y anillo insertado (derecha).	29
Figura 8: Refuerzo de placa.	29
Figura 9: Refuerzo de manguito.	30
Figura 10: Refuerzo de placa y manguito.....	30
Figura 11: Perfil en U para el soporte.	32
Figura 12. Orejeta para izar longitudinal.....	36
Figura 13: Orejeta para izar tangencial.	37

Índice de tablas

Tabla 1: Características principales del depósito interior.	7
Tabla 2: Características principales del depósito exterior.	7
Tabla 3: Distancias mínimas con diversos riesgos.	11
Tabla 4: Aceros inoxidables austeníticos aceptados para reforzamiento por presión de recipientes criogénicos para temperaturas de funcionamiento no inferiores a -196 °C.	12
Tabla 5: Composición química del acero para el recipiente interior.	13
Tabla 6: Medidas del tanque interior.	18
Tabla 7: Medidas del tanque exterior.	20
Tabla 8: Plan de inspecciones del tanque.	40
Tabla 9: Resumen dimensiones principales	46

1. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVO

El objetivo del presente Trabajo de Fin de Máster es diseñar un tanque criogénico de 50 m³ para el almacenamiento de oxígeno líquido. El tanque será utilizado por una fábrica de fritas y esmaltes de la provincia de Castellón.

Será necesario, además, alcanzar los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la normativa aplicable al proyecto.
- Seleccionar el emplazamiento más adecuado para el tanque y los elementos necesarios.
- Analizar y definir las condiciones de servicio y operación a las que será sometido.
- Definir los materiales más adecuados para su construcción.
- Diseñar el tanque en base a sus materiales y dimensiones.
- Cuantificar los costes de diseño y fabricación.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Académica: el presente Trabajo de Fin de Máster tiene como objetivo poner en práctica parte de los conocimientos adquiridos durante la obtención del título de Graduado en Ingeniería Química y del Máster en Ingeniería Química. Además, se ampliarán los conocimientos en las instalaciones y los equipos de la empresa en la que actualmente se desarrolla mi actividad profesional.

Tecnológica: el almacenamiento en estado líquido permite obtener volúmenes de oxígeno en estado gas que resultarían prácticamente inviables de suministrar por medio de botellas dada la demanda del proceso.

Industrial: desde el punto de vista industrial, el enriquecimiento de la combustión con oxígeno puro aumenta la productividad del proceso, reduciendo además el consumo de combustible.

Comercial: comercialmente se consigue captar mediante un contrato de suministro a largo plazo a una de las empresas más importantes del sector.

Económica: gracias al aumento de la productividad y el menor combustible utilizado en el proceso por kilogramo de producto tratado, la empresa obtendrá unos costes de fabricación menores pese a añadir el coste del oxígeno.

Medioambiental: debido al enriquecimiento de la combustión se reducen las emisiones producidas por el proceso de quema de combustible.

Legal: el almacenamiento de productos químicos se encuentra regulado por diferentes leyes y normativas, las decisiones que se tomen para la realización del presente Trabajo de Fin de Máster se basarán en toda la normativa vigente al respecto.

1.3. ALCANCE DEL PROYECTO

En este Trabajo de Fin de Máster se incluye:

- Selección de los diferentes materiales del tanque y el aislamiento interno.
- Dimensionado de los elementos metálicos más relevantes del tanque.
- Dimensionado de la cavidad de aislamiento térmico.
- Dimensionado previo de la cimentación del tanque.
- Ubicación del tanque según las reglamentaciones.
- Verificación del diseño bajo acciones externas.
- Determinación de los principales elementos de seguridad.
- Determinación de los elementos auxiliares necesarios.
- Definición del plan de inspecciones periódicas.
- Presupuesto de diseño y fabricación.
- Plano del tanque de almacenamiento y los elementos principales.

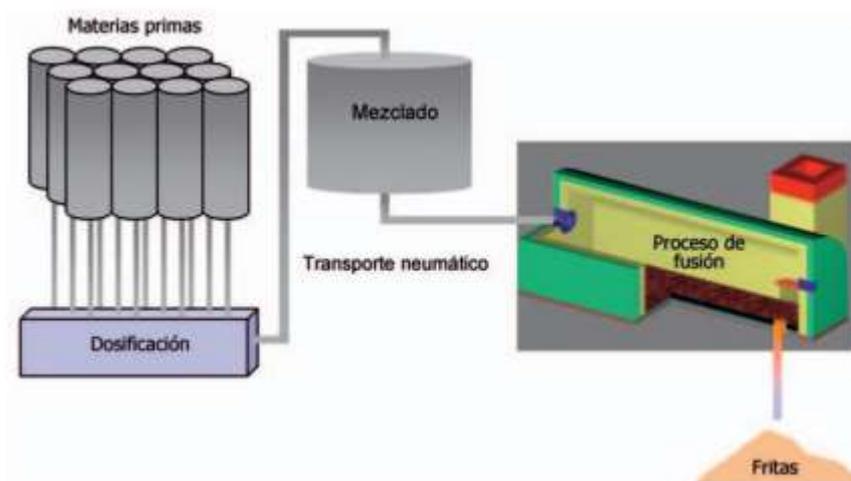
No se incluye:

- Diseño de línea de llenado del tanque.
- Diseño de las líneas de vaciado del tanque.
- Diseño de las instalaciones de carga y descarga, instalación contra incendios, instalación eléctrica y vallado de la zona.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

La empresa Fritasa SA se encuentra ubicada en Onda (Castellón) y dedica su actividad a la producción de esmaltes y fritas. Los esmaltes son compuestos formados por cuarzo y materiales fundentes que se aplican a las piezas cerámicas antes de su cocción en los hornos y que dotan a los productos de una superficie impermeable y resistente, aumentando la resistencia física y química. Las fritas son materiales vítreos resultantes de un proceso de fundido a alta temperatura (1350 – 1550 °C) de una mezcla de sustancias químicas inorgánicas en un horno de fusión. La mezcla fundida es enfriada bruscamente obteniéndose pequeños trozos de vidrio. Las fritas cerámicas son utilizadas como materia prima en la fabricación de esmaltes. El esquema del proceso llevado a cabo para la fabricación de fritas cerámicas puede verse en la *Figura 1*.

Figura 1: Esquema del proceso de fabricación de las fritas cerámicas. Fuente: Anffecc, 2020



Los hornos de fusión en los que se lleva a cabo el proceso utilizan como combustible el gas natural. Para poder realizar la combustión se necesita añadir oxígeno y se hace normalmente mediante la aportación de aire, el cual contiene aproximadamente un 21% de oxígeno. Las combustiones de este tipo son poco eficientes y generan gran cantidad de emisiones contaminantes.

Mediante el enriquecimiento de la combustión con oxígeno se consigue una serie de ventajas que justifican el coste de este: ahorros de hasta el 20% del combustible empleado, reducción aproximada del 25% de las emisiones de CO₂ generadas en la combustión, aumento de la eficiencia energética como consecuencia del incremento de temperatura producido, mejora en la transferencia de calor y menores pérdidas de energía. También se consigue reducir las emisiones de NO_x como consecuencia de la menor presencia de nitrógeno.

3. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO A ALMACENAR

El oxígeno (O) es un elemento químico de número atómico 8, en condiciones normales de temperatura y presión, dos átomos de oxígeno se enlazan formando dióxígeno, un gas diatómico incoloro, inodoro e insípido de fórmula O₂. Es el tercer elemento químico más abundante tras el Hidrógeno y el Helio y es el segundo componente mayoritario en la atmósfera terrestre con un 20,8%. La ficha de seguridad del oxígeno puede consultarse en el *Anexo I*.

3.1. CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO

Debido al elevado consumo que se realizará en la empresa, el oxígeno será almacenado en forma líquida en un tanque criogénico de 50 m³. Las condiciones de almacenamiento y a las que estará sometido el tanque en condiciones normales de operación son:

- Temperatura: -185 °C.
- Presión: 18 bar.
- Estado: Gas licuado a baja temperatura.

3.2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

Bajo las condiciones de operación mencionadas en el apartado anterior, la Ficha de Seguridad clasifica al producto como: gas comburente, categoría 1, y gas a presión. Los peligros asociados a dicha clasificación son:

- H270: puede provocar o agravar un incendio; comburente
- H281: contiene gas refrigerado; puede provocar quemaduras o lesiones criogénicas.

La palabra de advertencia asociada a la sustancia es: *Peligro*.

En el etiquetado que siempre debe acompañar a la sustancia aparecerán los pictogramas mostrados en las *Figuras 2 y 3*.

Figura 2: Pictograma Materias comburentes. Fuente: FDS Oxígeno



Figura 3: Pictograma gases a presión. Fuente: FDS Oxígeno



3.3. PRINCIPALES RIESGOS ASOCIADOS A LA SUSTANCIA

Los principales riesgos asociados al almacenamiento y manipulación del oxígeno son:

- Peligro de incendio en contacto con materiales combustibles.
- Puede provocar quemaduras en la piel por contacto con el líquido o el gas muy fríos.
- Provoca inflamación espontánea de aceites y grasas.
- La ropa impregnada de gas puede inflamarse con facilidad.

3.4. USOS DEL OXÍGENO

Más del 50% de la producción mundial de oxígeno es destinada a las fundiciones de hierro para la producción de acero, la aplicación de oxicomustión está incluida dentro de ese consumo al tratarse de hornos de combustión. En torno al 25% se destina a la industria química, donde el mayor consumo se da en la producción de óxido de etileno, sustancia base de gran variedad de productos como el poliéster o los anticongelantes. Otros usos del oxígeno son:

- Aplicaciones medicinales y uso recreativo.
- Oxicorte y soldadura.
- Tratamiento de aguas y piscifactorías.

4. NORMATIVA Y REGLAMENTACIÓN

Las condiciones de instalación y pruebas periódicas de los depósitos criogénicos y sus equipos, con volúmenes superiores a 1.000 litros de capacidad geométrica están reguladas por el RD 2060/2008, de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Equipos a Presión y sus instrucciones técnicas complementarias y en particular: ITC-EP4, Instrucción Técnica Complementaria referente a Depósitos Criogénicos. Dicho reglamento será utilizado para clasificar al depósito diseñado.

La categoría del equipo también se establecerá según el RD 709/2015.

El diseño del tanque de almacenamiento se realiza de acuerdo con la Norma UNE-EN 13458-2:2003 de Recipientes criogénicos. Recipientes estáticos aislados al vacío. Parte 2: Diseño, fabricación, inspección y ensayos.

En todo caso, cuando sea necesario, se consultarán otras Normativas o Códigos de reconocido prestigio, los cuales serán indicados en cada procedimiento.

5. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

El tanque escogido para el almacenamiento de oxígeno líquido se presenta como un recipiente vertical, formado por un conjunto compuesto de un recipiente interior de acero inoxidable, el cual estará en contacto directo con el líquido criogénico, una cámara aislante al vacío y una envolvente o recipiente exterior fabricada en acero al carbono.

5.1. CAPACIDAD Y DIMENSIONES GENERALES

El recipiente, como se ha comentado anteriormente, está formado por dos depósitos que presentan las características mostradas en las *Tablas 1 y 2* respectivamente.

Tabla 1: Características principales del depósito interior.

CARACTERÍSTICAS	DATOS TÉCNICOS
VOLUMEN GEOMÉTRICO	50,960 m ³
DIÁMETRO	2,50 m
PRESIÓN MÁXIMA ADMISIBLE "PS"	18 bar
PRESIÓN DE DISEÑO "PD"	19,8 bar
PRESIÓN DE PRUEBA	29,70 bar
TEMPERATURA MÍNIMA	- 196 °C
TEMPERATURA MÁXIMA ADMISIBLE	50 °C
PESO	7.180 kg
CONTENIDO	OXÍGENO LÍQUIDO/GAS

Se adoptará una presión de diseño de valor máximo 19,8 bar (PD = 19,8 bar), que es un 10% superior a la presión máxima admisible (PS=bar). Dicha presión máxima admisible (PS=18bar) es la presión a la que deben abrir los dispositivos de seguridad (válvulas o discos de ruptura) conectados al tanque interior.

Se adoptará por otra parte una temperatura mínima de diseño de hasta -196 °C; Dicha temperatura mínima es un valor habitual de referencia para diseño criogénico y corresponde a la temperatura de evaporación del nitrógeno a presión atmosférica. Desde el punto de vista de la selección de materiales para uso criogénico resulta apropiada ya que es inferior a la temperatura de evaporación del oxígeno (-183 °C). La temperatura máxima de diseño es de 50 °C, que es superior a la máxima esperada en la zona de instalación del tanque y que se considera o se corresponde con la máxima temperatura considerada "ambiental" en los códigos de diseño de equipamiento.

Tabla 2: Características principales del depósito exterior.

CARACTERÍSTICAS	DATOS TÉCNICOS
ALTURA	11,461 m
DIÁMETRO	3 m
PRESIÓN MÍNIMA	-1 bar
PRESIÓN DE DISEÑO	18 bar
TEMPERATURA MÍNIMA	-40 °C
TEMPERATURA MÁXIMA ADMISIBLE	50 °C
PESO	11.420 kg
CONTENIDO	PERLITA

En el diseño del tanque exterior, la presión mínima de valor negativo -1 bar se corresponde a la existencia de vacío en la cámara entre el tanque interior y el exterior, que va llena de perlita porosa como aislante térmico. El vacío resulta necesario para eliminar la presencia de aire y reducir al máximo la conductividad térmica, manteniendo así un adecuado aislamiento térmico del tanque interior. No obstante, y según la reglamentación, la presión de diseño del tanque exterior se corresponde con la presión de tarado del dispositivo de alivio de presión de la camisa exterior, es decir, la presión máxima de servicio del tanque (PS = 18 bar).

Clasificación según art. 3 de ITC-EP4.4:

Dada la capacidad del recipiente interior, mostrada en la *Tabla 1*, y el fluido contenido, el depósito se clasifica como depósito criogénico de clase c) (desde 20.000 a 60.000 litros de capacidad geométrica), y en función del tipo de gas contenido, como Grupo 1.2 – Oxidante o comburente.

Categoría del equipo a presión según R.D. 709/2015:

La categoría de equipo a presión se establece de la siguiente manera:

$$PS \times V = 18 \text{ bar} \times 50.960 \text{ litros} = 917.280 \text{ bar} \cdot \text{litro}$$

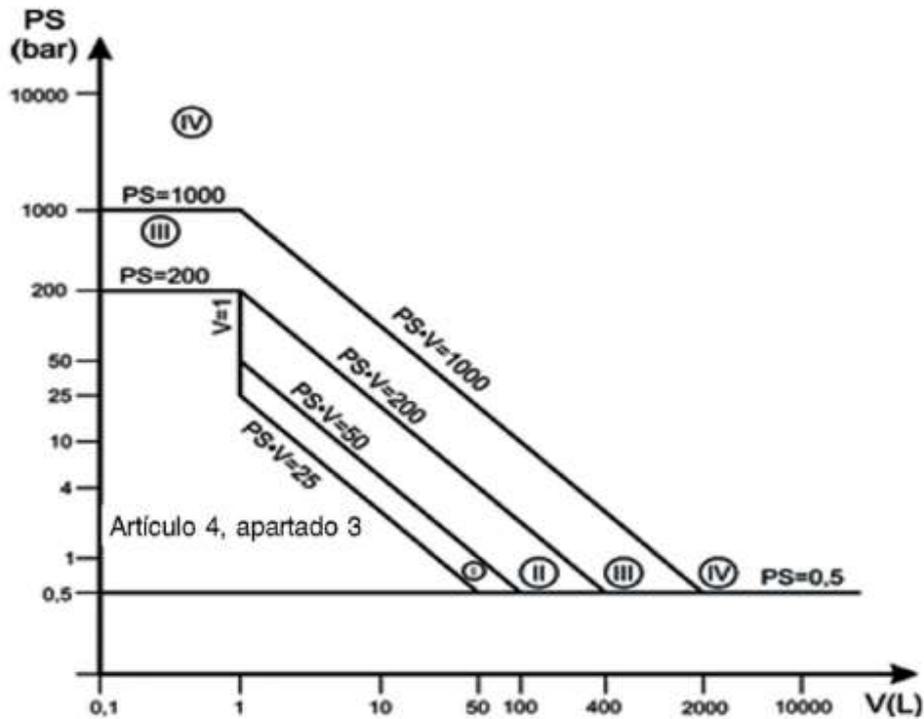
Siendo:

PS = la presión máxima admisible.

V = Volumen geométrico.

- Grupo de fluido: Grupo 1- Oxígeno líquido
- Categoría según *Figura 4*: Categoría IV.

Figura 4: Categoría del depósito. Fuente: R.D. 709/2015.



5.2. ELEMENTOS DE SEGURIDAD

- Válvulas de seguridad (PSV – Pressure Safety Valve): las válvulas de seguridad están diseñadas para abrir y aliviar los excesos de presión que puedan producirse en los recipientes o equipos, cerrándose después para evitar la salida de líquido.

Se colocarán en la fase gas del recipiente, la zona alta, y estarán aisladas mediante una válvula de tres vías con la finalidad de asegurar siempre su funcionamiento, contarán además con mecanismos de regulación precintables. Como complemento a las válvulas, se dispondrá de los correspondientes discos de ruptura (PSE).

El tarado de las válvulas será tal que comiencen a abrirse a una presión menor a la máxima de servicio. La descarga producida durante los alivios de presión será conducida al ambiente, evitando daños a personas o cosas.

- Dispositivo de seguridad (PSE – Pressure Safety Element): el dispositivo de seguridad o disco de ruptura es un elemento que protege al conjunto ante una posible fuga de líquido, la cual pasaría a la cámara de vacío y pondría en peligro al resto del conjunto.

5.3. ELEMENTOS AUXILIARES

El diseño del tanque incluirá también una serie de elementos auxiliares de control para garantizar su correcto funcionamiento:

- Nivel (LI – Level Indicator): dispositivo que indica el volumen del líquido dentro del recipiente interior, medido a partir de la columna de líquido. Funciona de forma diferencial y es accionado mediante la presión existente en la columna de líquido. Se utilizan además equipos electrónicos (LT) para la captación de señales y la medida de parámetros como la presión diferencial, el volumen o el periodo de llenado.
- Manómetro (PI – Pressure indicator): medida directa de la fase gas en el recipiente interior.
- Regulador de presión (PCV - Positive Crankcase Valve): permite mantener constante la presión en el interior del recipiente. Forma parte de un circuito el cual sale por la parte inferior del recipiente y entra por la parte superior (fase gas). Actúa además como economizador.
- Equipamiento de puesta en presión (PBU – Pressure Build Up): su función es la de aumentar la presión en el interior del tanque, manteniéndola para su utilización. Es un cambiador de tipo atmosférico.

5.4. UBICACIÓN DE LA INSTALACIÓN

El depósito será instalado al aire libre, dentro del recinto de una empresa sita en la población de Onda, Castellón. La zona presenta la siguiente climatología: veranos de altas temperaturas, pudiendo alcanzar 32 °C, humedad y cielos despejados. En cuanto al invierno, las temperaturas rara vez descienden de los 0 °C y las posibilidades de nevadas copiosas son escasas.

En cuanto a la velocidad de los vientos en la zona, dato relevante dado que se trata de un depósito vertical de cierta altura, puede alcanzar de media valores máximos de 26 m/s.

Por lo tanto, las condiciones meteorológicas de la zona no suponen un riesgo para el diseño normal del tanque. La zona tampoco tiene una actividad sísmica relevante.

El emplazamiento contará con la sustentación necesaria para soportar el peso del tanque y los equipos auxiliares y, además, permitirá el fácil acceso a los vehículos de abastecimiento y al personal autorizado.

Las distancias mínimas de seguridad que deben mantenerse para la instalación del tanque ante diversos riesgos pueden verse en la *Tabla 3* y se han obtenido del RD 2060/2008. El oxígeno líquido pertenece al grupo 1.2 – Gases comburentes y la clase del depósito es la “c”, depósitos de más de 20.000 a 60.000 litros.

Tabla 3: Distancias mínimas con diversos riesgos. Fuente: RD 2060/2008

TIPO DE RIESGO	DISTANCIA MÍNIMA
Locales de trabajo (edificaciones, vestuarios, etc.)	8 m
Sótanos, alcantarillas, Galerías servicio	8 m
Motores, interruptores (no antideflagrantes)	-
Depósitos, material inflamable; aéreos	15 m
Depósitos, material inflamable; subterráneos	8 m
Vías públicas, carreteras, ferrocarriles	5 m
Instalaciones con peligro de incendio (madera, plástico, etc.)	8 m
Llamas controladas (sopletes, mecheros, etc.)	10 m
Propiedad colindante al usuario	2 m
Proyección líneas eléctricas aéreas de A.T.	10 m
Edificios habitables	10 m

5.5. NORMATIVA DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

El diseño del tanque se llevará a cabo siguiendo las directrices de la norma UNE-EN 13458-2 de noviembre de 2002 de Recipientes criogénicos, Recipientes aislados al vacío, Parte 2: Diseño, fabricación, inspección y ensayos. Además, se aplicará un reforzamiento mediante aplicación de presión de recipientes de aceros inoxidables austeníticos cuyos cálculos se realizarán de acuerdo con lo indicado en el anexo C de dicha norma.

5.6. SUSTENTACIÓN Y CERCADO

El recipiente y los gasificadores se situarán sobre una losa de hormigón específicamente diseñada para sustentar dichos elementos. El recinto destinado por parte de la propiedad para albergar la instalación tendrá una superficie aproximada de 55 m². Contará, además, con un cerramiento mediante muro de 0,40 metros de altura en tres de sus lados, coronado por una valla ligera hasta alcanzar 2,20 metros de altura, el lado largo tendrá una puerta de acceso al recinto. El lado posterior se cierra con la fachada de la nave de producción de la propiedad.

5.7. OTRAS INSTALACIONES AUXILIARES

Para poder garantizar el suministro de gas a la empresa se instalarán junto al depósito cuatro gasificadores ambientales. Su función es la de intercambiar calor con el ambiente permitiendo la gasificación del fluido criogénico que circula por su interior. Estarán contruidos por un perfil de aluminio y colectores de aluminio y/o acero inoxidable, no dispondrán de protección contra sobrepresiones. Durante su diseño y construcción, que no son objeto del presente trabajo académico, se han cumplido las normativas pertinentes.

6. CÁLCULOS Y DIMENSIONAMIENTO

6.1. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Debido a las condiciones de almacenamiento del líquido, temperaturas criogénicas de hasta $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, la normativa acepta como válidos para la construcción los aceros inoxidables austeníticos especificados en la *Tabla 4* y que permiten el reforzamiento mediante presión del recipiente después de su terminación.

Tabla 4: Aceros inoxidables austeníticos aceptados para reforzamiento por presión de recipientes criogénicos para temperaturas de funcionamiento no inferiores a $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. Fuente: UNE 13458-2.

Designación del acero		Material con tratamiento térmico de solución		Recipiente reforzado por aplicación de presión
Nombre	Número	$R_{p0,2}$ N/mm ² min.	$R_{p1,0}$ N/mm ² min.	σ_k N/mm ² máx.
X5CrNi18-10	1.4301	210	250	410
X2CrNi19-11	1.4306	200	240	400
X2CrNiN18-10	1.4311	270	310	470
X6CrNiTi18-10	1.4541	200	240	400
X6CrNiNb18-10	1.4550	200	240	400
X5CrNiN19-09	1.4315	270	310	470

Los aceros inoxidables austeníticos tienen características de esfuerzo/deformación distintas de las características de los aceros al carbono, que permiten que el acero inoxidable acepte esfuerzos como un medio de aumentar su resistencia a la tracción. Con estos aceros es posible alcanzar una deformación plástica del 10% si tienen un alargamiento a la rotura mínimo del 35% en el estado de tratamiento térmico de solución.

El acero inoxidable austenítico que se ha sometido a un esfuerzo superior a la resistencia a la tracción más alta conserva e incluso aumenta su ventaja de resistencia a temperaturas criogénicas, además, tras su descarga, sufre un alargamiento plástico permanente. Cuando ese acero se cargue de nuevo seguirá siendo elástico hasta ese esfuerzo más elevado que es entonces la nueva resistencia a la tracción y solo cuando el esfuerzo sea superior a σ_k la deformación será plástica y seguirá entonces la curva original de esfuerzo/deformación.

En la práctica, el reforzamiento se consigue sometiendo a presión el recipiente terminado hasta alcanzar un valor de la presión p_k que se sabe que produce el esfuerzo necesario y que a su vez produce la cantidad de deformación plástica necesaria para soportar la carga de presión.

Entre los diferentes materiales de construcción aceptados por la normativa para llevar a cabo el proceso, y que pueden verse en la *Tabla 4*, el escogido para la construcción del tanque interior es el 1.4301 dado el buen resultado que ha dado en modelos anteriores. Su composición química se detalla en la *Tabla 5*.

Tabla 5: Composición química del acero para el recipiente interior. Fuente: EN 10028-7

TIPO DE ACERO		% EN MASA							
Nombre	Número	C	Si	Mn	P máx	S máx	N	Cr	Ni
X5CrNi18-10	1.4301	≤ 0,07	≤ 1	≤ 2	0,045	0,015	≤ 0,1	17,5 a 19,5	8 a 10,5

Se hace hincapié en el material utilizado para el tanque interior debido a la presión interna y a las temperaturas criogénicas que soportará. Dicho material será conformado en caliente, de acuerdo con un procedimiento homologado escrito. En dicho procedimiento se especificará la velocidad de calentamiento, la temperatura de retención, el intervalo de temperaturas y el tiempo durante el cual tiene lugar la conformación.

Sin llegar a profundizar en todos esos aspectos, el procedimiento general que se seguirá para la conformación del material del recipiente interior constará de las siguientes etapas:

1. Fusión primaria en un horno de arco eléctrico (EAF) durante un tiempo entre 50 y 80 minutos.
2. Fusión/Refinado secundario
 - 2.1. Desgasificación al vacío de oxígeno (VOD). Este proceso reduce el contenido de gas, particularmente hidrógeno y carbono, además de reducir las inclusiones no metálicas al someter el metal fundido al vacío.
 - 2.2. Descarburación de argón y oxígeno (AOD). Se trata de un convertidor especial, en el que el contenido de carbono del acero inoxidable se calienta a las especificaciones previstas mediante el soplado por inyección de mezclas de argón y oxígeno.
3. Fundición. Después de la fusión, el metal líquido se transforma directamente en planchas o bloques en el proceso de colada continua. Es un proceso de fundición para la producción continua y de gran volumen de perfiles metálicos con una sección transversal constante.

El material que se utilizará para los detalles externos del tanque interior como puedan ser agarraderos, soportes, boquillas o tuberías de conexión será el mismo material que el empleado para la construcción del tanque.

El depósito exterior, a diferencia del interior, no está en contacto con el fluido criogénico y se debe diseñar para soportar una temperatura mínima de -40 °C y una temperatura máxima de 50°C. El material escogido para su fabricación es un acero al carbono estructural no aleado con designación simbólica S235J0 y con designación numérica 1.0114 en base a la norma UNE-EN ISO 10025-2:2020. El porcentaje máximo de carbono que presentará el del 17%.

La tolerancia a la corrosión en todas las piezas de acero inoxidable es cero. La camisa exterior también debe tener un margen de corrosión nulo por lo que se le aplicará una pintura adecuada a fin de asegurarla.

Los materiales utilizados para las labores de soldadura: electrodos, varillas o fundentes; cumplirán con los requisitos normativos, algunos de los materiales empleados en las labores de soldeo del tanque interior son:

- Aleación 19 9 L según la ISO 14343-A:2017, 308L según la ISO 14343-B:2017.
- Consumibles SA, AF y DC, según ISO 14174:2019

Para el tanque exterior se utilizarán consumibles de la misma aleación que las chapas y electrodos adecuados para dicho material.

6.2. DIMENSIONAMIENTO GENERAL

El depósito objeto del diseño de este Trabajo de Fin de Máster pertenece a la serie VT del catálogo de equipos normalizados de la empresa Carbueros Metálicos, los cuales están diseñados de acuerdo con los requerimientos de seguridad de la compañía y permiten una fácil operación. Una de las principales características que presenta esta serie es su carácter modular, adaptándose a la gran mayoría de necesidades de los clientes. Los tanques se clasifican en función de su capacidad, que va desde los 3.000 a los 80.000 litros, y de las presiones de servicio: 9.5, 10, 17, 18, 22 y 37 bar.

El tanque diseñado pertenece al rango de mayor capacidad presentando la carcasa exterior un diámetro de 3 metros y una altura de 11,41 metros. La capacidad de almacenamiento del tanque interior es de 50.960 litros. Las características principales de ambos tanques pueden consultarse en las *Tablas 1 y 2*. Gracias a su carácter modular, añadiendo o quitando virolas al cuerpo del depósito se podría modificar la capacidad de almacenamiento.

6.2.1. DISEÑO DEL TANQUE INTERIOR

Como se ha comentado en capítulos anteriores, el diseño del tanque se realizará en base a la Norma UNE-EN 13458-2, siguiendo para el tanque interior el Anexo C.

La opción de diseño que se escoge es la de reforzamiento mediante presión: El recipiente a presión se somete a una presión interna calculada y controlada (presión de reforzamiento) después de su terminación. Dicho proceso se lleva a cabo con agua y durante un tiempo de 30 minutos.

El espesor de la pared de un recipiente de este tipo se calcula sobre la base del esfuerzo correspondiente a la presión de reforzamiento.

La presión de reforzamiento necesaria p_k se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$p_k = 1,5 * p \quad (E.1)$$

Siendo p la presión de diseño.

Para calcular dicha presión de diseño se toma como medida de seguridad una sobrepresión máxima del 10% sobre la máxima admisible del sistema, la cual se ha estipulado en 18 bar. Se toma como valor un 10 % en base a la Directiva Europea 2014/68/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 15 de mayo de 2014 relativa a la armonización de las legislaciones de los Estados miembros sobre la comercialización de equipos a presión, la cual en el punto 7.3 del Anexo I admite un aumento de presión momentáneo, cuando resulte apropiado, en los dispositivos limitadores de presión, es decir, se podría alcanzar ese pico de presión dentro del tanque bajo alguna circunstancia. Por lo tanto:

$$p = 1,10 * 18 \text{ bar} = 19,8 \text{ bar}$$

$$p_k = 1,5 * 19,8 = 29,7 \text{ bar}$$

CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA CARCASA

Los espesores mínimos de las paredes de las distintas partes del recipiente a presión se calculan de acuerdo con el apartado 4.3.6.1.3 de la norma EN 13458-2, añadiendo las modificaciones indicadas en la tabla C.2 del Anexo C de dicha norma, resultando la siguiente ecuación:

$$s = \frac{p * D * S_F}{20 * \sigma_k * z} \quad (\text{E.2})$$

Donde:

- s: espesor mínimo requerido de la pared, en mm.
- D: diámetro exterior de la envolvente cilíndrica, en mm.
- S_F: factor de seguridad a la presión de diseño.
- σ_k: esfuerzo de diseño, en N/mm².
- z: coeficiente de unión soldada.

Puesto que según la normativa S_F = 1,5 y z = 1, el diámetro de la envolvente es 2500 mm y se toma el valor máximo del esfuerzo de diseño, mediante el uso de la ecuación E.2, resulta un espesor mínimo de pared de:

$$s = \frac{19,8 \text{ bar} * 2500 \text{ mm} * 1,5}{20 * 410 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 1} = 9,05 \text{ mm}$$

El valor del espesor, por motivos de conformado posterior de las virolas, se redondea a 9,1 mm.

CÁLCULO DE LOS FONDOS

La geometría seleccionada para el fondo y la parte superior del tanque puede verse en la *Figura 5* y corresponde a un fondo torisférico tipo Korbogen, referido en la normativa como fondo torisférico 2:1. Geométricamente este tipo de fondo viene definido por las siguientes características:

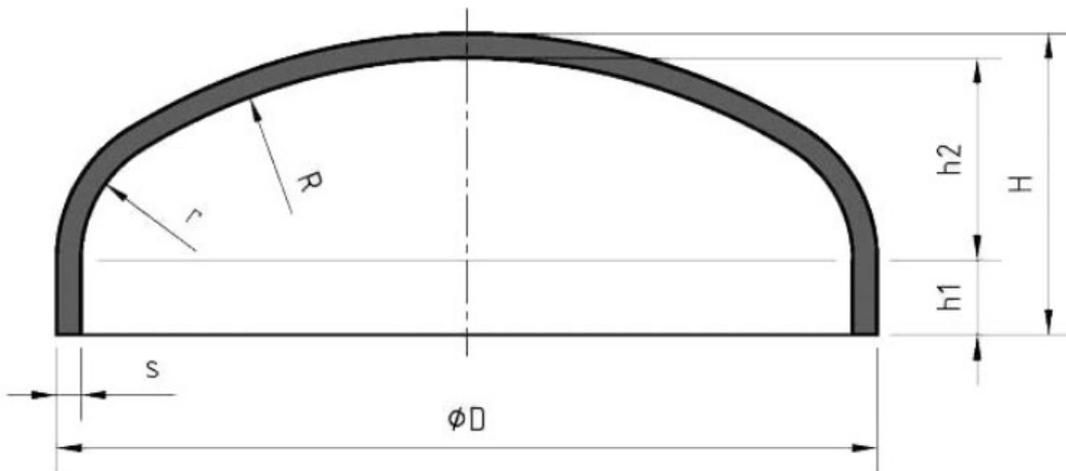
$$\frac{R}{D} = 0,8 \quad ; \quad \frac{r}{D} = 0,154$$

$$h_1 \geq 3 * s \quad ; \quad h_2 = 0,255 * D - 0,635 * s \quad ; \quad h_3 = h_1 + h_2$$

Siendo:

- D, el diámetro exterior de la envolvente cilíndrica.
- R, el radio interior de la parte esférica del fondo torisférico.
- r, el radio interior de la parte tórica de enlace.
- s, espesor mínimo requerido de la pared.

Figura 5: Fondo torisférico tipo Korbogen. Fuente: DIN 28013



Haciendo uso de las ecuaciones de diseño de este tipo de fondos, tomando como diámetro $D=2500\text{mm}$ y como espesor el calculado para las virolas del tanque, las medidas de los fondos quedan de la siguiente manera:

$$R = 2500\text{mm} * 0,8 = 2000\text{mm}$$

$$r = 2500\text{mm} * 0,154 = 385\text{mm}$$

$$h_1 \geq 3 * 9,1 \text{ mm} \approx 30\text{mm}$$

$$h_2 = 0,255 * 2500\text{mm} - 0,635 * 9,1 \text{ mm} \approx 632 \text{ mm}$$

$$h_3 = 30\text{mm} + 632 \text{ mm} = 662 \text{ mm}$$

La normativa EN 13458-2, en el apartado C.5.2.3.4 indica la manera de calcular el espesor mínimo para los fondos en base a la ecuación E.3, asumiendo un valor para el coeficiente $\beta = 1,91$ para fondos torisféricos 2:1.

$$S_{min} = \frac{D * p * \beta}{40 * \left(\frac{K}{S}\right) * v} + c \quad (E.3)$$

Siendo K la resistencia a la tracción al 1% a la temperatura de cálculo (50°C) y que tiene un valor de $K=494 \text{ N/mm}^2$.

Tomando los datos para cada uno de los valores tenemos que el espesor mínimo requerido es:

$$S_{min} = \frac{2500mm * 19,8bar * 1,91}{40 * \left(\frac{494N/mm^2}{1,5}\right) * 1} = 7,17mm$$

Por otra parte, la normativa DIN 28013 (ASME Code Section VIII, Division 1) indica que para el cálculo del espesor mínimo del fondo tipo Korbogen se deberá utilizar la fórmula E.4.

$$S_{min} = \frac{P\left(\frac{N}{mm^2}\right) * R(mm) * M}{2 * \sigma_k\left(\frac{N}{mm^2}\right) * z - 0,2 * P\left(\frac{N}{mm^2}\right)} \quad (E.4)$$

Donde M es un factor que se calcula de la siguiente manera:

$$M = 1/4 * (3 + \sqrt{R/r}) = 1,32 \quad (E.5)$$

Mediante la fórmula E.4 el valor del espesor mínimo para los fondos es:

$$S_{min} = \frac{1,98 \frac{N}{mm^2} * 2000mm * 1,32}{2 * 410 \frac{N}{mm^2} * 1 - 0,2 * 1,98 \frac{N}{mm^2}} = 6,37 mm$$

Como puede verse, utilizando un espesor de 9,1mm para el diseño de los fondos se estaría cumpliendo con ambas normativas. Se opta por utilizar el mismo espesor que en las virolas para dotar de mayor resistencia a los fondos.

Las virolas utilizadas para la construcción del tanque interior cumplen con todos los requerimientos normativos seguidos en el diseño del tanque y tienen unas medidas de 9,1mm de espesor, 7865 mm de largo y 1830 mm de ancho. Para la construcción del tanque interior se utilizarán 5 unidades para el cuerpo y dos chapas de 9,1 mm de espesor y 2500 mm de diámetro para los fondos.

Tabla 6: Medidas del tanque interior.

MEDIDAS DEL TANQUE INTERIOR		
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	MEDIDAS
DIÁMETRO EXTERIOR	D	2500 mm
ESPESOR VIROLA	s	9,1 mm
ESPESOR FONDO	s	9,1 mm
RADIO INTERIOR DE LA PARTE TÓRICA	r	385 mm
RADIO INTERIOR DE LA PARTE ESFÉRICA	R	2.000 mm
ALTURA PARTE ENVOLVENTE DEL FONDO	h ₁	30 mm
ALTURA PARTE ESFÉRICA DEL FONDO	h ₂	632 mm
ALTURA TOTAL DEL FONDO	h ₃	662 mm
ALTURA TOTAL DEL TANQUE	H	10.474 mm

6.2.2. DISEÑO DEL TANQUE EXTERIOR

El diseño del tanque exterior se hará siguiendo un procedimiento semejante al del tanque interior, no obstante, al no estar en contacto con el fluido criogénico, se utilizará el procedimiento general descrito en la normativa EN 1458-2, en concreto en el apartado 4.3.3 Camisa exterior.

La presión de diseño interna p se corresponde con la presión de tarado del dispositivo de alivio de presión de la camisa exterior, es decir, la presión máxima de servicio del tanque.

$$p = 18 \text{ bar}$$

CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA CARCASA EXTERIOR

El espesor mínimo de las paredes del recipiente exterior se calcula de acuerdo con el apartado 4.3.6.1.3 de la norma EN 13458-2:

$$s = \frac{D_a * p}{20 * (K/S) * v + p} + c \quad (\text{E.6})$$

Donde:

- s: espesor mínimo requerido de la pared, en mm.
- D_a: diámetro exterior de la envolvente cilíndrica, en mm.
- S: factor de seguridad a la presión de diseño.
- K: propiedad del material, en N/mm².
- v: coeficiente de unión soldada.
- c: márgenes

Según la normativa, el factor de seguridad para la presión interna de la camisa exterior es $S = 1,1$, el factor de unión soldada es $v = 0,7$ y $c = 0$. El diámetro exterior es $D_d = 3000\text{mm}$.

La propiedad K del material se corresponde, según el apartado 4.3.2.3.1 de la norma con la resistencia a la tracción al 0,2% del material. Según la normativa UNE-EN 10025-2, la resistencia a la tracción del acero al carbono 1.0114 es 360 N/mm^2 .

Por lo tanto, con los datos mencionados y haciendo uso de la ecuación E.6, el espesor de pared mínimo requerido para la camisa exterior es:

$$S_{min} = \frac{3000\text{mm} * 18\text{bar}}{20 * \left(\frac{360\text{N/mm}^2}{1,1}\right) * 0,7 + 18\text{bar}} = 11,7\text{mm}$$

CÁLCULO DE LOS FONDOS DE LA CAMISA EXTERIOR

La geometría seleccionada para el fondo y la parte superior del tanque exterior puede verse en la *Figura 5* y corresponde a un fondo torisférico tipo Korbogen.

Haciendo uso de las ecuaciones de diseño de este tipo de fondos, tomando como diámetro $D=3000\text{mm}$ y como espesor el calculado para las virolas del tanque, las medidas de los fondos quedan de la siguiente manera:

$$R = 3000\text{mm} * 0,8 = 2400\text{mm}$$

$$r = 3000\text{mm} * 0,154 = 462\text{mm}$$

$$h_1 \geq 3 * 10,31\text{ mm} \approx 31\text{mm}$$

$$h_2 = 0,255 * 3000\text{mm} - 0,635 * 10,31\text{ mm} \approx 758\text{ mm}$$

$$h_3 = 31\text{mm} + 758\text{ mm} = 789\text{ mm}$$

Mediante la fórmula E.3 el valor del espesor mínimo para los fondos es:

$$S_{min} = \frac{1,8 \frac{N}{\text{mm}^2} * 2400\text{mm} * 1,32}{2 * 360 \frac{N}{\text{mm}^2} * 1 - 0,2 * 18 \frac{N}{\text{mm}^2}} = 11,65\text{ mm}$$

Como puede observarse, el espesor mínimo requerido para los fondos del tanque exterior es menor que el espesor mínimo de las paredes, para la construcción del cuerpo del tanque exterior y de los fondos se empleará el espesor mínimo obtenido para las paredes.

Los valores h_1 , h_2 y h_3 se deben modificar debido al mayor espesor requerido en el fondo, por lo tanto:

$$h_1 \geq 3 * 11,7\text{ mm} \approx 35\text{mm}$$

$$h_2 = 0,255 * 3000\text{mm} - 0,635 * 11,7\text{ mm} \approx 758\text{ mm}$$

$$h_3 = 31\text{mm} + 758\text{ mm} = 793\text{ mm}$$

Para la construcción del tanque exterior se utilizarán:

- 5 virolas de 11,7 mm de espesor, 9430 mm de largo y 1975 mm de ancho.
- 2 chapas de 11,7 mm de espesor y 3000mm de diámetro.

Tabla 7: Medidas del tanque exterior.

MEDIDAS DEL TANQUE EXTERIOR		
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	MEDIDAS
DIÁMETRO EXTERIOR	D_a	3.000 mm
ESPESOR VIROLA	s_e	11,7 mm
ESPESOR FONDO	s_e	11,7 mm
RADIO INTERIOR DE LA PARTE TÓRICA	r	462 mm
RADIO INTERIOR DE LA PARTE ESFÉRICA	R	2.400 mm
ALTURA PARTE ENVOLVENTE DEL FONDO	h_1	35 mm
ALTURA PARTE ESFÉRICA DEL FONDO	h_2	758 mm
ALTURA TOTAL DEL FONDO	h_3	793 mm
ALTURA TOTAL DEL TANQUE	H	11.461 mm
ALTURA DEL TANQUE CON PATAS	H_T	12.060 mm

6.3. PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN

El fabricante o subcontratista debe disponer de los equipos necesarios para asegurar la fabricación y los ensayos de acuerdo con el diseño realizado.

A su vez, dicho fabricante deberá mantener:

- Un sistema de correlación del material para las piezas sometidas a presión.
- Las dimensiones de diseño con tolerancias especificadas.
- La correcta y necesaria limpieza en el recipiente interior.

De manera general, el proceso de fabricación de los tanques partirá de chapas planas de las medidas comentadas anteriormente. Las chapas serán curvadas de la forma correcta hasta alcanzar la total curvatura que permita el soldeo de ambos extremos. Tanto los materiales utilizados para llevar a cabo las soldaduras como los procesos y soldadores estarán homologados de acuerdo con las normativas pertinentes. Cuando cada una de las chapas esté unida consigo misma se unirá a otra virola, se partirá de uno de los fondos y se irán uniendo una con otra hasta llegar al otro de los fondos. Los procesos se llevarán a cabo de manera horizontal salvo para el techo del tanque exterior, al que, previo a su cierre, se le habrá introducido el tanque interior y la perlita.

Los detalles internos de las soldaduras serán tales que no sea posible la acumulación de residuos, contaminantes, hidrocarburos o desengrasantes, hasta el punto de causar un riesgo de incendio en el futuro funcionamiento.

Una vez conformado el tanque interior, este será sometido al proceso de reforzamiento mediante presión.

El proceso de reforzamiento comienza con el llenado del tanque con agua. Antes de cerrar el recipiente, se debería esperar durante 15 minutos como mínimo para permitir que escape todo el aire disuelto en el líquido. A continuación, el recipiente se llena hasta el máximo y se sella.

Se medirá la circunferencia de todas las virolas (mediante cintas de acero, por ejemplo) para comprobar el aumento de sección transversal. La velocidad de deformación durante la operación será calculada a lo largo de toda la circunferencia.

El reforzamiento se realizará de la siguiente manera: Se aumenta la presión hasta que alcance el valor de la presión de reforzamiento, $p_k = 29,7$ bar, y se mantendrá hasta que la velocidad de deformación haya descendido a menos del 0,1%/hora. El tiempo aproximado al que será sometido será de 1 hora ya que durante los primeros 30 minutos la presión se elevará un 5% más, hasta alcanzar los 31,19 bar.

El procedimiento será registrado por escrito mediante informe que contendrá la siguiente información:

- Secuencia de presurización con especificación de las lecturas de presión y hora a la que se hayan realizado.
- Mediciones de las circunferencias antes, durante y después de la presurización.
- Cálculos de las velocidades de deformación a partir de las mediciones de circunferencias.
- Todo cambio significativo de forma y tamaño pertinente para el funcionamiento del recipiente.
- Todo requisito de renovación del reforzamiento.

6.4. PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN

La normativa de EN 13558-2 exige un plan de calidad para el proceso de fabricación, el plan propuesto para el tanque diseñado contará con las siguientes etapas de inspección y ensayos:

1. Verificación de los certificados de ensayos del material y correlación con los materiales.
2. Verificación de la Especificación del Procedimiento de Soldadura y del Registro de Calificación del Procedimiento.
3. Aprobación de los registros de homologación de los soldadores de acuerdo con las normas EN 287 y EN-ISO 9606.
4. Examen de los bordes cortados de los materiales.
5. Examen de la preparación de costuras para soldadura, incluida una comprobación dimensional tanto del cuerpo como de los fondos.
6. Examen visual de las soldaduras de acuerdo con la normativa EN 25817 (ISO 5817).
7. Prueba de chapas de ensayo para control de la producción de acuerdo con el apartado 6.2.1 de la norma EN 13458-2.
8. Verificación de la limpieza de la superficie interna del recipiente.
9. Desengrase y comprobación de la limpieza de los fondos.
10. Ensayo no destructivo de las tubuladuras mediante líquidos penetrantes. EN 23277.

11. Inspección mediante rayos-X de las soldaduras y evaluación de los resultados en base al apartado 6.3.4.2 de la norma EN 13458-2.
12. Inspección del recipiente acabado y comprobación de sus dimensiones.
13. Inspección visual de las soldaduras.
14. Prueba hidrostática y procedimiento de reforzamiento mediante presión. EN 13458-2-anexo C. La presión empleada para la prueba hidrostática según la normativa sería el mayor de los valores obtenidos mediante las fórmulas del apartado 4.2.3.2-g de la citada norma. El valor obtenido es:

$$p_T = 1,43 * (PS + 1) = 1,43 * (18 + 1) = 27,17 \text{ bar}$$

Al ser la presión calculada para el reforzamiento ($p_k = 29,7\text{bar}$) mayor que la necesaria en la prueba, la normativa acepta el reforzamiento como prueba hidrostática.

15. Comprobación del secado después de la prueba de presión.

Posteriormente se realiza el montaje de ambos tanques, añadiendo la perlita y realizando el vacío entre ambas cámaras. Las inspecciones y acciones tras el montaje son los siguientes:

16. Soldeo de los de cordones de soldadura de la camisa exterior.
17. Inspección visual de las soldaduras de la camisa exterior.
18. Prueba de fugas mediante helio del tanque completado.
19. Verificación de la limpieza durante el montaje de las tuberías.
20. Prueba de presión neumática de las tuberías y valvulería instaladas.
21. Comprobación de los dispositivos y componentes de alivio de presión.
22. Comprobación de vacío en el dispositivo de alivio.
23. Comprobación de la placa de identificación y cualquier otro marcado especificado.
24. Inspección del recipiente acabado y comprobación de sus dimensiones.
25. Comprobación de la pintura aplicada.
26. Comprobación del punto de rocío y sobrepresión. Mínimo -40°C .
27. Comprobación de vacío: evaluación de la prueba de retención.
28. Verificación de la evaluación final de acuerdo con la directiva 2014/68 / UE.
29. Inspección final previa a la entrega.

La necesidad de limpieza de los equipos para oxígeno líquido se describe en la Norma UNE 1797.

6.5. ACCIONES Y RIESGOS A CONSIDERAR

El tanque se ha diseñado para soportar las posibles cargas externas a las que pueda verse sometido. Se considerará como posibles cargas la acción del viento y el riesgo sísmico según las Normativas detalladas en cada uno de los subapartados correspondientes. Se tendrá también en consideración la acción de compresión provocada por el propio peso del tanque.

6.5.1. COMPRESIÓN DEBIDA AL PESO

El peso total del equipo en vacío, incluyendo el depósito interior, el depósito exterior, la perlita y los elementos auxiliares es:

$$Peso_{Total} = 25.020 \text{ kg}$$

Las tensiones longitudinales debidas al peso en la envolvente cilíndrica serán:

$$\sigma_{LP} = \frac{25.020 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2}{\pi * 3000 \text{ mm} * 11,7 \text{ mm}} = 2,23 \text{ N/mm}^2$$

6.5.2. ESTABILIDAD FRENTE A LA ACCIÓN DEL VIENTO

La fuerza máxima del viento se ha determinado según la norma EN 1991-1-4., Eurocódigo 1: Acciones en estructuras, Parte 1-4: Acciones generales, Acciones del viento.

Pese a que la media de los vientos en la zona no supera los 26m/s se va a considerar un viento máximo de 56m/s para comprobar la estabilidad.

Según el punto 5.3 de la Normativa mencionada, la fuerza del viento F_w que actúa sobre una estructura o un elemento estructural, se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$F_w = c_s c_d * c_f * q_p * A_{ref} \quad (E.7)$$

Donde:

- $c_s c_d$, es el factor estructural
- c_f , es el coeficiente de fuerza para el elemento estructural o la estructura.
- q_p , es la presión correspondiente a la velocidad pico.
- A_{ref} , es el área de referencia para el elemento estructural o la estructura.

Para estructuras de altura inferior a 15 metros, el valor de $c_s c_d$ es igual a 1.

El valor de c_f se calcula según el apartado 7.9.2 de la Norma, para este caso se puede aproximar a 1.

El A_{ref} se considera la altura total del tanque exterior, patas incluidas, por el diámetro.

$$A_{ref} = 12,06m * 3m = 36,18m^2$$

La presión correspondiente a la velocidad pico se calcula de la siguiente manera:

$$q_p = \frac{1}{2} * \rho * v^2 \quad (E.8)$$

Donde:

- ρ es la densidad del aire, valor recomendado 1,25 kg/m³.
- v es la velocidad del aire para el cálculo de la carga.

Por lo que, mediante la ecuación E.8:

$$q_p = \frac{1}{2} * 1,25 \frac{kg}{m^3} * \left(56 \frac{m}{s}\right)^2 = 1960 \frac{kg}{m * s^2}$$

Por lo tanto, mediante la ecuación E.7 tenemos que la fuerza del viento es:

$$F_w = 1 * 1 * 1960 \frac{kg}{m * s^2} * 36,18m^2 = 70912,8 N$$

Para el cálculo del momento flexor se establece como punto de acción la diferencia de altura desde la base hasta la altura referencia mencionada en el apartado 6.3.1 y que equivale a:

$$z_s = 0,6 * H = 0,6 * 12,06 m = 7,236 m$$

Por lo tanto:

$$M_w = 70.912,8 N * 7,236 m = 513,125 * 10^6 N * mm$$

Siendo el módulo resistente de la virola:

$$W = \pi * r_{exterior}^2 * s = \pi * 1500^2 mm^2 * 11,7 mm = 82,7 * 10^6 mm^3$$

Tenemos que la tensión máxima debida a la flexión es:

$$\sigma_{LV} = \frac{513,125 * 10^6 N * mm}{82,7 * 10^6 mm^3} = 6,20 N/mm^2$$

6.5.3. ESTABILIDAD FRENTE A LAS CARGAS SÍSMICAS

La fuerza sísmica máxima se ha determinado en base al Código de construcción de EE. UU. UBC 1997. Según el apartado 1630.2.3.2 de la citada Norma, la fuerza cortante en la base debida a la acción sísmica se puede calcular de manera simplificada por medio de la siguiente fórmula:

$$F_S = \frac{2,5 * C_a * I}{R} * P_{eso_{Total\ lleno}} * g \quad (E.9)$$

Donde:

- C_a , es un coeficiente sísmico cuyo valor es 0,36.
- R , es coeficiente numérico representativo de la sobrerresistencia y la capacidad de ductilidad global de los sistemas de resistencia a la fuerza lateral. Tiene un valor de 2,2.
- I , es un factor cuyo valor para este caso es 1,25.
- $P_{eso_{Total\ lleno}} = 77100kg$
- g , es la gravedad.

Por lo tanto, la fuerza sísmica es:

$$F_S = \frac{2,5 * 0,36 * 1,25}{2,2} * 77.100kg * 9,81 \frac{m}{s^2} = 386.770 N$$

Para el cálculo del momento flexor se utiliza la distancia calculada en el apartado anterior, z_S .

Por lo tanto, el momento flector para la fuerza sísmica será:

$$M_S = 386.770 N * 7,236 m = 2.798,668 * 10^6 N * mm$$

Siendo el módulo resistente de la virola, W , tenemos que la tensión máxima debida a la flexión es:

$$\sigma_{LS} = \frac{2.798,668 * 10^6 N * mm}{82,7 * 10^6 mm^3} = 33,84 N/mm^2$$

6.5.4. COMPROBACIÓN DE EFECTOS DE LAS ACCIONES EXTERNAS

El valor máximo de las tensiones debidas a las posibles acciones externas que puedan afectar al tanque y que aparecen en la zona de sotavento es:

$$\sigma_{Total} = \sigma_{LS} + \sigma_{LV} + \sigma_{LP} = 33,84 + 6,20 + 2,23 = 42,27 N/mm^2$$

La tensión longitudinal ejercida por la presión de diseño del tanque exterior es:

$$\sigma_L = \frac{p * r_{exterior}}{2 * s_e} = \frac{1,8 \frac{N}{mm^2} * 1500 mm}{2 * 11,7 mm} = 115,38 \frac{N}{mm^2}$$

Como puede verse, la tensión provocada por la presión es mayor que la suma de las tensiones de las fuerzas externas, por lo tanto, no modifican la tensión equivalente de diseño y el espesor calculado es válido.

6.5.5. PANDEO ELÁSTICO

El riesgo de pandeo elástico se calcula comparando la presión de pandeo, p_e , y la presión de diseño.

$$p_e = \frac{E}{0,74S_k} \left\{ \frac{20}{(n^2-1) * [1+(n/Z)^2]^2} \frac{s_e-c}{D_a} + \frac{80}{12 * (1-v^2)} \left[n^2 - 1 + \frac{2n^2-1-v}{1+(\frac{n}{Z})^2} \right] \left[\frac{s_e-c}{D_a} \right]^3 \right\} \quad (E.10)$$

Donde:

$$Z = 0,5 * \frac{\pi * D_a}{l_b} \quad (E.11)$$

- l_b , es la longitud de pandeo, longitud del tanque sin contar los fondos. $l_b = 9875 mm$

Por lo que:

$$Z = 0,5 * \frac{\pi * 3000mm}{9875mm} = 0,477$$

- E , es el módulo de Young, tiene un valor de 210 kN/mm² para los aceros.
- S_k , es un factor de seguridad que tiene un valor de 2.
- n , es un número entero igual o superior a 2 y mayor que Z , determinado de tal manera que el valor para p_e sea un mínimo. Indica el número de lóbulos producidos por el proceso de pandeo que pueden formarse en la circunferencia en caso de fallo. Puede estimarse utilizando la siguiente ecuación:

$$n = 1,63 * \sqrt{\frac{D_a^3}{l_b^2 * (s_e - c)}} \quad (E.12)$$

Por lo que n:

$$n = 1,63 * \sqrt[4]{\frac{3000^3 mm^3}{9875^2 mm^2 * (11,7 mm - 0)}} = 3,6 \approx 4$$

Haciendo uso de la ecuación E.10 tenemos un valor de pandeo elástico de:

$$p_e = \frac{210}{0,74 * 2} \left\{ \frac{20}{(4^2 - 1) * \left[1 + \left(\frac{4}{0,477} \right)^2 \right]^2} \frac{11,7}{3000} + \frac{80}{12 * (1 - 0,7^2)} \left[4^2 - 1 + \frac{32 - 1 - 0,7}{1 + \left(\frac{4}{0,477} \right)^2} \right] \left[\frac{11,7}{3000} \right]^3 \right\}$$

$$p_e = 1,842 \frac{kN}{mm^2} = 18,42 \text{ bar}$$

La presión calculada no debe ser inferior a la presión de diseño. Para el tanque exterior la presión de diseño es 18 bar por lo que no habrá riesgo de pandeo elástico.

6.5.6. DEFORMACIÓN PLÁSTICA

El riesgo de deformación plástica se calcula comparando la presión de deformación plástica, p_p , y la presión de diseño.

$$p_p = \frac{20 * K}{S_p} * \frac{s_e - c}{D_a} * \frac{1}{1 + \frac{1,5 * u * \left(1 - 0,2 * \frac{D_a}{l_b} \right) * D_a}{100 * (s_e - c)}} \quad (E.13)$$

Donde:

- S_p , es un factor de seguridad de valor 1,1.
- u , es la ovalización permitida, como no se tienen datos se asume la máxima permitida, 2%.

Haciendo uso de la ecuación E.11 tenemos un valor de deformación plástica de:

$$p_p = \frac{20 * \frac{360N}{mm^2}}{1,1} * \frac{11,7}{3000} * \frac{1}{1 + \frac{1,5 * 0,02 * \left(1 - 0,2 * \frac{3000}{9875}\right) * 3000}{100 * (11,7)}}$$

$$p_p = 23,8 \frac{N}{mm^2} = 238bar$$

La presión calculada no debe ser inferior a la presión de diseño. Para el tanque exterior la presión de diseño es 18 bar por lo que no habrá riesgo de deformación plástica.

6.6. DISEÑO DE ABERTURAS Y CONEXIONES

6.6.1. TANQUE INTERIOR

La Norma EN 13458-2 regula en su apartado C.5.2.3.5 la abertura admisible más grande en agujeros individuales sin reforzar para el tanque interior. En el caso de agujeros de unión de un manguito, etc. a la envolvente, el diámetro interior del manguito no debería ser superior a d_{max} :

Donde:

- d_{max} , es el diámetro de la mayor abertura admisible, mm.
- D_y , es el diámetro exterior de la envolvente, mm.
- R , es el radio interior de la corona del fondo, mm.
- s_0 , es el espesor de la pared de la envolvente sin perforar, mm.
- s , es el verdadero espesor de la pared de la envolvente, mm.
- $\mu = \frac{s_0}{s}$
- $C = 60 * \sqrt{2 * (1 - \mu)}$, con un máximo de 60 mm.

$$d_{max} = 0,4 * \sqrt{D_y * s + C} \quad (E.14)$$

El espesor de la pared de un cilindro sin perforar se calcula utilizando la fórmula E.15.

$$s_0 = \frac{p * D_y}{20 * \frac{\sigma_k}{1,5} + 2 * p} \quad (E.15)$$

El espesor de la pared de la zona de la corona de un fondo cóncavo sin perforar se calcula utilizando la fórmula E.16.

$$s_{0_Fondo} = \frac{p * R}{20 * \frac{\sigma_k}{1,5}} \quad (E.16)$$

Dado que:

- $p = 19,8 \text{ bar}$
- $D_y = 2500 \text{ mm}$
- $\sigma_k = 410 \text{ N/mm}^2$
- $R = 2000 \text{ mm}$
- $s = 9,1 \text{ mm}$

Tenemos que el diámetro máximo de la abertura en la pared es:

$$s_0 = \frac{19,8 * 2500}{20 * \frac{410}{1,5} + 2 * 19,8} = 8,99 \text{ mm}$$

$$\mu_{pared} = \frac{8,99 \text{ mm}}{9,1 \text{ mm}} = 0,9879$$

$$C_{pared} = 60 * \sqrt{2 * (1 - 0,9879)} = 9,329$$

$$d_{max} = 0,4 * \sqrt{2500 * 9,1 + 9,329} = 60,3 \text{ mm}$$

Por otra parte, el diámetro máximo de la abertura en el fondo es:

$$s_0 = \frac{19,8 * 2500}{20 * \frac{410}{1,5}} = 9,05 \text{ mm}$$

$$\mu_{pared} = \frac{9,05 \text{ mm}}{9,1 \text{ mm}} = 0,9945$$

$$C_{pared} = 60 * \sqrt{2 * (1 - 0,9945)} = 6,293$$

$$d_{max} = 0,4 * \sqrt{2500 * 9,1 + 6,293} = 60,34 \text{ mm}$$

Todas las aberturas que se realizarán en el tanque interior menos la de llenado serán de diámetro inferior al calculado, por lo tanto, no será necesario el refuerzo de las mimas.

La abertura para el llenado tendrá un diámetro de 84 mm por lo que se deberá reforzar. Los posibles mecanismos de refuerzo se detallan en el apartado 4.3.6.7.3 de la Norma de diseño. Las aberturas se pueden reforzar para ello uno o más de los métodos siguientes que son típicos, pero no exclusivos:

- Aumento del espesor de la envolvente, *Figura 6*.
- Colocación de un anillo de refuerzo superpuesto o insertado, *Figura 7*.
- Refuerzo de placa, *Figura 8*.
- Aumento del espesor del manguito, *Figura 9*.
- Refuerzo de placa y manguito, *Figura 10*.

Figura 6: Espesor aumentado de una envolvente cilíndrica. Fuente EN 13458-2

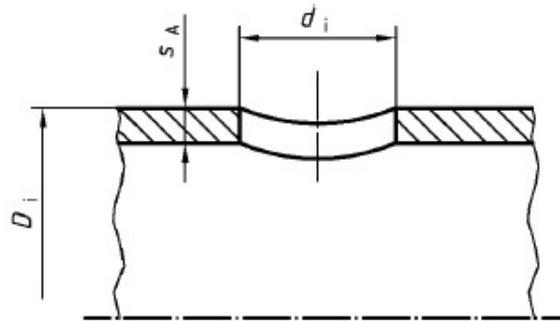


Figura 7: Refuerzo de anillo superpuesto (izquierda) y anillo insertado (derecha). Fuente: EN 13458-2.

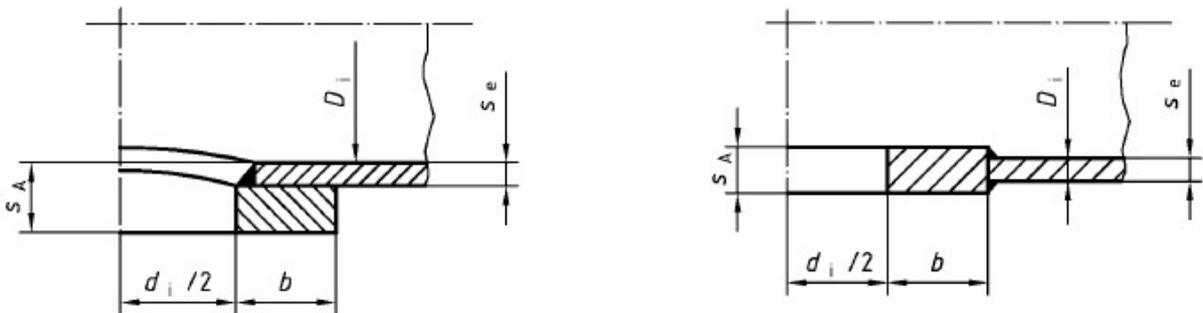


Figura 8: Refuerzo de placa. Fuente: EN 13458-2.

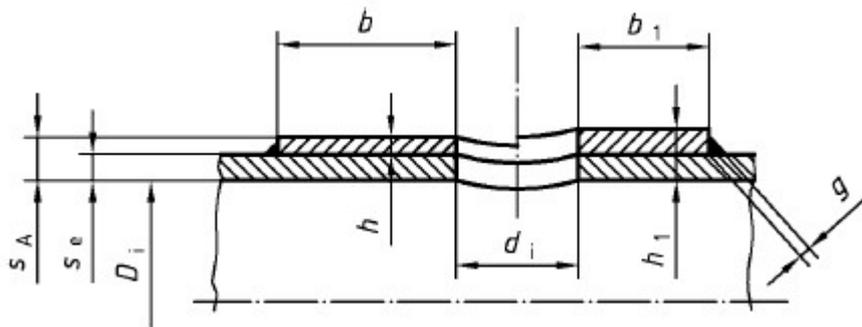


Figura 9: Refuerzo de manguito. Fuente: EN 13458-2.

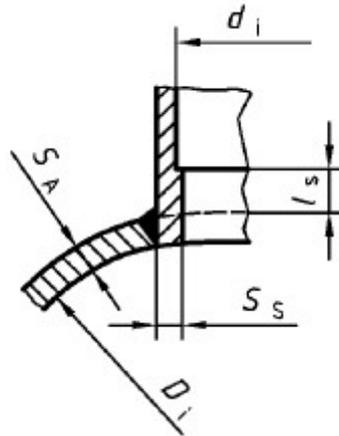
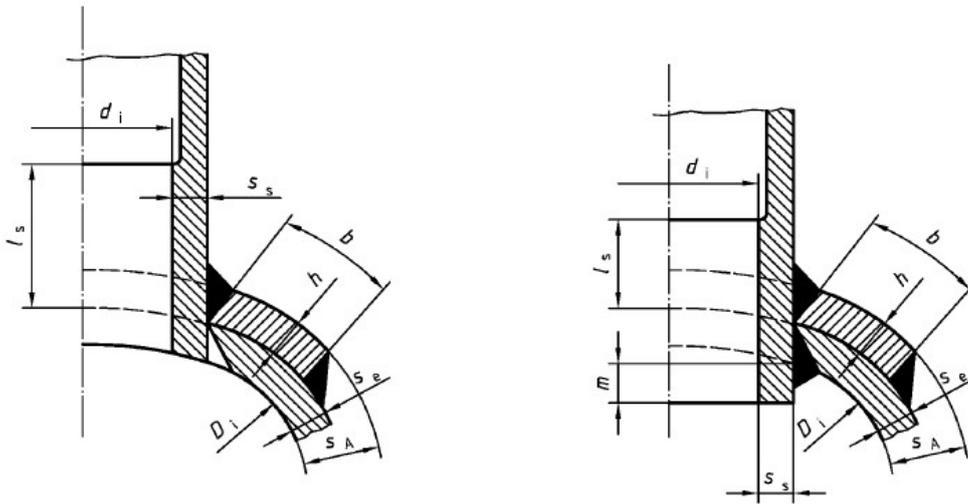


Figura 10: Refuerzo de placa y manguito. Fuente EN 13458-2.



El mecanismo de refuerzo escogido para la abertura es el reforzamiento mediante anillo superpuesto, *Figura 7*. La normativa contempla las condiciones de reforzamiento en su apartado 4.3.6.7.6. Si el espesor real de la pared del cilindro es inferior al espesor requerido s_A en la abertura, esta se considerará adecuadamente reforzada si existe un espesor de pared s_A alrededor de la abertura cubriendo un diámetro de:

$$d_{\text{anillo_int}} = \sqrt{(D_i + s_A - c) * (s_A - c)} \quad (\text{E.17})$$

A efectos de cálculo, s_A se debe limitar a un valor no superior a 2 veces el espesor real de la pared.

$$s_A = 2 * s = 2 * 9,1 \text{ mm} = 18,2 \text{ mm}$$

Por lo tanto, mediante la ecuación E.13 obtenemos el diámetro necesario del anillo de refuerzo:

$$d_{\text{anillo_int}} = \sqrt{(2481,8 + 18,2) * 18,2} \approx 214 \text{ mm}$$

6.6.2. TANQUE EXTERIOR

La Norma contempla el reforzamiento en las aberturas mediante las mismas condiciones que para el tanque interior, modificando únicamente en las ecuaciones E.15 y E.16 el valor de σ_k por la propiedad K del material, que tiene un valor de 360 N/mm². Por lo tanto:

Tenemos que el diámetro máximo de la abertura en la pared es:

$$s_{0ext_pared} = \frac{18 * 3000}{20 * \frac{360}{1,5} + 2 * 18} = 11,17 \text{ mm}$$

$$\mu_{pared_ext} = \frac{11,17 \text{ mm}}{11,7 \text{ mm}} = 0,9547$$

$$C_{pared_ext} = 60 * \sqrt{2 * (1 - 0,9547)} = 18,06$$

$$d_{max_ext_pared} = 0,4 * \sqrt{3000 * 11,7 + 18,06} = 74,96 \text{ mm}$$

Por otra parte, el diámetro máximo de la abertura en el fondo es:

$$s_{0ext_fondo} = \frac{18 * 3000}{20 * \frac{360}{1,5}} = 11,25 \text{ mm}$$

$$\mu_{fondo_ext} = \frac{11,25 \text{ mm}}{9,1 \text{ mm}} = 0,9615$$

$$C_{fondo_ext} = 60 * \sqrt{2 * (1 - 0,9615)} = 16,65$$

$$d_{max_ext_fondo} = 0,4 * \sqrt{3000 * 11,7 + 16,65} = 74,96 \text{ mm}$$

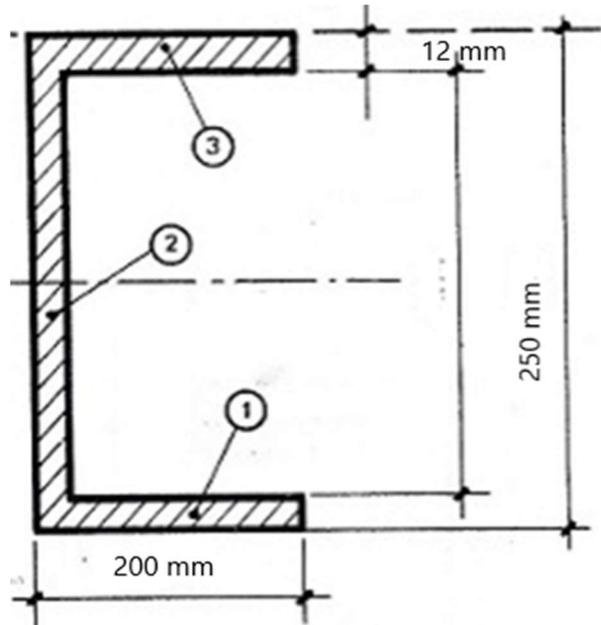
Todas las aberturas que se realizarán en el tanque exterior serán de diámetro inferior al calculado, por lo tanto, no será necesario el refuerzo de las mismas.

6.7. DISEÑO DE LOS SOPORTES

El tanque se soportará sobre cuatro patas de altura 2,5 metros, se empotrarán al suelo y se fijarán al cuerpo del tanque, se mantendrá una distancia mínima de 0,65 metros entre la base del suelo y la salida inferior del tanque.

Las patas serán ejecutadas con perfil en U de acero al carbono de designación numérica 1.0577 según la Norma UNE-EN 10025-2:2020 y límite elástico $R_{p_ma_sop} = 355$ MPa. Se distribuirán uniformemente en la periferia del tanque y tendrán un tamaño de 200 mm x 250 mm y un espesor de 12 mm.

Figura 11: Perfil en U para el soporte.



La comprobación de la validez del diseño de los soportes se hará en base a lo expuesto en el capítulo 16.10 de la Norma EN 13445-3. Las condiciones de aplicabilidad que se deben aplicar son las siguientes:

$$0,001 \leq \frac{e_{soporte}}{D_{i_tanque_ext}} \leq 0,05 \quad (E.18)$$

$$0,2 \leq \frac{g}{h_{soporte}} \leq 1$$

Siendo

- $e_{soporte} = 10 \text{ mm}$
- $D_{i_tanque_ext} = 2976,6 \text{ mm}$
- g , distancia entre nervios del soporte, $g = 2017 \text{ mm}$
- $h_{soporte} = 2500 \text{ mm}$

$$0,001 \leq \frac{10}{2976,6} = 0,003 \leq 0,05$$

$$0,2 \leq \frac{2017}{2500} = 0,81 \leq 1$$

Las fuerzas aplicadas son la fuerza vertical sobre los soportes, F_{vi} , y la fuerza horizontal en cada pata F_{Hi} .

$$F_{vi} = \frac{F}{n} + \frac{4 \cdot M_A}{n \cdot [D_{i_tanque_ext} + 2 \cdot (a_1 + e_{soporte})]} \quad (E.19)$$

$$F_{Hi} = \frac{F_H}{n} \quad (E.20)$$

Donde:

- F , es la fuerza debida al peso del recipiente lleno.
- n , es el número de patas.
- M_A , es el momento global en el punto central de la sección transversal en la base de las patas.
- a_1 , es la distancia desde el centro de la carga hasta la envolvente, $a_1 = 1500$ mm.
- F_H , es la fuerza horizontal que actúa en la base de las patas.

$$F = 77.100 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 756.351 \text{ N}$$

$$F_H = 1 \cdot 1 \cdot 1960 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2} \cdot 36,18 \text{ m}^2 = 70912,8 \text{ N}$$

Por lo que el momento global será:

$$M_A = F \cdot 7.236 \text{ mm} = 547,2956 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

El momento del área se la sección transversal se calcula de la siguiente manera:

Las fuerzas aplicadas resultan:

$$F_{vi} = \frac{756.351 \text{ N}}{4} + \frac{4 \cdot 547,2956 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}}{4 \cdot [2976,6 \text{ mm} + 2 \cdot (1500 \text{ mm} + 12 \text{ mm})]}$$

$$F_{vi} = 280.294,56 \text{ N}$$

$$F_{Hi} = \frac{70912,8 \text{ N}}{4} = 17.728,2 \text{ N}$$

Para comprobar la validez de los soportes diseñados se debe calcular el límite de carga de la envolvente mediante el procedimiento descrito en el apartado 16.10.5:

$$\lambda = \frac{h_{soporte}}{\sqrt{D_{i_tanque_ext} * e_{soporte}}} \quad (E.21)$$

$$K_{16} = \frac{1}{\sqrt{0,16+0,4*\lambda+0,02*\lambda^2}} \quad (E.22)$$

$$\lambda = 13,23 \quad ; \quad K_{16} = 0,334$$

Se calculan ahora los valores de v_1 y v_2 para obtener la tensión límite de flexión admisible $\sigma_{b,all}$ mediante la ecuación E.23:

$$v_1 = 0,3 \quad ; \quad K_2 = 1,25$$

$$v_2 = \frac{\sigma_m}{K_2 * f} \quad (E.23)$$

$$K_1 = \frac{1-v_2^2}{\left(\frac{1}{3}+v_1v_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3}+v_1v_2\right)^2 + (1-v_2^2)*v_1^2}} \quad (E.24)$$

$$\sigma_{b,all} = K_1 * K_2 * f \quad (E.25)$$

Siendo:

$$f = \frac{R_{pmat_{sop}}}{1,5} = \frac{355 \frac{N}{mm^2}}{1,5} = 236,67 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{p * D_{i_tanque_ext}}{2 * e_{soporte}} = 22,32 \frac{N}{mm^2}$$

Por lo que:

$$v_2 = \frac{22,32}{1,25 * 236,67} = 0,075$$

$$K_1 = \frac{1 - v_2^2}{\left(\frac{1}{3} + v_1 v_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + v_1 v_2\right)^2 + (1 - v_2^2) * v_1^2}} = 1,21$$

$$\sigma_{b,all} = K_1 * K_2 * f = 357,96 \frac{N}{mm^2}$$

Se calcula el brazo palanca equivalente y la carga máxima admisible del soporte resultante:

$$a_{1,eq} = a_1 \frac{F_{Hi} * h_{soporte}}{F_{Vi}} = 1500mm * \frac{17.728,2 N * 2500mm}{280.294,56 N} = 237.181,73mm^2$$

$$F_{i,max} = \left(\frac{\sigma_{b,all} * e_{soporte}^2 * h_{soporte}}{K_{16} * a_{1,eq}} \right) * \min(1; 0,5 + g/h_{soporte}) \quad (E.26)$$

$$F_{i,max} = \left(\frac{357,96 \frac{N}{mm^2} * 12^2 mm^2 * 2500 mm}{0,334 * 237.181,73 mm^2} \right) * \min(1; 0,5 + \frac{2017}{2500})$$

$$F_{i,max} = \left(\frac{357,96 \frac{N}{mm^2} * 12^2 mm^2 * 2500 mm}{0,334 * 237.181,73 mm^2} \right) = 1.626,7 N$$

Se comprueba que:

$$F_{i,max} \leq F_{Vi}$$

Por lo que se demuestra que los soportes escogidos y diseñados son adecuados para la soportar la estructura.

6.8. DISEÑO DE LAS OREJETAS DE ELEVACIÓN

6.8.1. OREJETA PARA IZAR LONGITUDINAL

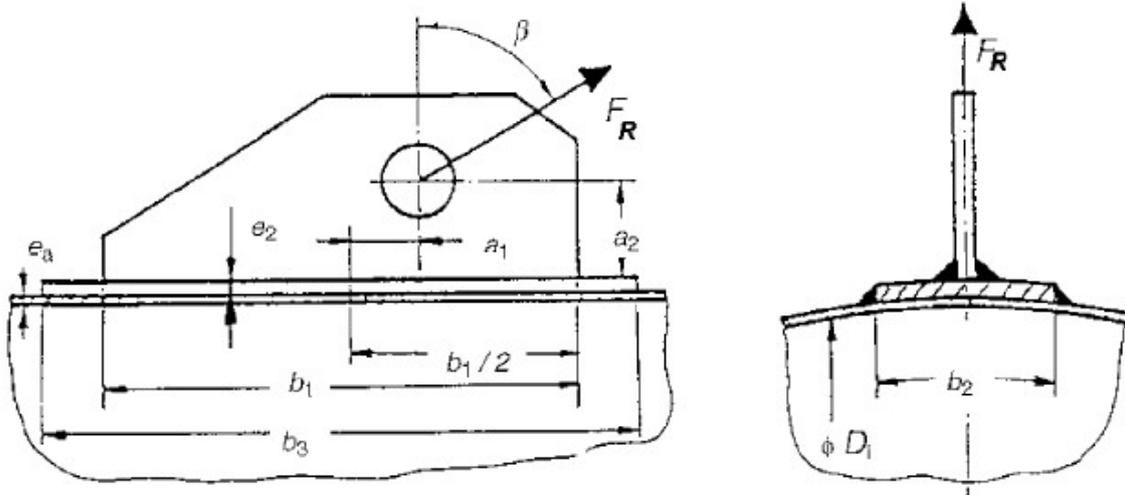
Se tiene que calcular la fuerza aplicada, F_R , que actúa para izar:

$$F_{R_long} = \frac{Peso_{Total} * 9,81}{2 * \cos \beta} = 122.723 N$$

Siendo β el ángulo entre la dirección de la fuerza y la normal a la envolvente. $\beta = 0^\circ$

- $b_1 = 300 mm$
- $e_{a_long} = 20 mm$
- $a_{2_long} = 90 mm$
- $a_{1_long} = 45 mm$

Figura 12. Orejeta para izar longitudinal. Fuente: EN 13445-3



$$\lambda_{long} = \frac{b_1}{\sqrt{D_{i,tanque_ext} * e_{a_long}}} = 1,23$$

$$v_{1_{long}} = 0,08 * \lambda_{long} = 0,1$$

$$K_{13_long} = \frac{1}{1,2 * \sqrt{1 + 0,06 * \lambda_{long}^2}} = 0,83$$

$$K_{14_long} = \frac{1}{0,6 * \sqrt{1 + 0,03 * \lambda_{long}^2}} = 1,67$$

$$F_{R,m\acute{a}x_long} = \frac{\sigma_{b,all} * e_{a_long}^2}{K_{13_long} * |\cos\beta| + K_{14_long} * |(a_{2_long} * \sin\beta - a_{1_long} * \cos\beta)| / b_1}$$

$$F_{R,m\acute{a}x_long} = 132.516,43 \text{ N}$$

$$F_{R,m\acute{a}x_long} \geq F_{R_long}$$

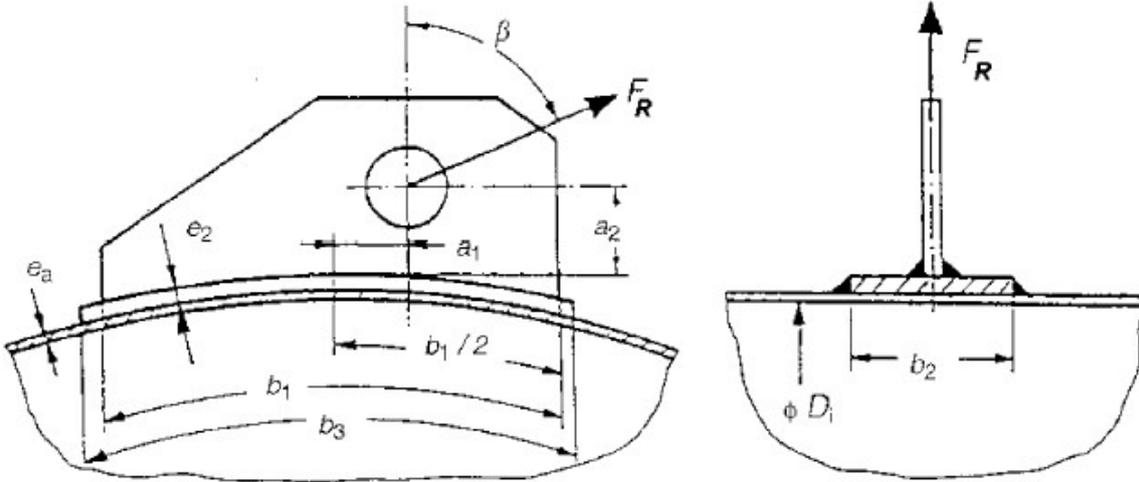
Por lo tanto, las orejetas longitudinales se han diseñado correctamente para poder izar el tanque.

6.8.2. OREJETA PARA IZAR TANGENCIAL

$$F_{R_tang} = \frac{Peso_{Total} * 9,81}{2 * \cos \beta} = 254.446 N$$

$$\beta = 60^\circ$$

Figura 13: Orejeta para izar tangencial. Fuente: EN 13445-3



- $b_1 = 300 \text{ mm}$
- $e_{2_tang} = 25 \text{ mm}$
- $a_{2_tang} = 90 \text{ mm}$
- $a_{1_tang} = 45 \text{ mm}$

$$\lambda_{tang} = \frac{b_1}{\sqrt{D_{i_tanque_ext} * e_{2_tang}}} = 1,1$$

$$v_{1tang} = 0,08 * \lambda_{tang} = 0,09$$

$$K_{13_tang} = \frac{1}{1,2 * \sqrt{1 + 0,6 * \lambda_{tang}^2}} = 0,83$$

$$K_{14_tang} = \frac{1}{0,6 * \sqrt{1 + 0,06 * \lambda_{tang}^2}} = 1,67$$

$$F_{R,m\acute{a}x_tang} = \frac{\sigma_{b,all} * e_{2_tang}^2}{K_{13_tang} * |\cos \beta| + K_{14_tang} * |(a_{2_tang} * \sin \beta - a_{1_tang} * \cos \beta)| / b_1}$$

$$F_{R,máx_{tang}} = 309.170,97N$$

$$F_{R,máx_{tang}} \geq F_{R_{tang}}$$

Por lo tanto, las orejetas tangenciales se han diseñado correctamente para poder izar el tanque.

6.9. DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN

La base del tanque consistirá en una losa de hormigón dada su estabilidad, además proporciona una ubicación segura para el tanque y los elementos auxiliares. Las características mínimas de la base son las siguientes:

- La base debe ser firme, estar nivelada y contar con un drenaje adecuado.
- Debe tener como mínimo 100 mm de altura desde el suelo circundante.
- El espesor mínimo es de 500 mm.
- El espesor del subsuelo deber ser como mínimo de 300 mm.
- La tensión mínima de compresión del hormigón deber ser de 350 kg/cm².
- La distancia desde el anclaje del tanque hasta el borde del zócalo será mínimo 500 mm.
- La distancia desde el tanque hasta el borde del zócalo, en la posición de la válvula debe ser como mínimo de 1000 mm.

Los soportes del tanque serán anclados a la cimentación mediante tornillos M42 y material 5.6 según DIN 18800, dos tornillos por soporte.

7. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO

7.1. CONDICIONES GENERALES DE MANIPULACIÓN Y USO

A tenor de lo dispuesto en el Reglamento de Equipos a Presión (RD 2060/2008 de 12 de diciembre), y en concreto en la ITC EP-4, las instalaciones de este tipo requerirán de un proyecto técnico ante el órgano competente de la comunidad autónoma que incluya, como mínimo, lo indicado en el apartado 2 del anexo II del citado reglamento.

Los equipos deberán ser ubicados conforme a lo indicado en los planos de montaje, anclados y nivelados de forma correcta.

El personal vinculado a la instalación deberá disponer del equipo de protección adecuado. Ante una posible fuga del líquido criogénico o del gas, se recomienda prestar atención y llevar el equipo apropiado de protección.

Llenado del tanque

El primer llenado del equipo se debe realizar de forma diferente a los sucesivos rellenados. Debido a la temperatura interior de partida, próxima a la temperatura ambiente, el primer paso será el enfriamiento del depósito, desmontando para ello las válvulas de seguridad y dejando el recipiente en contacto directo con la atmósfera. Los llenados sucesivos se realizarán por parte de la empresa suministradora, conectando para tal fin la cisterna de transporte y el racor de llenado del depósito mediante un flexible apropiado, manejando adecuadamente las válvulas de la fase líquida y la fase gas para mantener la presión constante.

Vaciado del tanque

El producto almacenado será consumido en fase gas por lo que será conducido hacia cuatro gasificadores, conectados con la línea de consumo del cliente. El depósito se vaciará según la demanda del cliente y de manera automática, manteniéndose constante la presión. Cuando el nivel LI alcance el valor mínimo acordado entre la empresa suministradora y el cliente, se avisará de manera automática al suministrador para su relleno.

Mantenimiento del tanque

El tanque y los elementos auxiliares se someterán a los mantenimientos indicados tanto por los fabricantes como por lo indicado en la reglamentación pertinente. El correcto mantenimiento dotará al conjunto de la instalación de una vida larga y unas condiciones de uso adecuadas.

Sería conveniente vigilar el estado de la pintura exterior a fin de evitar la posible formación de óxido en la envolvente exterior.

Se recomienda eliminar el hielo depositado en las válvulas y tubuladuras que lo requieran una vez por semana.

7.2. PLAN DE INSPECCIONES

Las inspecciones periódicas del equipo y el resto de la instalación se realizarán de acuerdo con la periodicidad, el agente y las condiciones establecidas en el Anexo III del Reglamento de Equipos a Presión, RD 2060/2008 y serán las siguientes:

Tabla 8: Plan de inspecciones del tanque.

NIVEL DE INSPECCIÓN	CATEGORÍA I y II FLUIDO GRUPO 1	CATEGORÍA III y IV FLUIDO GRUPO 1	TUBERÍAS CAT. I FLUIDO GRUPO 1
NIVEL A	Empresa instaladora – 3 años	Empresa instaladora – 2 años	
NIVEL B	OCA – 6 años	OCA – 4 años	OCA – 6 años
NIVEL C	OCA – 12 años	OCA – 12 años	OCA – 12 años

Para el caso de este tanque, el fluido almacenado tiene carácter peligroso y pertenece al Grupo 1 por su carácter comburente y oxidante. Por su parte, el equipo tiene un potencial de riesgo de categoría IV, como se ha visto en el *Capítulo 5.1* (producto $PS \cdot V$ nominal del tanque es $PS \cdot V = 18 \text{ bar} \cdot 50960 \text{ L} = 917280 \text{ bar} \cdot \text{L}$);

De acuerdo con el Reglamento de Equipos a Presión, deberán llevarse a cabo por tanto inspecciones de Nivel A cada dos años como máximo, bien por parte de la empresa instaladora o por la propia empresa cliente, si dispone de personal y medios apropiados. Deberán llevarse a cabo Inspecciones del Nivel B cada cuatro años e inspecciones de nivel C cada 12 años. Las inspecciones de Nivel B y C deben ser realizadas por entidades u organismos de inspección y control independientes (OCAs) registrados y acreditados para tal actividad en el organismo público competente, que en este caso se trata de la Consellería de Industria.

8. ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD

8.1. GENERALIDADES

Mediante el presente estudio se pretende precisar las normas de seguridad y salud que se aplicarán a la instalación del depósito y los elementos auxiliares.

En este estudio se identifican los riesgos laborales que pueden ser evitados y las medidas técnicas necesarias para lograrlo. Se indican además aquellos riesgos laborales que se pueden eliminar y se especifican las medidas preventivas y protecciones técnicas encaminadas a controlar y reducir dichos riesgos.

DESCRIPCIÓN DE LA OBRA

La obra consistirá en el montaje e instalación de un depósito criogénico de almacenamiento de oxígeno líquido y los correspondientes elementos auxiliares, así como las tuberías de conexión y valvulería necesarias.

8.2. ENTORNO LEGAL

Tal y como se contempla en la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, la normativa sobre prevención está constituida por la propia Ley, sus disposiciones de desarrollo o complementarias y cuantas otras normas, legales o convencionales, contengan prescripciones relativas a la adopción de medidas preventivas en el ámbito laboral o susceptibles de producirlas en dicho ámbito:

- Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Real Decreto 487 / 1997 sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorsolumbares, para los trabajadores.
- Real Decreto 773 / 1997 sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual
- Real Decreto 513/2017, de 22 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios.
- Real Decreto 656/2017, de 23 de junio, por el que se aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos

- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.
- Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias.
- REGLAMENTO (UE) 2016/425 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 9 de marzo de 2016 relativo a los equipos de protección individual.
- Etc.

En cualquier caso, si existiera normativa específica de aplicación, el procedimiento de evaluación deberá ajustarse a las condiciones concretas establecidas en la misma.

Cuando la evaluación exija la realización de mediciones, análisis o ensayos y la normativa no indique o concrete los métodos que deben emplearse, o cuando los criterios de evaluación contemplados en dicha normativa deban ser interpretados o precisados a la luz de otros criterios de carácter técnico, se podrán utilizar, si existen, los métodos o criterios recogidos en:

- Normas UNE.
- Guías del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, del Instituto Nacional de Silicosis y protocolos y guías del Ministerio de Sanidad y Consumo, así como de Instituciones competentes de las Comunidades Autónomas.
- Normas internacionales.
- En ausencia de los anteriores, guías de otras entidades de reconocido prestigio en la materia u otros métodos o criterios profesionales.

DOCUMENTACIÓN

La Autoridad Laboral, según lo dispuesto en el artículo 23 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, podrá exigir en cualquier momento la siguiente documentación relativa a las obligaciones establecidas:

- Plan de prevención de riesgos laborales.
- Evaluación de los riesgos para la seguridad y la salud en el trabajo.
- Planificación de la actividad preventiva, incluidas las medidas de protección y de prevención a adoptar y, en su caso, material de protección que deba utilizarse.
- Práctica de los controles del estado de salud de los trabajadores y sus conclusiones.
- Relación de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales que hayan causado al trabajador una incapacidad laboral superior a un día de trabajo.

Los trabajadores, con arreglo a su formación y siguiendo las instrucciones del empresario, deberán usar adecuadamente, de acuerdo con su naturaleza y los riesgos previsibles, las máquinas, aparatos, herramientas, sustancias peligrosas, equipos de transporte y, en general, cualesquiera otros medios con los que desarrollen su actividad, así como utilizar correctamente los medios y equipos de protección.

8.3. MEDIDAS DE SEGURIDAD

8.3.1. EQUIPO DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL (EPI)

Los EPI cumplirán los requisitos esenciales en materia de salud y seguridad establecidos en Normativa que les sea aplicable.

Estarán diseñados y fabricados de tal manera que, en las condiciones previsibles del uso al que estén destinados, el usuario pueda realizar normalmente la actividad de riesgo y, al mismo tiempo, gozar de una protección adecuada del nivel más elevado posible.

Todos los EPI deben estar certificados según el Real Decreto 1407/1992 de fecha 20 de noviembre.

El EPI será de uso personal e intransferible cuando sea susceptible para ello por motivos de higiene personal.

PROTECCIÓN DE LA CABEZA

- Obras de construcción y, especialmente, actividades en, debajo o cerca de andamios y puestos de trabajo situados en altura.
- Trabajos en puentes metálicos, edificios y estructuras metálicas de gran altura, postes, torres, obras hidráulicas de acero, instalaciones de altos hornos, acerías, etc.
- Actividades en mecanismos elevadores y grúas.

PROTECCIÓN DEL PIE

- Se deberá emplear Calzado de protección y de seguridad.
- Cuando haya riesgo de accidentes mecánicos se empleará calzado con puntera reforzada.
- Si el ambiente es húmedo el calzado será de goma
- El calzado deberá tener suela antideslizante siempre que se requiera.

PROTECCIÓN OCULAR O FACIAL

- Se deberán emplear gafas de protección, pantallas o pantallas faciales cuando exista peligro de proyección de humos, polvos o partículas.
- Para las labores de soldadura se deberán utilizar pantallas adecuadas.

PROTECCIÓN DEL OIDO

- Se utilizarán protectores acústicos cuando en nivel de ruido supere los 80 dBA.

PROTECCIÓN DEL TRONCO, LOS BRAZOS Y LAS MANOS

- Si se realizan trabajos eléctricos, se deberá emplear guantes de neopreno o caucho que indiquen el voltaje máximo que soportan.
- Los guantes de cuero o serraje se emplearán en la manipulación de piezas a temperatura ambiente y con el uso de herramientas o máquinas.
- Se deberán utilizar los guantes de seguridad específicos cuando los trabajos a realizar puedan producir lesiones en las manos.
- Durante la manipulación de productos químicos corrosivos, los guantes serán de un material resistente a la acción de dichos productos.

- No se usarán guantes en sitios donde hay posibilidad de que queden atrapados o enganchados en máquinas en movimiento.
- En los trabajos de soldadura (autógena, eléctrica u oxicorte) los guantes serán de media manga.

PROTECCIÓN RESPIRATORIA

Cuando la atmósfera de trabajo sea pobre en oxígeno (menos del 19%) o exista peligro de inhalación de gases será obligatorio el uso de un equipo respiratorio con las características adecuadas.

PROTECCIÓN DEL CUERPO

- Será de tejido ligero y flexible.
- Si es posible será de manga corta o, si es de manga larga, esta terminará en elástico a fin de evitar enganchones o quemaduras por contacto.
- Durante la manipulación de productos químicos corrosivos, la ropa será de un material resistente a la acción de dichos productos.
- En los trabajos de soldadura (autógena, eléctrica u oxicorte) la ropa será adecuada para ello.
- Se evitará la existencia de bolsillos y se prohíbe el uso de bufandas, colgantes o joyas.

8.3.2. PROTECCIÓN DE LA SALUD

- No se permitirá el trabajo de personas que se encuentren bajo los efectos del alcohol, drogas o cualquier otra sustancia que reduzca la capacidad del operario.
- Está prohibido fumar fuera de las zonas habilitadas para ello.
- Se facilitarán instalaciones sanitarias (aseos)
- Se facilitará agua potable.
- Se evitarán exposiciones continuadas al sol de los operarios.
- La manipulación de objetos pesados se realizará de la forma adecuada, manteniendo la espalda recta y agarrando la carga correctamente.

8.3.3. PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

- Las zonas de trabajo y circundantes se mantendrán limpias y ordenadas.
- Los accesos se mantendrán libres y frecuentemente se eliminarán los residuos generados.
- Se evitarán en la medida de lo posible cualquier tipo de vertido de aceite, hidrocarburos o cualquier sustancia tóxica. Si se produjese algún vertido se controlará adecuadamente.
- Se evitará la contaminación del suelo y las aguas próximas.

8.3.4. USO DE VEHÍCULOS Y HERRAMIENTAS

- Solo podrán ser utilizados por el personal autorizado y cualificado para tal fin.
- Se seguirá lo establecido en el Código de Circulación.
- Se seguirán las recomendaciones de los fabricantes de la maquinaria.
- Las herramientas se utilizarán para lo que están diseñadas.
- Los trabajadores conocerán las instrucciones de uso.
- No se sobrecargarán ni se subirán para hacer contrapeso personas durante el uso de vehículos.

8.3.5. PREVENCIÓN Y EXTINCIÓN DE INCENDIOS

- Se identificarán los equipos de extinción en cada una de las instalaciones: extintores de anhídrido carbónico o polvo seco y bocas de agua a presión.
- Los extintores se aprovecharán de la mejor manera posible dada su limitada capacidad. Se emplearán a favor del viento.
- No se realizarán trabajos generadores de chispas en atmósferas que puedan ser inflamables sin adoptar las precauciones previas.
- Si no se va a intervenir en la extinción, evacuar de forma ordenada el lugar hacia los lugares de reunión establecidos.

8.4. MEDIDAS ESPECÍFICAS PARA EL MONTAJE E INSTALACIÓN

Precauciones a tomar con líquidos criogénicos:

- Llevar guantes especiales en buen estado, gafas y zapatos de protección (que puedan quitarse rápidamente).
- Colocar una válvula de descarga entre dos válvulas en canalización que pueda contener un líquido criogénico.

Precauciones frente a comburentes y oxidantes:

- Eliminar todo riesgo de sobreoxigenación de las atmósferas de trabajo: una concentración de oxígeno del 25% provoca una combustión viva. Con respecto al personal que trabaja, no fumar y llevar ropa de tejidos poco combustibles.
- Impedir que la grasa, aceite y otras sustancias combustibles entren en contacto con O₂ u otros oxidantes (desengrasar cuidadosamente el material, sobre todo, en alta presión) para evitar una inflamación espontánea.
- Elegir materiales poco combustibles, cuya temperatura de autoinflamación sea elevada.

Precauciones generales:

- Se delimitará un área alrededor de la zona trabajo en la que exista riesgo de fugas o incendio.
- No se aproximarán llamas o focos incandescentes a lugares donde pueda encontrarse una atmósfera inflamable.
- Los trabajos de soldadura se realizarán adoptando las medidas pertinentes.
- Nunca habrá un operario sólo realizando trabajos en una conducción/instalación en carga, siempre permanecerá otro vigilando el desarrollo del mismo.
- Al cortar dos tuberías de acero o separar dos bridas, se realizará un puente eléctrico entre los dos tramos para evitar la producción de arco eléctrico.
- Si los trabajos se realizan en un punto donde se estime que pueda haber una fuga, se colocará un extintor próximo.
- Si se produce una fuga y la inflamación de ésta, se valorará la posibilidad de dejar la llama ante el peligro de acumulación de gas en lugares cerrados.

9. CONCLUSIONES

En el presente Trabajo de Fin de Máster se ha diseñado un tanque criogénico de 50 m³ para el almacenamiento de oxígeno líquido en una fábrica de fritas y esmaltes de la provincia de Castellón. Se ha cumplido con el objetivo general del proyecto y el diseño realizado cumple con las condiciones de servicio necesarias.

Para realizar el diseño se ha aplicado la Norma UNE-EN 13458-2:2003 de Recipientes criogénicos. Recipientes estáticos aislados al vacío. Parte 2: Diseño, fabricación, inspección y ensayos, así como, el Reglamento de Equipos a Presión y sus instrucciones técnicas complementarias y en particular: ITC-EP4, Instrucción Técnica Complementaria referente a Depósitos Criogénicos. La categoría del equipo también se ha establecido según el RD 709/2015.

Se han analizado y definido las condiciones de servicio y operación a las que será sometido el tanque diseñado y, en base a esas circunstancias, se han establecido los materiales necesarios para la construcción de los tanques y las distintas dimensiones de cada uno. Las dimensiones principales se adjuntan en la *Tabla 9*.

Tabla 9: Resumen dimensiones principales

DIMENSIONES PRINCIPALES	
DESCRIPCIÓN	MEDIDAS
DIÁMETRO TANQUE EXTERIOR	3.000 mm
ESPESOR VIOLA Y FONDO EXTERIOR	11,7 mm
ALTURA DEL TANQUE CON PATAS	12.060 mm
DIÁMETRO TANQUE INTERIOR	2.500 mm
ESPESOR VIOLA Y FONDO INTERIOR	9,1 mm
ALTURA TANQUE INTERIOR	10.474 mm
PESO TOTAL DEL TANQUE	14.630 kg

El emplazamiento más adecuado ha sido seleccionado dentro de la parcela de la empresa sita en Castellón, estableciendo las distancias mínimas con los diversos riesgos según el RD 2060/2008. Se ha definido, además, la cimentación necesaria del tanque y se ha verificado el diseño bajo acciones externas.

Posteriormente, se ha establecido un plan de inspecciones y unas pautas de manipulación y, además, se ha realizado un estudio de seguridad y salud aplicable a la instalación del depósito en la empresa.

Por último, se han cuantificado los costes de diseño y fabricación del tanque criogénico. El importe total de diseño y construcción del tanque asciende a 25.964,18 €.

A título personal, la realización del presente Trabajo de Fin de Máster me ha planteado problemas que abarcaban diferentes aspectos de la ingeniería y cuya solución ha tenido escasa supervisión por parte de la empresa. En la resolución de dichos problemas se han aplicado los conocimientos adquiridos tanto durante el Grado en Ingeniería Química como durante el Máster en Ingeniería química en asignaturas tales como Diseño Mecánico y Supervisión de Equipos e Instalaciones, Análisis del Riesgo y Seguridad en la Industria o Dirección y Gestión de Proyectos. Además, me ha sido necesario revisar y ampliar mis conocimientos y manejo del programa AutoCad para la realización de los planos necesarios.

En suma, la realización del presente trabajo me ha ayudado a entender mejor las labores de los ingenieros y la importancia de sus decisiones en los proyectos, además, me ha planteado un caso real de diseño industrial que he sido capaz de solventar y me ha preparado mejor para el futuro laboral.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Lucas, D. Carlos Gonzalvo; Molina, Manuel Irún. La fabricación de fritas, esmaltes y colores cerámicos. retos sociales, económicos y medioambientales en el contexto internacional.
- Es.weatherspark.com. Clima promedio en Onda, España, durante todo el año. <https://es.weatherspark.com/y/42661/Clima-promedio-en-Onda-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o> [Consulta 10 de junio de 2020]
- Steel-intelligence.com. Technology - SMI - Steel Market Intelligence. <https://www.steel-intelligence.com/technology.html> [Consulta 10 de junio de 2020]
- España, RD 709/2015, de 24 de julio, por el que se establecen los requisitos esenciales de seguridad para la comercialización de los equipos a presión. «BOE» núm. 210, de 2 de septiembre de 2015, páginas 77695 a 77769. Madrid.
- España, RD 2060/2008, de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias. «BOE» núm. 31, de 5 de febrero de 2009, páginas 12297 a 12388. Madrid.
- AENOR (2016). Recipientes criogénicos. Recipientes estáticos aislados al vacío. Parte 2: Diseño, fabricación, inspección y ensayos. UNE-EN 13458-2:2003. Madrid: AENOR.
- AENOR (2016). Productos planos de acero para aplicaciones a presión. Parte 7: Aceros inoxidables. UNE-EN 10028-7:2016. Madrid: AENOR.
- AENOR (2016). Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. Parte 2: Condiciones técnicas de suministro de los aceros estructurales no aleados. UNE-EN 10025-2:2020. Madrid: AENOR.
- AENOR (2016). Consumibles para el soldeo. Electrodo de alambre, electrodos de banda, alambres y varillas para el soldeo por fusión de aceros inoxidables y resistentes al calor. Clasificación. UNE-EN ISO 14343:2017. Madrid: AENOR
- AENOR (2016). Consumibles para el soldeo. Fundentes para el soldeo por arco sumergido y el soldeo por electroescoria. Clasificación. UNE-EN ISO 14174:201. Madrid: AENOR.
- AENOR (2016). Uniones soldadas por arco de aceros. Guía sobre los niveles de calidad en función de las imperfecciones UNE-EN 25817:1994. Madrid: AENOR.
- AENOR (2016). Recipientes criogénicos. Compatibilidad entre el gas y el material. UNE-EN 1797:2002. Madrid: AENOR.
- AENOR (2016). Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-4: Acciones generales. Acciones de viento. UNE-EN 1991-1-4:2018. Madrid: AENOR.
- AENOR (2016). Recipientes a presión no sometidos a llama. Parte 3: Diseño. UNE-EN 13445-3:2014 (RATIFICADA). Madrid: AENOR
- Deutsches Institut für Normung E.V. (DIN). Steel structures - Part 1: Design and construction. DIN 18800-1, 2008 Edition, November 2008.



- Korbbogenboden (DIN28013) ASME Code Section VIII, Division 1.
- 1997 Uniform Building Code CHAP. 16, DIV. I 1601 1605.2.1 Uniform Building Code Standards, 1991 (International Conference of Building Officials//Uniform Building Code Standards).
- Directiva 2014/68/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de mayo de 2014, relativa a la armonización de las legislaciones de los Estados miembros sobre la comercialización de equipos a presión. DO L 189, 27.6.2014, pp. 164-259.
- España. Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales. «BOE» núm. 269, de 10 de noviembre de 1995, páginas 32590 a 32611. Madrid.
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. <https://www.insst.es/>. [Consulta 20 de agosto de 2020]
- Martí Llagaria, A.M., (2016). Proyecto de almacenamiento de amoniaco para una empresa situada en Sagunto (Valencia).
- Ferrando García, P. (2016) Diseño, Cálculo y Construcción de Un Depósito Industrial de Chapa de Acero Para Fluidos.
- Air Products. Ficha de Seguridad del Oxígeno Líquido

PRESUPUESTO

ÍNDICE

1. CUADRO DE MANO DE OBRA	2
2. CUADRO DE MANO DE MAQUINARIA.....	2
3. CUADRO DE MATERIALES.....	3
4. DESCOMPUESTO	4
5. PRESUPUESTOS Y MEDICIONES.....	12
5.1 PRESUPUESTO DISEÑO DEL TANQUE	12
5.2 PRESUPUESTO FABRICACIÓN TANQUE INTERIOR.....	12
5.3 PRESUPUESTO FABRICACIÓN TANQUE EXTERIOR	13
6. RESUMEN	13

1. CUADRO DE MANO DE OBRA

Núm.	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	PRECIO	HORAS	TOTAL (€)
1.1	MO01	Ingeniero	25	220	5.500
1.2	MO02	Oficial 1ª soldador	17	33,5	569,5
1.3	MO03	Ayudante soldador	14	44	616
1.4	MO04	Peón ordinario	10	68	680
1.5	MO05	Inspector	18	14	252
Total mano de obra					7.617,5

2. CUADRO DE MAQUINARIA

Núm.	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	PRECIO	CANTIDAD		TOTAL (€)
3.1	MQ01	Máquina soldadura	9	9,5	h	85,5
3.2	MQ02	Robot soldadura	15	24,5	h	367,5
3.3	MQ03	Máquina cilindradora	8	10	h	80
3.4	MQ04	Puente grúa	10	22	h	220
3.5	MQ05	Maquinaria auxiliar	8	42	h	336
Total maquinaria						1.089

3. CUADRO DE MATERIALES

Núm.	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	PRECIO	CANTIDAD	TOTAL (€)
2.1	MA01	Chapa plana de 9,1 mm de espesor de acero inoxidable austenítico 1.4301, dimensiones 7865 mm x 1830 mm	600	5 Ud	3.000
2.2	MA02	Chapa plana de 9,1 mm de espesor y 2500 mm de diámetro de acero inoxidable austenítico 1.4301	290	2 Ud	580
2.3	MA03	Chapa plana de 11,7 mm de espesor de acero al carbono 1.0114, dimensiones 9430 mm x 1975 mm	650	5 Ud	3.250
2.4	MA04	Chapa plana de 11,7 mm de espesor y 3000 mm de diámetro de acero al carbono 1.0114	320	2 Ud	640
2.5	MA05	Perfil rectangular de acero al carbono 1.0577, medidas 200 mm x 250 mm x 2500 mm, espesor de 12 mm	30	4 Ud	120
2.6	MA06	Material soldadura. Aleación 19 9 L	4	200 kg	800
2.7	MA07	Consumibles SA, AF y DC	6	81,5 kg	489
2.8	MA08	Material soldadura tanque exterior	3,5	285 kg	997,5
2.9	MA09	Perlita	0,10	3.210 kg	321
2.10	MA10	Tornillos M42, material 5.6	1,5	8 Ud	12
2.11	MA11	Pintura epóxica	0,70	60 kg	42
2.12	MA12	Accesorios (valvulería, medidores presión, medidores temperatura, etc.) tanque interno			1.150
2.13	MA13	Accesorios (valvulería, medidores presión, medidores temperatura, etc.) tanque externo			1.350
Total materiales					12.752,5

4. DESCOMPUESTO

Núm.	CÓDIGO	Ud	DESCRIPCIÓN			TOTAL (€)
4.1	DI.TA		Diseño del tanque			
	MO01	220	h	Ingeniero	25	5.500
					Total por Ud....	5.500

Núm.	CÓDIGO	Ud	DESCRIPCIÓN			TOTAL (€)
4.2	CH.AI.V.E9.1		Chapa plana de 9,1 mm de espesor de acero inoxidable austenítico 1.4301 cilindrada y soldada			
	MQ02	0,5	h	Robot soldadura	15	7,5
	MQ03	0,5	h	Máquina cilindradora	8	4
	MQ04	0,5	h	Puente grúa	10	5
	MQ05	1	h	Maquinaria auxiliar	8	8
	MA01	1	Ud	Chapa plana de 9,1 mm de espesor de acero inoxidable austenítico 1.4301	600	600
	MA06	15	kg	Material soldadura. Aleación 19 9 L	4	60
	MA07	5	Kg	Consumibles SA, AF y DC	6	30
	MO02	0,5	h	Oficial 1ª soldador	17	8,5
	MO03	1	h	Ayudante soldador	14	14
	MO04	1	h	Peón ordinario	10	10
					Total por Ud....	747



Núm.	CÓDIGO	Ud	DESCRIPCIÓN	TOTAL (€)
4.3	CH.AI.U.E9.1		Chapa plana de 9,1 mm de espesor de acero inoxidable austenítico 1.4301 soldada a otra	
	MQ02	1	h Robot soldadura	15 15
	MQ04	0,5	h Puente grúa	10 5
	MQ05	1	h Maquinaria auxiliar	8 8
	MA06	20	kg Material soldadura. Aleación 19 9 L	4 80
	MA07	8,5	Kg Consumibles SA, AF y DC	6 51
	MO02	1	h Oficial 1ª soldador	17 17
	MO03	1,5	h Ayudante soldador	14 21
	MO04	1,5	h Peón ordinario	10 15
			Total por Ud....	212

Núm.	CÓDIGO	Ud	DESCRIPCIÓN	TOTAL (€)
4.4	CH.AI.F.E9.1		Chapa plana de 9,1 mm de espesor y 2500 mm de diámetro de acero inoxidable austenítico 1.4301 preparada y unida al cuerpo.	
	MQ01	1	h Máquina soldadura	9
	MQ02	1	h Robot soldadura	15
	MQ03	1	h Máquina cilindadora	8
	MQ04	1	h Puente grúa	10
	MQ05	1	h Maquinaria auxiliar	8
	MA02	1	Ud Chapa plana de 9,1 mm de espesor y 2500 mm de diámetro de acero inoxidable austenítico 1.4301	290
	MA06	20	kg Material soldadura. Aleación 19 9 L	80
	MA07	10	Kg Consumibles SA, AF y DC	60
	MO02	1,5	h Oficial 1ª soldador	25,5
	MO03	1,5	h Ayudante soldador	21
	MO04	1,5	h Peón ordinario	15
			Total por Ud....	541,5

Núm.	CÓDIGO	Ud	DESCRIPCIÓN			TOTAL (€)
4.5	TUB.VA.TI		Preparación del tanque interno y montaje de las tuberías y válvulas			
	MQ01	1,5	h	Máquina soldadura	9	13,5
	MQ04	1	h	Puente grúa	10	10
	MQ05	2	h	Maquinaria auxiliar	8	16
	MA06	5	kg	Material soldadura. Aleación 19 9 L	4	20
	MA07	2,5	Kg	Consumibles SA, AF y DC	6	15
	MA12	1	ud	Accesorios (valvulería, medidores presión, medidores temperatura, etc.) tanque interno	1.150	1.150
	MO02	4	h	Oficial 1ª soldador	17	68
	MO03	4	h	Ayudante soldador	14	56
	MO04	6	h	Peón ordinario	10	60
				Total por Ud....		1.408,5

Núm.	CÓDIGO	Ud	DESCRIPCIÓN			TOTAL (€)
4.6	REF.INS.TI		Reforzamiento mediante presión e inspección del tanque interno			
	MQ04	1	h	Puente grúa	10	10
	MQ05	3	h	Maquinaria auxiliar	8	24
	MO04	6	h	Peón ordinario	10	60
	MO05	8	h	Inspector	18	144
				Total por Ud....		238

Núm.	CÓDIGO	Ud	DESCRIPCIÓN			TOTAL (€)
4.7	CH.AC.V.E11.7		Chapa plana de 11,7 mm de espesor de acero al carbono 1.0114 cilindrada y soldada.			
	MQ02	1	h	Robot soldadura	15	15
	MQ03	0,5	h	Máquina cilindradora	8	4
	MQ04	0,5	h	Puente grúa	10	5
	MQ05	1,5	h	Maquinaria auxiliar	8	12
	MA03	1	Ud	Chapa plana de 11,7 mm de espesor de acero al carbono 1.0114, dimensiones 9430 mm x 1975 mm	650	650
	MA08	20	kg	Material soldadura tanque exterior	3,5	70
	MO02	0,5	h	Oficial 1ª soldador	17	8,5
	MO03	1	h	Ayudante soldador	14	14
	MO04	1	h	Peón ordinario	10	10
				Total por Ud....		788,5

Núm.	CÓDIGO	Ud	DESCRIPCIÓN			TOTAL (€)
4.8	CH.AC.U.E11,7		Chapa plana de 11,7 mm de espesor de acero al carbono 1.0114 soldada a otra			
	MQ02	2	h	Robot soldadura	15	30
	MQ04	0,5	h	Puente grúa	10	5
	MQ05	1,5	h	Maquinaria auxiliar	8	12
	MA08	25	kg	Material soldadura tanque exterior	3,5	87,5
	MO02	1	h	Oficial 1ª soldador	17	17
	MO03	1,5	h	Ayudante soldador	14	21
	MO04	1,5	h	Peón ordinario	10	15
				Total por Ud....		187,5



Núm.	CÓDIGO	Ud	DESCRIPCIÓN	TOTAL (€)
4.9	CH.AC.F.E11.7		Chapa plana de 11,7 mm de espesor y 3000 mm de diámetro de acero al carbono 1.0114 preparada y unida al cuerpo.	
	MQ01	1,5	h Máquina soldadura	9 13,5
	MQ02	1,5	h Robot soldadura	15 22,5
	MQ03	1,5	h Máquina cilindadora	8 12
	MQ04	1	h Puente grúa	10 10
	MQ05	1,5	h Maquinaria auxiliar	8 12
	MA04	1	Ud Chapa plana de 11,7 mm de espesor y 3000 mm de diámetro de acero al carbono 1.0114	320 320
	MA08	30	kg Material soldadura tanque exterior	3,5 105
	MO02	1,5	h Oficial 1ª soldador	17 25,5
	MO03	2	h Ayudante soldador	14 28
	MO04	2	h Peón ordinario	10 20
			Total por Ud....	568,5



Núm.	CÓDIGO	Ud	DESCRIPCIÓN	TOTAL (€)
4.10	RE.PER.MON		Relleno del tanque con perlita, colocación del tanque interno en el externo y cerrado con fondo superior.	
	MQ01	1,5	h Máquina soldadura	9 13,5
	MQ02	1,5	h Robot soldadura	15 22,5
	MQ03	1,5	h Máquina cilindradora	8 12
	MQ04	3	h Puente grúa	10 30
	MQ05	3	h Maquinaria auxiliar	8 24
	MA04	1	Ud Chapa plana de 11,7 mm de espesor y 3000 mm de diámetro de acero al carbono 1.0114	320 320
	MA08	30	kg Material soldadura tanque exterior	3,5 105
	MA09	3.210	Kg Perlita	0,1 321
	MO02	2	h Oficial 1ª soldador	17 34
	MO03	3	h Ayudante soldador	14 42
	MO04	6	h Peón ordinario	10 60
			Total Ud....	984

Núm.	CÓDIGO	Ud	DESCRIPCIÓN	TOTAL (€)
4.11	TUB.VA.SO.P.TE		Preparación del tanque externo y montaje de las tuberías, válvulas, soportes y pintado.	
	MQ01	3 h	Máquina soldadura	27
	MQ04	4 h	Puente grúa	40
	MQ05	6 h	Maquinaria auxiliar	48
	MA05	4 Ud	Perfil rectangular de acero al carbono 1.0577, medidas 200 mm x 250 mm x 2500 mm, espesor de 12 mm	120
	MA08	25 kg	Material soldadura tanque exterior	87,5
	MA10	8 Ud	Tornillos M42, material 5.6	12
	MA11	60 kg	Pintura epóxica	42
	MA13	1 Ud	Accesorios (válvulería, medidores presión, medidores temperatura, etc.) tanque externo	1.350
	MO02	10 h	Oficial 1ª soldador	170
	MO03	10 h	Ayudante soldador	140
	MO04	20 h	Peón ordinario	200
			Total Ud....	2.236,5

Núm.	CÓDIGO	Ud	DESCRIPCIÓN	TOTAL (€)
4.12	REV.FIN.ACA		Revisión final y acabado del tanque.	
	MQ04	1 h	Puente grúa	10
	MQ05	2 h	Maquinaria auxiliar	16
	MO04	3 h	Peón ordinario	30
	MO05	6 h	Inspector	108
			Total Ud....	164

5. PRESUPUESTOS Y MEDICIONES

5.1 PRESUPUESTO DISEÑO DEL TANQUE

CÓDIGO	Ud	DESCRIPCIÓN	PRECIO (€)	TOTAL (€)
DIS.TAN		Diseño del tanque.		
DI.TA	1	Ud Diseño del tanque.	5.500	5.500
			Total Ud....	5.500

5.2 PRESUPUESTO FABRICACIÓN TANQUE INTERIOR

CÓDIGO	Ud	DESCRIPCIÓN	PRECIO (€)	TOTAL (€)
CO.TA.INT		Construcción del tanque interior.		
CH.AI.V.E9.1	5	Ud Chapa plana de 9,1 mm de espesor de acero inoxidable austenítico 1.4301 cilindrada y soldada	747	3.735
CH.AI.U.E9.1	4	Ud Chapa plana de 9,1 mm de espesor de acero inoxidable austenítico 1.4301 soldada a otra	212	848
CH.AI.F.E9.1	2	Ud Chapa plana de 9,1 mm de espesor y 2500 mm de diámetro de acero inoxidable austenítico 1.4301 preparada y unida al cuerpo.	541,5	1.083
TUB.VA.TI	1	Ud Preparación del tanque interno y montaje de las tuberías y válvulas	1.408,5	1.408,5
REF.INS.TI	1	Ud Reforzamiento mediante presión e inspección del tanque interno	238	238
			Total Ud....	7.312,5

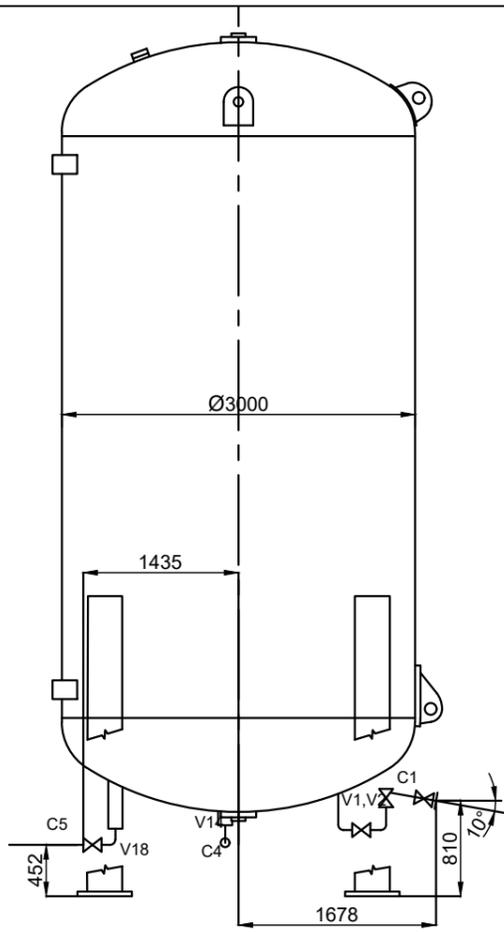
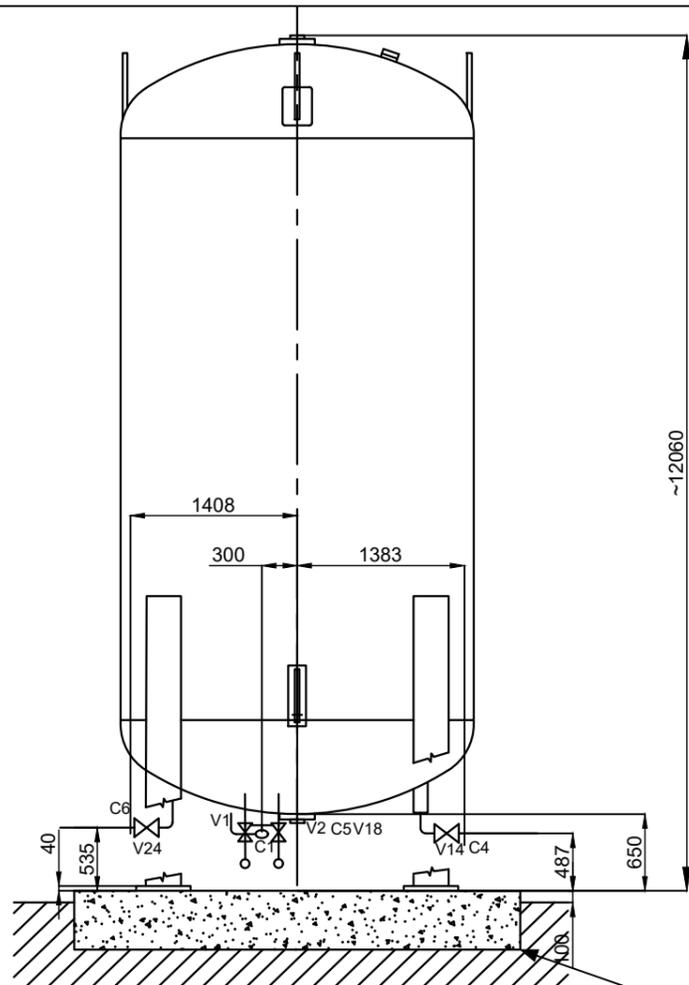
5.3 PRESUPUESTO FRABRICACIÓN TANQUE EXTERIOR

CÓDIGO	Ud	DESCRIPCIÓN	PRECIO (€)	TOTAL (€)
CO.TA.EXT		Construcción del tanque interior.		
CH.AC.V.E11.7	5 Ud	Chapa plana de 11,7 mm de espesor de acero al carbono 1.0114 cilindrada y soldada.	788,5	3.942,5
CH.AC.U.E11,7	4 Ud	Chapa plana de 11,7 mm de espesor de acero al carbono 1.0114 soldada a otra	187,5	750
CH.AC.F.E11.7	1 Ud	Chapa plana de 11,7 mm de espesor y 3000 mm de diámetro de acero al carbono 1.0114 preparada y unida al cuerpo.	568,5	568,5
RE.PER.MON	1 Ud	Relleno del tanque con perlita, colocación del tanque interno en el externo y cerrado con fondo superior.	984	984
TUB.VA.SO.P.TE	1 Ud	Preparación del tanque externo y montaje de las tuberías, válvulas, soportes y pintado.	2.236,5	2.236,5
REV.FIN.ACA	1 Ud	Revisión final y acabado del tanque	164	164
			Total Ud....	8.645,5

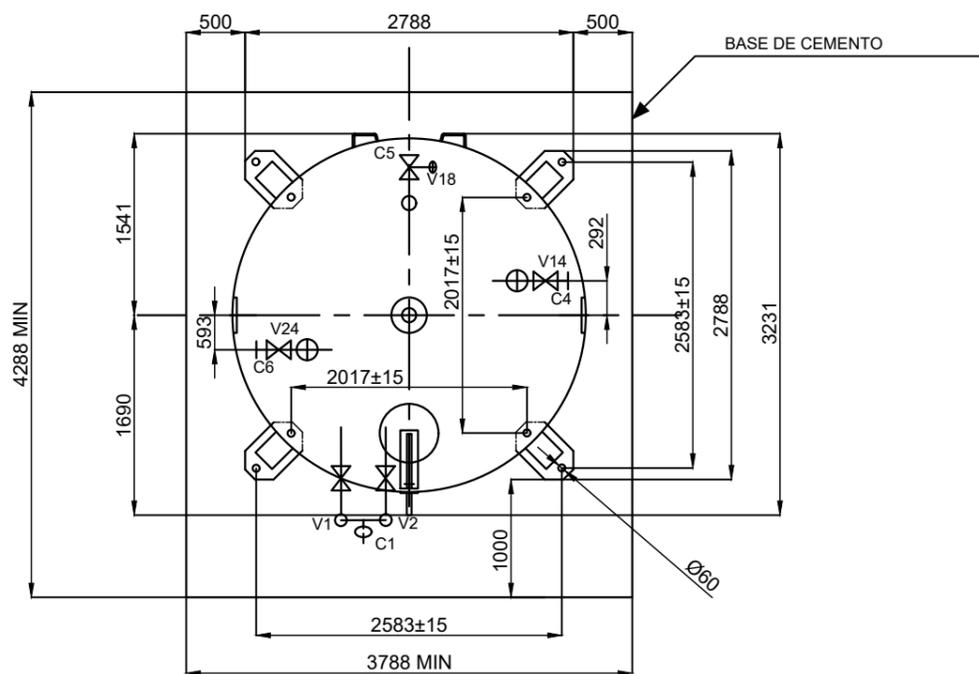
6. RESUMEN

CAPÍTULO	NOMBRE	IMPORTE (€)
5.1	Presupuesto diseño del tanque	5.500
5.2	Presupuesto fabricación tanque interior	7.312,5
5.3	Presupuesto fabricación tanque exterior	8.645,5
	Presupuesto de ejecución	21.458
	IVA (21%)	4.506,18
	Presupuesto fabricación	25.964,18

PLANOS



CEMENTO REFORZADO
CAPACIDAD DE CARGA 350
kg/cm²

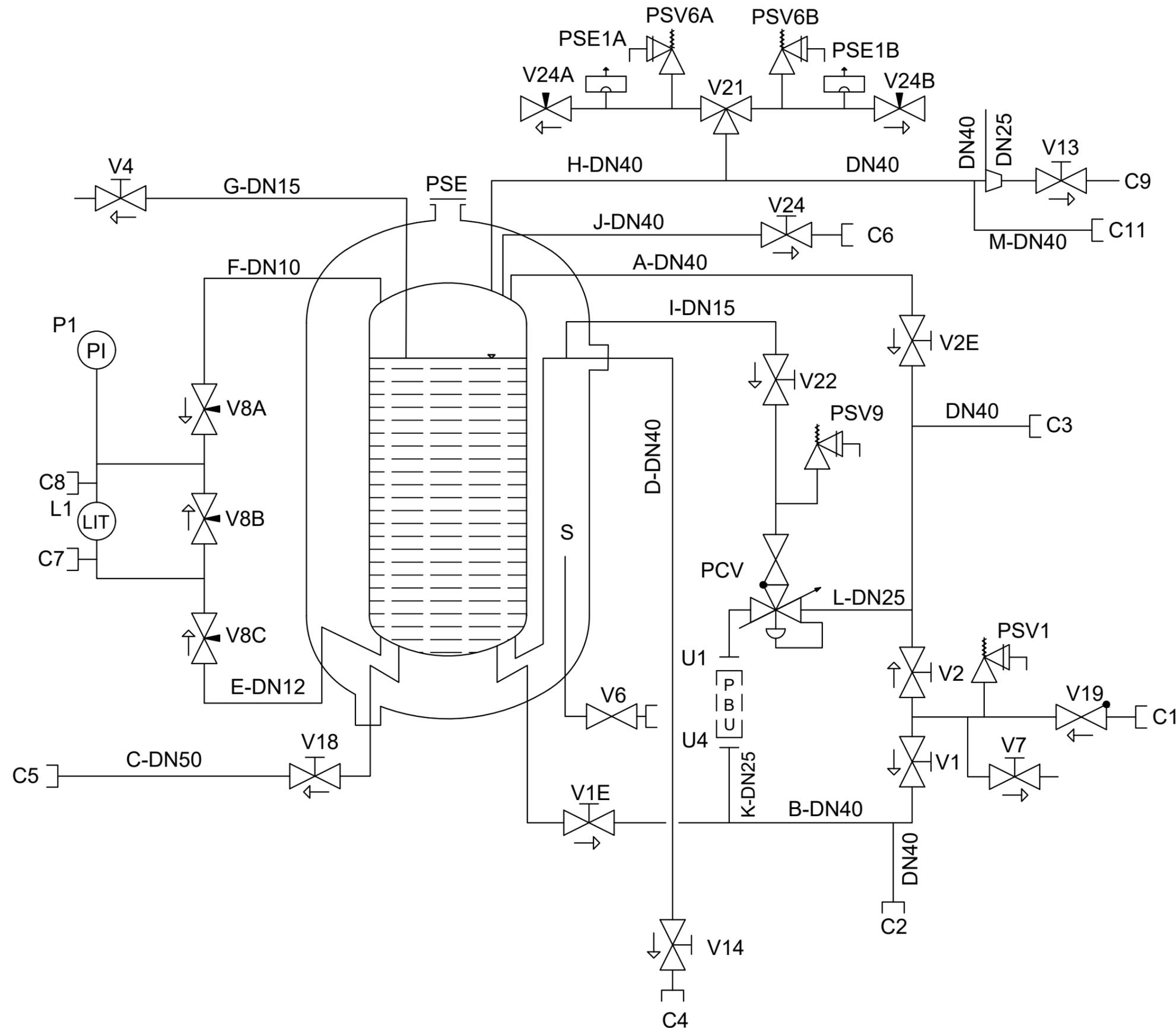


NOTAS

- 1) C1 -BOCA DE LLENADO 1 1/2" BSPTF
- 2) C4 - SALIDA DE LÍQUIDO A PRINCIPAL 1 1/2" BSPTF
- 3) C5 - SALIDA LÍQUIDO 2" BSPTF
- 4) C6 - SALIDA DE GAS 1 1/2" BSPTF
- 5) LOS PESOS DEL TANQUE SON NOMINALES

DATOS TÉCNICOS

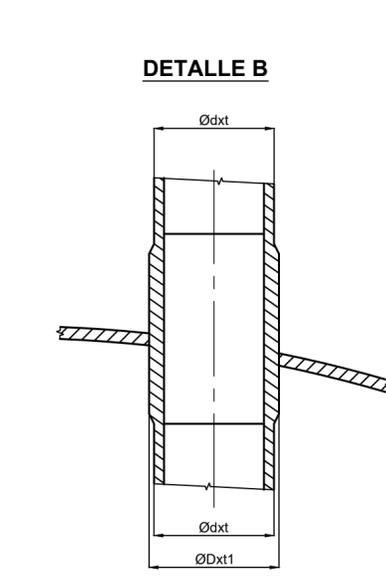
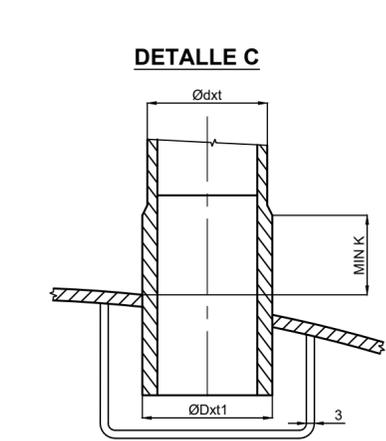
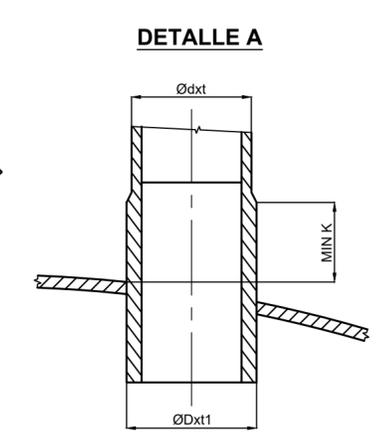
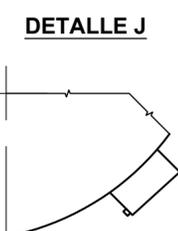
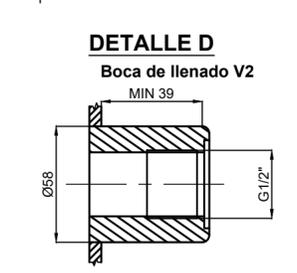
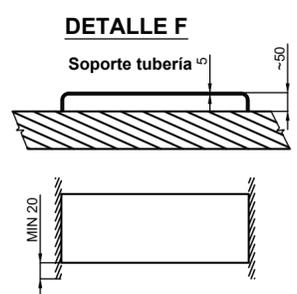
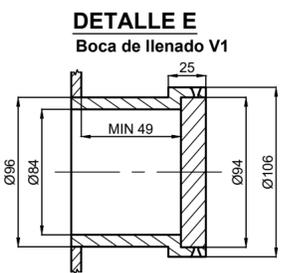
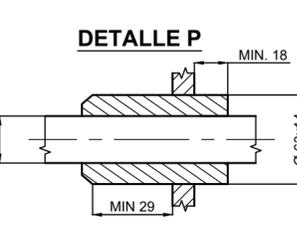
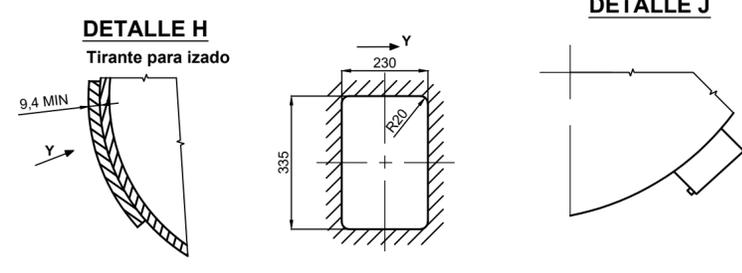
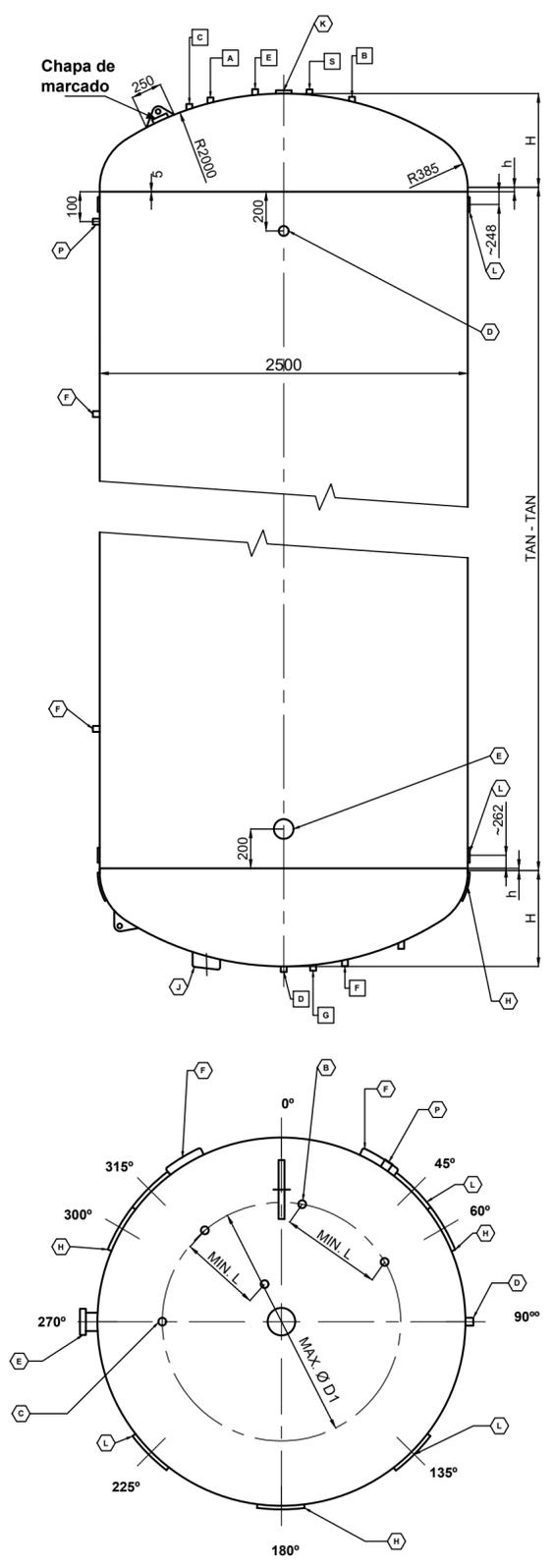
	UNIDADES	DEPÓSITO		
		INTERIOR	EXTERIOR	
PRESIÓN MÁX DE TRABAJO	bar	18.0	-1.0	
MÓN/MÁX TEMPERATURA PERMITIDA	° C	-196 / +50	-40 / +50	
PRESIÓN CALCULADA	bar	19.8	-1	
TEMPERATURA DE DISEÑO	° C	50.0	+50	
TEST DE FUGAS CON HELIO	bar	SI	-	
PRESIÓN DE REFORZAMIENTO	bar	29.7	-	
CATEGORÍA DE PELIGRO	-	IV	-	
FLUIDO DE TRABAJO	-	OXÍGENO LÍQUIDO	PERLITA	
VOLUMEN GEOMÉTRICO	L	50960	24670	
CORROSIÓN PERMITIDA	-	0	0	
FACTOR UNIÓN SOLDADA	-	1	0.7	
EXAMEN NO DESTRUCTIVO	-	RADIOGRAFÍA	PENETRACIÓN	
MATERIALES	CUERPO	-	1.4301	1.0114
	FONDOS	-	1.4301	1.0114
	TUBERÍAS	-	1.4301	1.4301
	ENGANCHES	-	1.4301	1.0114
	PATAS	-	-	1.0577
	OREJETAS IZADO	-	1.4301	1.0114
PESO EN VACÍO	kg	25020		
PESO LLENO	kg	77100		
CÓDIGO DE DISEÑO	-	EN 13458-2, EN 13458-2		



LÍNEAS DEL DEPÓSITO	
A	LÍNEA DE LLENADO SUPERIOR
B	LÍNEA DE LLENADO INFERIOR
C	SALIDA LÍQUIDO POR FONDO
D	SALIDA LÍQUIDO A GASIFICADOR
E	FASE LÍQUIDA
F	FASE GAS
G	REBOSADERO
H	SEGURIDAD
I	ECONOMIZADOR
J	SALIDA GAS
K	ENTRADA PBU
L	SALIDA PBU
M	VENTEO AUXILIAR
S	VACIO

DN	TUBERÍA (mm)
MARCADO	
DN50	60,3 X 2,77
DN40	48,3 X 2,77
DN25	33,4 X 2,77
DN15	21,3 X 2,11
DN12	15 X 1,5
DN10	12 X 1,5

ACCESORIOS DEL TANQUE			
Nº	NOMBRE	MARCADO	DN/PN
1	Grupo de llenado	V1, V2, V7, V19, C1	40/50
2	Válvula de globo	V1E	40/50
3	Válvula de globo	V2E	40/50
4	Válvula de globo	V4	15/50
5	Válvula de globo	V13	25/50
6	Válvula de globo	V14	40/50
7	Válvula de globo	V18	50/50
8	Válvula de globo	V22	15/50
9	Válvula de globo	V24	40/50
10	Válvula de alivio	PSV6A	10/16,5
11	Válvula de alivio	PSV6B	10/16,5
12	Disco de ruptura	PSE1A	15/21,2
13	Disco de ruptura	PSE1B	15/21,2
14	Válvula de enchufe al desviador	V21	25/50
15	Válvula de alivio térmico	PSV1	8/40
16	Válvula de alivio térmico	PSV9	8/40
17	Regulador de presión	PCV	40/10÷25 bar
18	Manómetro	P1	0 ÷ 25 bar
19	Transmisor diferencia presión	L1	0 ÷ 700" H2O
20	Válvula de aguja	V8A	8/50
21	Válvula de aguja	V24A	8/50
22	Válvula de aguja	V24B	8/50
23	Conexiones	C7, C8	
24	Válvula alivio vacío	PSE	
25	Bomba de vacío	V6	
26	Tapón de plástico	C1, C4	
27	Tapón de latón	C2, C3, C6, C11	
28	Conexión	C5	
29	Tubería de derrame	C9	
30	Unión	U1, U4	
31	Vaporizador	PBU	



DISTANCIA MÍN ENTRE EL EJE DE LAS BOQUILLAS					
MIN L	DN10	DN15	DN25	DN40	DN50
DN10	130	130	140	160	190
DN15	-	130	140	180	220
DN25	-	-	170	210	250
DN40	-	-	-	250	290
DN50	-	-	-	-	320

DIMENSIONES DE LAS BOQUILLAS										
DN	10	15	25	40	50					
DN	10	15F	15S	25F	25S	40F	40S	50		
Ød	12	15	21,3	28	33,4	42,2	48,3	60,3		
t	1,5	1,5	2,11	1,5	2,77	2	2,77	2,77		
ØD	26	26	26	38	38	48	53	70		
t1	8,5	7	4,46	6,5	5,07	4,80	5,12	7,62		
MIN K	15	15	15	15	15	15	15	15		
MAX ØD1	1474	1474	1474	1462	1462	1452	1447	1430		

ESPECIFICACIÓN DE MATERIALES		
PARTE	MATERIAL	NORMATIVA
CUERPO	1.4301	EN 10028-7, EN 10028-1
FONDOS	1.4301	EN 10028-7, EN 10028-1
SOPORTES	1.4301	EN 10028-7, EN 10028-1
TIRANTES	1.4301	EN 10028-7, EN 10028-1
BOQUILLAS	1.4301	EN 10272
TUBERÍAS	1.4301	EN 10028-7, EN 10028-1

DETALLES		
	UNIDADES	
CÓDIGO DE DISEÑO	-	EN 13458-2
CONTENIDO	-	LOX
PRESIÓN MÁXIMA "PS"	bar	18
PRESIÓN DE DISEÑO "PD"	bar	29.7
PRESIÓN EXTERNA	bar	-1.0
PRESIÓN DE REFORZAMIENTO	bar	29.7
PRESIÓN PRUEBA HIDRÁULICA	bar	27.2
TEST FUGAS HELIO	-	SÍ
TEMPERATURA DE CÁLCULO	°C	50
MÁX/MÍN TEMPERATURA ADMISIBLE	°C	+50/-196
CORROSIÓN PERMITIDA	-	0
FACTOR UNIÓN SOLDADA	-	1
CATEGORÍA	-	IV
TEST RADIOGRAFÍA	-	SÍ
PESO EN VACÍO	kg	7.180
PESO TOTAL	kg	14.630
PESO PERLITA	kg	11.420
PESO CONTENIDO A 0 bar	kg	55.290
PESO TOTAL EN OPERACIÓN	kg	77.100
ESPEJOR MÍNIMO DEL CUERPO	mm	9.1
ESPEJOR MÍNIMO DE LOS FONDOS	mm	9.1
LONGITUD PARTE CILÍNDRICA "h"	mm	30
LONGITUD PARTE TÓRICA "H"	mm	632
LONGITUD CUERPO DEL TANQUE	mm	9215
VOLUMEN PREVIO REFORZAMIENTO	mm	48480
% MÁXIMO DE LLENADO	%	95
VOLUMEN DESPUÉS REFORZAMIENTO	L	50.960
VOLUMEN CÁMARA INTERMEDIA	L	24.670

NOTAS	
1	Los volúmenes del tanque interno y del espacio entre cámaras debe ser indicado en la chapa añadida para ello
2	Soldadores y procesos de soldadura deben estar certificados según las Directivas: 97/23, EN 287-1 y EN 15614
3	Materiales de soldadura: S19 9 L (EN 12072) y SA AF 2 DC (EN 760)
4	El espesor y las medidas indicadas aplican a antes del reforzamiento.
5	El proceso de reforzamiento se hace en horizontal.
6	La placa de características incluirá el texto: "REFORZADO POR PRESIÓN".

TRABAJO FINAL DE MÁSTER EN INGENIERÍA QUÍMICA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA INDUSTRIAL VALENCIA

Proyecto: DISEÑO DE UN DEPÓSITO PARA ALMACENAMIENTO CRIOGÉNICO DE 50 m³ DE OXÍGENO LÍQUIDO

Fecha: Septiembre 2020

Escala: 1/25

Nº Plano: TANQUE INTERIOR

DAVID ALGARRA HUÉLAMO
Autor proyecto

ANEXO I

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Versión 1.15
Fecha de revisión 23.03.2020
Sustituye a la versión: 1.14

Numero de FDS 300000000111
Fecha 27.08.2020

SECCIÓN 1: Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1. Identificador del producto : Oxígeno líquido refrigerado

nº CAS : 7782-44-7

Fórmula química : O₂

Sinónimos : Refrigerated Liquid Oxygen

Número de registro en REACH: Figura en la lista del Anexo IV / V de REACH, exento de solicitud de registro.

1.2. Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Uso de la sustancia o mezcla : Uso industrial y profesional. Desarrollar una evaluación de riesgo antes de usarlo.

Restricciones de uso : No para uso del consumidor.

1.3. Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad : S.E. de Carburos Metálicos, S.A.
Av. de la Fama, 1.
08940 Cornellà de Llobregat
(Barcelona)
www.carburos.com

Dirección de correo electrónico – Información técnica : GASTECH@airproducts.com

Teléfono : +34 (93)2902600

1.4. Teléfono de emergencia : + 34 932 902 600
Servicio de Información Toxicológica (Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses) +34 91 562 04 20

SECCIÓN 2: Identificación de los peligros

2.1. Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Gases oxidantes - Categoría 1 H270: Puede provocar o agravar un incendio; comburente.
Gases a presión - Gas licuado refrigerado. H281: Contiene un gas refrigerado; puede provocar quemaduras o lesiones criogénicas.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Versión 1.15
Fecha de revisión 23.03.2020

Numero de FDS 300000000111
Fecha 27.08.2020

2.2. Elementos de la etiqueta

Pictogramas/símbolos de riesgos



Palabras de advertencia Peligro

Declaraciones de riesgo:

H270: Puede provocar o agravar un incendio; comburente.
H281: Contiene un gas refrigerado; puede provocar quemaduras o lesiones criogénicas.

Declaraciones de precaución:

Prevención : P220: Mantener lejos de la ropa y otros materiales combustibles.
P244: Mantener las válvulas y los accesorios limpios de aceite y grasa.
P282: Llevar guantes que aislen del frío/gafas/máscara.

Respuesta : P370+P376 : En caso de incendio: Detener la fuga, si no hay peligro en hacerlo.
P336 : Descongelar las partes heladas con agua tibia. No frotar la zona afectada.
P315 : Consultar a un médico inmediatamente.

Almacenamiento : P403: Almacenar en un lugar bien ventilado.

2.3. Otros peligros

Líquido extremadamente frío y gas a presión.
El contacto directo con el líquido puede provocar congelaciones
Puede reaccionar violentamente con materias combustibles.
Mantener lejos de aceites, lubricantes y materiales combustibles.
La sustancia no cumple los criterios para PBT y vPvB según el Reglamento (CE) n.º 1907/2006, Anexo XIII.

SECCIÓN 3: Composición/información sobre los componentes

3.1. Sustancias

Componentes	EINECS / ELINCS Nombre	CAS Nombre	Concentración (Proporción de volumen)
oxigeno	231-956-9	7782-44-7	100 %

Componentes	Clasificación (CLP)	Registro REACH #
oxigeno	Ox. Gas 1 ;H270 Press. Gas (Ref. liq.) ;H281	*1

*1: Figura en la lista del Anexo IV / V de REACH, exento de solicitud de registro.

*2: No exige su registro: sustancia fabricada o importada < 1 t/a.

*3: No exige su registro: sustancia fabricada o importada < 1 t/a para non-intermedios usos.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Versión 1.15

Fecha de revisión 23.03.2020

Numero de FDS 300000000111

Fecha 27.08.2020

Consulte la sección 16 para conocer el texto completo de cada indicación de peligro (H) relevante.

La concentración es nominal. Para la composición exacta del producto, referirse a las especificaciones técnicas.

3.2. Mezclas : No aplicable.

SECCIÓN 4: Primeros auxilios

4.1. Descripción de los primeros auxilios

- Contacto con los ojos : En caso de contacto con los ojos, lávenlos inmediata y abundantemente con agua y acúdase a un médico.
- Contacto con la piel : En caso del contacto lavar inmediatamente los ojos o la piel con gran cantidad de agua durante al menos 15 minutos, quitando la ropa y los zapatos contaminados. Lavar la parte congelada con agua abundante. No quitar la ropa. Tan pronto como sea posible, colocar el área afectada bajo el agua caliente que no exceda los 40°C de temperatura Cubrir la herida con vendaje esterilizado.
- Ingestión : La ingestión no está considerada como una vía potencial de exposición.
- Inhalación : Consultar a un médico después de una exposición importante. Salir al aire libre.

4.2. Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Síntomas : Sin datos disponibles.

4.3. Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

Tratamiento : En caso de exposición manifiesta o presunta: consulte a un médico.

SECCIÓN 5: Medidas de lucha contra incendios

5.1. Medios de extinción

Medios de extinción adecuados : El producto no arde por si mismo. Usar medios de extinción adecuados para el incendio.

Medios de extinción que no deben utilizarse por razones de seguridad : No usar agua a presión para extinguirlo.

5.2. Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

: Combustibles en contacto con oxígeno líquido, pueden explotar por chispa o golpe. Algunos materiales no inflamables en el aire, pueden ser inflamables con la presencia de un oxidante. El contacto con materiales orgánicos y con la mayoría de los inorgánicos puede provocar incendios. Alejarse del envase y enfriarlo con agua desde un lugar protegido. No pulverizar agua directamente en la válvula del envase. Si es posible, detener el caudal de producto. El gas es más pesado que el aire y puede concentrarse a poca altura o desplazarse por encima de la superficie, en donde puede encontrarse con una fuente de ignición. La nube del vapor puede empeorar la visibilidad.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Versión 1.15

Fecha de revisión 23.03.2020

Numero de FDS 300000000111

Fecha 27.08.2020

- 5.3. Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios** : La ropa resistente al fuego puede encenderse y no proteger en atmósferas ricas en oxígeno. Si es necesario, llevar aparato respiratorio autónomo para la lucha contra el fuego. Vestimenta y equipo de protección standard (aparato de respiración autónoma) para bomberos. Standard EN 137-mascara de cara completa que incluya un aparato de respiración autónomo de aire comprimido en circuito abierto. EN 469: Vestimenta protectora para bomberos. EN 659: Guantes de protección para bomberos.
- Información adicional** : Algunos materiales incombustibles en el aire, se encenderán en una atmósfera rica en oxígeno (más de 23,5%). La ropa resistente al fuego puede encenderse y no proteger en atmósferas ricas en oxígeno.

SECCIÓN 6: Medidas en caso de vertido accidental

- 6.1. Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia** : La ropa expuesta a altas concentraciones puede retener el oxígeno durante 30 minutos o más, y potencialmente existe peligro de incendio. Mantener lejos de fuentes de ignición. Evacuar el personal a zonas seguras. Ventilar la zona. Vigilar el nivel de oxígeno. La fuga puede evaporarse rápidamente formando una nube de vapor rica en oxígeno. El vapor es más pesado que el aire. Puede acumularse en espacios confinados, particularmente al nivel del suelo o en sótanos. Los trabajadores que han sido expuestos a altas concentraciones de oxígeno deben permanecer al menos 30 minutos en un lugar bien ventilado o en un área abierta antes de ir al espacio confinado o cerca de la fuente de ignición.
- 6.2. Precauciones relativas al medio ambiente** : Sin datos disponibles.
- 6.3. Métodos y material de contención y de limpieza** : Ventilar la zona.
- Consejos adicionales** : Aumentar la ventilación del área y controlar el nivel de oxígeno.
- 6.4. Referencia a otras secciones** : Si desea más información, consulte las secciones 8 y 13

SECCIÓN 7: Manipulación y almacenamiento

7.1. Precauciones para una manipulación segura

Todos los indicadores, válvulas, reguladores, tubos y equipo usados en servicio de oxígeno deben ser limpiados para el servicio de oxígeno. El oxígeno no debe ser usado como sustituto del aire comprimido. Nunca usar el chorro del oxígeno para depurar, especialmente la ropa, porque aumenta la posibilidad de incendio. Antes del uso del producto se deben conocer y entender sus características así como los peligros relacionados con las mismas. Los gases comprimidos o líquidos criogénicos sólo deben ser manipulados por personas con experiencia y debidamente capacitadas. Antes de usar el producto, identificarlo leyendo la etiqueta. No quitar ni emborronar las etiquetas entregadas por el proveedor para la identificación del contenido de los cilindros. Antes de conectar el envase comprobar la adecuación de todo el sistema de gas, especialmente los indicadores de presión y las propiedades de los materiales. Antes de conectar el envase para su uso, asegurar que se ha

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Versión 1.15

Fecha de revisión 23.03.2020

Numero de FDS 300000000111

Fecha 27.08.2020

protegido contra la aspiración de retorno del sistema al envase. Cerrar la válvula del envase después de cada uso y cuando esté vacío, incluso si está conectado al equipo. Nunca intente reparar o modificar las válvulas de un envase o las válvulas de seguridad. Debe de comunicarse inmediatamente al proveedor el deterioro de cualquier válvula. Si el usuario ve cualquier problema durante la manipulación de la válvula del cilindro, debe interrumpir su uso y ponerse en contacto con el proveedor. No eliminar ni intercambiar conexiones. Es necesario evitar el atrapamiento de líquido criógeno en sistemas cerrados no protegidos por válvulas de seguridad. Para la manipulación de cilindros se deben usar, también para distancias cortas, carretillas destinadas al transporte de cilindros. En caso de que existan dudas sobre los procedimientos del uso correcto de un gas concreto, ponerse en contacto con el proveedor. Usar los equipos de regulación y de presión adecuados en todos los envases cuando el gas es transferido a sistemas con una presión menor que la del envase. No someta los recipientes a sacudidas mecánicas anormales. Usar solamente las líneas de transporte destinadas para los líquidos criogénicos. Usar sólo con equipo limpiado para el servicio de oxígeno e indicado para cilindros a presión. Nunca permitir el contacto de aceite, lubricante u otra sustancia combustible con válvulas o envases que contengan oxígeno u otros oxidantes. Todos los venteos deberían ser canalizados al exterior del edificio.

7.2. Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Los envases deben ser almacenados en un lugar especialmente construido y bien ventilado, preferiblemente al aire libre. No permitir que la temperatura de almacenamiento alcance los 50°C (122 °F). Se deben almacenar los envases llenos de tal manera que los más antiguos sean usados en primer lugar. No almacenar en un espacio confinado. Los cilindros llenos se deben separar de los vacíos. Los envases deben ser almacenados en lugares libres de riesgo de incendio y lejos de fuentes del calor e ignición. Devolver los envases con puntualidad. Los envases almacenados deben ser controlados periódicamente en cuanto a su estado general y fugas. Proteger los envases almacenados al aire libre contra la corrosión y las condiciones atmosféricas extremas. Los envases no deben ser almacenados en condiciones que puedan acelerar la corrosión. Los envases criogénicos están equipados con válvulas de seguridad para controlar la presión interna. En condiciones normales los envases ventearán el producto periódicamente. Donde sea necesario, los envases de oxígeno y oxidantes deben ser separados de los gases inflamables por una separación resistente al fuego.

7.3. Usos específicos finales

Consulte la sección 1 o la hoja de datos de seguridad ampliada, si corresponde.

SECCIÓN 8: Controles de exposición/protección individual

8.1. Parámetros de control

Si corresponde, consulte la sección ampliada de la hoja de datos de seguridad para obtener más información acerca de la materia prima aprobada (CSA).

DNEL: nivel sin efecto derivado (Trabajadores)

Ninguno está disponible.

PNEC: concentración prevista sin efecto

Ninguno está disponible.

8.2. Controles de la exposición

Disposiciones de ingeniería

Natural o mecánica, para impedir atmósferas enriquecidas de oxígeno por encima del 23.5%.

Equipos de Protección personal

Protección respiratoria : No necesaria

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Versión 1.15

Fecha de revisión 23.03.2020

Numero de FDS 300000000111

Fecha 27.08.2020

- Protección de las manos : Usar guantes de trabajo al manejar envases de gases. Los guantes deben estar limpios y sin aceite o lubricante. Si la operación incluye una probable exposición a un líquido criogénico, utilice guantes con aislamiento térmico holgado o guantes criogénicos. Standard EN 388 - guantes que protegen contra riesgos mecánicos. Standard EN 511- Guantes aislantes del frío.
- Protección para los ojos y la cara : Se aconseja el uso de gafas de protección durante la manipulación de cilindros. Usar gafas cerradas sobre los ojos y protector para la cara al hacer trasvases o al efectuar desconexiones. Standard EN 166- Protección para el ojo.
- Protección de la piel y del cuerpo : Los trabajadores expuestos a altas concentraciones de oxígeno deben quedarse al menos 30 minutos en un lugar bien ventilado o en un área abierta antes de ir al espacio cerrado o cerca de la fuente de ignición. Nunca permitir que las partes no protegidas del cuerpo toquen tubos ni recipientes no aislados que contengan líquidos criogénicos. El metal extremadamente frío puede causar el pegado de los tejidos o lesiones en caso de intentar separarse. Durante la manipulación de cilindros se aconseja el uso de zapatos de protección. Standard EN ISO 20345 - Equipos de protección personal-zapatos de seguridad. Traje de protección química en caso de emergencia.
- Instrucciones especiales de protección e higiene : Asegurarse de una ventilación adecuada, especialmente en locales cerrados.
- Controles de la exposición medioambiental : Si corresponde, consulte la sección ampliada de la hoja de datos de seguridad para obtener más información acerca de la materia prima aprobada (CSA).

SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas

9.1. Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

- (a/b) estado físico/color : Gas licuado. azul
- (c) Olor : Sin olor que advierta de sus propiedades
- (e) Densidad relativa : 1,1 (agua = 1)
- (f) Punto de fusión / punto de congelación : -362 °F (-219 °C)
- (g) Temperatura de ebullición/rango : -297 °F (-183 °C)
- (h) Presión de vapor : No aplicable.
- (i) Solubilidad en agua : 0,039 g/l
- (j) Coeficiente de reparto: n-octanol/agua [log Kow] : No es aplicable a gases inorgánicos.
- (k) pH : No es aplicable a gases ni a mezcla de gases.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Versión 1.15

Fecha de revisión 23.03.2020

Numero de FDS 300000000111

Fecha 27.08.2020

(l) Viscosidad	: No se dispone de datos fiables.
(m) características de las partículas	: No es aplicable a gases ni a mezcla de gases.
(n) Límites superior y inferior de explosión / inflamabilidad	: No inflamable.
(o) Punto de inflamación	: No es aplicable a gases ni a mezcla de gases.
(p) Temperatura de autoignición	: No inflamable.
(q) Temperatura de descomposición	: No aplicable.
9.2. Otros datos	
Peligro de explosión	: No aplicable.
Propiedades oxidantes	: Ci =1
Peso molecular	: 32 g/mol
Límite crítico de olores	: La superación de límites por el olor es subjetiva e inadecuado para advertir del riesgo de sobrecarga.
Índice de evaporación	: No es aplicable a gases ni a mezcla de gases.
Inflamabilidad (sólido, gas)	: Consulte la clasificación del producto en la Sección 2
Densidad relativa del vapor	: 1,105 (aire = 1) Más pesado que el aire

SECCIÓN 10: Estabilidad y reactividad

10.1. Reactividad	: Sin riesgo de reactividad salvo lo expresado en la subsección más adelante.
10.2. Estabilidad química	: Estable en condiciones normales.
10.3. Posibilidad de reacciones peligrosas	: Oxida violentamente materiales orgánicos.
10.4. Condiciones que deben evitarse	: Nunca por debajo de las condiciones de manejo y almacenamiento (ver sección 7).
10.5. Materiales incompatibles	: Evitar aceite, grasas y otras sustancias inflamables Materiales inflamables. Materiales orgánicos. aluminio finamente dividido Agentes reductores. Los materiales como el acero al carbono, acero al carbono de baja aleación y el plástico se vuelven quebradizos a baja temperatura y pueden fallar. Utilice

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Versión 1.15

Fecha de revisión 23.03.2020

Numero de FDS 300000000111

Fecha 27.08.2020

los materiales apropiados que sean compatibles con las condiciones criogénicas presentes en los sistemas de gases licuados refrigerados.

10.6. Productos de descomposición peligrosos : Sin datos disponibles.

SECCIÓN 11: Información toxicológica

11.1. Información sobre los efectos toxicológicos

Vías de entrada probables

- Efectos en los ojos : El contacto con el líquido puede causar quemaduras por frío o congelación.
- Efectos en la piel : El contacto con el líquido puede causar quemaduras por frío o congelación. Uede causar congelacion severa.
- Efectos debido a la inhalación : La respiración con oxígeno 75% o superior en la atmósfera durante más de unas horas puede taponar la nariz, tos, dolores de garganta, tórax y dificultades en la respiración. Inhalación del oxígeno puro comprimido puede causar lesiones de pulmón y trastornos del sistema nervioso. La respiración con oxígeno 75% o superior en la atmósfera durante más de unas horas puede taponar la nariz, tos, dolores de garganta, tórax y dificultades en la respiración. Inhalación del oxígeno puro comprimido puede causar lesiones de pulmón y trastornos del sistema nervioso.
- Efectos debido a la ingestión : La ingestión no está considerada como una vía potencial de exposición.
- Síntomas : Sin datos disponibles.

Toxicidad aguda

- Toxicidad oral aguda : No hay datos disponibles sobre este producto.
- Toxicidad aguda por inhalación : No hay datos disponibles sobre este producto.
- Toxicidad dérmica aguda : No hay datos disponibles sobre este producto.
- Corrosión o irritación de la piel : Sin datos disponibles.
- Irritación o daños oculares severos : Sin datos disponibles.
- Sensibilización. : Sin datos disponibles.

Toxicidad crónica o efectos debidos a la exposición a largo plazo

- Carcinogenicidad : Sin datos disponibles.
- Toxicidad reproductiva : No hay datos disponibles sobre este producto.
- Mutagenicidad en células germinales : No hay datos disponibles sobre este producto.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Versión 1.15

Fecha de revisión 23.03.2020

Numero de FDS 300000000111

Fecha 27.08.2020

Toxicidad sistémica específica de órganos diana (exposición única) : Sin datos disponibles.

Toxicidad sistémica específica de órganos diana (exposición repetida) : Sin datos disponibles.

Peligro de aspiración : Sin datos disponibles.

SECCIÓN 12: Información ecológica

12.1. Toxicidad

Toxicidad acuática : No hay datos disponibles sobre este producto.

Toxicidad para otros organismos : No hay datos disponibles sobre este producto.

12.2. Persistencia y degradabilidad

Sin datos disponibles.

12.3. Potencial de bioacumulación

Consulte la sección 9 "Coeficiente de partición (n-octanol/agua)".

12.4. Movilidad en el suelo

Debido a su alta volatilidad, es poco probable que el producto cause contaminación del suelo.

12.5. Resultados de la valoración PBT y mPmB

Si corresponde, consulte la sección ampliada de la hoja de datos de seguridad para obtener más información acerca de la materia prima aprobada (CSA).

12.6. Otros efectos adversos

Este producto no tiene efectos eco-toxicológicos conocidos.

Efectos sobre la capa de ozono : Se desconocen los efectos de este producto.
Potencial factor reductor de la capa de ozono : Ninguno

Efecto sobre el calentamiento global : Se desconocen los efectos de este producto.
Factor de calentamiento global : Ninguno

SECCIÓN 13: Consideraciones relativas a la eliminación

13.1. Métodos para el tratamiento de residuos : Devolver el producto no usado al proveedor en el cilindro original. Contactar con el proveedor si es necesaria información y asesoramiento. Referirse al código de prácticas de EIGA Doc. 30 "Disposal of Gases" accesible en

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Versión 1.15

Fecha de revisión 23.03.2020

Numero de FDS 300000000111

Fecha 27.08.2020

<http://www.eiga.org> para mayor información sobre métodos adecuados de vertidos. Lista de residuos peligrosos: 16 05 04*: Gases en recipientes a presión (incluidos los halones) que contienen sustancias peligrosas.

Envases contaminados : Devolver el cilindro al proveedor.

SECCIÓN 14: Información relativa al transporte

14.1. Número ONU

No. ONU/ID : UN1073

14.2. Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas

Transporte por carretera/ferrocarril (ADR/RID) : OXIGENO LÍQUIDO REFRIGERADO

Transporte por aire (ICAO-TI / IATA-DGR) : Oxygen, refrigerated liquid

Transporte por mar (IMDG) : OXYGEN, REFRIGERATED LIQUID

14.3. Clase(s) de peligro para el transporte

Etiqueta(s) : 2.2 (5.1)

Transporte por carretera/ferrocarril (ADR/RID)

Clase o división : 2

ADR/RID Peligro ID nº : 225

Código de restricción en túneles : (C/E)

Transporte por mar (IMDG)

Clase o división : 2.2

14.4. Grupo de embalaje

Transporte por carretera/ferrocarril (ADR/RID) : No aplicable.

Transporte por aire (ICAO-TI / IATA-DGR) : No aplicable.

Transporte por mar (IMDG) : No aplicable.

14.5. Peligros para el medio ambiente

Transporte por carretera/ferrocarril (ADR/RID)

Contaminante marino : No

Transporte por aire (ICAO-TI / IATA-DGR)

Contaminante marino : No

Transporte por mar (IMDG)

Contaminante marino : No

Grupo de segregación : Ninguno

14.6. Precauciones particulares para los usuarios

Transporte por aire (ICAO-TI / IATA-DGR)

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Versión 1.15

Fecha de revisión 23.03.2020

Numero de FDS 300000000111

Fecha 27.08.2020

Avión de pasaje y carga : Transporte prohibido
Avión de carga solo : Transporte prohibido

Información adicional

Evitar el transporte en los vehículos donde el espacio de la carga no esté separado del compartimiento del conductor. Asegurar que el conductor está enterado de los riesgos potenciales de la carga y que conoce que hacer en caso de un accidente o de una emergencia. La información de transporte no ha sido elaborada para incluir todos los datos reglamentarios específicos correspondientes a este material. Si desea la información completa para el transporte, comuníquese con un representante de atención al cliente.

14.7. Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio MARPOL y del Código IBC

No aplicable.

SECCIÓN 15: Información reglamentaria

15.1. Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

País	Listado de regulaciones	Notificación
EE.UU.	TSCA	Incluido en inventario.
EU	EINECS	Incluido en inventario.
Canadá	DSL	Incluido en inventario.
Australia	AICS	Incluido en inventario.
Corea del Sur	ECL	Incluido en inventario.
China	SEPA	Incluido en inventario.
Filipinas	PICCS	Incluido en inventario.
Japón	ENCS	Incluido en inventario.

Otros regulaciones

REGLAMENTO (CE) nº 1907/2006 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 18 de diciembre de 2006 relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH), por el que se crea la Agencia Europea de Sustancias y Preparados Químicos, se modifica la Directiva 1999/45/CE y se derogan el Reglamento (CEE) nº 793/93 del Consejo y el Reglamento (CE) nº 1488/94 de la Comisión así como la Directiva 76/769/CEE del Consejo y las Directivas 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE y 2000/21/CE de la Comisión.

REGLAMENTO (UE) 2015/830 DE LA COMISIÓN de 28 de mayo de 2015 por el que se modifica el Reglamento (CE) no 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y mezclas químicas (REACH).

REGLAMENTO (CE) No 1272/2008 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 16 de diciembre de 2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas, y por el que se modifican y derogan las Directivas 67/548/CEE y 1999/45/CE y se modifica el Reglamento (CE) no 1907/2006.

Acuerdo europeo sobre transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR), celebrado en Ginebra el 30 de septiembre de 1957, en su versión enmendada.

DIRECTIVA 2012/18/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Versión 1.15

Fecha de revisión 23.03.2020

Numero de FDS 300000000111

Fecha 27.08.2020

de 4 de julio de 2012 relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas y por la que se modifica y ulteriormente deroga la Directiva 96/82/CE.

Real Decreto 97/2014, de 14 de febrero (BOE núm. 50, de 27 de febrero de 2014), por el que se regulan las operaciones de transporte de mercancías peligrosas por carretera en territorio español, en su versión enmendada.

Real Decreto 840/2015, de 21 de septiembre (BOE núm. 251, de 20 de octubre de 2015), por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

REAL DECRETO 374/2001, de 6 de abril (BOE núm. 104, de 1 de mayo de 2001), sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo, en su versión enmendada.

Real Decreto 782/1998, de 30 de abril (BOE núm. 104, de 1 de mayo de 1998), por el que se aprueba el Reglamento para el desarrollo y ejecución de la Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases., en su versión enmendada.

DECRETO 2414/1961, de 30 de noviembre (BOE núm. 292, de 7 de diciembre de 1961), por el que se aprueba el Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas.

Orden de 9 de marzo de 1971 (BOE núm. 64, de 16 de marzo de 1971), por la que se aprueba la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

15.2. Evaluación de la seguridad química

Un CSA (Análisis de Seguridad Química) no debe de realizarse para este producto.

SECCIÓN 16: Otra información

Asegurar que se cumplen todas las regulaciones nacionales/locales.

Declaraciones de riesgo:

H270 Puede provocar o agravar un incendio; comburente.

H281 Contiene un gas refrigerado; puede provocar quemaduras o lesiones criogénicas.

Indicación del método:

Gases oxidantes Categoría 1 Puede provocar o agravar un incendio; comburente. Método de cálculo

Gases a presión Gas licuado refrigerado. Contiene un gas refrigerado; puede provocar quemaduras o lesiones criogénicas. Método de cálculo

Abreviaturas y acrónimos:

ETA - Estimación de Toxicidad Aguda

CLP - Reglamento (CE) nº 1272/2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Versión 1.15

Fecha de revisión 23.03.2020

Numero de FDS 300000000111

Fecha 27.08.2020

REACH - Registro, evaluación, autorización y restricción de las sustancias y preparados químicos Reglamento (CE) nº 1907/2006

EINECS - Catálogo Europeo de Sustancias Químicas Comercializadas

ELINCS - Lista europea de sustancias químicas notificadas

CAS# - No. CAS (Chemical Abstracts Service)

PPE - equipos de protección personal

Kow - coeficiente de reparto octanol-agua

DNEL - nivel sin efecto derivado

LC50 - concentración letal para el 50 % de una población de pruebas

LD50 - dosis letal para el 50 % de una población de pruebas (dosis letal media)

NOEC - concentración sin efecto observado

PNEC - concentración prevista sin efecto

RMM - medida de gestión del riesgo

OEL - valor límite de exposición profesional

PBT - sustancia persistente, bioacumulativa y tóxica

vPvB - muy persistente y muy bioacumulable

STOT - toxicidad específica en determinados órganos

CSA - valoración de la seguridad química

EN - norma europea

UN - Organización de las Naciones Unidas

ADR - Acuerdo europeo relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera

IATA - Asociación Internacional de Transporte Aéreo

IMDG - Código marítimo internacional para el transporte de mercancías peligrosas

RID - Reglamento relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por ferrocarril

WGK - clase de peligro para el agua

Principales referencias bibliográficas y fuentes de datos:

ECHA - Directriz sobre la compilación de fichas de datos de seguridad

ECHA - Documento de orientación sobre la aplicación de los criterios del CLP

La base de datos de ARIEL

Preparado por : Departamento EH&S Global, Air Products and Chemicals, Inc.

Para información adicional, por favor, visite nuestra página web de Tutela de Producto en la dirección <http://www.airproducts.com/productstewardship/>

Esta Ficha de Datos de Seguridad ha sido elaborada de acuerdo con las Directivas Europeas aplicables y es de aplicación en todos los países que han traspuesto las Directivas a leyes nacionales. REGLAMENTO (UE) 2015/830 DE LA COMISIÓN de 28 de mayo de 2015 por el que se modifica el Reglamento (CE) no 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y mezclas químicas (REACH).

Los detalles dados en este documento se cree son correctos en el momento de su publicación. Aunque se ha tomado el cuidado apropiado en la preparación de este documento, no se puede aceptar ninguna responsabilidad por lesión o daños resultantes de su uso.