



**Trabajo de Final de Grado**

# **Adaptación de un tanque de almacenamiento de derivados del aceite de palma**

Grado de Ingeniería Química

**□ · BASF**

We create chemistry

Tarragona, 9 de junio de 2018

Grado de Ingeniería Química

TFGEQ\_1805\_banton

Belen Anton Meury

Tutores: Josep M<sup>a</sup> Chillida Rabadà

Santiago Velasco Coca

Departament d'Enginyeria Química. Universitat Rovira i Virgili.

Autorització pel lliurament i defensa del TFG del grau d'Enginyeria Química

TÍTOL DEL TFGEQ: Adaptación de un tanque de almacenamiento de derivados del aceite de palma

AUTOR: Belen Anton Meury

CURS ACADÈMIC: 2017/2018

#### VIST I PLAU DEL TUTOR ACADÈMIC

En/Na Josep M<sup>c</sup> Chillida Rabada, en la seva capacitat de tutor acadèmic fa constar que considera el TFGEQ

APTÉ, i en conseqüència dona el seu vist i plau per a la defensa

NO APTÉ per a ser defensat pels motius exposats a continuació

Signatura:



Data:

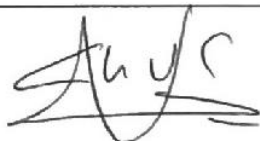
28/05/18

#### DECLARACIÓ D'ABSÈNCIA DE CONFLICTES DE CONFIDENCIALITAT

En/Na SANTIAGO VELASCO COCA, en la seva capacitat de supervisor extern<sup>(\*)</sup> del treball fa constar que ha revisat el contingut del TFGEQ i que no conté cap informació que pugui ser considerada com confidencial per part de l'empresa BASE ESPAÑOLA S.L.

<sup>(\*)</sup> Cas que el TFGEQ no sigui extern serà el professor tutor qui emplenarà aquesta secció

Signatura:



Data:

27/05/18



# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Datos principales del proyecto.....	1
1.2. Resumen del proyecto.....	1
1.3. Agradecimientos .....	2
<b>2. ETAPA PRELIMINAR.....</b>	<b>3</b>
2.1. Descripción del proyecto .....	3
2.2. Alcance del proyecto .....	3
2.3. Alternativas del proceso.....	4
2.3.1. Traceado eléctrico.....	4
2.3.2. Traceado por inducción .....	5
2.3.3. Comparación de las alternativas .....	6
2.4. Planificación inicial del proyecto: Diagrama de <i>Gantt</i> .....	6
<b>3. BASES PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO .....</b>	<b>8</b>
3.1. Bases de diseño .....	8
3.1.1. Características de la materia almacenada .....	8
3.1.2. Capacidad y flexibilidad operativa .....	9
3.1.3. Características de los equipos existentes .....	9
3.1.4. Condiciones de almacenaje.....	10
3.1.5. Normas de diseño.....	10
3.2. Datos básicos para el desarrollo de ingeniería.....	11
3.2.1. <i>Utilities</i> disponibles .....	11
3.2.2. Datos de emplazamiento .....	11
3.2.3. Clima, precipitaciones y sismología .....	12
3.2.4. Elevación y estructura del terreno .....	13
3.2.5. <i>Layout</i> de las instalaciones .....	13
3.2.6. Operación de las instalaciones.....	14
<b>4. DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA.....</b>	<b>15</b>
4.1. Elaboración de diagramas .....	15
4.1.1. Diagrama de bloques .....	15
4.1.2. Diagrama de flujo: <i>PFD</i> .....	15
4.1.3. Diagrama de implementación: <i>Plot Plan</i> .....	15
4.1.4. Diagrama de tuberías e instrumentos: <i>P&amp;ID</i> .....	15
4.1.5. Diagrama isométrico.....	15
4.2. Diseño básico.....	21
4.2.1. Diseño de tuberías.....	21
4.2.2. Diseño de bombas .....	31
4.2.3. Diseño del tanque de almacenamiento.....	33
4.2.4. Diseño del sistema de calefacción de tuberías.....	36
4.2.5. Diseño de la instalación de <i>pig</i> .....	37
4.2.6. Diseño de la instrumentación y el control .....	41
4.3. Descripciones.....	51
4.3.1. Descripción funcional de proyecto .....	51
4.3.2. Descripción de la instalación .....	51
<b>5. SEGURIDAD EN EL DISEÑO DE LAS INSTALACIONES.....</b>	<b>53</b>
5.1. Clasificación de la peligrosidad de las sustancias .....	53
5.1.1. Peligrosidad del aceite de palma.....	53
5.1.2. Peligrosidad del nitrógeno .....	53
5.2. Análisis cualitativo del riesgo.....	53

5.2.1.	Conclusiones del análisis cualitativo del riesgo .....	65
5.2.2.	Protección de equipos a sobrepresiones.....	65
5.2.3.	Protección del tanque de almacenamiento.....	66
5.2.4.	Plan de autoprotección.....	68
5.3.	Seguridad laboral .....	72
5.3.1.	Equipos de protección individual .....	72
5.3.2.	Formación en seguridad.....	73
<b>6.</b>	<b>ESTUDIO MEDIOAMBIENTAL.....</b>	<b>74</b>
6.1.	Identificación de las emisiones en el aire, agua y suelo e impactos producidos ..	74
6.1.1.	Impactos generados en la fase de construcción .....	74
6.1.2.	Impactos generados en la fase de operación.....	75
6.1.3.	Evaluación cualitativa de los impactos.....	75
6.2.	Consumo de energías y recursos naturales .....	76
6.3.	Programa de Vigilancia Ambiental.....	76
6.4.	Red de drenajes de aguas residuales .....	77
<b>7.</b>	<b>MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES.....</b>	<b>78</b>
7.1.	Tipología de mantenimiento .....	78
7.1.1.	Mantenimiento correctivo.....	78
7.1.2.	Mantenimiento preventivo.....	78
7.1.3.	Mantenimiento predictivo.....	79
7.2.	Plan de mantenimiento.....	79
7.2.1.	Mantenimiento de bombas.....	80
7.2.2.	Mantenimiento del tanque .....	81
7.2.3.	Mantenimiento de tuberías.....	81
7.2.4.	Mantenimiento de válvulas.....	82
7.2.5.	Mantenimiento de válvulas de seguridad.....	82
7.2.6.	Mantenimiento de elementos de control de seguridad.....	82
7.2.7.	Mantenimiento del dispositivo <i>pig</i> .....	82
7.2.8.	Plan de mantenimiento.....	83
7.2.9.	Estrategia de recambios .....	84
7.2.10.	Planificación y programación del mantenimiento .....	84
7.3.	Corrosión debajo del aislamiento ( <i>CUI</i> ).....	85
7.3.1.	Clasificación <i>CUI</i> .....	86
7.3.2.	Recomendaciones para prevenir la <i>CUI</i> .....	89
<b>8.</b>	<b>ESTUDIO ECONÓMICO .....</b>	<b>91</b>
8.1.	Presupuesto de ejecución del proyecto .....	91
8.2.	Estimación de costes .....	91
8.2.1.	Costes de las <i>utilities</i> .....	91
8.2.2.	Costes fijos.....	93
8.3.	Evaluación global de la inversión .....	93
8.3.1.	Valor Actual Neto (VAN).....	93
8.3.2.	Tasa Interna de Retorno (TIR).....	94
8.3.3.	<i>Payback Period</i> .....	94
8.3.4.	Estudio de sensibilidad .....	94
8.3.5.	Conclusiones de la evaluación global de la inversión .....	95
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>96</b>
<b>10.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>97</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Datos principales del proyecto

---

Título del proyecto	Adaptación de un tanque de almacenamiento de derivados del aceite de palma
Identificador	TFGEQ_1805_banton
Autor	Belen Anton Meury
Tutores	Josep M <sup>a</sup> Chillida Rabadà (URV) Santiago Velasco Coca (Empresa)
Fecha	9 de junio de 2018
Lugar	Universitat Rovira i Virgili, Tarragona

---

Este proyecto se realiza en la empresa BASF Española S.L. en Tarragona con la finalidad de desarrollar un proyecto de interés para la empresa y de obtener una experiencia trabajando sobre proyectos industriales reales. El objetivo principal del proyecto de final de grado es plasmar los conocimientos adquiridos durante la carrera, como la capacidad de investigación, de análisis, evaluación y diseño.

### 1.2. Resumen del proyecto

El aceite de palma es una materia en alta demanda, ya que su consumo ha ido creciendo en los últimos años. El aceite de palma de este proyecto se utiliza para la industria dedicada a la cosmética natural y a los productos de cuidado personal. Actualmente, este aceite se está transportando por buques de carga desde Extremo Oriente a Alemania, lo cual hace que la logística sea muy cara. Para acortar la ruta de los buques y, por lo tanto, disminuir el coste de la logística, se quiere transportar este producto hasta el puerto de Tarragona, donde se almacenará en un tanque situado en el Parque de Tanques Exterior de la empresa BASF Española S.L. y posteriormente, se distribuirá a Alemania mediante camiones cisterna.

El Parque de Tanques Exterior es una parcela dedicada básicamente al almacenaje de productos que llegan a través del rack de tuberías desde el puerto de Tarragona. Actualmente existen varios tanques destinados al almacenaje de productos necesarios en las diferentes plantas del *Site* de BASF Española S.L. Sin embargo, también existen dos tanques a los cuales no se les está dando ninguna utilidad.

El presente proyecto consiste en realizar un estudio para adaptar uno de dichos tanques para el almacenaje de derivados del aceite de palma, además de adaptar las líneas de recepción de la materia. Por otra parte, con la finalidad de limpiar las tuberías de rack, se diseñará una instalación de *pig*. Finalmente, para el correcto transporte y distribución del aceite de palma, se deberá diseñar una instalación de carga de camiones cisterna.

El principal equipo de la instalación es un tanque de almacenamiento que, antiguamente, se utilizaba para almacenar o-xileno (1,2-dimetilbenceno), producto líquido a temperatura ambiente (punto de fusión de  $-25^{\circ}\text{C}$ ). Sin embargo, el aceite de palma se mantiene líquido por encima de una temperatura de  $40^{\circ}\text{C}$ . Como la línea de recepción y el tanque de almacenamiento están actualmente diseñadas para el almacenaje de un líquido a temperatura ambiente, al almacenarse aceite sin adaptar la instalación, se solidificaría produciendo daños a equipos, al medioambiente, a personas y provocaría grandes pérdidas económicas.

Para solucionar este problema, se evalúan las instalaciones existentes para determinar si deben ser adaptadas o rediseñadas. Además, se realiza un diseño de las instalaciones que se deben implementar nuevas, como la instalación de *pig* utilizada para la limpieza de la tubería de rack una vez descargado el producto de los buques de carga, o la instalación de la carga de camiones cisterna.

Finalmente, se realiza un estudio económico con la finalidad de determinar la rentabilidad económica del proyecto.

### **1.3. Agradecimientos**

Personalmente, quiero agradecer a la empresa BASF Española S.L. por ofrecerme tal oportunidad para participar en un proyecto industrial real, ya que me parece muy beneficioso que empresas tan importantes del sector químico como BASF se interesen por la formación de futuros ingenieros.

Asimismo, me gustaría agradecer a mi tutor académico, el Sr. Josep M<sup>a</sup> Chillida, por hacer posible esta enorme oportunidad de enriquecerme tanto a nivel personal como a nivel profesional.

Agradecer al Sr. Santiago Velasco, mi tutor de la empresa, por confiar en mi para la realización de este proyecto y por apoyarme en su desarrollo, así como por transmitirme su conocimiento técnico.

A los profesores de la universidad por proporcionarme los conocimientos que he podido adquirir durante el transcurso del grado.

Y finalmente, dar gracias a los coordinadores del Trabajo de Final de Grado ya que si no, este proyecto no se podría haber llevado a cabo.

## **2. ETAPA PRELIMINAR**

En este apartado se realiza una breve descripción de la finalidad del proyecto y sus límites de trabajo, es decir las partes que se incluyen en el desarrollo del proyecto y la planificación temporal que se deberá seguir para cumplir con los objetivos establecidos.

### **2.1. Descripción del proyecto**

El principal objetivo de este proyecto es rediseñar un tanque de techo flotante situado en el Parque de Tanques Exterior, para adaptarlo al correcto almacenaje de derivados del aceite de palma.

Este tanque será utilizado para la importación y exportación de este producto. A continuación se describe el transcurso que el aceite de palma seguirá. El aceite será transportado por buques de carga hasta el atraque del puerto. Seguidamente, se bombeará al tanque mediante una línea de recepción del rack de tuberías de 2km de largo. Una vez almacenado, se cargará en camiones cisterna para su debido transporte y distribución.

El principal inconveniente es que esta unidad se utilizaba para almacenar una materia líquida a temperatura ambiente, y el producto que se quiere almacenar actualmente es un aceite que se solidifica por debajo de su punto de fusión que es de unos 40°C. Por ello, se debe descargar, almacenar y cargar por encima de dicha temperatura utilizando una fuente de calor para las tuberías y para el tanque.

El tanque que se debe adaptar tiene una capacidad de 5000m<sup>3</sup>, y tal y como se ha comentado anteriormente, la materia que se debe almacenar tiene un punto de fusión de unos 40°C, lo que hace que se tenga que aplicar un traceado eléctrico para mantener el tanque a esta temperatura haciendo que el aceite permanezca en estado líquido.

Además, el material del tanque es acero al carbono, cosa que hace que se tenga que aplicar un recubrimiento interior para que el aceite no esté en contacto con el carbono ya que si no, el aceite se degradaría.

### **2.2. Alcance del proyecto**

El diseño del tanque de techo flotante para el almacenaje de derivados de aceite de palma, parte de un rediseño de un tanque ya existente.

Primeramente, se diseña una base para el desarrollo del proyecto determinando la capacidad y flexibilidad operativa, las características del producto, las condiciones de almacenaje y las normas de diseño que se deben aplicar. También se determinan los datos básicos para el desarrollo, como el precio de la energía eléctrica, el clima y la estructura del terreno.

Seguidamente, se realiza el diagrama de bloques, un diagrama *PFD* (*Process Flow Diagram*), un diagrama *P&ID* (*Piping and Instrumentation Diagram*), *Plot Plan* y un diagrama isométrico. Además, se efectúa el diseño de las tuberías y bombas de la recepción de la materia prima, así como el de la instalación de carga de camiones. Asimismo, se realiza el diseño del sistema vaciado de la línea (*pigging pipeline*) y un diseño del sistema de traceado eléctrico del tanque, de las tuberías del rack y de las tuberías de la estación de carga de camiones cisterna.

Posteriormente, se realiza un estudio de seguridad que incluye la realización de un análisis cualitativo del riesgo de la instalación mediante el método HAZOP, la elaboración de un plan de autoprotección y seguridad laboral. También se incluye en el proyecto, un estudio medioambiental y una descripción del mantenimiento.

Finalmente, se evalúa el proyecto económicamente, estimando los costes y comparándolos con el presupuesto, y así realizar una evaluación final para determinar si el proyecto es rentable o no y por qué.

### 2.3. Alternativas del proceso

En este apartado se estudian las posibles alternativas a aplicar en el proyecto para solucionar el problema de tener que almacenar, cargar y descargar el producto a una temperatura de unos 40°C. Por ello, se determinan las diferentes opciones propuestas para calentar las tuberías y el tanque, y se escoge la óptima.

#### 2.3.1. **Traceado eléctrico**

La función principal de un sistema de traceado es evitar y compensar las pérdidas de calor que sufren los fluidos durante el proceso. El traceado eléctrico permite garantizar un nivel de temperatura constante e impedir que el producto cambie su viscosidad o se congele.

Este sistema destaca por ser limpio, eficaz y económico con respecto a otras alternativas y resulta el método más recomendable en las siguientes aplicaciones industriales:

- Prevención de congelación en fluidos de tuberías de proceso evitando que los productos lleguen a su punto de congelación.
- Reducción de la viscosidad para facilitar el bombeo y que fluyan con normalidad.
- Compensación de pérdida de calor.
- Incremento de temperatura para evitar que la temperatura del producto baje de un parámetro determinado.

Además, presenta fuertes ventajas frente a otros sistemas de calentamiento:

- Posibilidad de autorregular el calor necesario, control a través de termostato según necesidades obteniendo temperaturas más uniformes y controladas.
- Ahorro energético.
- Menores costes de instalación, mantenimiento y operación.
- Aplicación e instalación sencilla.
- Rendimiento óptimo.
- Seguridad y fiabilidad de funcionamiento.

El sistema se compone de un cable calefactor dispuesto sobre la tubería con ayuda de una cinta adhesiva, de una alimentación eléctrica de baja tensión (230V) y de una caja de conexión. En la figura 2.1. se puede observar un esquema del sistema de traceado eléctrico.

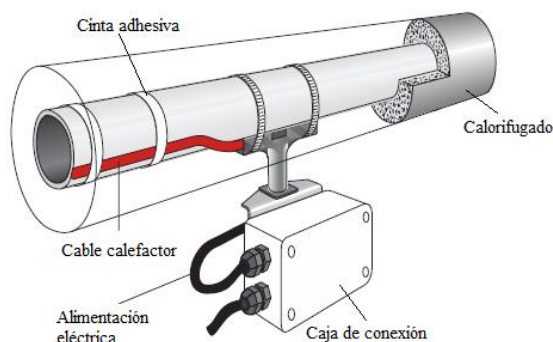


Figura 2.1. Esquema del sistema de traceado eléctrico (ref. 1)

El cable calefactor se puede aplicar lineal a lo largo de la tubería o bien en espiral sobre la misma. Generalmente, para tuberías largas, como es en el caso del rack de tuberías, se aplicarían varios cables linealmente a lo largo de la tubería por facilidades en el montaje. Este tipo de

cable calefactor paralelo tiene una potencia por metro constante, independientemente de la longitud del tramo y es ideal para cortarlo a medida según las necesidades.

Este sistema, se caracteriza porque el hilo de calentamiento va arrollado en espiral sobre un conductor paralelo, aislado de este, excepto en contactos alternativos, a una distancia de un metro entre cada uno de los conductores. De esta forma el cable calefactor va formando una serie de resistencias en paralelo, alimentadas por el mismo cable.

### 2.3.2. Traceado por inducción

El sistema de traceado por inducción consiste en un cable conductor para transmitir energía eléctrica usando una corriente eléctrica alterna que fluye a través del éste. Este sistema se puede utilizar para suministrar calor a las tuberías de longitudes muy largas (ref. 2).

Una corriente alterna en un conductor produce un campo magnético alterno alrededor de éste. Cuando la intensidad de la corriente cambia, el campo magnético también lo hace. Este cambio, producido por el cambio magnético, crea un campo eléctrico que se opone al cambio de la intensidad de la corriente. Esto fuerza a los electrones conductores a concentrarse en la piel externa del conductor, de manera que la densidad de corriente es mayor cerca de la superficie del conductor y disminuye con mayores profundidades en el conductor. En la figura 2.2. se puede observar este fenómeno.

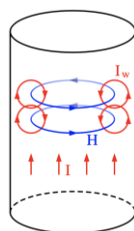


Figura 2.2. Diagrama de campos y corrientes generados (ref. 3)

A esto se le llama efecto pelicular (*Skin Effect*) y se debe a corrientes de Foucault opuestas inducidas por el campo magnético cambiante que resulta de la corriente alterna. Con un sistema de calentamiento de efecto pelicular, un tubo de acero al carbono con un conductor aislado dentro se coloca sobre la tubería. El conductor interior se conecta a una fase y el tubo calefactor se conecta al neutro y a tierra, es por este motivo que es eléctricamente seguro (se puede tocar un tubo y no recibir una descarga eléctrica).

Cuando se aplica tensión, el efecto pelicular permite que la corriente alterna fluya por el cable, retornando por a la superficie interna del tubo. En la figura 2.3. se representa un esquema de la instalación con sus diferentes componentes.

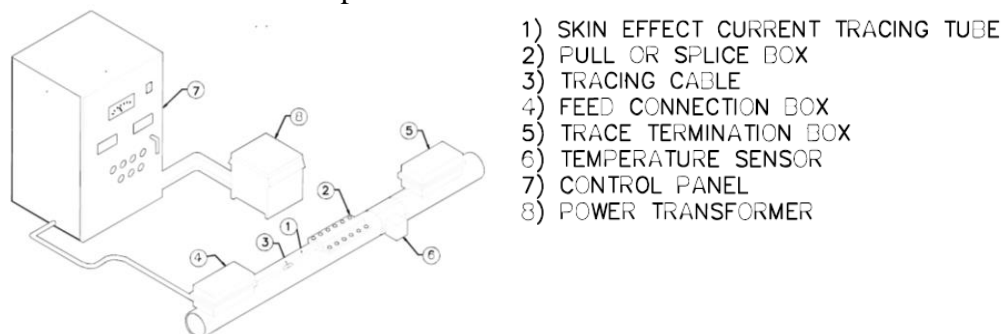


Figura 2.3. Esquema del traceado por inducción (ref. 4)

Este sistema puede ser diseñado para circuitos de hasta 25km, ya que es factible calentar desde una sola fuente utilizando tensiones de suministro de 5000V. También puede ser diseñado para circuitos con potencias de hasta 150W/m y mantener temperaturas de hasta 200°C (ref. 5).

Con relación al control del sistema, se utilizan controles de temperatura y se monitorean los valores de temperatura, voltaje y corriente. Además, los relés de protección pueden proporcionar capacidades de alarma y disparo en caso de fallo.

El uso que se le daría en este proyecto sería para el sistema de tubería de transporte de aceite de palma desde el puerto hasta el Parque de Tanques Exterior y para el calentamiento del tanque.

Como conclusiones, se puede decir que es un sistema seguro ya que está completamente conectado a tierra con potencial eléctrico cero en las superficies de las tuberías, es resistente y confiable porque todo el circuito está encapsulado dentro de tubos de acero resistentes y cajas de acero, dispone de un control preciso, se puede realizar un mantenimiento sin problemas, tiene flexibilidad y se pueden calentar longitudes de circuito de hasta 25 kilómetros desde una única fuente de alimentación. Además, estos sistemas se diseñan a medida de acuerdo con ANSI / IEEE 844, NEC 426/427 y estándares de planta.

### 2.3.3. Comparación de las alternativas

En la siguiente tabla 2.1. se muestra una tabla comparativa de las diferentes alternativas para el calefactado de las tuberías.

Tabla 2.1. Comparación de las dos alternativas para calefactar las tuberías/equipos

Propiedades	Traceado por inducción	Traceado eléctrico
Tipo de corriente	Alterna	Alterna
Efecto	Inducción	Ohm (resistencias)
Tensiones	5000V (alta tensión)	230V (baja tensión)
Longitudes tubería	Hasta 25km	Hasta 5km
Precio inversión inicial	Alto para tuberías cortas	Alto para tuberías muy largas
Consumo de energía	Alto para tuberías cortas	Alto para tuberías muy largas

El problema del traceado eléctrico se presenta cuando se deben calefactar tuberías muy largas. Como el traceado eléctrico utiliza tensiones de baja tensión, el amperaje aumenta para la misma potencia y por ello la sección del cable aumenta. Es por este motivo que el traceado eléctrico se convierte en una solución cara para tuberías de longitudes largas. Por otro lado, utilizando un traceado por inducción, como es de alta tensión, el amperaje y la sección será menor y, por lo tanto, el coste será menor. Por ello, el traceado por inducción es una solución óptima para tuberías muy largas.

En el proceso de almacenaje de este proyecto, la tubería más larga que se tiene es la del rack de tuberías que tiene una longitud de 2km. Esta tubería no es lo suficiente larga como para que salga más rentable aplicar el traceado por inducción. Es por este motivo, que aplicar un traceado eléctrico es la solución óptima.

### 2.4. Planificación inicial del proyecto: Diagrama de Gantt

Con la finalidad de planificar y gestionar el proyecto de una manera adecuada, se realiza un diagrama de *Gantt* en la figura 2.4. dónde se muestra el tiempo previsto para las diferentes tareas a lo largo del proyecto para gestionar el tiempo con el objetivo de no retrasarse en la fecha de entrega, y poder tener tiempo suficiente para la revisión y corrección del proyecto. Para determinar el orden de las tareas que se deben realizar, se tiene en cuenta la dependencia de unas tareas con otras. De esta manera, se distribuyen las actividades adecuadamente en relación con el tiempo.

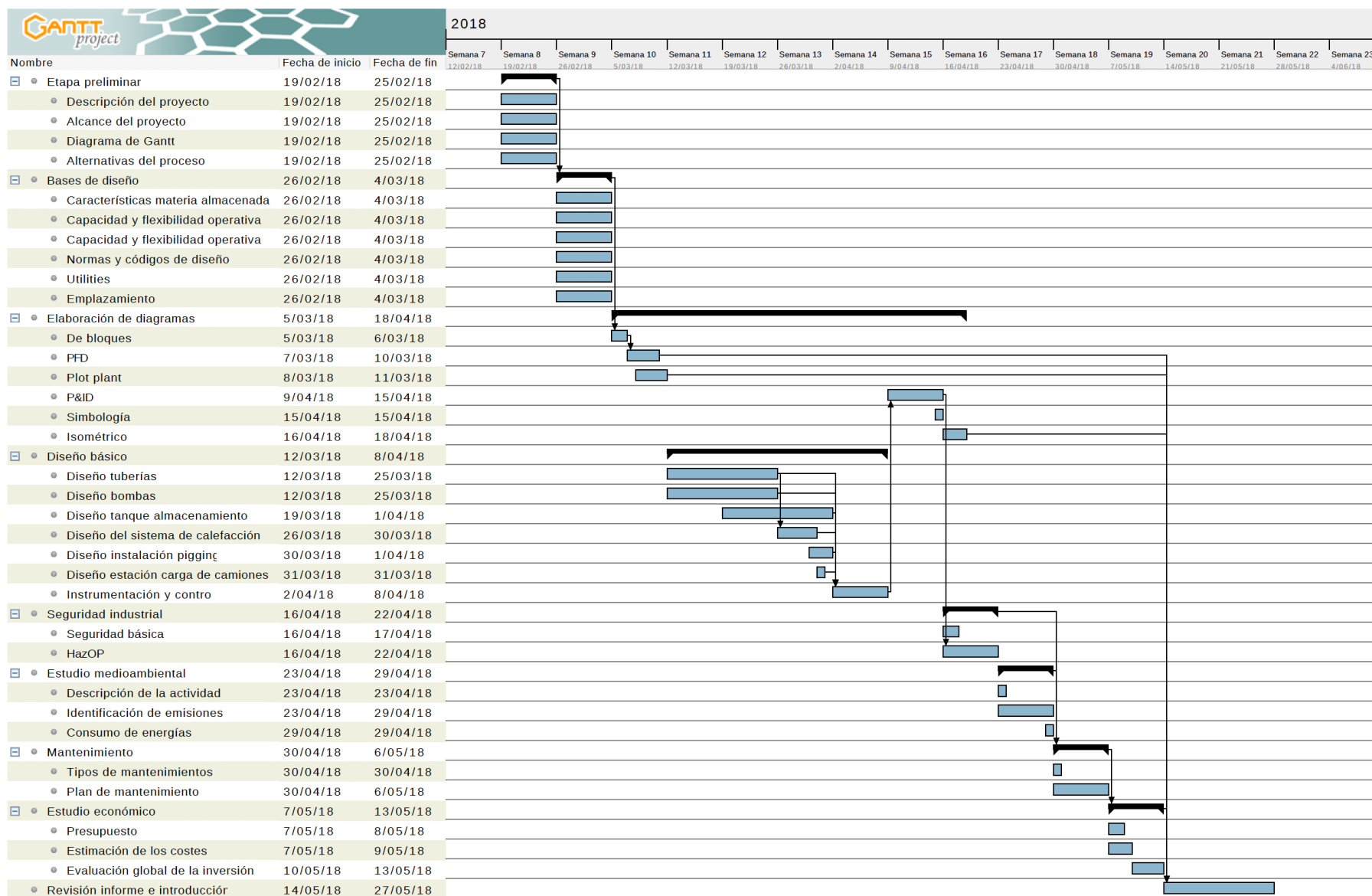


Figura 2.4. Planificación del proyecto: diagrama de Gantt

### 3. BASES PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO

En el siguiente apartado se determinan diferentes características esenciales a la hora de desarrollar el proyecto.

#### 3.1. Bases de diseño

Este apartado se centra en la descripción de parámetros fijados que conforman el sistema a estudiar. Se trata de un conjunto de especificaciones que se mantendrán constantes a lo largo del proyecto y, por lo tanto, no son objeto de estudio.

##### 3.1.1. Características de la materia almacenada

La materia que se almacena en el tanque es aceite de palma. Éste es un aceite de origen vegetal que se extrae del mesocarpio del fruto de la semilla de una palma africana. El aceite de palma se puede aplicar en diversas industrias, sin embargo, en este caso se utilizará para la industria dedicada a la cosmética y a los productos de cuidado personal.

La demanda de cosméticos naturales y cuidado personal ha ido en aumento durante los últimos diez años. El consumo global de este aceite ha crecido rápidamente desde aproximadamente 4 millones de toneladas métricas a finales del 1970 a 70 millones de toneladas hoy en día (ref. 6). En comparación con muchos otros aceites, las cadenas de átomos de carbono del aceite de palma producen efectos espumosos que lo hacen perfecto para efectos humectantes y suavizantes. Para satisfacer la creciente demanda de una manera que se proteja el medioambiente y se respeten los derechos de la gente local, se realiza el proceso de certificación *Roundtable on Sustainable Palm Oil (RSPO)* para dar certeza de que este aceite viene de plantaciones que protegen los bosques, la biodiversidad y los derechos de la gente (ref. 7).

El aceite de palma está compuesto por triglicéridos que se componen de un 46-56% de ácidos grasos insaturados (36-44% de oleico y 9-12% de linoleico), un 42.8-53.5% de ácidos grasos saturados (39.3-47.5% de palmítico y 3.5-6% de esteárico). Esta composición hace que tenga propiedades antioxidantes esenciales en la estabilidad del aceite. Estas propiedades actúan inhibiendo o retardando el proceso de deterioro oxidativo que, en presencia de trazas de metales como el hierro y el cobre, de temperaturas elevadas y la exposición directa a la luz solar, el proceso de oxidación se acelera. En la siguiente tabla 3.1. se observan las propiedades fisicoquímicas del aceite de palma (ref. 8 y ref. 9).

Tabla 3.1. Propiedades del aceite de palma

Propiedad	Valor
Estado físico	Líquido, aceitoso
Color	Amarillo
Olor	Casi inoloro
Intervalo de fusión (°C)	20-40
Punto de inflamación (°C)	>200
Presión de vapor a 200°C (mbar)	<0.01
Densidad a 25°C (g/cm <sup>3</sup> )	0.90-0.92
Viscosidad (kg/m·s)	0.0136-0.0378
Temperatura de autoignición (°C)	316
Temperatura crítica (°C)	984
Presión crítica (bar)	2.69
Peso molecular medio (g/mol)	849

Como se puede observar, el punto de fusión hace que el tanque y las tuberías deban permanecer calefactadas para mantener el aceite en estado líquido y que no se cristalice.

Muchas de las propiedades, varían con la temperatura. Para calcular las propiedades que se utilizarán en el proyecto y que cambian con la temperatura, se utilizan las siguientes fórmulas. En la ecuación 3.1.1 la densidad  $\rho$  en  $\text{kg/m}^3$  (ref. 10), en la 3.1.2 la viscosidad  $\mu$  en  $\text{kg/m}\cdot\text{s}$  (ref. 11), en la 3.1.3. la capacidad calorífica  $C_p$  en  $\text{J/g}$  (ref. 11), en la 3.1.4 la conductividad  $k$  en  $\text{W/m}\cdot\text{K}$  (ref. 12) y en la 3.1.5. la presión de vapor  $P_{vap}$  en Pa (ref. 13), teniendo en cuenta que  $T$  es la temperatura en grados centígrados  $^{\circ}\text{C}$ .

$$\rho = -1.236 \cdot T + 945.14 \quad (3.1.1)$$

$$\ln(\mu) = -8.849 \cdot (T + 273) + 54.525 \quad (3.1.2)$$

$$C_p = 0.0059 \cdot T + 1.6172 \quad (3.1.3)$$

$$k = (-5.87061 \cdot 10^{-5}) \cdot T + 0.173774 \quad (3.1.4)$$

$$\ln(P_{vap}) = 694.0421 - 529286.282 \cdot (T + 273)^{1.5} + \\ -118.795 \cdot \ln(T + 273) + 0.1756 \cdot (T + 273) \quad (3.1.5)$$

### 3.1.2. Capacidad y flexibilidad operativa

El aceite de palma se debe transportar y almacenar a una temperatura determinada, ya que si se encuentra a una temperatura inferior se cristaliza, y si se encuentra a una temperatura superior se degrada. Por este motivo, el rango de temperatura recomendada para su transporte (ref. 14) es de una temperatura de  $36^{\circ}\text{C}$  (temperatura mínima de  $32^{\circ}\text{C}$  y máxima de  $40^{\circ}\text{C}$ ), la temperatura durante la carga y descarga debe de ser de  $52^{\circ}\text{C}$  (mínima de  $50^{\circ}\text{C}$  y máxima de  $55^{\circ}\text{C}$ ) y la temperatura de almacenaje debe ser de unos  $41^{\circ}\text{C}$  (mínima de  $37^{\circ}\text{C}$  y máxima de  $45^{\circ}\text{C}$ ).

El aceite se transporta por vía marítima mediante unos buques de carga que tienen una capacidad de  $3000\text{m}^3$ . Estos descargan la materia en el puerto y, mediante las bombas de las que disponen estos buques, se transporta a través de las tuberías al tanque para su almacenaje.

Con relación a su almacenaje, el tanque debe estar capacitado para almacenar  $5000\text{m}^3$  de aceite de palma.

Finalmente, los camiones de cisterna tienen una capacidad de almacenaje de aproximadamente  $27\text{m}^3$  cada uno. Estos camiones se llenarán un 90% de su volumen total según la normativa ADR (ref. 15). Además, se quiere llenar cada camión cisterna en un tiempo de unos 40-50 minutos.

### 3.1.3. Características de los equipos existentes

Este apartado tiene como objetivo determinar las dimensiones y características principales de cada equipo ya existente en la unidad.

#### 3.1.3.1. Bomba buques

La bomba que se utiliza para impulsar el aceite de palma de los buques hacia el tanque a través del rack de tuberías es una bomba sumergida Framo que tiene una capacidad de  $300\text{m}^3/\text{h}$  de caudal que puede impulsar, una velocidad del motor de 2749rpm y una altura de la bomba de 110m.l.c.

### 3.1.3.2. Rack de tuberías

El fluido es impulsado hacia el tanque a través del rack de tuberías que conecta el puerto con el Parque de Tanques Exterior que es donde se sitúa el tanque. Esta tubería tiene una longitud de 2km y es de DN 200 con un diámetro exterior de 219.1mm y un espesor de 4.5mm. El material utilizado es el acero al carbono.

### 3.1.3.3. Tanque B-5320

El tanque B-5320 situado en el Parque de Tanques Exterior tiene una capacidad de almacenaje de 5000m<sup>3</sup> y se utilizaba para almacenar o-xileno, pero en este proyecto se utiliza para almacenar derivados del aceite de palma. El tanque es de acero al carbono y presenta un diámetro interior de 20.6m, un espesor de 5 a 12mm, una altura total de 16m y una altura de llenado de 15m. Está dispuesto en vertical en el exterior.

### 3.1.3.4. Tubería descarga del tanque parte 1

Esta tubería comprende desde la descarga del tanque hasta el bombeo. La tubería se compone de dos tramos de tubería, un primer tramo de DN 200 con un diámetro exterior de 219.1mm y un espesor de 4.5mm, y un segundo tramo de DN 150 con un diámetro exterior de 168.3mm y un grosor de 4.5mm. El material utilizado es el acero al carbono.

### 3.1.3.5. Bomba P-5322

La bomba que se utiliza para impulsar el antiguo producto utilizado, o-xileno, es una Sihi Mibsa SCEH-3603 con un caudal impulsado de 5m<sup>3</sup>/h, una velocidad del motor de 1450rpm, una potencia de 3kW y una altura de la bomba de 65m.c.l.

### 3.1.3.6. Tubería descarga del tanque parte 2

Esta tubería comprende desde la bomba P-5322 hasta un antiguo tanque donde se almacenaba o-xileno. Esta tubería deberá ser modificada ya que no se utilizará para transportar el producto hacia otro tanque, sino que se utilizará para la carga de camiones. La tubería existente es de DN 50 con un diámetro exterior de 60.3mm y un espesor de 2.9mm. El material utilizado es acero al carbono.

## 3.1.4. **Condiciones de almacenaje**

El equipo que se utiliza para almacenar el aceite de palma es un tanque de techo flotante de 5000m<sup>3</sup> de capacidad. Como se trata de un tanque de techo flotante, la presión a la que estará sometido el fluido es atmosférica. Se determina una temperatura media de almacenaje del aceite de palma de 41°C, ya que no debe estar por debajo de 37°C ni por encima de 45°C. Se ha creído correcto incrementar la temperatura mínima a 38°C y la máxima disminuirla a 44°C ya que de esta manera, hay un margen de actuación en caso de fallo del sistema de calefacción.

En relación con el material que se debe utilizar, el tanque está construido de acero al carbono. Al tratarse de aceite, este acero no se puede utilizar para su almacenaje, ya que provocaría que el aceite se degradara por oxidación al entrar en contacto con el carbono.

## 3.1.5. **Normas de diseño**

En el siguiente apartado se determinan las normas de diseño que se deben aplicar a la hora de realizar el diseño de cada instalación:

- Diseño de equipos de almacenamiento: APQ.
- Diseño de tuberías y accesorios: DIN, E-S-PI 005, E-S-PI 100, E-S-PI 201, E-S-PI 203, E-S-PI 250.
- Diseño de válvulas de seguridad: API 520.
- Instrumentación: E-S-EI 402, E-S-PE 210.
- Mantenimiento: G-G-ME 001.
- Estimación de costes: G-P-PM 200.

Además, se dispone de un archivo de clave de medios que define los criterios de diseño (tipo de válvula en la línea, junta, material, presión nominal, etc.) en función del tipo de material que se utiliza. Este archivo es específico para cada planta y recoge la normativa interna. Se combina con las normas que se ha mencionado anteriormente.

### 3.2. Datos básicos para el desarrollo de ingeniería

En este apartado se describe la información utilizada para la elaboración y desarrollo de la ingeniería del proyecto. Se incluyen aspectos tales como *utilities* disponibles, precios de las energías, datos de emplazamiento, etc.

#### 3.2.1. *Utilities* disponibles

En este apartado, se hace un breve resumen de las *utilities* de las que se disponen en el Parque de Tanques Exterior y en el puerto, sus condiciones y el precio de éstas.

Por un lado, se dispone de energía eléctrica que se usará para el motor de la bomba y para el traceado eléctrico. Por otro lado, el puerto dispone de un sistema de nitrógeno, que se usará para la instalación de *pig*.

Con relación a la energía eléctrica, se dispone de un suministro eléctrico desde la sala de alta tensión al transformador de 25kV/0.4kV y de potencia de 10MVA. Esta energía eléctrica es una corriente trifásica y aunque la tensión entre fases es de 400V, la tensión medida es de 380V. Esta energía administrada, básicamente se utilizará para la bomba y el traceado eléctrico.

Por lo que respecta al nitrógeno, se dispone de una red de nitrógeno que llega a 15-17bar y que se distribuye a la unidad a 9.0-9.5bar relativos a temperatura ambiente.

El precio de las energías empleadas se presenta en la siguiente tabla 3.2 (ref. 16). Estos precios son los utilizados en la evaluación económica que se realiza posteriormente en el apartado 8.

Tabla 3.2. Precio de las energías.

Energía	Precio
Electricidad	0.062€/kWh
Nitrógeno	0.070€/Nm <sup>3</sup>

#### 3.2.2. Datos de emplazamiento

El Parque de Tanques Exterior (P.T.E) de BASF Española S.L. se localiza en la Autovía de Tarragona-Salou, AP km 1, en el término municipal de La Canonja (Tarragona), en la comarca del Tarragonès, ocupando una extensión total de 22000m<sup>2</sup>.

En la figura 3.1. se muestra la localización del P.T.E. donde se encuentra el tanque que se usará para el almacenaje de aceite de palma.



Figura 3.1. Localización del Parque de Tanques Exterior (ref. 17)

Seguidamente se determinan los núcleos urbanos más próximos al Parque de Tanques Exterior. Éstos son los mostrados en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Núcleos urbanos más próximos al P.T.E.

Núcleo urbano	Distancia al Parque de Tanques Exterior
Campo Claro	1340m
Torreforta	1640m
Bonavista	1940m
La Granja	1960m
Tarragona	2000m
Riuclar	2090m
La Canonja	2640m
La Pineda	4250m
Vila-Seca	5160m
Constantí	5260m
Salou	7110m

### 3.2.3. Clima, precipitaciones y sismología

Por lo que respecta al clima de Tarragona, se trata de un clima Mediterráneo Litoral del Sur con temperaturas medias y precipitaciones escasas e irregulares. En la siguiente figura 3.2. se representa un gráfico de precipitaciones y temperaturas medias de Tarragona (ref. 18).

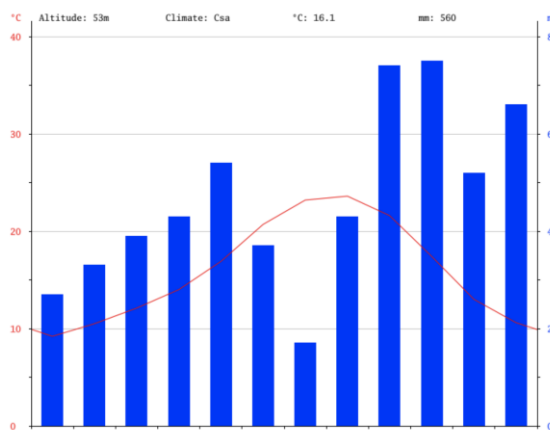


Figura 3.2. Precipitaciones y temperaturas medias en Tarragona

Con relación a datos sísmicos, según la norma Sismorresistent N.C.S.E.-02 del 27 de septiembre de 2002, la clasificación sísmica en la zona de Tarragona corresponde a sismicidad media, con un grado de intensidad máxima VI en la escala macrosísmica internacional (MSK). Las acciones sísmicas más probables podrían producir grietas en muros y chimeneas, caída de revestimientos, etc. En cuanto al diseño de las instalaciones, la norma no se tiene en cuenta, ya que la aceleración sísmica es de 0.04g y no es un terreno potencialmente inestable (ref. 19).

### 3.2.4. Elevación y estructura del terreno

Con relación a la elevación del terreno, la cota del Parque de Tanques Exterior se encuentra alrededor de los 9m (ref. 20). El terreno es una parcela de 22000m<sup>2</sup> formada por una capa de cemento y dedicada básicamente al almacenaje de productos. Tiene instalaciones auxiliares al aire libre y edificios cerrados (oficinas, sala de control, etc.). En la siguiente figura 3.3. se pueden observar las dimensiones del terreno.

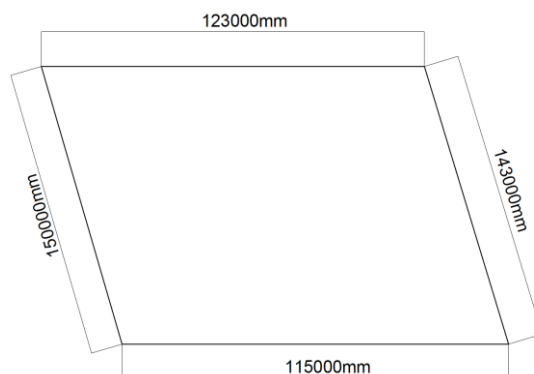


Figura 3.3. Dimensiones del terreno del Parque de Tanques Exterior

### 3.2.5. Layout de las instalaciones

En el siguiente apartado se determinan las distancias entre instalaciones fijas ya existentes para tener una visión del espacio que existe entre cada una<sup>1</sup>. Las instalaciones que ya se encuentran en el terreno son el tanque B-5320, el tanque 1, diferentes almacenajes, la caseta, la sala de mando, la estación de C.I., la sala de control, la caseta del perro, la chimenea, y las vallas que delimitan la zona. En la siguiente tabla 3.4. se determina la distancia que hay entre cada instalación. Las medidas están tomadas teniendo en cuenta la parte exterior del tanque B-5320.

<sup>1</sup> En el apartado 4.1.3. Diagrama de implementación: *Plot Plan*, se puede observar un diagrama de las instalaciones.

Tabla 3.4. Distancia entre las instalaciones ya existentes en el terreno.

Instalación	Distancia
Almacenamiento 1 – Tanque B-5320	41.9m
Almacenamiento 2 – Tanque B-5320	30.7m
Almacenamiento 3 – Tanque B-5320	15.6m
Almacenamiento 4 – Tanque B-5320	13.2m
Tanque 1 – Tanque B-5320	8.55m
Bomba P-5320 – Tanque B5320	6.17m
Estación de medición – Tanque B-5320	60.0m
Caseta – Tanque B-5320	19.2m
Sala de mando – Tanque B-5320	31.9m
Estación C.I. – Tanque B-5320	36.4m
Oficina – Tanque B-5320	51.1m
Sala de control – Tanque B-5320	54.2m
Caseta perro – Tanque B-5320	64.0m
Pararrayos – Tanque B-5320	13.44m
Chimenea – Tanque B-5320	59.9m
Valla Norte – Tanque B-5320	58.8m
Valla Sud – Tanque B-5320	22.9m
Valla Este – Tanque B-5320	51.9m
Valla Oeste – Tanque B-5320	58.4m

### 3.2.6. Operación de las instalaciones

En este apartado se explican las distintas instalaciones, la función que tiene cada una, así como sus características.

#### 3.2.6.1. Descarga del buque al tanque de almacenamiento

El aceite de palma llegará mediante buques desde Extremo Oriente (Singapur, Malasia, etc.) al puerto de Tarragona. Una vez atracado, descargará la materia prima al rack de tuberías que lo transportará hacia el tanque de almacenamiento. Mediante las bombas sumergibles de las que disponen los buques, se impulsará el fluido por el interior de las tuberías de unos 2km de largo. Estas bombas descargan un caudal de unos 300m<sup>3</sup>/h y trabajan a una presión de unos 9bar. Las tuberías deberán estar traceadas y aisladas, ya que el aceite se debe mantener a una temperatura determinada para que se conserve en estado líquido y no cristalice.

#### 3.2.6.2. Sistema de pig

El sistema de *pig* o *pipeline pigging*, es la práctica de utilizar unos dispositivos llamados *pigs* para realizar operaciones de mantenimiento. Generalmente, se utiliza para limpiar e inspeccionar tuberías. En este caso se utilizará para limpiar la tubería utilizada en el rack de tuberías para descargar el producto de los buques en el puerto. Este sistema constará de una estación de envío situada en el puerto, que enviará el dispositivo a través de la tubería, y de una estación receptora situada en el Parque de Tanques Exterior.

#### 3.2.6.3. Sistema de la carga de los camiones cisterna

El aceite almacenado en el tanque B-5320 se transportará mediante camiones cisterna para su exportación. Para ello, se instala un sistema de carga de camiones que consta de una tubería, de una bomba, capaz de llenar los camiones en un tiempo de 40-50min, y de un brazo de carga.

## **4. DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA**

En este apartado se desarrolla el diseño de los equipos e instalaciones para el correcto funcionamiento de la instalación de descarga, almacenaje y carga del aceite de palma.

### **4.1. Elaboración de diagramas**

El primer paso para el correcto desarrollo de este proyecto, es elaborar los diferentes diagramas tales como el diagrama de bloques, de flujo, el *Plot Plan*, el diagrama de tuberías e instrumentos y el diagrama isométrico.

Se parte de un diagrama de bloques, fruto del diseño conceptual donde cada bloque representa una operación básica. Seguidamente, se elabora el diagrama de proceso *PFD* que dará información sobre el caudal, la composición, la presión y la temperatura de cada corriente. A continuación, una vez dimensionados los equipos, se realiza el diagrama *Plot Plan* con la finalidad de dar una idea de la forma y ubicación de cada elemento. Finalmente, se confecciona el diagrama *P&ID* en el que se establecen las diferentes válvulas e instrumentación que componen el proceso. Además, se realiza el diagrama isométrico de las tuberías para determinar la disposición de las tuberías

#### **4.1.1. Diagrama de bloques**

Primeramente, se diseña el diagrama de bloques para dar una visión general de las operaciones que se llevan a cabo. Ver diagrama n° 1.

#### **4.1.2. Diagrama de flujo: *PFD***

En el diagrama de flujo se representan todas las corrientes que forman el proceso y sus caudales, temperaturas y presiones. Ver diagrama n° 2.

#### **4.1.3. Diagrama de implementación: *Plot Plan***

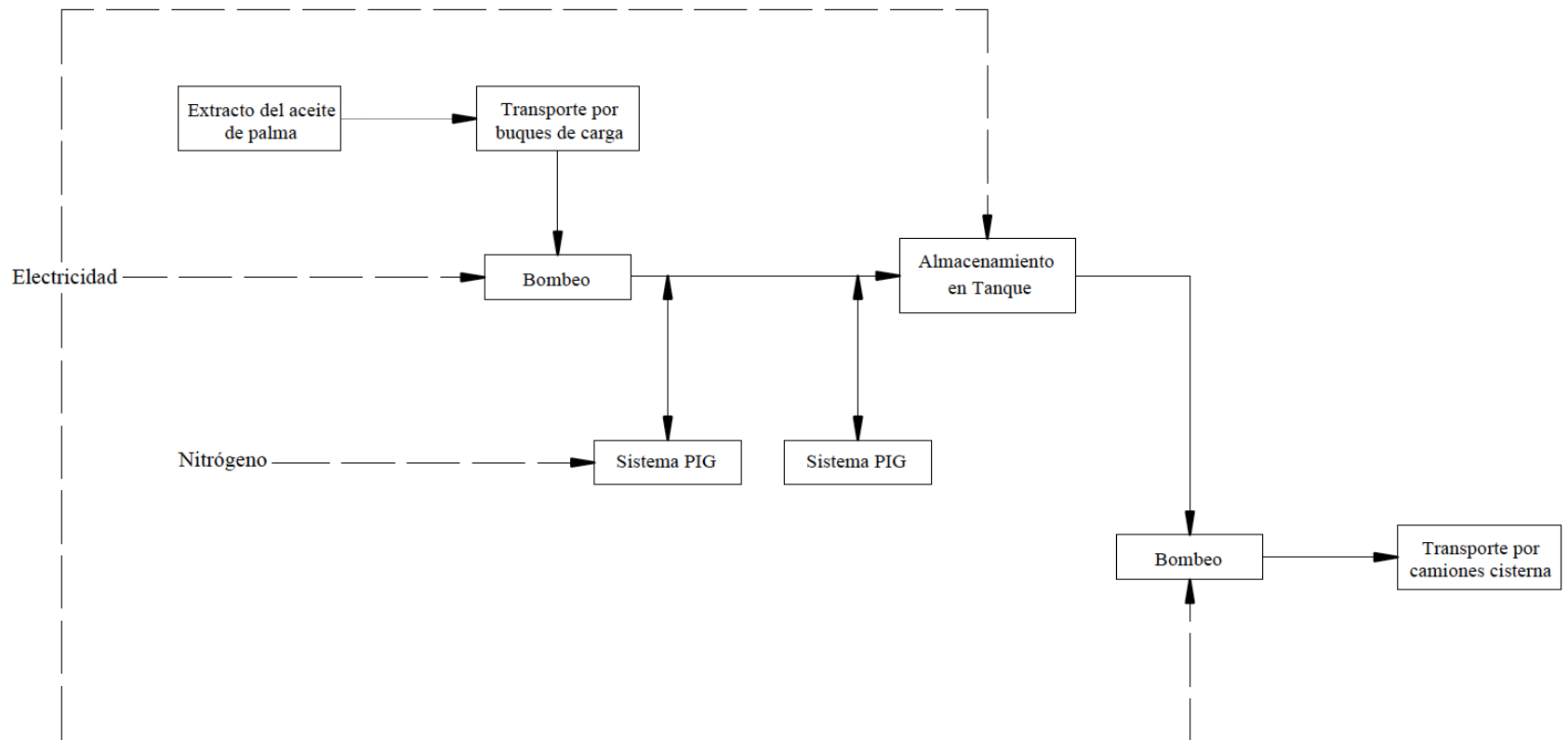
Seguidamente, se elabora el diagrama de implementación donde se determina el plano de la parcela, de las instalaciones y equipos. Ver diagrama n° 3.

#### **4.1.4. Diagrama de tuberías e instrumentos: *P&ID***

En este plano se simboliza la estrategia de control, las tuberías que componen la unidad y los instrumentos que se utilizan. Ver diagrama n° 4.

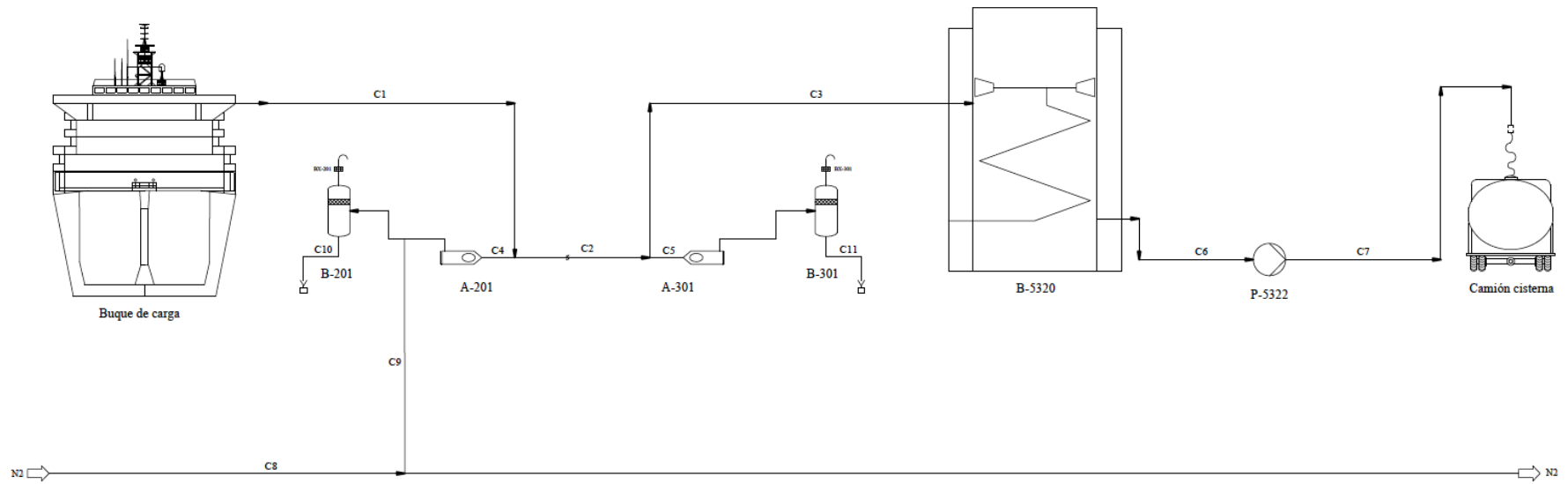
#### **4.1.5. Diagrama isométrico**

Finalmente, se realiza un diagrama isométrico de las tuberías donde se realiza un esquema en 3-D de las tuberías. Ver diagrama n° 5.



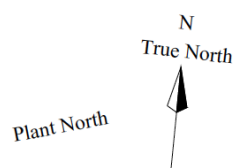
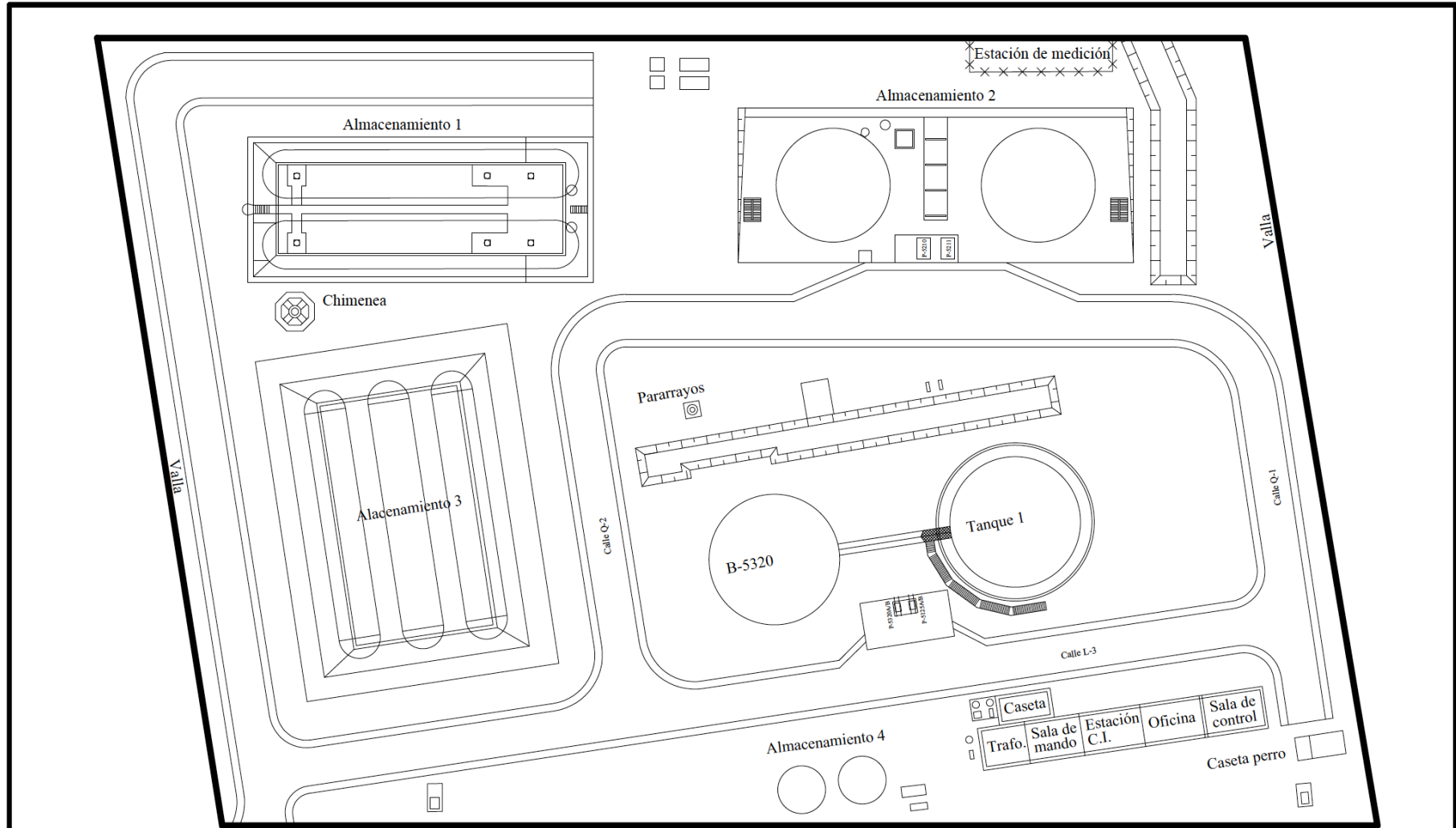
TFGEQ_1805_banton	5/3/2018	Diagrama de bloques
Belen Anton Meury		
Adaptación de un tanque de almacenamiento de derivados del aceite de palma		Nº 1

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
Caudal (m3/h)	258	258	258	44	44	39	39	44	44	44	44
Presión (bar)	9.60	9.50	2.40	9.50	9.50	2.33	3.20	9.0	7.0	1.04	1.04
Temperatura (°C)	52	52	52	52	52	52	52	15	15	52	52
Aceite de palma (%)	100	100	100	100	100	100	100	0	0	100	100
Nitrógeno (%)	0	0	0	0	0	0	0	100	100	0	0

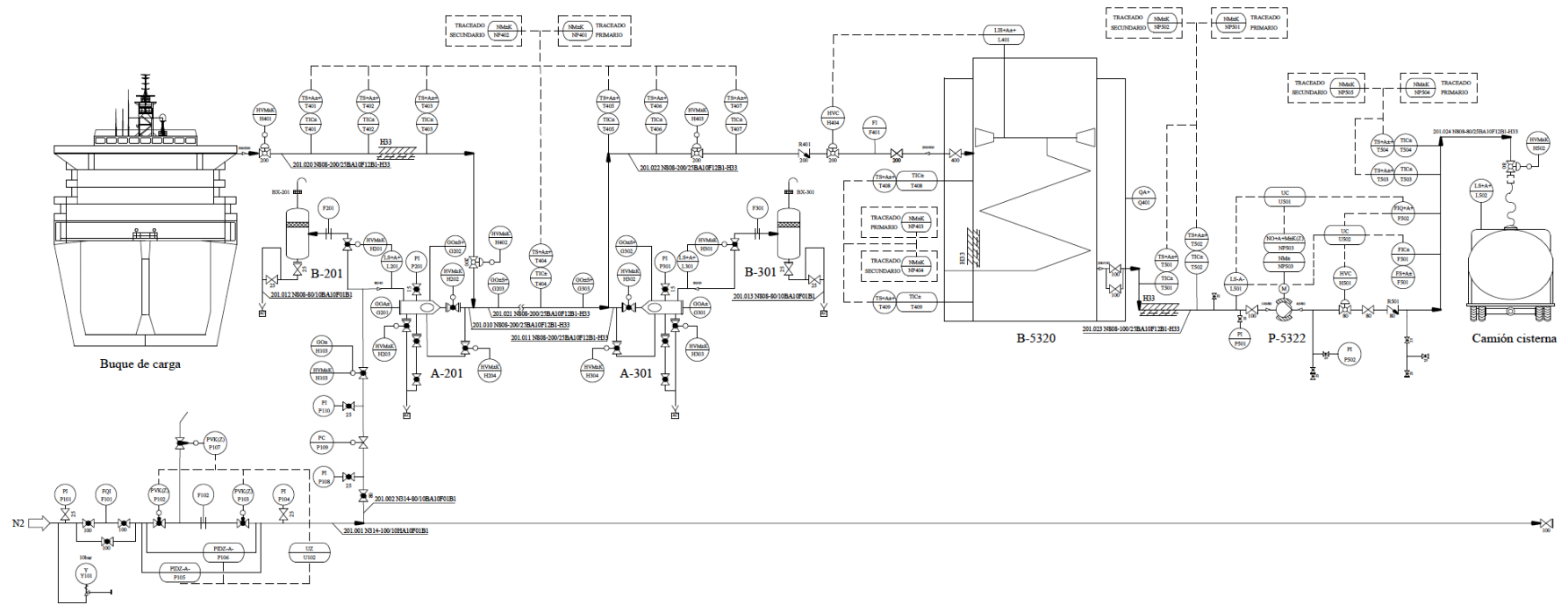
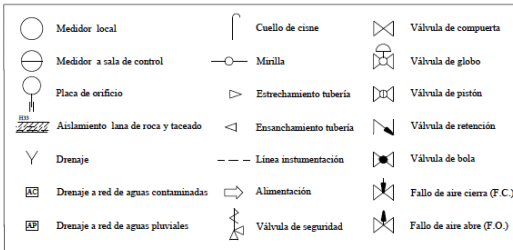


B-201	A-201	B-301
Depósito de purga	Estación de envío del pig	Depósito de purga
A-301	B-5320	P-5322
Estación de recepción del pig	Tanque de techo flotante	Bomba centrífuga

TFGEQ_1805_banton	2/03/2018	PFD
Belen Anton Meury		
Adaptación de un tanque de almacenamiento de derivados del aceite de palma		Nº 2

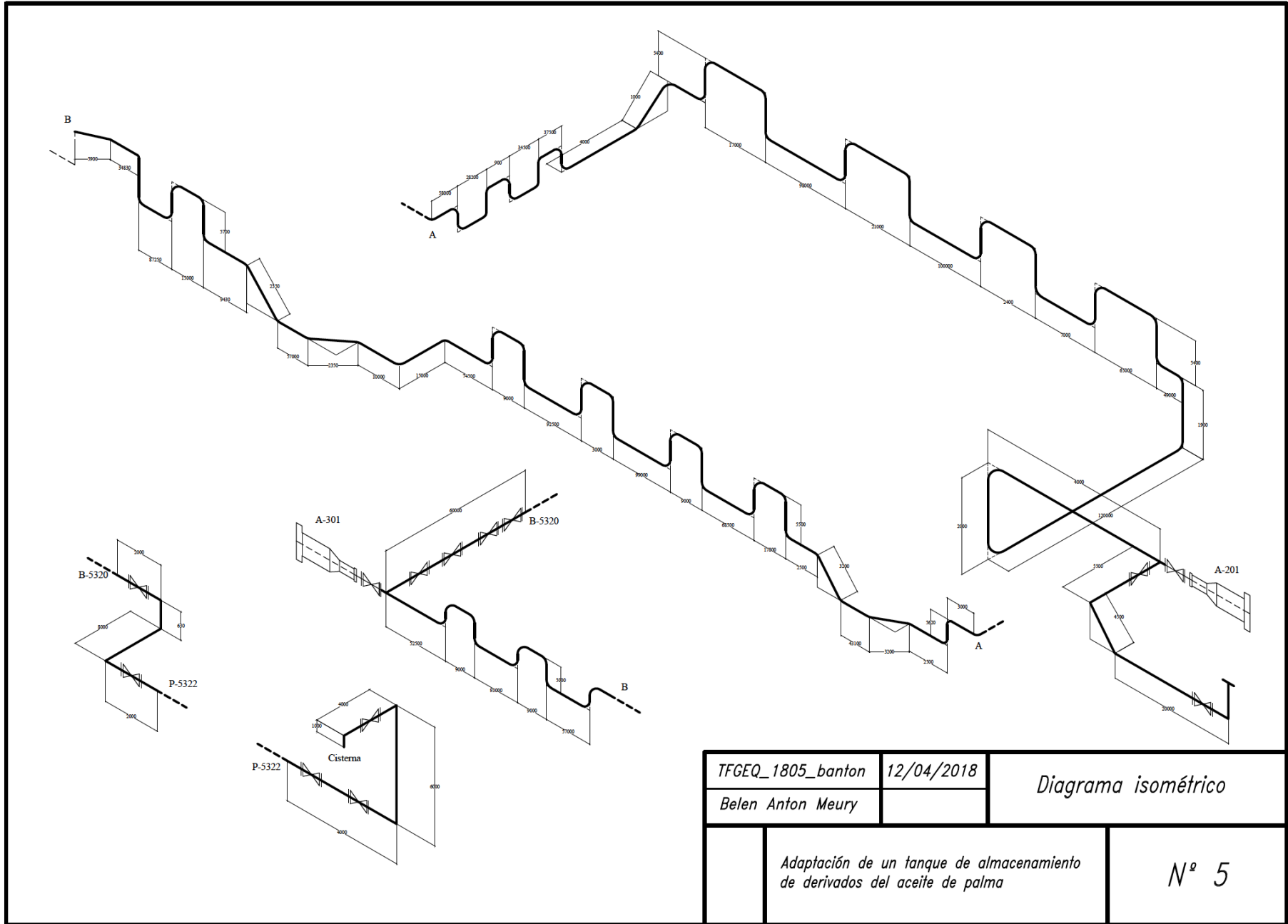


TFGEQ_1805_banton	27/02/2018	Diagrama Plot Plan
Belen Anton Meury		
Adaptación de un tanque de almacenamiento de derivados del aceite de palma		Nº 3



DENOMINACION	BOMBA SUMERGIBLE (B-5320)	TANQUE (B-5320)	BOMBA CENTRIFUGA (B-301)	DEPOSITO DE PRO (B-201)	DEPOSITO DE PRO (B-301)
DATOS TECNICOS	Q = 267 m <sup>3</sup>	V = 5000 m <sup>3</sup>	Q = 39 m <sup>3</sup>	V = 0.08 m <sup>3</sup>	V = 0.08 m <sup>3</sup>
	H = 119 m	h <sub>l</sub> = 15 m	H = 11.8 m	h <sub>l</sub> = 11.5 m	h <sub>l</sub> = 11.5 m
	-	DN 206000	Pot = 1.82 kW	DN 324	DN 324
Presión de diseño	-	P = atm	-	P = atm	P = atm
Temperatura de diseño	-	T = 50°C	-	T = amb	T = amb
Material	-	St 37	-	1.0405	1.0405
Observaciones	rev = 2749 rpm	-	rev = 1750 rpm	-	-

TFGEQ_1805_banton	10/04/2018	P&ID
Belen Anton Meury		
Adaptación de un tanque de almacenamiento de derivados del aceite de palma		N° 4



TFGEQ_1805_banton	12/04/2018	<i>Diagrama isométrico</i>
Belen Anton Meury		
Adaptación de un tanque de almacenamiento de derivados del aceite de palma		Nº 5

## 4.2. Diseño básico

A continuación, se diseñan todos los equipos e instalaciones, así como la instrumentación y las estrategias de control que se emplean para el diseño del proyecto. En este apartado se efectúan los cálculos de las unidades de proceso.

### 4.2.1. Diseño de tuberías

Primeramente, se determina el dimensionamiento de las tuberías del proceso, así como el perfil de caída de presión y el golpe de ariete.

#### 4.2.1.1. Nomenclatura de tuberías

En la siguiente figura 4.1. se representa la nomenclatura utilizada para las tuberías, en la figura 4.2. el número de línea y en la figura 4.3. la clase de la tubería y del aislamiento.

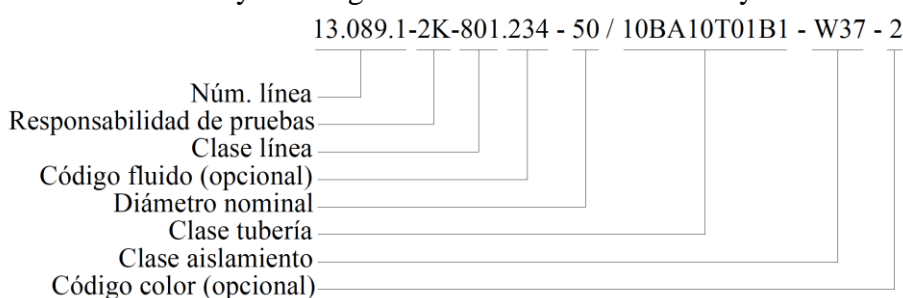


Figura 4.1. Nomenclatura de las tuberías

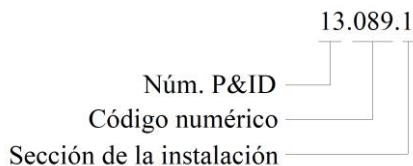


Figura 4.2. Número de línea

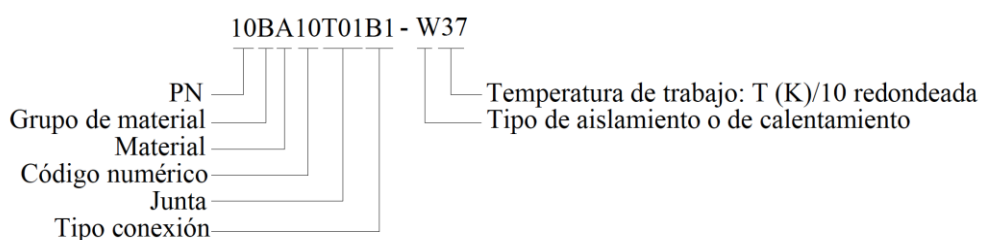


Figura 4.3. Clase de tubería y clase de aislamiento

A continuación, se determina la nomenclatura de las tuberías de la unidad que se estudiará a continuación. La instalación dispone de tuberías de acero al carbono (BA) de diferentes dimensiones, con un PN 25 y que transportan un fluido de tipo aceite vegetal (N808). Estas se tracearán eléctricamente (H) con una temperatura de trabajo de 52°C. En la tabla 4.1. se representa la nomenclatura de las tuberías que se estudiarán a continuación

Tabla 4.1. Nomenclatura de las tuberías a estudiar

Tubería	Nomenclatura
C1	201.020 N808-200/25BA10F12B1-H33
C2	201.021 N808-200/25BA10F01B1-H33
C3	201.022 N808-200/25BA10F12B1-H33
C6	201.023 N808-100/25BA10F12B1-H33
C7	201.024 N808-80/25BA10F12B1-H33

#### 4.2.1.2. Elección del material

Las tuberías actualmente están formadas a partir de acero al carbono, un material que proporciona alta resistencia, maleabilidad y tiene bajo coste, que hace de este material su excelente utilización para tuberías de uso industrial.

Si se compara con otros materiales, como por ejemplo con el PVC, el acero al carbono es mucho más resistente, o con el acero inoxidable, es más barato. Las tuberías de acero al carbono son fuertes, firmes, duraderas, tiene habilidades para resistir cambios extremos de temperatura y resisten a la presión y a elementos destructivos, por ello el material actual es el correcto y no se necesitará ningún tipo de cambio.

Cabe añadir que, el aceite al estar en contacto con el acero al carbono se oxida. Esto no presenta ningún problema con relación a las tuberías, ya que solo se utilizan para cargar y descargar el aceite y éste solo está en contacto durante el tiempo que tarda en atravesar la tubería. Por ello, no da tiempo suficiente al aceite a oxidarse, además que este producto presenta propiedades antioxidantes, que hace que este proceso de oxidación se retrase.

#### 4.2.1.3. Dimensionamiento del diámetro interior y del grosor

El diámetro interior de las tuberías viene determinado por el diámetro nominal de las tuberías ya existentes en la instalación, por el caudal y por la velocidad del fluido que debe ser menor a 2m/s.

Para el dimensionamiento de la tubería del rack, como es una tubería ya existente y que no se cambiará, el diámetro es de DN 200.

En relación con el dimensionamiento de la tubería de carga de cisternas se deberá realizar una instalación nueva debido a que ni la bomba ni las tuberías ya instaladas se podrán utilizar<sup>2</sup>. Por un lado, se determina un diámetro de aspiración de DN 100 ya que, la dimensión de la salida del tanque es de DN 200 pero no existen reducciones de DN 200 a la admisión de la bomba que es de DN 80<sup>3</sup>. Por otro lado, se determina un diámetro de impulsión de DN 80, ya que es la dimensión de un brazo de carga.

Además, se dimensiona según el caudal y una velocidad menor a 2m/s ya que se trata de un líquido. Más adelante se comprueba que las velocidades no son superiores a este valor.

Una vez definidos los diámetros nominales de las tuberías, se determina el diámetro exterior y el grosor mediante la especificación de BASF. En la tabla 4.2. se observan las dimensiones de cada tramo de tubería.

<sup>2</sup> Ver apartado 4.2.2.2. Diseño de la bomba de carga de camiones.

<sup>3</sup> Ver apartado 4.2.2.2. Diseño de la bomba de carga de camiones.

Tabla 4.2. Dimensiones de las tuberías de la unidad

Tubería	Nomenclatura	DN	Diámetro exterior (mm)	Grosor (mm)	Diámetro interior (mm)
C1	200/25BA10F12B1-H33	200	219.1	4.5	210.1
C2	200/25BA10F01B1-H33	200	219.1	4.5	210.1
C3	200/25BA10F12B1-H33	200	219.1	4.5	210.1
C6	100/25BA10F12B1-H33	100	114.3	3.6	107.1
C7	80/25BA10F12B1-H33	80	88.9	3.2	82.5

4.2.1.4. Perfil caída presión

Con el objetivo de calcular las pérdidas producidas en las tuberías, es decir la curva del sistema, se determina el área de paso y la velocidad mediante el caudal<sup>4</sup>, que en el rack de tuberías es de 237.9m<sup>3</sup>/h y en la carga de camiones cisterna es de 39.05m<sup>3</sup>/h.

Seguidamente se calcula el número de *Reynolds* mediante la ecuación 4.2.1 para determinar si el aceite es un fluido en régimen laminar o turbulento, teniendo en cuenta que si el número de *Reynolds* es inferior a 2000 es laminar, si es superior a 4000 es turbulento y si está entre 2000 y 4000 es un fluido en régimen transitorio.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \tag{4.2.1}$$

A continuación, se calcula el factor de fricción de *Darcy*, que para un fluido turbulento se calcula mediante la ecuación de *Swanee y Jain (1976)* representada en la fórmula 4.2.2 y para un flujo laminar se hace uso de la expresión 4.2.3. Para el caso de un fluido en transición (laminar-turbulento) se utiliza en diagrama de *Moody* representado en la figura 4.4.

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \tag{4.2.2}$$

$$f = \frac{64}{Re} \tag{4.2.3}$$

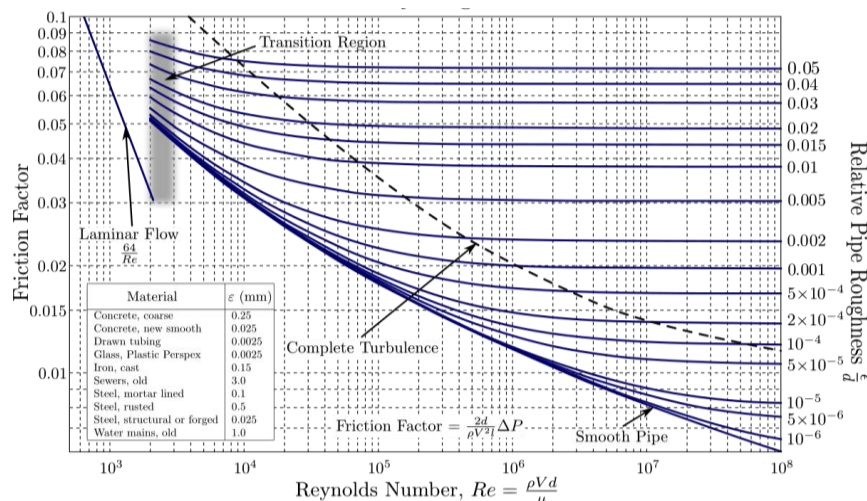


Figura 4.4. Diagrama de *Moody* (ref. 21)

Donde *f* es el factor de fricción,  $\varepsilon/D$  es el ratio de rugosidad del material de la tubería.

<sup>4</sup> Ver apartado 4.2.2. Diseño de bombas.

Una vez obtenido este parámetro, se determinan las pérdidas de energía por fricción. En este apartado, se tiene en cuenta el tramo de admisión de la bomba de carga de camiones en la zona de aspiración e impulsión, ya que el diámetro de admisión (DN 80 y DN 50) es inferior al de la tubería (DN 200 y DN 80), cosa que hace que la velocidad, y por tanto las pérdidas por fricción, aumenten. Estas pérdidas se calculan a partir de la siguiente ecuación 4.2.4.

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (4.2.4)$$

Donde  $h_f$  son las pérdidas de energía por fricción en m,  $L$  la longitud de la tubería en m y  $g$  la gravedad que tiene un valor de  $9.81\text{m/s}^2$ .

Seguidamente, se determinan las pérdidas de energía menores, tales como la de los codos, de las válvulas, de la entrada al tanque, de la salida y de las reducciones y los ensanchamientos. Estas pérdidas se calculan de la siguiente manera en la ecuación 4.2.5.

$$h_i = K_i \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (4.2.5)$$

Donde  $h_i$  es la pérdida de energía para cada elemento en m,  $K_i$  es el coeficiente de fricción que depende de la geometría del accesorio (ref. 22, ref. 23) y que se representa en la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Coeficientes de fricción para los diferentes accesorios

Coeficiente de fricción	Valor
$K$ entrada	1.0
$K$ salida	1.0
$K$ curva 90° con gran radio	0.2
$K$ curva 45° con gran radio	0.2
$K$ codo 90°	0.3
$K$ ensanchamiento	$\left(1 - \left(D_1/D_2\right)^2\right)^2$
$K$ reducción	$0.5 \cdot \left(1 - \left(D_1/D_2\right)^2\right)^2$
$K$ válvula de retención abierta	2.0
$K$ válvula de globo	16
$K$ válvula de compuerta abierta	0.2
$K$ conexión T en línea	0.2
$K$ conexión T desviado	1.0

Finalmente, se calcula la curva del sistema que relaciona la altura de la bomba y el caudal que circula por el sistema. En la ecuación 4.2.6 se representa la curva del sistema.

$$H = C_1 + C_2 \cdot Q^2 \quad (4.2.6)$$

Donde  $C_1$  y  $C_2$  son dos parámetros que se representan según las siguientes ecuaciones 4.2.7 y 4.2.8.

$$C_1 = \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \frac{1}{2 \cdot g} \cdot (v_2^2 - v_1^2) + (z_2 - z_1) \quad (4.2.7)$$

$$C_2 = \left[ f \cdot \left( \frac{L}{D} + \sum \frac{L_e}{D} \right) + \sum_i K_i \right] \cdot \frac{8}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g} \quad (4.2.8)$$

Donde  $P_1$  y  $P_2$  son las presiones a la entrada y a la salida del sistema,  $v_1$  y  $v_2$  son las velocidades a la entrada y a la salida, y  $z_1$  y  $z_2$  son las alturas de la superficie del líquido.

En la tabla 4.4. se representan los tramos de tubería, el caudal que pasa por cada uno, su velocidad y la pérdida de carga generada<sup>5</sup>.

Tabla 4.4. Pérdida de carga para cada tubería

Tubería	DN	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	Pérdida de carga (m)
C1	200	237.9	1.91	30	1.227
C2	200	237.9	1.91	2000	82.74
C3	200	237.9	1.91	60	6.035
C6	100	39.05	1.16	12.1	1.009
Admisión bomba aspiración	80	39.05	2.00	0.50	0.0442
Admisión bomba impulsión	50	39.05	4.59	0.50	1.078
C7	80	39.05	2.00	14.5	6.103

Por lo tanto, las pérdidas de carga en el rack de tuberías son de 90.0m, las pérdidas en la aspiración de la bomba de carga de camiones son de 1.05m y en la impulsión de 7.18m. Además, se afirma que las velocidades obtenidas para el dimensionado de la tubería no son superiores a 2m/s, tal y como se ha comentado anteriormente. Es cierto que en la admisión de la bomba en la impulsión se supera esta velocidad, pero se trata de un tramo muy corto que no influye y que depende del fabricante y del tipo de bomba.

En las siguientes figuras 4.5. y 4.6. se representa la curva del sistema para el rack de tuberías y para la carga de camiones cisterna respectivamente.

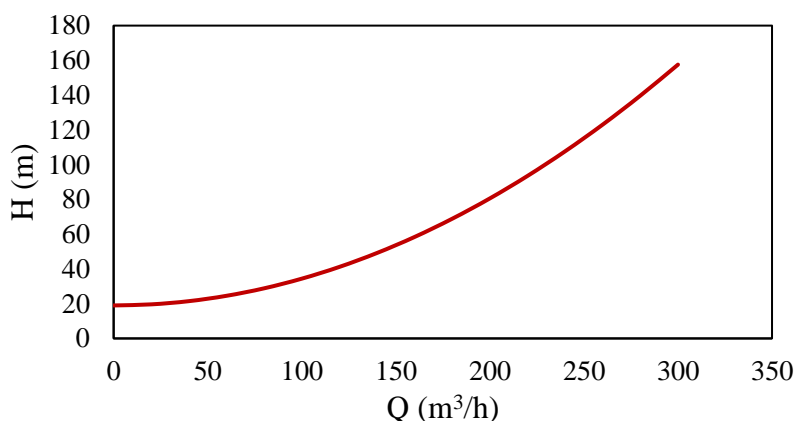


Figura 4.5. Curva del sistema del rack de tuberías

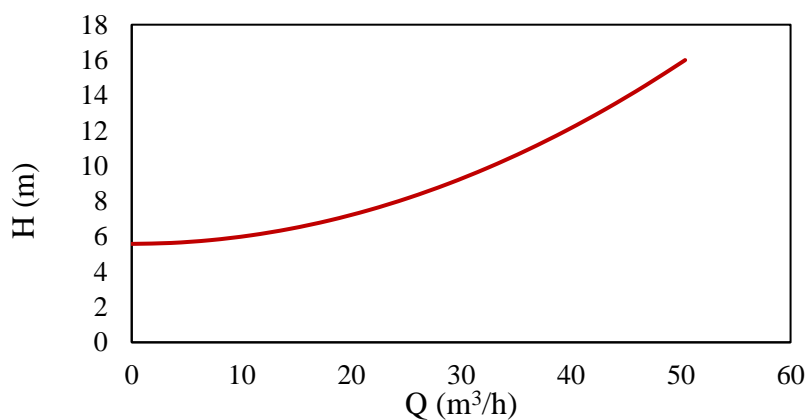


Figura 4.6. Curva del sistema de la carga de camiones

<sup>5</sup> En el Anexo I. Diseño de tuberías y bombas, se puede observar el procedimiento seguido.

#### 4.2.1.5. Cálculo del golpe de ariete

El fallo de una bomba o el accionamiento brusco de válvulas provoca una oscilación que se produce en el fluido que circula por una tubería. Esto afecta a la velocidad del fluido y provoca la propagación de ondas de presión más elevadas que la presión de diseño de la tubería, es decir, sobrepresiones que hay que conocer para evitar que se produzcan roturas y daños en las tuberías (ref. 24).

Estas sobrepresiones se generan cuando el fluido se detiene debido al cierre brusco de una válvula o fallo de una bomba, pero es empujado por el fluido que viene justo detrás y que sigue en movimiento, entonces se comprime ligeramente el fluido y se dilata ligeramente la tubería.

Para comprobar que la presión de diseño de las tuberías es la adecuada, se calcula el golpe de ariete que se podría producir. Las tuberías de más de 200m se consideran en riesgo de padecer este fenómeno (ref. 25), por lo tanto, se analizará el golpe de ariete de la línea que va de buques al tanque (rack de tuberías), ya que es de 2km de longitud.

Cuando el cierre o apertura de la válvula es brusco, es decir, el tiempo de cierre es menor que el tiempo que tarda la onda en recorrer la tubería ida y vuelta, como es en este caso, ya que se trata de una tubería de longitud muy grande, el golpe de ariete  $\Delta H$  se calcula de la siguiente manera en la ecuación 4.2.9.

$$\Delta H = C \cdot \frac{v}{g} \quad (4.2.9)$$

Donde  $v$  es la velocidad media del fluido en m/s,  $g$  es la aceleración de la gravedad que toma un valor de  $9.81\text{m/s}^2$  y  $C$  es la velocidad de propagación de la onda elástica en m/s que se expresa según la ecuación de *Watters* (1984) en la fórmula 4.2.10 (ref. 24).

$$C = \sqrt{\frac{K/\rho}{1 + \frac{K \cdot D}{E \cdot t}}} \quad (4.2.10)$$

Donde  $\rho$  es la densidad del fluido en  $\text{kg/m}^3$ ,  $K$  es el módulo elástico del fluido o módulo de *Bulk* (ref. 26) que es de  $12 \cdot 10^8 \text{N/m}$ ,  $D$  es el diámetro de la tubería en mm,  $E$  es el módulo de elasticidad de la tubería o módulo de *Young* que es de  $20 \cdot 10^9 \text{kg/m}^2$  y  $t$  es el espesor de la tubería en mm.

Mediante este procedimiento, se obtiene que la presión máxima generada por la onda es de 9.90bar. Teniendo en cuenta que la presión máxima de trabajo es de 9.60bar (presión de la impulsión), la presión que deberá resistir la tubería es de 19.5bar. Por lo tanto, sabiendo que la tubería es de PN 25, se puede concluir que el diseño es adecuado, ya que el incremento de presión producido por el golpe de ariete más la presión máxima de trabajo no supera la presión de diseño de la tubería.

Además, para reducir el golpe de ariete que se puede generar en la tubería y minimizar sus efectos, se puede introducir una restricción en la entrada de aire del actuador neumático de la válvula automática que se encuentra en el final de la tubería H-404 para ralentizar su cierre.

#### 4.2.1.6. Diseño de accesorios

Las diferentes tuberías se forman mediante accesorios regulados por las normas estandarizadas. En la siguiente tabla 4.5. se representan los esquemas de cada accesorio para, posteriormente dimensionarlos según la tubería.

Tabla 4.5. Esquema de cada accesorio

Accesorio	Esquema
Codos a 40°	
Codos a 90°	
Bifurcación Tipo A	
Tipo B	
Bridas Cuello de soldadura	
Solapada	
Reducción	

4.2.1.7. Listado de tuberías y accesorios

Seguidamente se presenta en la tabla 4.6. el listado de tuberías presentes en el proceso, en la tabla 4.7., 4.8., 4.9. y 4.10. se representan las dimensiones de los accesorios para cada tubería, tales como bridas, codos, bifurcaciones y reducciones.

Tabla 4.6. Listado de tuberías

Tubería	N/E <sup>6</sup>	Nº de línea	Fluido	P (bar)	T (°C)	L (m)	DN	Grosor (mm)	Origen	Final	Detalle
C1	E	201.020 N808- 200/25BA10F12B1-H33	Aceite	9.60	52	30	200	4.5	Puerto	C2	Aislada y tracada
C2	E	201.021 N808- 200/25BA10F01B1-H33	Aceite	9.50	52	2000	200	4.5	C4	C5	Aislada y tracada
C3	E	201.022 N808- 200/25BA10F12B1-H33	Aceite	2.40	52	60	200	4.5	C5	B-5320	Aislada y tracada
C4	N	201.010 N808- 200/25BA10F12B1-H33	Aceite	9.50	52	1.0	200	4.5	A-201	C2	Aislada y tracada
C5	N	201.011 N808- 200/25BA10F12B1-H33	Aceite	9.50	52	1.0	200	4.5	A-301	C2	Aislada y tracada
C6	N	201.023 N808- 100/25BA10F12B1-H33	Aceite	2.33	52	12.13	100	3.6	B-5320	P-5322	Aislada y tracada
Bomba	N	Admisión bomba	Aceite	2.24	52	0.5	80	3.2	-	-	Aislada y tracada
Bomba	N	Admisión bomba	Aceite	3.26	52	0.5	50	2.9	-	-	Aislada y tracada
C7	N	201.020 N808- 80/25BA10F12B1-H33	Aceite	3.17	52	14.50	80	3.2	P-5322	Cisterna	Aislada y tracada
C8	E	201.001 N314- 100/10HA10F01B1	N <sub>2</sub>	9.0-9.5	15	100	100	2.6	Red N <sub>2</sub>	C9	-
C9	N	201.002 N314- 80/10BA10F01B1	N <sub>2</sub>	7.0	15	50	80	3.2	C8	A-201	-
C10	N	201.012 N808- 80/10BA10F01B1-H33	Aceite	1.04	52	2.0	80	3.2	B-201	Red AC	Aislada y tracada
C11	N	201.013 N808- 80/10BA10F01B1-H33	Aceite	1.04	52	2.0	80	3.2	B-301	Red AC	Aislada y tracada

<sup>6</sup> Nuevo/Existente

Tabla 4.7. Diseño de bridas

Número de línea	Brida												
	DN	D (mm)	PN	Tipo	b (mm)	k (mm)	d <sub>2</sub> (mm)	h <sub>1</sub> (mm)	d <sub>4</sub> (mm)	da (mm)	sa (mm)	se (mm)	d <sub>6</sub> (mm)
200/25BA10F12B1	200	360	25	Weld neck	30	310	26	80	278	219.1	4.5	6.3	-
	200	360	25	Lapped	32	310	26	-	-	-	-	-	226
200/25BA10F01B1	200	360	25	Weld neck	30	310	26	80	278	219.1	4.5	6.3	-
	200	360	25	Lapped	32	310	26	-	-	-	-	-	226
100/25BA10F12B1	100	235	40	Weld neck	24	190	22	65	162	114.3	3.6	3.6	-
	100	235	40	Lapped	26	190	22	-	-	-	-	-	120
80/25BA10F12B1	80	200	40	Weld neck	24	160	18	58	138	88.9	3.2	3.2	-
	80	150	40	Lapped	24	160	18	-	-	-	-	-	94
100/10HA10F01B1	100	220	16	Weld neck	20	180	18	52	158	114.3	2.6	3.6	-
	100	220	16	Lapped	22	180	18	-	-	-	-	-	120
80/10BA10F01B1	80	200	16	Weld neck	20	160	18	50	138	88.9	3.2	3.2	-
	80	200	16	Lapped	20	160	18	-	-	-	-	-	94

Tabla 4.8. Diseño de codos

Número de línea	DN	PN	Tipo codo	Codo				Material
				r (mm)	da (mm)	se (mm)	sa (mm)	
200/25BA10F12B1	200	25	45°	305	219.1	4.5	4.5	8977219
			90°	305	219.1	4.5	4.5	8977322(L)
200/25BA10F01B1	200	25	45°	305	219.1	4.5	4.5	8977219
			90°	305	219.1	4.5	4.5	8977322(L)
100/25BA10F12B1	100	25	45°	152	114.3	3.6	3.6	8746348(L)
			90°	152	114.3	3.6	3.6	1221145(L)
80/25BA10F12B1	80	25	45°	114	88.9	3.2	3.2	8742823(L)
			90°	114	88.9	3.2	3.2	1221137(L)
100/10HA10F01B1	100	10	45°	152	114.3	2.6	2.6	1226243(L)
			90°	152	114.3	2.6	2.5	1226243(L)
80/10BA10F01B1	80	10	45°	114	88.9	3.2	3.2	8742823(L)
			90°	114	88.9	3.2	3.2	1221137(L)

Tabla 4.9. Diseño de bifurcaciones

Número de línea	DN	PN	Bifurcación										Material
			DN <sub>1</sub>	DN <sub>2</sub>	da <sub>1</sub> (mm)	da <sub>2</sub> (mm)	s <sub>1</sub> (mm)	sa (mm)	s <sub>2</sub> (mm)	s <sub>3</sub> (mm)	a (mm)	b (mm)	
200/25BA10F12B1	200	25	200	200	219.1	219.1	6.3	5.6	6.3	15.9	178	178	8708474
100/10HA10F01B1	100	10	100	80	114.3	88.9	2.6	-	2.3	-	105	98	8707344

Tabla 4.10. Diseño de reducciones

Número de línea	DN	PN	Reducción							Material
			DN <sub>1</sub>	DN <sub>2</sub>	da <sub>1</sub> (mm)	da <sub>2</sub> (mm)	s <sub>1</sub> (mm)	s <sub>2</sub> (mm)	l <sub>1</sub> (mm)	
200/25BA10F12B1	200	25	300	200	323.9	219.1	5.6	4.5	203	8969869
			400	200	406.4	219.1	10	8	355	8839211
100/25BA10F12B1	100	25	200	100	219.1	114.3	4.5	3.6	152	8969856
			100	80	114.3	88.9	3.6	3.2	100	1227348(L)
80/25BA10F12B1	80	25	80	50	88.9	60.3	3.2	2.9	90	1227343(L)
80/10BA10F01B1	80	10	80	40	88.9	48.3	3.2	2.6	90	1227344(L)

#### 4.2.2. Diseño de bombas

En el siguiente apartado se determina el procedimiento seguido a la hora de diseñar las bombas de la instalación.

##### 4.2.2.1. Diseño de la bomba de buques a tanque (rack de tuberías)

Los buques utilizan una bomba propia para descargar en la terminal de atraque. El diseño de esta bomba no entra en el diseño del proyecto, ya que se trata de un equipo exterior. La única finalidad de este apartado es determinar si se deberá cambiar la bomba por otra, y qué caudal proporcionará.

Con el objetivo de determinar si la bomba se adapta al nuevo fluido o no, y si lo hace determinar las nuevas condiciones de operación de la bomba, se realiza un estudio hidráulico en la impulsión de la bomba. Si la bomba se adapta, se determinará el nuevo punto de operación de ésta. Por el contrario, si no se adapta, se deberá diseñar una bomba nueva y escoger la que más se adapte a las nuevas condiciones requeridas.

Primeramente, se sabe que la bomba instalada, es una bomba sumergible que el buque ya dispone, con lo que no se tendrán pérdidas en la aspiración, ya que no existe ninguna tubería ni accesorios. Como el fluido a transportar cambia, se deberá calcular el caudal que dará la bomba según su nuevo punto de operación.

Una vez calculadas las pérdidas de carga producidas teniendo en cuenta que la cota del Parque de Tanques Exterior es de 9m, se calcula el nuevo punto de operación mediante la curva de la bomba de la especificación<sup>7</sup>. Éste se representa en la figura 4.7.

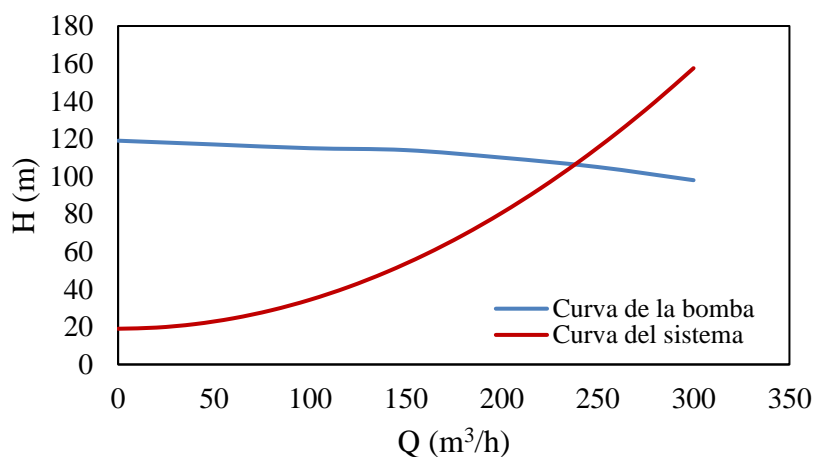


Figura 4.7. Diagrama del punto de operación de la bomba de descarga de buques

Se puede observar que esta bomba se adapta al nuevo fluido, proporcionando así un caudal de 238m<sup>3</sup>/h y una altura manométrica de 106m. Por lo tanto, se concluye que la bomba que se usa actualmente para descargar el producto de los buques de carga se adapta a las nuevas condiciones del sistema.

##### 4.2.2.2. Diseño de la bomba de carga de camiones

Respecto a la bomba de carga de camiones, actualmente se dispone de una bomba que trabaja para dar un caudal de 5m<sup>3</sup>/h. Sin embargo, las nuevas condiciones de carga de camiones, hacen que el caudal tenga que ser de unos 36m<sup>3</sup>/h para cargar los camiones cisterna de capacidad de

<sup>7</sup> En el Anexo I.1. Tuberías y bombas de la descarga de buques se puede observar el procedimiento seguido.

27m<sup>3</sup> en un tiempo de unos 45min. Por este motivo la bomba que está instalada actualmente no cumple con los nuevos requisitos y debe ser reemplazada por una nueva.

Primeramente, una vez obtenida la curva del sistema, se debe proceder a la selección de la bomba correcta. Para ello, primero se hace una preselección sabiendo que para el caudal de unos 36m<sup>3</sup>/h, se obtiene una altura manométrica de unos 11.3m. Mediante el gráfico del campo de aplicación de los diferentes modelos de bomba representado en la figura 4.8. proporcionado por el fabricante KSB se escoge el tipo bomba preseleccionada (ref. 27).

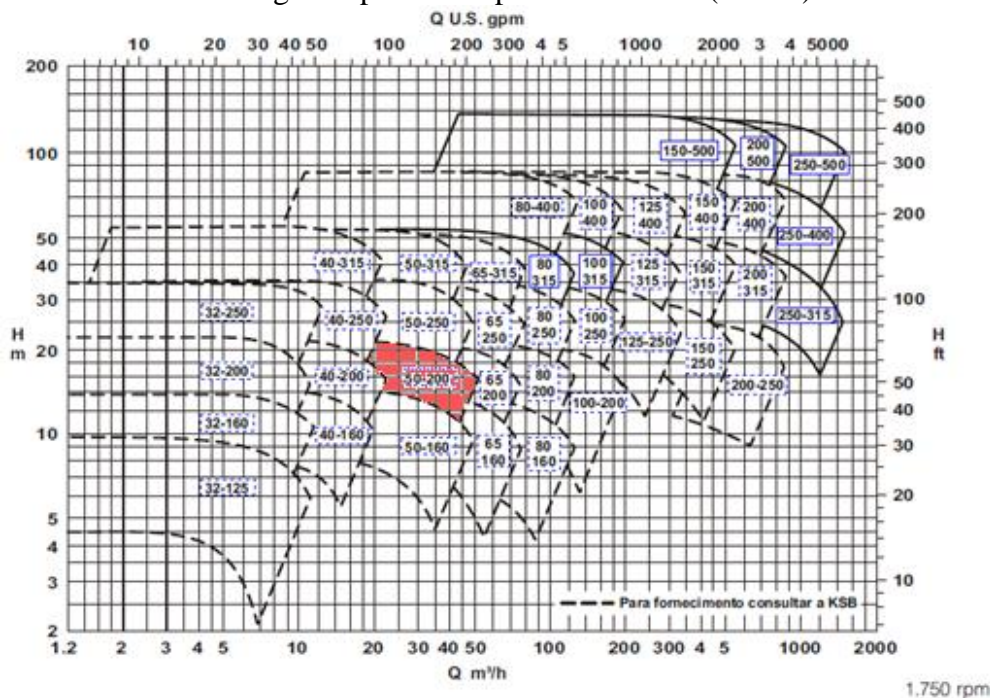


Figura 4.8. Gráfico del campo de aplicación de los diferentes modelos de bomba

Se determina el modelo de la bomba 50-200 y se escoge un rodete de 180<sup>8</sup> ya que dará una altura manométrica mayor a la que da teóricamente el sistema.

A continuación, se calcula el punto de operación de la bomba seleccionada. La curva del sistema y de la bomba se expresa en la siguiente figura 4.9 obteniendo así un caudal de 39.05m<sup>3</sup>/h y una altura manométrica de 11.83m.

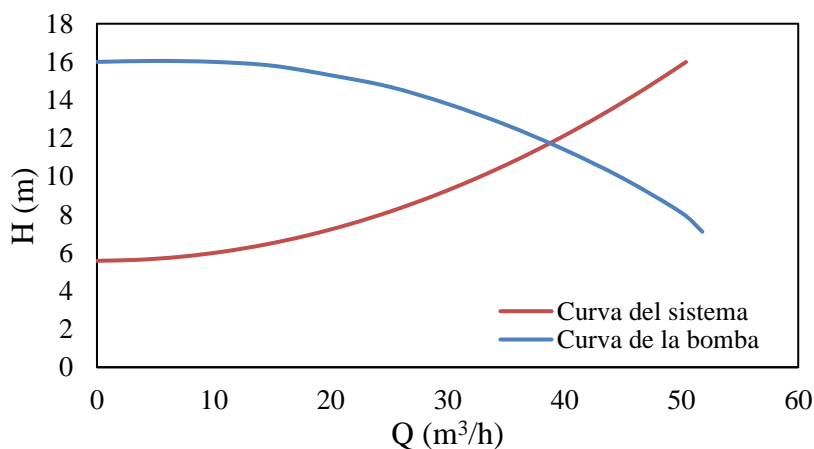


Figura 4.9. Diagrama del punto de operación de la bomba de carga de camiones

<sup>8</sup> Ver Anexo I.2. Tuberías y bombas de la carga de camiones para observar la curva característica de la bomba.

Esto hace que las cisternas de los camiones se llenen en un tiempo de 41min en vez de 45min, ya que el punto de operación de la bomba da un caudal mayor. En la siguiente tabla 4.11. se determinan las características de la bomba<sup>9</sup>.

Tabla 4.11. Características de la bomba de carga de camiones<sup>10</sup>

Propiedad	Valor
Tipo de bomba	50-200
Rodete	180
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	39.05
Altura manométrica (m)	11.83
Velocidad nominal (rpm)	1750
NPSH <sub>r</sub> (m)	1.40
NPSH <sub>d</sub> (m)	30.9
Potencia necesaria (kW)	1.82
Potencia transmitida al fluido (kW)	1.11
Rendimiento de la bomba (%)	60.9%

Se puede observar como el NPSH disponible es mayor que el requerido y, por lo tanto, la bomba no cavitara.

#### 4.2.3. Diseño del tanque de almacenamiento

Para el diseño del tanque de almacenamiento, se debe adaptar el tanque ya existente en Parque de Tanques Exterior. Dicho tanque está capacitado para almacenar 5000m<sup>3</sup> de producto. Este es un tanque de techo flotante y, por lo tanto, trabaja a presión atmosférica. Como medida para evitar que el aceite almacenado se degrade al estar en contacto con el acero al carbono, se deberá recubrir el interiormente el tanque. En la siguiente tabla 4.12. se determinan las características actuales del tanque.

Tabla 4.12. Características del tanque B-5320

Propiedad	Valor
Volumen (m <sup>3</sup> )	5000
Altura de llenado (m)	15.0
Diámetro exterior (m)	20.6
Espesor (mm)	5 a 12
Presión de diseño	Atmosférica
Temperatura de diseño	50°C
Material	St 37

##### 4.2.3.1. Diseño interior del tanque

En relación con el material, el aceite cuando entra en contacto con el acero al carbono se degrada, por lo que se propone realizar un recubrimiento en la parte interior del tanque.

Para este recubrimiento se estudian varias opciones tales como el acero inoxidable, la ebonita y la resina epoxi. El acero inoxidable se descarta ya que es el material más caro de entre las opciones y su aplicación sería complicada, ya que se deberían emplear soldaduras. La ebonita es una buena opción económica, pero al tratarse de caucho su conductividad es bastante baja, cosa que no interesa ya que haría que aumentara la potencia que deberá suministrar el traceado.

<sup>9</sup> En el Anexo I.2. se pueden observar las curvas características de la bomba para determinar la altura manométrica, el NPSH y la potencia necesaria.

<sup>10</sup> El procedimiento de cálculo se encuentra en el Anexo I.2. Tuberías y bombas de la carga de camiones.

Por lo que la mejor opción es el recubrimiento con la resina epoxi de un grosor de 3mm aproximadamente. Ésta es resistente a temperaturas elevadas y a la humedad, se adhiere óptimamente a la forma del equipo, protege de la corrosión, cumple con todas las exigencias en cuanto a higiene y seguridad, y es fácil de instalar.

#### 4.2.3.2. Diseño exterior del tanque

El tanque dispone de una pared cilíndrica vertical de hormigón, que hace función de un cubeto, de manera que cualquier fuga queda limitada por el cubeto de hormigón<sup>11</sup>. Esta pared, también protege el tanque contra fuertes vientos, de manera que el aire que queda entre el hormigón y el tanque tiene velocidad baja.

Además, como el aceite de palma debe almacenarse a una temperatura de unos 41°C (temperatura recomendada durante el almacenaje del aceite de palma), el tanque deberá estar calefactado mediante un traceado eléctrico.

Para reducir las pérdidas de calor en el traceado eléctrico, el tanque también deberá ser aislado térmicamente. Para el aislamiento del tanque, se escoge un aislamiento de fibras minerales como lo es la lana de roca, ya que tiene una baja conductividad térmica y tiene un coste bajo respecto a otros aislantes. Además, la lana de roca por su naturaleza de origen inorgánico es incombustible y al entrar en contacto con el fuego no genera humos asfixiantes o tóxicos (ref. 28). Este aislamiento se compone de un espesor que se determina en los siguientes apartados de lana de roca y de un recubrimiento de chapa de aluminio de 0.8mm (ref. 29).

Para determinar el espesor del aislamiento y la potencia que debe aportar el traceado eléctrico, se deben determinar las pérdidas que se producen en el tanque en función del espesor del aislamiento, ya que, a mayor espesor del aislamiento, menores serán las pérdidas. Para ello se realizan las siguientes consideraciones:

- La temperatura interior se mantendrá constante a 41°C para que el aceite no cristalice y no se degrade.
- Se tiene en cuenta que el fluido interior está homogeneizado.
- Se considera que la temperatura interior es constante e igual a la del recubrimiento interior del tanque:  $T_f = T_1$ .
- La altura de llenado es de 15m.
- Se tiene en cuenta una temperatura exterior del aire de 5°C, considerando el clima en invierno.
- La resistencia por conducción de chapa de aluminio del aislamiento se desprecia ya que es una capa muy fina y muy conductora comparado con el aislamiento:  $T_4 = T_5$ .
- Se generan pérdidas en los laterales, en el techo y en el suelo.
- Se considera una temperatura del suelo de unos 15°C (temperatura media de las cuevas).
- El precio de la electricidad, tal y como se comenta en apartados anteriores, es de 62€/MW/h.
- La resistencia por conducción de chapa de acero del techo flotante se desprecia ya que es una capa muy fina y muy conductora comparada con la convección natural del aire interior y exterior.

---

<sup>11</sup> En el apartado 5.2.3. Protección del tanque de almacenamiento, se comprueba que las dimensiones de la camisa de retención de hormigón son suficientes para retener una fuga en el equipo.

#### 4.2.3.3. Pérdidas de calor

Para determinar las pérdidas de calor producidas, y por lo tanto la potencia que deberá proporcionar el traceado, se determinan las pérdidas que se generan por el suelo, por los laterales del tanque y por el techo<sup>12</sup>. En la siguiente tabla 4.13. se presentan los resultados de las pérdidas de calor (ref. 30).

Tabla 4.13. Pérdidas de calor producidas en el tanque

Pérdidas de calor	Valor (kW)
Por el techo	11.78
Por el suelo	2.46
Por los laterales	9.77
Totales	24.01

#### 4.2.3.4. Espesor del aislamiento

Para determinar el espesor del aislamiento, se realiza un estudio de las pérdidas totales del tanque, teniendo en cuenta que las pérdidas laterales se calculan en función del espesor del aislamiento.

Una vez calculadas las pérdidas totales generadas en el tanque en función del aislamiento, se determina el objetivo de optimizar el coste anual, es decir minimizar la energía eléctrica consumida y la amortización del aislamiento.

Por ello, se calculan los costes de la energía eléctrica, que disminuyen a medida que se aumenta el espesor del aislamiento ya que se generan menos pérdidas de calor, y los costes del aislamiento y del montaje teniendo en cuenta una amortización de 10 años. En la figura 4.10. se representa la variación del coste total en función del espesor del aislamiento.

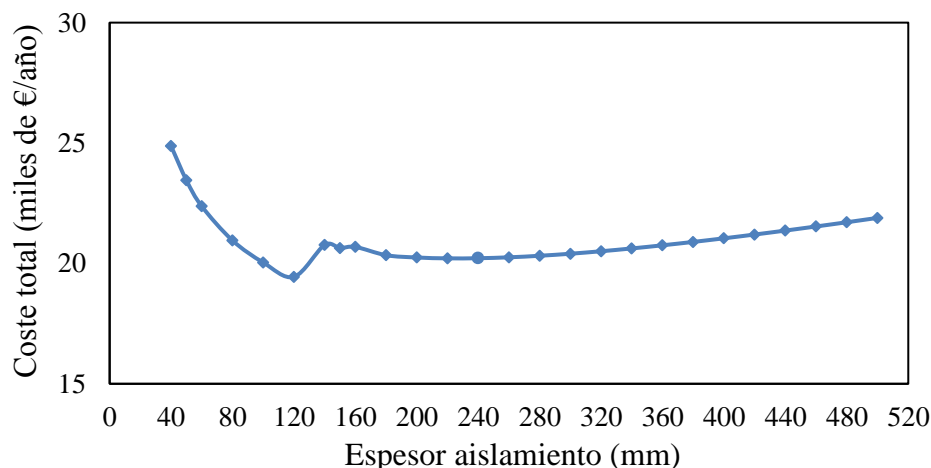


Figura 4.10. Variación del coste total en función del espesor del aislamiento de lana de roca

Tal y como se puede observar, existe un tramo de la curva donde se produce un salto, entre el espesor 120 y el 140. Esto es debido a que el espesor 120 consiste en una sola capa y el espesor 140 consiste en una combinación de dos capas, lo que hace que el coste de montaje aumente ya que el coste para montar dos capas es superior al de una capa.

Como conclusión, se escoge un espesor de 120mm para la construcción del aislamiento de lana de roca del tanque, ya que se obtiene un coste total menor.

<sup>12</sup> En el Anexo II. Diseño del tanque de almacenamiento, se determina el procedimiento seguido para determinar las pérdidas de calor generadas en el tanque.

#### 4.2.3.5. Diseño final del tanque

Por lo tanto, el tanque de almacenamiento para derivados del aceite de palma se compondrá de una estructura ya implementada de acero al carbono, de un recubrimiento interior de resina epoxi de 3mm de grosor para evitar que el aceite al entrar en contacto con el carbono se degrade, de un traceado eléctrico situado alrededor del exterior del tanque de acero al carbono que mantendrá el tanque a unos 41°C para que el aceite no cristalice ni se degrade y que gracias al aislamiento de lana de roca de un espesor de 120mm y un recubrimiento de chapa de aluminio de 0.8mm de grueso (ref. 29), deberá aportar 24.01kW. En la siguiente figura 4.11. se observa un esquema del diseño final del tanque.

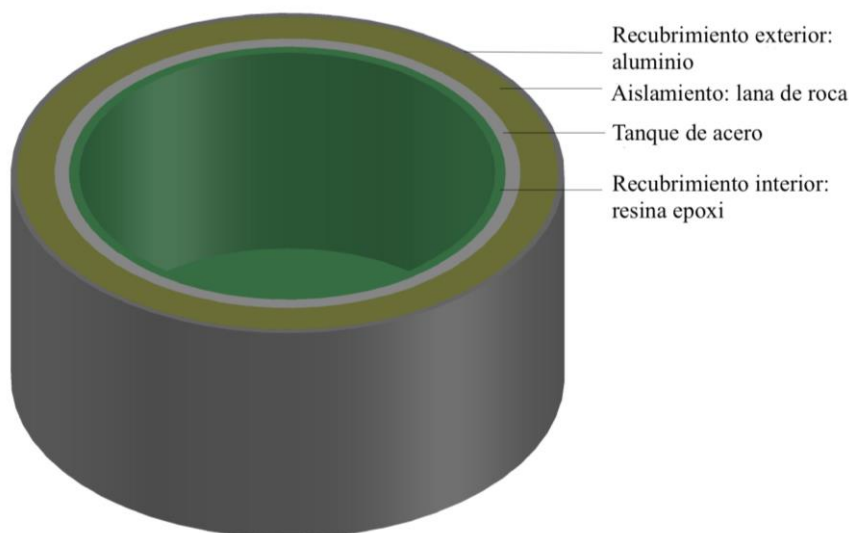


Figura 4.11. Esquema del diseño final del tanque de almacenamiento de aceite de palma

#### 4.2.4. **Diseño del sistema de calefacción de tuberías**

En el siguiente apartado se realiza el estudio energético de las tuberías para adaptar las tuberías al paso del nuevo producto. Con el objetivo de mantener el aceite a una temperatura de 52°C (temperatura recomendada a la cual debe estar el aceite de palma para su carga y descarga), se calculan las pérdidas de calor que se producirán en cada tubería, de manera que estos kW de pérdidas serán los que el traceado eléctrico deberá aportar. Estas tuberías deberán de ser aisladas mediante lana de roca con un recubrimiento externo de chapa de aluminio de 0.8mm de grosor para minimizar las pérdidas y reducir la potencia del traceado a aplicar.

Para calcular estas pérdidas, se realizan las siguientes consideraciones:

- Se tiene en cuenta una temperatura exterior de 5°C del aire  $T_{\infty}$ , considerando el clima en invierno.
- La chapa de aluminio del aislamiento se desprecia ya que es un material muy conductor comparado con el aislamiento.
- Se desprecia la conducción a través del acero al carbono ya que es un material muy conductor y de poco grosor.
- No se tiene en cuenta la convección del aceite ya que las pérdidas de calor se producen hacia fuera teniendo en cuenta la conducción por la lana de roca y la convección natural del aire.

En la siguiente tabla 4.14. se representan las pérdidas de calor generadas en cada tubería en W/m. Para calcular las pérdidas totales, simplemente se multiplican estas pérdidas por los metros de tubería totales.

Tabla 4.14. Pérdidas de calor en las tuberías según DN

DN	D exterior tubería (mm)	Espesor aislante (mm)	R aislante (K·m/W)	$h_o$ (W/m <sup>2</sup> ·K)	R aire (K·m/W)	Q (W/m)
200	219.1	80	2.18	2.91	0.289	19.0
100	114.3	60	2.86	3.05	0.445	14.2
80	88.9	60	3.40	3.01	0.506	12.0
50	60.3	60	4.36	2.95	0.600	9.50

Por lo tanto, el traceado en las tuberías de DN 200 debe aportar 19.0W/m de tubería, en las de tuberías de DN 100 debe aportar 14.2W/m, en las de DN 80, 12.0W/m y en las tuberías de DN 50, 9.50W/m. Como se puede observar, las pérdidas de calor, y por tanto la potencia del traceado, va en aumento a medida que el diámetro es mayor. Esto se debe a que cuanto mayor es el diámetro, mayor es el área de transferencia de calor y por tanto mayores son las pérdidas generadas.

#### 4.2.5. Diseño de la instalación de pig

El vaciado del rack de tuberías se realiza mediante un sistema *pigging pipeline* en la tubería. Este sistema consiste en una tubería *piggable* con una estación de envío y una estación de recepción, además de una estación de retirada del *pig*.

Los *pigs* son cuerpos que son movidos por un fluido de trabajo y viajan a través de tuberías. Al hacerlo, el *pig* limpia la tubería por medio de labios estrechos. En este caso se inyecta nitrógeno a presión y el *pig* se desplaza a lo largo de la tubería, de manera que la vacía por completo.

Este sistema de *pig*, será un sistema abierto, donde un solo dispositivo *pig* es empujado en una dirección de la tubería, se quita manualmente, se limpia fuera del sistema y se transporta de vuelta a la estación de envío mediante un vehículo. Este sistema se adapta especialmente para casos donde se tratan tuberías largas, es decir que superen una longitud de 1km, como es en el caso de rack de tuberías que tiene una longitud de 2km.

La figura 4.12. muestra una representación esquemática del sistema que se utilizará, sistema *OPS (one-pig system)* de un *pig* que consiste en una estación de envío en A, una estación de recepción en B y una sola tubería *piggable*.

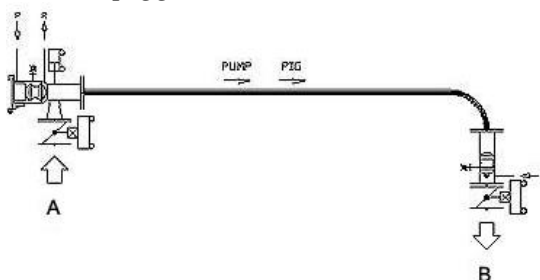


Figura 4.12. Sistema de un solo *pig* (*OPS*) (ref. 31)

El producto fluye a través la tubería *piggable* hasta B (estación de recepción) y hasta el tanque de almacenamiento. Después de terminar el proceso de bombeo, el *pig*, impulsado por nitrógeno, empuja el producto hasta a la estación de recepción. El cambio de *pigs* se debe hacer cuando el sistema esté despresurizado.

#### 4.2.5.1. Objetivo del sistema de pig

En este caso, el objetivo principal del sistema *pig* es vaciar la línea del rack de tuberías una vez descargado el buque y transportado el producto al tanque. Además, el sistema tiene los objetivos siguientes:

- Uso de la tubería para productos de la misma familia: derivados del aceite de palma.
- Limpiar y drenar la tubería casi completamente retirando el producto de la tubería.
- Recuperar del producto.
- Evitar la pérdida del producto en procesos de limpieza, aspecto económico.
- Asegurar alta calidad del producto.
- Reducción la cantidad de agua y productos de limpieza, reducción de vertidos.

#### 4.2.5.2. Selección del dispositivo pig

Seleccionar el sistema correcto y los *pigs* es un paso muy importante para el éxito del sistema y la calidad de limpieza que se quiere lograr. Hay muchas variaciones de *pigs* en el mundo de la industria. Existen *pigs* de cuerpo lleno, de labio, cilíndricos, con labios desmontables, de cuello, de bola, etc.

El tipo de *pig* adecuado se escoge en función de la tarea, el nivel de limpieza requerido y el diámetro nominal de la tubería. El *pig* es más grande que el diámetro interior de la tubería y se fuerza para entrarlo para generar compresión garantizando así, un nivel de limpieza más alto. Además, se utiliza un imán permanente dentro del *pig* para identificarlo.

En este caso, se utilizará un *pig* con labios desmontables, ya que el labio es el que más sufre desgaste y por lo tanto el que tendrá menor vida útil y el que se deberá cambiar más a menudo. En la siguiente figura 4.13. se observa un *pig* con labios desmontables.



Figura 4.13. *Pig* con dos labios desmontables (ref. 32)

Este *pig* será hecho de polietileno ya que es un material de bajo precio, es químicamente inerte, no es tóxico y es resistente a la tensión, compresión y tracción. Por otro lado, los labios serán de material Vulkollan® que es un material resistente al desgaste y al desgarró, en el que se pueden realizar altas deformaciones; además, tiene un comportamiento constante y elástico que lo hace útil para una amplia gama de temperaturas, y es resistente al aceite y a la grasa.

Respecto al diámetro del *pig*, deberá ser un 1% mayor que el diámetro interior de la tubería, por lo tanto, como el diámetro nominal de la tubería del rack es de DN 200, se utilizará un *pig* con un diámetro de 210.3mm. Teniendo en cuenta que el diámetro del *pig* nuevo disminuye durante el funcionamiento debido al desgaste, se determina un diámetro del *pig* de 210.5mm.

Respecto a la velocidad a la que tiene que ir el *pig*, cuando se transporta con aire o nitrógeno (en este caso es nitrógeno), la velocidad ideal del *pig* debe ser menor de 2m/s y no debe superar los 7m/s. En este caso, como el caudal de nitrógeno es de 1000Nm<sup>3</sup>/h y el diámetro de la tubería es de DN 200, el *pig* viajará a una velocidad de 1.30m/s.

#### 4.2.5.3. Modo de operación

En cuanto a la presión de conducción necesaria para empujar el *pig*, normalmente debe viajar fácilmente a una presión diferencial (presión del fluido de trabajo menos presión del producto) de aproximadamente 1bar. Si la presión es inferior a la presión del fluido de trabajo, el *pig* no avanzará por la tubería y se deberá aplicar una presión mayor al fluido de trabajo.

En este caso el fluido de trabajo, nitrógeno, tiene una presión de unos 7bar. Para saber si es presión suficiente como para que el *pig* empuje el aceite a través de la tubería, primero se debe calcular la presión que genera la columna de líquido en el tanque expresada en la ecuación 4.2.11.

$$P_{columna\ líquido} = \rho \cdot g \cdot h \quad (4.2.11)$$

Donde  $\rho$  es la densidad del producto a la temperatura de almacenaje,  $g$  es la gravedad y  $h$  es la altura de llenado del tanque que es de 15m. Teniendo en cuenta la presión atmosférica, se tiene una presión de la columna de líquido de 2.33bar

Seguidamente se determinan las pérdidas de carga del fluido a través de esta tubería a una velocidad de 1.30m/s, que son de 3.38bar.

Con todo esto, se obtiene una presión de 5.71bar, esta presión resulta ser menor que la presión del nitrógeno en más de 1bar, por lo que la presión de este fluido de trabajo será suficiente como para empujar el producto por la tubería.

Se debe tener en cuenta, que el valor para la puesta en marcha es ligeramente superior para superar la fricción adhesiva y que, por medidas de seguridad, el *pig* solo se insertará o quitará en un estado no presurizado y con una estación de inserción y extracción

#### 4.2.5.4. Cálculo del radio de curvas de las tuberías *piggables*

El radio de las curvas de las tuberías *piggables* depende de muchos factores. Sin embargo, la recomendación para determinar el radio de curvatura es que debe ser 2.5 veces el diámetro exterior de la tubería de acuerdo con la normativa DIN 2430. En este caso como se dispone de una tubería de DN 200 y el diámetro exterior es de 219.1mm, el radio de curvatura debe ser de 547.8mm para que el *pig* pase sin problemas. Al utilizarse curvas de este tipo, se facilita el resultado del sistema y la vida útil del dispositivo.

#### 4.2.5.5. Estación de envío y de recepción

Las estaciones del *pig* forman el principio y el final de la tubería *piggable* donde se envía y se recibe el dispositivo. Estas estaciones son las llamadas estaciones de envío y recepción, y son siempre necesarias, independientemente del sistema de *pig*.

Por un lado, la estación de envío se situará en el puerto donde se descarga el buque de carga y, por otro lado, la estación de recepción se localizará en el Parque de Tanques Exterior donde se localiza el tanque de almacenamiento. Además, la estación de envío se conecta con la estación de carga del *pig* y la estación de recepción con la estación de descarga del *pig*. En la figura 4.14. se puede observar la estación de envío.

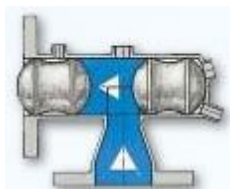
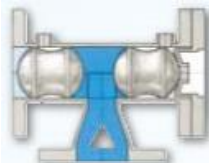


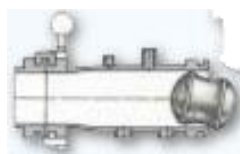
Figura 4.14. Estación de envío (ref. 33)

La estación de recepción se compone de una trampa de *pigs* para sostener el dispositivo en cualquier posición. La pieza que se utiliza en estas estaciones es una pieza en forma de T que tiene instalado un tope que atrapa el *pig* para que no se mueva y pueda ser descargado. En la siguiente figura 4.15. se puede observar este esquema.

Figura 4.15. Estación de recepción con trampa de *pigs* (ref. 33)

#### 4.2.5.6. Estación de carga y descarga del *pig*

Tal y como se ha comentado anteriormente, la estación de carga y descarga del *pig* se instala en la estación de envío y en la estación de recepción. Estas estaciones permiten que los *pigs* sean insertados y quitados fácilmente de la tubería despresurizada de manera rápida, fácil y segura. En el lado de la inserción, se instala un acoplador que resbala de manera que hace que la carga del *pig* sea posible. En la figura 4.16. se puede observar el esquema de estas estaciones.

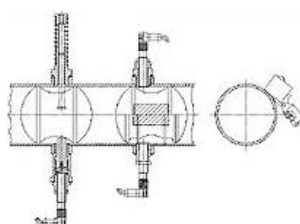
Figura 4.16. Estación de carga y descarga del *pig* (ref. 34)

#### 4.2.5.7. Recipiente de alivio de presión

Si se utiliza un fluido comprimido como fluido de trabajo en un sistema de *pig* como el nitrógeno, es necesario un recipiente de alivio de presión para eliminar con seguridad el uso del fluido comprimido. Este recipiente alivia la presión, reduce picos de presión, recoge el producto condensable residuo, limpia el nitrógeno de escape y lo envía con seguridad a la atmósfera.

#### 4.2.5.8. Sensor de *pigs*

Con el objetivo de localizar los *pigs* en las tuberías o en las estaciones, se utiliza un sensor de *pigs*. El *pig* llevará un imán integrado que producirá un campo magnético detectable mediante el sensor. Seguidamente, en la figura 4.17. se puede observar un esquema.

Figura 4.17. Sensor de *pigs* (ref. 35)

#### 4.2.5.9. Datos técnicos

La línea *piggable* disponible conecta la descarga de buques y el tanque de almacenamiento del aceite de palma. Se trata de una línea traceada y aislada térmicamente para reducir las pérdidas de calor. Seguidamente se presentan los principales datos técnicos:

- Longitud: 2000m.
- Diámetro nominal: DN 200.
- Presión nominal: PN 25.
- Material: acero al carbono.
- Una estación de envío y de recepción.
- Posibilidad de quitar el *pig* en la estación de envío y de recibo.
- Tubería *pigging* no ramificada.
- Fluido de trabajo: nitrógeno.
- Sistema de *pig*: OPS (*one-pig system*) y abierto.
- Nivel de limpieza: medio-alto.
- Frecuencia de uso: cada 2 semanas.
- *Pig*: de polietileno con labios reemplazables de Vulkollan®.
- Vida útil de servicio del *pig*: 4 años, labios: 10km.

#### 4.2.5.10. Descripción de la función

Seguidamente se realiza una tabla 4.15. con la función de describir la función que se realiza en el sistema de *pig*.

Tabla 4.15. Descripción de la función del sistema

Paso operación	Actividad	Localización / dirección del <i>pig</i>	Línea <i>pigging</i>	
			Contenido	Fluido de trabajo
1	Posición inicial	P = S	N	-
2	Transporte producto	P = S	Prod	-
3	Funcionamiento <i>pig</i>	P → R	Prod	N
4	Posición final	P = R	N	N

Donde P es el *pig*, S es la estación de envío, R es la estación de recepción, → es el funcionamiento del *pig*, = es la localización del *pig*, Prod es el producto aceite de palma y N es nitrógeno.

Seguidamente, se hace una breve explicación de los diferentes pasos de la operación:

1. Posición inicial: *pig* P se encuentra en la estación de envío.
2. Transporte producto: se transporta el producto a través de la tubería hasta el tanque de almacenamiento. El *pig* se encuentra en la estación de envío.
3. Funcionamiento del *pig*, la línea *pigging* es llenada con el fluido de trabajo y es despresurizada, el *pig* es empujado usando el fluido de trabajo a la estación de recepción
4. Posición inicial: el *pig* está en la estación de recepción, la línea no contiene ningún producto y es despresurizada.

#### 4.2.6. **Diseño de la instrumentación y el control**

En este apartado se determina la estrategia de control del circuito de almacenaje de aceite para asegurar que se trabaja en las condiciones óptimas. El objetivo principal del sistema de control de un sistema de carga y descarga y almacenaje de una materia es garantizar que la

operación transcurra de forma segura y fiable. Por ello, se realiza una descripción de cómo se controla cada una de las variables principales del proceso.

#### 4.2.6.1. Diseño de las estrategias de control

A continuación, se explican las estrategias de control implementadas en el proceso. En el apartado 4.1.4. se puede observar el *P&ID* todo el control que se efectúa.

##### *-Control del sistema de bombeo de carga de camiones*

La función principal de los controladores PID (proporcional, integral y derivativo) es eliminar la influencia de perturbaciones, asegurar la estabilidad de las variables y optimizar el funcionamiento.

En este caso, se hará uso de un controlador PID para el control del caudal, ya que este tipo de control permite corregir eficazmente y rápidamente los efectos de las perturbaciones. Por un lado, se usa para controlar el caudal que pasa por la tubería de carga de camiones y, por otro lado, para controlar la cantidad cargada. En el caso del control de la cantidad, es necesario un controlador PID ya que, el objetivo es obtener una cantidad específica para llenar las cisternas de los camiones, y es una variable que requiere mucha precisión para no sobrellenar la cisterna.

Para el control del caudal, se establece un rango de trabajo controlado por el controlador de flujo F501. Se determina que F501, que mediante la válvula controladora H501 deja pasar el fluido hacia la cisterna del camión, mantenga un caudal dentro de un rango de 35-45m<sup>3</sup>/h.

Para el control de la totalidad de carga, se determina una cantidad de carga específica para llenar la cisterna al 90%. Como el volumen de un camión cisterna es de 27m<sup>3</sup>, esta cantidad se establece de 25.7m<sup>3</sup>. El totalizador F502 cuando llega a la cantidad establecida, para la bomba P-5322 y cierra la válvula de control H501. Sin embargo, como el controlador de caudal F501 tiene establecido un caudal determinado, abrirá la válvula. Para solucionar este problema, se instala una función de control U502, de modo que priorice la acción del totalizador, para que, cuando se llegue al límite de cantidad, pare la bomba y cierre la válvula y el controlador de caudal no la abra. Además, el totalizador F502 dispone de una alarma de cantidad alta al sobrepasar el límite en un 1%, dado que un aumento de la cantidad produciría un sobrellenado de la cisterna. También se dispone de un transmisor de nivel L501 en la parte de aspiración de la bomba para asegurar que la bomba siempre esté llena de líquido y evitar que se dañe por bajo NPSH<sub>d</sub>. Este transmisor no dejará arrancar la bomba hasta que no se detecte líquido, o en su defecto, parará la bomba en cuanto deje de detectar líquido. Este transmisor dispone de una alarma para nivel bajo.

Asimismo, para controlar el nivel del camión cisterna, se dispone de un transmisor de nivel L502. Este transmisor, tiene un sensor que detecta cuando se llega al nivel de llenado del tanque de la cisterna. Adicionalmente, L502 dispone de una alarma de nivel alto ya que, como se ha mencionado anteriormente, un aumento de nivel produciría un sobrellenado de la cisterna.

Finalmente, la bomba dispone de una alarma, que como ésta trabaja a un 74% de la altura máxima que puede dar (a caudal=0), se dispare cuando llegue a una altura manométrica del 90% para evitar que llegue a su máxima altura manométrica, es decir a caudal cero.

##### *-Control del sistema de nitrógeno*

El sistema de nitrógeno llega a través de una red a 15-17bar que tiene una reducción a 9.0-9.5bar, presión garantizada mediante una válvula de seguridad (SV) Y101.

Se instala una función instrumentada de seguridad (SIF) de la lógica de control U102 ya que, a fallo del sistema de nitrógeno, habrá un flujo inverso del producto hacia la línea de nitrógeno.

Esta función de seguridad es muy importante para evitar la contaminación del colector de nitrógeno, ya que las redes no pertenecen a la empresa, y si se llega a contaminar, como esta red proporciona nitrógeno a varias instalaciones, podría haber una mezcla de productos.

Un sistema instrumentado de seguridad consta de tres partes, la parte del sensor, la parte de la solución lógica y la parte del elemento final. En este caso, el sensor son los dos transmisores analógicos de presión diferencial P105 y P106 que utilizan diferentes conexiones de proceso para garantizar que la probabilidad de fallo sea suficientemente baja, la solución lógica es la lógica de control U102 y el elemento final son los actuadores de las tres válvulas P102, P103 y P107.

Cuando uno de los dos transmisores de presión diferencial instalados P105 y P106 detecta presión diferencia negativa, es decir flujo inverso, bloquea las válvulas de bola P102 y P103 y abre la válvula P107.

Este sistema de nitrógeno tiene el objetivo principal de proporcionar nitrógeno para hacer funcionar el sistema *pig*, que necesita este gas a una presión de aproximadamente 7bar. Para ello, existe un controlador de presión mecánico P108 que reduce el paso de nitrógeno para reducir su presión. La presión de este controlador PC se define en campo.

#### *-Control del sistema de pig*

Para el control del caudal, se utiliza una placa de orificio de 22.1mm de diámetro F201 o F301, que hace la función de caudalímetro local.

Cuando el *pig* ha llegado a la estación de recepción, las válvulas de este sistema cierran y para determinar si éstas fugan, se mide el nivel de llenado de la tubería mediante un transmisor L201 o L301 que dispone de un enclavamiento en la válvula H201 o H301 y una alarma para el nivel alto para evitar que la tubería se inunde. Además, este transmisor también puede dar indicaciones de que el *pig* se ha degradado, ya que, si es el caso, el nitrógeno arrastraría en aceite por los extremos de este dispositivo y pasaría hacia delante.

Finalmente, el sistema de *pig* dispone de varios transmisores de posición, para controlar la posición del dispositivo *pig*. Existen dos controladores de posición en la estación de envío, G201 y G202, para saber si ha salido o no el *pig*, otro controlador justo en la tubería de salida G203 para saber si ha pasado por ese tramo, otro justo en la tubería de entrada a la estación de recepción G303 y finalmente, dos controladores en la estación de recepción, G302 y G301, para saber si el dispositivo ha llegado a su destino y asegurar que no haya rebotado.

#### *-Control del tanque*

En el control del tanque se deben controlar la temperatura y el nivel, mediante un control *feedback*.

El sensor L401, que se encarga de medir el nivel en el tanque, debe ser resistente a aceites y grasas. Como se trata de un tanque de techo flotante, se realiza un control de la posición del techo, que a medida que el nivel de líquido aumenta, el techo sube. Se determina un sensor de nivel por ultrasonidos para combinar la medición continua de nivel y la detección del nivel límite. Se fija que el transmisor L401 cuando llega a un nivel alto de líquido, es decir que alcanza el 80% de la capacidad, avisa a sala de control que la carga del tanque está llegando a su límite y que desde la bomba del buque reduzcan el caudal. Además, se dispone de una alarma para un nivel muy alto, que informa a sala de control que el nivel del tanque ha llegado a su nivel límite de llenado y se cierra la válvula de entrada H404 para que el tanque no rebose.

En el tanque de almacenamiento de derivados del aceite de palma, es importante tener un control de la temperatura, ya que la temperatura recomendada para el almacenaje de este

producto debe mantenerse dentro de un rango de 37-45°C, con lo que si se encuentra por debajo de este rango el aceite puede cristalizar, y si se encuentra por encima se puede degradar. Con el objetivo de controlar la temperatura del tanque, se instala un controlador de temperatura T408 y un controlador redundante T409 para regular de traceado eléctrico primario. Se fija un rango de entre 38-44°C para tener margen de actuación en caso de fallo. De esta manera, si sube por encima de 44°C el traceado no suministrará calor, y si baja por debajo de 38°C se volverá a conectar. Adicionalmente, se instala un traceado eléctrico secundario como medida por si el traceado primario falla.

Además, los controladores de temperatura disponen de una alarma de temperatura muy alta ya que, en caso de alcanzar temperaturas muy altas, se generarían muchas pérdidas de calor y el aceite se oxidaría.

#### *-Control del traceado de tubería*

Para el control de la temperatura en las tuberías, se hace uso de controladores de temperatura para temperaturas altas y bajas que regulan el traceado eléctrico primario, y de controles de temperatura redundantes. En las tuberías es importante mantener la temperatura dentro del rango de 50-55°C. Cuando la temperatura aumenta por encima de 54°C, el traceado se para y cuando la temperatura disminuye por debajo de 51°C, el traceado se conecta. Adicionalmente, se instala un traceado eléctrico secundario por si falla el traceado primario y se dispone de alarmas para niveles muy altos de temperatura.

#### 4.2.6.2. Diseño de los elementos de control

A continuación, se realiza un estudio de determinados elementos de control con el objetivo de diseñarlos.

#### *-Diseño de válvulas de control*

En el siguiente apartado se realiza un estudio para diseñar las válvulas de control presentes en la unidad, H404 y H501.

Para el dimensionamiento de ambas válvulas se utiliza el procedimiento para el caso de productos en fase líquida, donde la  $K_v$  de la válvula tiene dependencia del caudal, la densidad y la diferencia de presión. En la ecuación 4.2.12 se observa la fórmula utilizada para el diseño de las dos válvulas de control (ref. 36).

$$K_v = Q \cdot \sqrt{\frac{\rho}{1000 \cdot \Delta P}} \quad (4.2.12)$$

Donde  $Q$  es el caudal en m<sup>3</sup>/h,  $\rho$  es la densidad del aceite a 52°C que tiene un valor de 880.9kg/m<sup>3</sup> y  $\Delta P$  es la caída de presión de la válvula en bar.

Además, se sobredimensiona un 30% para tener margen de regulación, considerando así, un 30% más del caudal. El valor de la  $K_{vs}$  se representa en la siguiente ecuación 4.2.13.

$$K_{vs} = 1.3 \cdot K_v \quad (4.2.13)$$

En la tabla 4.16. se pueden observar las características obtenidas de las dos válvulas de control estudiadas.

Tabla 4.16. Características de las válvulas de control

Variable	H404	H501
Variable controlada	Caudal	Caudal
Fluido	Aceite	Aceite
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	237.9	39.05
Estado del fluido	Líquido	Líquido
Tipo de válvula	Globo	Globo
Diámetro tubería	DN 200	DN 80
<i>Kv</i> (m <sup>3</sup> /h)	446.6	73.3
<i>Kvs</i> (m <sup>3</sup> /h)	580.5	95.3
<i>Kvs</i> normalizada (m <sup>3</sup> /h)	630	100
Fabricante	Samson	Samson
Modelo	3241-1	3241-1

#### -Diseño placas de orificio

A continuación, se diseñan las dos placas de orificio del sistema *pig* F201 y F301. Estas placas de orificio son caudalímetros locales y tienen una dimensión de 22.1mm de diámetro.

Como la presión del nitrógeno utilizada en el sistema *pig* es de 8bar absolutos y la presión posterior a la placa de orificio es de 2bar absolutos, se deberá realizar un estudio del derrame sónico del nitrógeno para determinar el caudal máximo. En este caso la presión de derrame es de 4bar absolutos. Para determinar el caudal se hace uso de la siguiente expresión 4.2.14.

$$Q = Cd \cdot v \cdot A \quad (4.2.14)$$

Donde *Cd* es el coeficiente de derrame que es de 0.8, *v* es la velocidad en m/h del sonido en el nitrógeno que es de 334m/s (ref. 37) y *A* es el área de paso del orificio que como el diámetro es de 22.1mm, será de 3.83cm<sup>2</sup>. Con todo esto, se obtiene un caudal máximo de 1510kg/h (1291Nm<sup>3</sup>/h).

#### 4.2.6.3. Listado de instrumentos de control

En las siguientes tablas se realiza una lista de todos los instrumentos de control de la unidad incluyendo la instrumentación y las válvulas. En la tabla 4.17. se puede observar el listado de instrumentación, en la tabla 4.18. el listado de válvulas y en la tabla 4.19. el listado de válvulas manuales según la clave de medios de la empresa.

Tabla 4.17. Listado de la instrumentación de la unidad

TAG	Servicio	Descripción	Producto	DN	PN	Fabricante	Principio de medición	Modelo
P101	PI	Indicador de presión	N <sub>2</sub>	100	10	Endress Hausser	Sensor	PMC11
F101	FQI	Totalizador de cantidad	N <sub>2</sub>	100	10	Endress Hausser	Coriolis	Promass 83F
F102	-	Placa de orificio	N <sub>2</sub>	100	10	Wika Corporate	-	FLC-OP
P104	PI	Indicador de presión	N <sub>2</sub>	100	10	Endress Hausser	Sensor	PMC11
P105	PID	Transmisor de presión diferencial	N <sub>2</sub>	100	10	Fisher Rosemount	Analógico	1151 DP
P106	PID	Transmisor de presión diferencial	N <sub>2</sub>	100	10	Fisher Rosemount	Analógico	1151 DP
P108	PI	Indicador de presión	N <sub>2</sub>	80	10	Endress Hausser	Sensor	PMC11
P109	PC	Controlador de presión	N <sub>2</sub>	80	10	Emerson Rosemount	Analógico	2051TG3A2B 21BI1D4Q4
P110	PI	Indicador de presión	N <sub>2</sub>	80	10	Endress Hausser	Sensor	PMC11
F201	-	Placa de orificio	N <sub>2</sub> y aceite	80	10	Emerson Rosemount	-	405P
L201	LS	Switch de nivel	N <sub>2</sub> y aceite	40	10	Endress Hausser	Conductivo	FTW33
P201	PI	Indicador de presión	N <sub>2</sub>	15	10	Endress Hausser	Sensor	PMC11
F301	-	Placa de orificio	N <sub>2</sub> y aceite	80	10	Emerson Rosemount	-	405P
L301	LS	Switch de nivel	N <sub>2</sub> y aceite	40	10	Endress Hausser	Conductivo	FTW33
P301	PI	Indicador de presión	N <sub>2</sub>	15	10	Endress Hausser	Sensor	PMC11
T401	TIC	Controlador de temperatura	Aceite	200	25	Wika Corporate	Digital HART®	TIF52
T402	TIC	Controlador de temperatura	Aceite	200	25	Wika Corporate	Digital HART®	TIF52
T403	TIC	Controlador de temperatura	Aceite	200	25	Wika Corporate	Digital HART®	TIF52
T404	TIC	Controlador de temperatura	Aceite	200	25	Wika Corporate	Digital HART®	TIF52
T405	TIC	Controlador de temperatura	Aceite	200	25	Wika Corporate	Digital HART®	TIF52
T406	TIC	Controlador de temperatura	Aceite	200	25	Wika Corporate	Digital HART®	TIF52

(Cont.) Tabla 4.17. Listado de la instrumentación de la unidad

TAG	Servicio	Descripción	Producto	DN	PN	Fabricante	Principio de medición	Modelo
T407	TIC	Controlador de temperatura	Aceite	200	25	Wika Corporate	Digital HART®	TIF52
F401	FI	Transmisor de caudal	Aceite	200	25	Endress Hausser	Vortex	R 200
L401	LI	Transmisor de nivel	Aceite	Tanque	Tanque	Endress Hausser	Ultrasónico	Prosonic FMU30
Q401	QA	Analizador de conductividad	Aceite	Tanque	Tanque	Endress Hausser	Conductivo	CLS21
T408	TIC	Controlador de temperatura	Aceite	Tanque	Tanque	Wika Corporate	Digital HART®	TIF52
T409	TS	Switch de temperatura	Aceite	Tanque	Tanque	Wika Corporate	Mecánico	TXS
T501	TS	Switch de temperatura	Aceite	100	25	Wika Corporate	Mecánico	TXS
T502	TIC	Controlador de temperatura	Aceite	100	25	Wika Corporate	Digital HART®	TIF52
L501	LS	Switch de nivel	Aceite	100	25	Endress Hausser	Conductivo	FTW360
F501	FIC	Controlador de caudal	Aceite	80	25	Endress Hausser	Coriolis	E 100
F502	FIQ	Totalizador de cantidad	Aceite	80	25	Endress Hausser	Coriolis	Promass 83F
T503	TS	Switch de temperatura	Aceite	80	25	Wika Corporate	Mecánico	TXS
T504	TIC	Controlador de temperatura	Aceite	80	25	Wika Corporate	Digital HART®	TIF52
L502	LS	Switch de nivel	Aceite	Cisterna	Cisterna	Vega Grieshaber KG	Vibración	Vegaswing 63 2051TG3A2B
P501	PI	Transmisor de presión	Aceite	200	25	Emerson Rosemount	Analógico	21BI1D4Q4
P502	PI	Indicador de presión	Aceite	25	25	Endress Hausser	Sensor	PMC11

Tabla 4.18. Listado de las válvulas de la unidad

TAG	Descripción	Fluido	Estado	DN	Tipo	Fabricante	Modelo	Material	PN
Y101	Válvula de seguridad	N <sub>2</sub>	Gas	100	Resorte	Nacional	3-5211	Acero al carbono	10
P102	Válvula todo o nada	N <sub>2</sub>	Gas	100	Bola	Pfeiffer	-	-	10
P103	Válvula todo o nada	N <sub>2</sub>	Gas	100	Bola	Pfeiffer	-	-	10
P107	Válvula todo o nada	N <sub>2</sub>	Gas	100	Bola	Pfeiffer	-	-	10
H103	Válvula automática	N <sub>2</sub>	Gas	80	Bola	Flowserve-Argus	FK79	Acero al carbono	16
H201	Válvula automática	N <sub>2</sub>	Gas	80	Bola	Flowserve-Argus	FK79	Acero al carbono	16
H202	Válvula automática	N <sub>2</sub>	Gas	200	Bola	Flowserve-Argus	FK79	Acero al carbono	16
H203	Válvula automática	N <sub>2</sub>	Gas	80	Bola	Flowserve-Argus	FK79	Acero al carbono	16

(Cont.) Tabla 4.18. Listado de las válvulas de la unidad

TAG	Descripción	Fluido	Estado	DN	Tipo	Fabricante	Modelo	Material	PN
H204	Válvula automática	N <sub>2</sub>	Gas	200	Bola	Flowserve-Argus	FK79	Acero al carbono	16
H301	Válvula automática	N <sub>2</sub>	Gas	80	Bola	Flowserve-Argus	FK79	Acero al carbono	16
H302	Válvula automática	N <sub>2</sub>	Gas	200	Bola	Flowserve-Argus	FK79	Acero al carbono	16
H303	Válvula automática	N <sub>2</sub>	Gas	80	Bola	Flowserve-Argus	FK79	Acero al carbono	16
H304	Válvula automática	N <sub>2</sub>	Gas	200	Bola	Flowserve-Argus	FK79	Acero al carbono	16
H401	Válvula automática	Aceite	Líquido	200	Globo	Ritag	ZRD1K3	Acero al carbono	25
H402	Válvula automática	Aceite	Líquido	200	Globo	Ritag	ZRD1K3	Acero al carbono	25
H403	Válvula automática	Aceite	Líquido	200	Compuerta	Ritag	ZRD1K3	Acero al carbono	25
R401	Válvula de retención	Aceite	Líquido	200	Compuerta	Ritag	ZRD1K3	Acero al carbono	25
H404	Válvula de control	Aceite	Líquido	200	Globo	Samson	3241-1	Acero al carbono	25
H501	Válvula de control	Aceite	Líquido	80	Globo	Samson	3241-1	Acero al carbono	25
R501	Válvula de retención	Aceite	Líquido	80	Compuerta	Ritag	ZRD1K3	Acero al carbono	25
H502	Válvula automática	Aceite	Líquido	80	Globo	Ritag	ZRD1K3	Acero al carbono	25

Tabla 4.19. Válvulas manuales según la clave de medios de la empresa

Línea	Nº válv.	Descripción	Fluido	Estado	DN	Tipo	Fabricante	Modelo	Material	PN
N314-100/10HA10F01B1	3	Válvula manual	N <sub>2</sub>	Gas	100	Bola	Flowserve-Argus	FK79	Acero al carbono	16
N314-80/10HA10F01B1	1	Válvula manual	N <sub>2</sub>	Gas	80	Bola	Flowserve-Argus	FK79	Acero al carbono	16
N808-80/25BA10F12B1	5	Válvula manual	Aceite	Líquido	80	Compuerta	Ritag	ZRD1K3	Acero al carbono	25
N808-200/25BA10F12B1	1	Válvula manual	Aceite	Líquido	200	Compuerta	Ritag	ZRD1K3	Acero al carbono	25
N808-200/25BA10F12B1	1	Válvula manual	Aceite	Líquido	400	Compuerta	Ritag	ZRD1K3	Acero al carbono	25
N808-100/25BA10F12B1	3	Válvula manual	Aceite	Líquido	100	Compuerta	Ritag	ZRD1K3	Acero al carbono	25
N808-200/25BA10F12B1	8	Válvula de manual de purga	Aceite	Líquido	25	Pistón	Klinger	KVi-Xc	Hierro fundido	40

#### 4.2.6.4. Sistema de alarmas y enclavamientos

El sistema de enclavamientos tiene la función de vigilar las variables críticas de la unidad. También tiene la función de que en caso de que haya una emergencia, tiene que parar automáticamente los equipos utilizados. Los dispositivos de enclavamiento asumen la responsabilidad de monitorizar la posición del resguardo de seguridad. En la tabla 4.20. se representa la relación de enclavamientos y alarmas par el control del proceso que se ha desarrollado anteriormente en el apartado 4.2.6. Desarrollo de la instrumentación y el control.

Tabla 4.20. Relación del sistema de alarmas y enclavamientos

Sección	Instrumento	Función	Efectos																		
			Alarma nivel bajo	Alarma nivel alto	Alarma nivel muy alto	Cierra P102	Cierra P103	Abre P107	Paro traceado NP401	Cierra H201	Cierra H301	Arranque traceado NP402	Cierra H404	Paro traceado NP403	Arranque traceado NP404	Paro traceado NP501	Arranque traceado NP502	Paro P-5322	Cierra H501	Paro traceado NP504	Arranque traceado NP505
Red N <sub>2</sub>	P105	PIDZ-A-	X			X	X	X													
	P106	PIDZ-A-	X			X	X	X													
A-201	L201	LS+A+		X					X												
	G201	GOA±	X	X																	
A-301	L301	LS+A+		X						X											
	G301	GOA±	X	X																	
Rack	T401	TS+A++	X	X	X			X			X										
	T402	TS+A++	X	X	X			X			X										
	T403	TS+A++	X	X	X			X			X										
	T404	TS+A++	X	X	X			X			X										
	T405	TS+A++	X	X	X			X			X										
	T406	TS+A++	X	X	X			X			X										
	T407	TS+A++	X	X	X			X			X										
B-5320	L401	LIS+A++	X	X	X							X									
	Q401	QA+		X																	
	T408	TS+A++	X	X	X								X	X							
	T409	TS+A++	X	X	X								X	X							
P-5322	T501	TS+A±±	X	X	X										X	X					
	T502	TS+A±±	X	X	X										X	X					
	L501	LS-A-	X														X	X			
	F501	FS+A±	X	X																	
	F502	FIQ+A+		X													X	X			
	T503	TS+A±±	X	X															X	X	
	T504	TS+A±±	X	X															X	X	
L502	LS+A+		X																		

### 4.3. Descripciones

En el siguiente apartado se realiza la descripción funcional del proyecto y la descripción de la instalación.

#### 4.3.1. Descripción funcional de proyecto

Seguidamente se explica el recorrido que seguirán los productos con la finalidad de realizar todos los procesos que tienen lugar en la instalación.

Al puerto de Tarragona, llegará cada dos semanas un buque de carga de una capacidad de 3000m<sup>3</sup> de derivados del aceite de palma. Este producto se descargará a las tuberías del rack (C1, C2 y C3) de DN 200 mediante una bomba sumergida Framo proporcionada por el buque de carga a un caudal de 238m<sup>3</sup>/h, que impulsará el producto hasta el tanque de almacenamiento B-5320.

El aceite de palma es un producto que a temperaturas bajas se puede solidificar, cosa que provocaría daños a los equipos y pérdidas económicas. Por este motivo, se deberá descargar y cargar a una temperatura de 52°C aproximadamente, almacenar a una temperatura de 41°C y transportar a 36°C. Fuera de este rango, el producto se solidificará si la temperatura es demasiado baja, o se degradará si la temperatura es demasiado alta. Es por este motivo, que se deberá emplear un traceado eléctrico controlado para proporcionar calor en cada unidad.

Una vez descargado el producto al tanque, se pondrá en marcha el sistema de *pig* con la finalidad de limpiar la tubería del rack para que no se quede producto dentro de ella y se solidifique. Primeramente, se introducirá el dispositivo *pig* en la estación de envío A-201 despresurizada, y se pondrá en funcionamiento, de manera que el *pig* recorrerá lo largo de la tubería constituida por brazos *piggables* mediante el gas impulsor, nitrógeno. Finalmente, el *pig* llegará a la estación de recepción A-301 y, mediante el depósito de purga B-301, se limpiará el nitrógeno haciendo uso del separador de gotas y se aliviará de forma segura a la atmósfera.

El tanque de almacenamiento B-5320 que tiene una capacidad de 5000m<sup>3</sup>, almacenará el producto a la temperatura de almacenaje comentada anteriormente de 41°C, hasta su descarga.

Con el objetivo de cargar las cisternas de los camiones, el producto será impulsado por la línea de salida de tanque (C6) de DN 100 mediante la bomba de impulsión P-5322 a un caudal de 39m<sup>3</sup>/h. Se utilizará un brazo de carga (C7) de DN 80 que irá conectado a la parte superior de la cisterna de los camiones y hará que el producto se introduzca en ésta. Se estima que la carga de cada camión cisterna se realizará en un tiempo aproximado de 40min. Estas cisternas tendrán una capacidad de 27m<sup>3</sup> y serán pesadas para asegurar que no se haya sobrellenado la cisterna.

#### 4.3.2. Descripción de la instalación

A continuación, se determinan las diferentes instalaciones de la unidad. La instalación descrita en este proyecto se encuentra en la zona del puerto y en la zona de Parque de Tanques Exterior de la empresa BASF Española S.L. A continuación, se mencionan las diferentes instalaciones:

- Zona de bombeo del producto.
- Zona de limpieza de las tuberías (sistema de *pig*).
- Zona de almacenamiento del tanque B-5320 de techo flotante.
- Camisa de retención del tanque.
- Zona de carga de camiones cisterna.

- Zona de oficinas, sala de control, sala de mando, etc.
- Sistemas contra incendios.
- Zona de red de aguas residuales.
- Estación de medición para realizar analíticas necesarias.

## **5. SEGURIDAD EN EL DISEÑO DE LAS INSTALACIONES**

En el siguiente apartado se realiza un estudio de la peligrosidad de los productos utilizados y una evaluación de la seguridad con la finalidad de prevenir y determinar los riesgos que se puedan generar.

### **5.1. Clasificación de la peligrosidad de las sustancias**

En este apartado, se determina la peligrosidad de las sustancias utilizadas en el proceso y detectar incompatibilidades entre ellas que puedan provocar incendios, explosiones, auto-polimerizaciones, etc.

#### **5.1.1. Peligrosidad del aceite de palma**

En este caso se trata aceite de palma como producto. Éste no requiere ninguna etiqueta de aviso de peligro. No es irritante para los ojos ni para la piel. Sin embargo, en caso de contacto con la piel, se debe lavar inmediatamente con abundante agua, en caso de contacto con los ojos, se debe lavar inmediatamente con abundante agua al menos durante 15 minutos y en caso de ingestión, se debe enjuagar la boca y seguidamente beber 200-300mL de agua (ref. 9).

Además, se determinan las medidas de lucha contra incendios que son el agua pulverizada, dióxido de carbono, extintor de polvo y espuma.

Por otro lado, se considera una mercancía no peligrosa según los criterios de la reglamentación del transporte por tierra, barco o aire.

#### **5.1.2. Peligrosidad del nitrógeno**

El nitrógeno es un producto que se utiliza para el sistema de *pig* de limpieza de tuberías. Se trata de un gas inerte, incoloro e inodoro que si se inhala a altas concentraciones puede causar asfixia y consecuentemente la inconsciencia.

El nitrógeno se deberá ventilar naturalmente o mecánicamente para prevenir atmósferas deficientes de oxígeno. En caso de fuga se deberá evacuar el personal a zonas seguras y utilizar equipos de respiración autónoma cuando entren en el área. Se deberá ventilar la zona y controlar el nivel de oxígeno (ref. 38).

### **5.2. Análisis cualitativo del riesgo**

En este apartado se realiza un estudio de seguridad de la unidad mediante un análisis cualitativo de riesgo haciendo uso de la metodología HAZOP. Esta metodología consiste en evaluar cada equipo del sistema para determinadas desviaciones, con la finalidad de saber las causas y consecuencias que se producen sobre la seguridad de la instalación, y de esta manera, identificar los peligros y aplicar las acciones correctoras para reducir el riesgo. Para determinar el riesgo de cada desviación, se utiliza la matriz de riesgo expresada en la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Matriz de riesgo

Frecuencia	Probabilidad	Criticidad			Gravedad
Muy Alta	Muy Alta	M	H	H	Muy grave
Alta	Alta	M	M	H	Grave
Media	Media	L	M	H	Algo grave
Baja	Baja	L	L	M	Nada grave
Consecuencia		C1	C2	C3	

Las consecuencias se diferencian según la categoría, que en este caso se tiene en cuenta la producción, los costes de reparación, la seguridad y el medio ambiente. En la siguiente tabla 5.2. se determinan las consecuencias para cada categoría.

Tabla 5.2. Consecuencias según la categoría

Categoría de consecuencia	C1	C2	C3
Producción	<1h	1-12h	>12h
Costes de reparación	<2,000m€	2,000-10,000m€	>10,000m€
Seguridad	Accidente sin consecuencias	Accidente con lesiones sin hospitalización	Accidente con lesiones con hospitalización
Medioambiente	Fugas en espacios confinados	Escape del producto que se debe notificar	Accidente ambiental fuera de los límites, penalidad legal

En este caso, la pérdida de producción se considera como la pérdida económica del aceite de palma, dado a que no se está produciendo ninguna materia, simplemente se almacena.

Teniendo en cuenta esto, se realiza el análisis de riesgo mediante la metodología HAZOP para analizar y conocer los peligros potenciales en la unidad y minimizarlos. A partir de las acciones surgidas en el estudio, se incorporan los elementos de control en el diagrama P&ID<sup>13</sup>. En las siguientes páginas se encuentra el análisis de riesgo realizado.

<sup>13</sup> Ver apartado 4.1.4. Diagrama de tuberías e instrumentos: P&ID.

Nudo	Palabra guía	Desviación	Posibles causas	Escenario	Consecuencias	Salvaguardas	Riesgo	Acciones	Riesgo después de acciones
Tanque B-5320	Más	Temperatura	-Fallo en el traceado eléctrico	-Aumento de temperatura, degradación del aceite	-Pérdida económica		Inaceptable	-Instalación de doble traceado. Alarma del control de temperatura alta, parada manual del primario y puesta en marcha del secundario cuando la temperatura haya disminuido	Acceptable
			-Fallo en el control de temperatura					-Instalación transmisor de temperatura redundante con alarma de alta y muy alta, enclavamiento por temperatura alta desconexión automática del traceado	Acceptable
		Presión		-Escenario de más presión no posible, tanque de techo flotante (P=1atm)	-Instalación intrínsecamente segura		Acceptable		

	Nivel	-Fallo en el control de nivel del tanque L401	-Sobrellenado del tanque con aceite con posibilidad de fuga al exterior	-Daño a personas, equipos, medioambiente y pérdida económica	-Tanque con camisa de hormigón para retención de fugas -Condiciones del pavimento conducen el producto al sistema de drenaje a la red de aguas contaminadas	Temporal Tolerable	-Instalación analizador de conductividad en la camisa de hormigón del tanque -Acción del operador paro de la bomba de buques y cierre automático de la válvula de entrada	Acceptable
Menos	Temperatura	-Fallo del traceado eléctrico	-Cristalización del aceite	-Pérdida económica		Inaceptable	-Instalación de doble traceado. Fallo del primario, puesta en marcha del secundario	Acceptable
		-Fallo en el control de temperatura					-Instalación transmisor de temperatura redundante con alarma de mínimo	Temporal Tolerable
	Presión		-Escenario de menos presión no posible, tanque de techo flotante (P=1atm)	-Instalación intrínsecamente segura		Acceptable		

		Nivel	-Fallo en el medidor del nivel del tanque	-Daño de la bomba por trabajar en vacío y posible fuga del producto	-Daño a personas, equipos, medioambiente y pérdida económica		Temporal Tolerable	-Instalación de alarma de nivel bajo en el lado de aspiración que asegura que la bomba siempre está llena de líquido y evitar que se dañe por bajo NPSH <sub>d</sub> , enclavamiento de la bomba, paro automático o no deja arrancar bomba cuando haya nivel bajo en aspiración	Acceptable
			-Fallo en la válvula de entrada						
No	Estanqueidad		-Fallo en la estanqueidad del tanque	-Fuga del tanque -Emisiones al suelo de aceite	-Ver más nivel	-Ver más nivel	Temporal Tolerable	-Ver más nivel	Acceptable

Nudo	Palabra guía	Desviación	Posibles causas	Escenario	Consecuencias	Salvaguadas	Riesgo	Acciones	Riesgo después de acción
Bomba P-5322	Más	Presión	-Fallo bomba	-Escenario de más presión no posible, máxima presión de trabajo de 3.30bar, tuberías PN 25	-Instalación intrínsecamente segura		Acceptable		
		Temperatura	-Fallo del traceado eléctrico	-Disminución viscosidad producto -Daño a la bomba y posible fuga al exterior -Aumento temperatura del producto impulsado, degradación del aceite	-Daño a personas, equipos, medioambiente y pérdida económica		Temporal Tolerable	-Instalación de doble traceado. Alarma del control de temperatura alta, parada manual del primario y puesta en marcha del secundario cuando la temperatura haya disminuido	Acceptable
			-Fallo en el control de temperatura			-Instalación transmisor de temperatura redundante con alarma de alta y muy alta en tuberías, enclavamiento del traceado eléctrico		Acceptable	

		Caudal	-Fallo control caudal	-Sobrellenado de la cisterna del camión		-Medidor totalizador de caudal entrada, paro de la bomba y cierre de la válvula de entrada -Transmisor de nivel alto de cisterna, paro manual de la bomba y cierre de la válvula de entrada	Acceptable		
	Menos	Caudal	-Fallo control caudal	-Caudal por debajo del criterio de cavitación ( <i>dry running</i> ) -Rotura de la bomba y fuga al exterior	-Daño a personas, equipos, medioambiente y pérdida económica		Temporal Tolerable	-Instalación de alarma de nivel bajo en el lado de aspiración que asegura que la bomba siempre está llena de líquido y evitar que se dañe por bajo NPSH <sub>d</sub> enclavamiento de la bomba, paro automático o no deja arrancar bomba cuando haya nivel bajo en aspiración	Acceptable
			-Válvulas de entrada bloqueadas						

		Temperatura	-Fallo del traceado eléctrico	-Aumento viscosidad producto -Cristalización del aceite, partículas sólidas en el producto	-Daño a personas, equipos, medioambiente y pérdida económica		Temporal Tolerable	-Instalación de doble traceado. Fallo del primario, puesta en marcha del secundario	Acceptable
			-Fallo en el control de temperatura	-Taponamiento -Aumento presión -Ruptura tubería -Ruptura de la bomba y fuga al exterior				-Instalación transmisor de temperatura redundante con alarmas de baja en las tuberías	
No		Caudal	-No líquido en el tanque	-Sobrecalentamiento de la bomba -Rotura de la bomba y fuga al exterior -Posible explosión de la bomba con rotura de la bomba y partículas a gran velocidad ( <i>flying debris</i> )	-Daño a personas, equipos, medioambiente y pérdida económica		Inaceptable	-Instalación de alarma de nivel bajo en el lado de aspiración que asegura que la bomba siempre está llena de líquido y evitar que se dañe por bajo NPSH <sub>d</sub> enclavamiento de la bomba, paro automático o no deja arrancar bomba cuando haya nivel bajo en aspiración	Acceptable
			-Válvulas entrada y salida bloqueadas						

Nudo	Palabra guía	Desviación	Posibles causas	Escenario	Consecuencias	Salvaguadas	Riesgo	Acciones	Riesgo después de acción
Bomba buques	Más	Presión	-Fallo bomba	-Escenario de más presión no posible, máxima presión de 19.5bar, tuberías PN 25	-Instalación intrínsecamente segura		Acceptable		
		Temperatura	-Fallo del traceado eléctrico	-Disminución viscosidad producto -Daño a la bomba -Aumento temperatura del producto impulsado, degradación del aceite	-Daño a, equipos y pérdida económica	Temporal Tolerable	-Instalación de doble traceado. Alarmas del control de temperatura alta, parada manual del primario y puesta en marcha del secundario cuando la temperatura haya disminuido	Acceptable	
			-Fallo en el control de temperatura				-Instalación transmisores de temperatura redundante con alarma de alta y muy alta en tuberías, enclavamiento del traceado eléctrico	Acceptable	

		Caudal	-Fallo en el transmisor de caudal	-Sobrellenado del tanque	-Ver más nivel en tanque	-Ver más nivel en tanque	Temporal Tolerable	-Ver más nivel en tanque	Acceptable
	Menos	Temperatura	-Fallo del traceado eléctrico	-Aumento viscosidad producto -Cristalización del aceite, partículas sólidas en el producto -Taponamiento -Aumento presión -Ruptura tubería -Ruptura de la bomba	-Daño a personas, equipos, medioambiente y pérdida económica		Temporal Tolerable	-Instalación de doble traceado. Fallo del primario, puesta en marcha del secundario	Acceptable
			-Fallo en el control de temperatura					-Instalación transmisores de temperatura redundantes con alarmas de baja en las tuberías	

Nudo	Palabra guía	Desviación	Posibles causas	Escenario	Consecuencias	Salvaguadas	Riesgo	Acciones	Riesgo después de acción
General	Más	Presión en red de nitrógeno	-Fallo control de presión	-Sobrepresión en el sistema -Ruptura tuberías -Posible explosión de la tubería con rotura y partículas a gran velocidad ( <i>flying debris</i> )	-Daño a personas, equipos, medioambiente y pérdida económica		Inaceptable	-Instalación de una válvula de seguridad en la red de nitrógeno para el sistema <i>pigging</i>	Acceptable
	Menos	Caudal en red de nitrógeno	-Fallo <i>utilities</i>	- <i>Backflow</i> a línea nitrógeno instrumentación -Posible contaminación de la red de nitrógeno	-Pérdida económica		Inaceptable	-Instalación de transmisor de presión diferencial con alarma de presión diferencial negativa enclavamiento válvulas para cerrar línea de nitrógeno para que en caso de fallo no se contamine la red	Acceptable

			-Fallo control de presión diferencial					-Instalación de transmisor de presión diferencial redundante con alarma de presión diferencial negativa enclavamiento válvulas	Acceptable
No	Aire de instrumentación	-Fallo del servicio de <i>utilities</i>	-Válvulas automáticas no pueden trabajar correctamente			-Todas las válvulas automáticas van a la posición de seguridad	Acceptable		
	Electricidad	-Fallo del servicio eléctrico	-No bombeo -No traceado eléctrico -Cristalización del aceite, partículas sólidas en el producto -Taponamiento -Aumento presión -Ruptura tubería -Ruptura de la bomba	-Daño a personas, equipos, medioambiente y pérdida económica			Inacceptable	-Instalación de transmisor de temperatura redundante con alarma de baja -Conectar traceado al generador diésel para que, en caso de fallo eléctrico, el generador proporcione la energía durante 1h aprox. a los equipos conectados al grupo -Paro manual de las bombas	Acceptable

### 5.2.1. Conclusiones del análisis cualitativo del riesgo

Del análisis del riesgo realizado mediante la metodología HAZOP, se deduce la necesidad de la instalación de los elementos siguientes<sup>14</sup>:

- Traceado secundario (redundante) en las tuberías y en el tanque.
- Transmisor de temperatura redundante con alarma de alta y muy alta, y enclavamiento del traceado en las tuberías y en el tanque.
- Alarma de nivel bajo en el lado de aspiración de la bomba P-5322 con enclavamiento.
- Válvula de seguridad en la red de nitrógeno.
- Transmisor de presión diferencial negativa con enclavamiento en las válvulas para cerrar la línea de nitrógeno, función de seguridad.
- Transmisor de presión diferencial redundante para el sistema de nitrógeno, función de seguridad.
- Conectar el traceado al generador diésel por si falla el suministro de electricidad.

### 5.2.2. Protección de equipos a sobrepresiones

Del análisis se ha concluido la necesidad de instalar una válvula de seguridad en la red de nitrógeno. Seguidamente se realiza el dimensionamiento de dicha válvula.

Para minimizar el tamaño de la SV y limitar el caudal máximo del colector de nitrógeno, se hace uso de una placa de orificio a la entrada que da un caudal de nitrógeno de 1000Nm<sup>3</sup>/h. Esta válvula de seguridad se calcula teniendo en cuenta la normativa API 520.

En este caso, se realiza el dimensionamiento de la válvula de seguridad Y-101. Esta se diseña considerando el escenario de presurización por apertura de la válvula. En este escenario llega el nitrógeno a 24.5bar debido al fallo en las válvulas de regulación de la red de nitrógeno.

En la tabla 5.3. se representan las características de los elementos del proceso.

Tabla 5.3. Características de los elementos del proceso.

Elemento	Características	
Red nitrógeno	Presión operación	15 – 17bar
	Presión asegurada	24.5bar
	Diámetro línea	DN 100
Distribución nitrógeno	Presión de operación	9 – 9.5bar
	Presión asegurada	10bar
	Diámetro línea	DN 100
Y101	Presión de disparo	10bar
	Tipo de válvula	Convencional
	Lugar disparo	Atmósfera
	Diámetro interior	107.1mm

Se asume que la temperatura ambiente es de 15°C y que la presión ambiente promedio es de 1.013bar.

Primeramente, se calcula el área de paso del orificio mediante la fórmula 5.2.1 (ref. 39).

$$A = \frac{Q_m}{387.2 \cdot C \cdot P \cdot K \cdot K_1 \cdot K_2} \cdot \sqrt{\frac{Z \cdot T}{M}} \quad (5.2.1)$$

<sup>14</sup> Ver apartado 4.1.4. Diagrama de tuberías e instrumentos: P&ID y 4.2.6. Diseño de la instrumentación y control.

Donde  $A$  es el área del orificio en  $\text{cm}^2$ ,  $C$  es coeficiente de expansión<sup>15</sup> que tiene un valor de 0.685 (ref. 39),  $P$  es la presión de descarga en  $\text{kg}/\text{cm}^2$  calculada como la presión de disparo más sobrepresión (10% de la presión de disparo más 1.013bar),  $K$  el coeficiente de descarga que para gases tiene un valor de 0.946 (ref. 39),  $K_1$  y  $K_2$  son dos coeficientes correctores por contrapresión y tienen un valor<sup>16</sup> de 1 (ref. 39),  $Z$  el factor de compresibilidad que es de 1,  $T$  la temperatura de descarga en grados Kelvin,  $M$  el peso molecular del nitrógeno que es de 28.02g/mol y  $Q_m$  el caudal de alivio másico en kg/h determinado en la siguiente ecuación 5.2.2.

$$Q_m = Q_o \cdot \rho_o \quad (5.2.2)$$

Donde  $Q_o$  es el caudal en condiciones normales de 0°C y 1bar determinado anteriormente que tiene un valor de 1000Nm<sup>3</sup>/h,  $\rho_o$  es la densidad del nitrógeno en condiciones normales que tiene un valor de 1.25kg/m<sup>3</sup>.

Una vez obtenida el área del orificio, se determina la  $Kv$  de la válvula de seguridad. En este caso, el régimen de derrame es sónico (alcanza la velocidad del sonido), es decir, la presión de salida (1.013bar) es menor que la mitad de la presión de entrada (4.5bar). Por ello, se utilizará la siguiente ecuación 5.2.3 para calcular la  $Kv$  (ref. 39).

$$Kv = \frac{Q_G}{259.5 \cdot P_1} \cdot \sqrt{\rho_G \cdot T_1} \quad (5.2.3)$$

Donde  $Q_G$  representa el caudal de gas en condiciones normales que es de 1000Nm<sup>3</sup>/h,  $P_1$  es la presión absoluta,  $\rho_G$  es la densidad del nitrógeno en condiciones normales y  $T_1$  es la temperatura en grados Kelvin. En la tabla 5.4. se representan los resultados obtenidos.

Tabla 5.4. Resultados de la válvula de seguridad

Parámetros	Valores
Diámetro nominal	DN 100
Presión nominal	PN 10
Diámetro interno (mm)	107.1
Fluido	Nitrógeno
Peso molecular (g/mol)	28.02
Temperatura (°C)	15
Presión entrada (bar)	10
Caída de presión $\Delta P$ (bar)	9.0
Presión salida (bar)	1.0
Área del orificio ( $\text{cm}^2$ )	1.31
Diámetro del orificio (mm)	12.9
Caudal de alivio ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	43.6
Caudal de alivio (kg/h)	1250
$Kv$ válvula de seguridad ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	6.65
$Kvs$ válvula de seguridad ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	8.64

### 5.2.3. Protección del tanque de almacenamiento

Del análisis también se ha comentado la utilización de la camisa de hormigón de retención que el tanque dispone ya que a fallo de nivel del tanque, éste rebosaría por arriba, pero como existe un detector de fugas, el operador apagará la bomba y cerrará la válvula de control.

<sup>15</sup> Ver anexo V.1. Tablas para el cálculo del área del orificio de la válvula de seguridad.

<sup>16</sup> Ver anexo V.1. Tablas para el cálculo del área del orificio de la válvula de seguridad.

Por ello, con la finalidad de asegurar que las medidas de camisa de retención son suficientes, se considera un escenario de rotura del tanque por la parte inferior.

En la tabla 5.5. se determinan las dimensiones de esta camisa de hormigón de retención.

Tabla 5.5. Dimensiones de la camisa de hormigón de retención del tanque

Propiedad	Valor
Altura camisa (m)	12.05
Diámetro interior camisa (m)	25.60
Diámetro exterior tanque (m)	20.85
Volumen (m <sup>3</sup> )	2186

Teniendo en cuenta que la camisa de retención y el tanque se encuentran a nivel del suelo, se calcula la altura mínima necesaria que deberá tener dicha camisa para retener una fuga en la parte inferior del tanque. En la figura 5.1. se representa un esquema del escenario donde se puede observar como los dos niveles se igualarán.

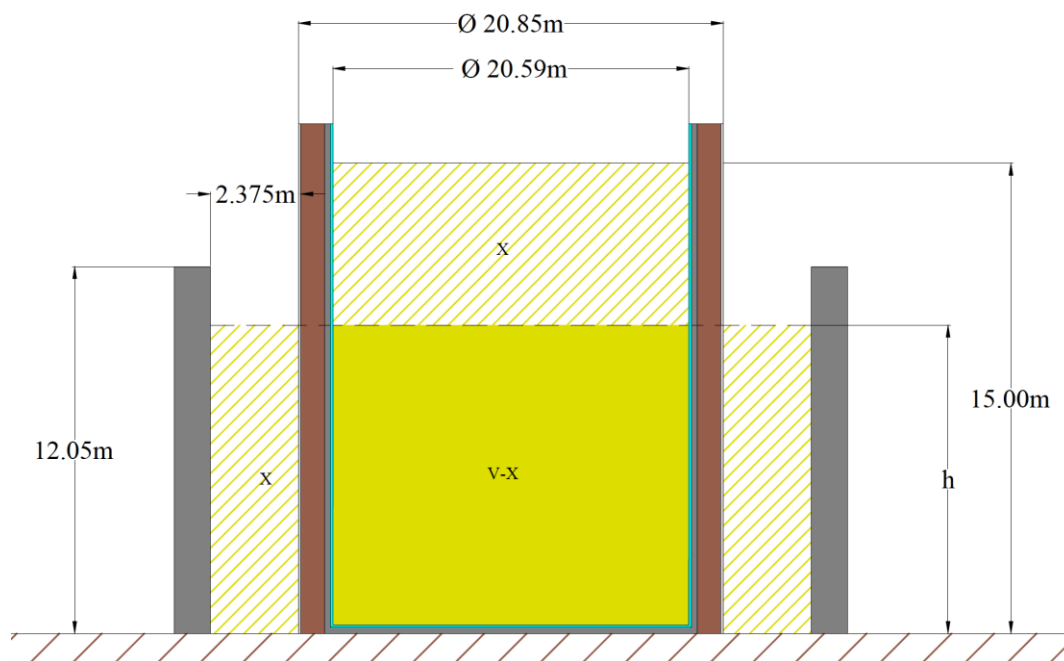


Figura 5.1. Esquema de fuga del tanque de almacenamiento

Siendo  $X$  el volumen que fugará hacia la camisa,  $V$  el volumen total de llenado del tanque, que teniendo en cuenta el recubrimiento interior de la resina epoxi es de  $4997\text{m}^3$  y  $h$  la altura mínima que deberá tener la camisa. En la ecuación 5.2.4 se determina el volumen fugado  $X$ , y en la ecuación 5.2.5 se determina el volumen que queda en el interior del tanque.

$$V_{fuga} = X = \pi \cdot h \cdot (r_2^2 - r_1^2) \tag{5.2.4}$$

$$V_{no\ fuga} = V - X = \pi \cdot h \cdot r_o^2 \tag{5.2.5}$$

Donde  $h$  es la altura mínima que deberá tener la camisa,  $r_o$  el radio interior del tanque,  $r_1$  el radio exterior del tanque teniendo en cuenta el aislamiento y  $r_2$  el radio interior de la camisa de retención de hormigón.

Resolviendo este sistema de ecuaciones y sabiendo que  $V$  se corresponde con el volumen total del tanque que es de  $4997\text{m}^3$ , se determina una altura mínima para la camisa de retención de  $9.87\text{m}$ , que con un margen del 10%, se obtiene una altura requerida de  $10.85\text{m}$ .

Se puede concluir que la camisa existente es suficiente para la retención de fugas que se puedan producir, ya que su altura es de 12.05m y la altura requerida para retener una fuga en el tanque es de 10.85m.

#### 5.2.4. Plan de autoprotección

El funcionamiento de una instalación industrial comporta un riesgo de accidentes. Así pues, para dar respuesta en materia de seguridad a todos los requisitos legales de la actividad se debe disponer de un Plan de Autoprotección (PAU), tanto desde la perspectiva de prevención de accidentes industriales como desde los accidentes laborales (ref. 40) para proteger a las personas y limitar el daño tanto a las instalaciones como al medioambiente.

La actividad desarrollada en el Parque de Tanques Exterior de acuerdo con el Anexo I del Decret 30/2015, se engloba en el epígrafe A Catálogo de actividades y centros de interés para la protección civil de Catalunya, apartado a, Actividades industriales y de almacenamiento, en el que aparecen los establecimientos afectados por la normativa por la cual se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas (ref. 41). Por lo que dentro del recinto del Parque de Tanques Exterior no se lleva a cabo ningún tipo de proceso productivo, sino que se llevan a cabo actividades de almacenamiento.

##### 5.2.4.1. Accesibilidad para ayuda externa

El Parque de Tanques Exterior dispone de un acceso principal y dos secundarios. Las características de los accesos de vehículos cumplen lo dispuesto en el Anexo II del Real Decreto 2267/2004:

- Anchura mínima libre: 6m.
- Altura libre: la del edificio.
- Distancia máxima al acceso principal del edificio: menor de 30m.
- Pendiente: menor del 10%.
- Capacidad portante del vial: 2000kp/m<sup>2</sup>.
- Resistencia al punzonamiento del suelo: 10t sobre 20cm de diámetro

##### 5.2.4.2. Riesgo químico en establecimientos industriales próximos

De acuerdo con el PLASEQCAT (Pla d'Emergències Exterior del Sector Químic de Catalunya) del 6 de febrero de 2007 (ref. 42), cabe mencionar la existencia de diversas empresas químicas afectadas por el Real Decreto 1254/1999 del 16 de julio, por el que se prueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas en las proximidades de establecimiento.

Seguidamente, en la figura 5.2. se muestra la relación de empresas afectadas por la Directiva de Accidentes Graves, según el Mapa de Protecció Civil de Catalunya (ref. 43).

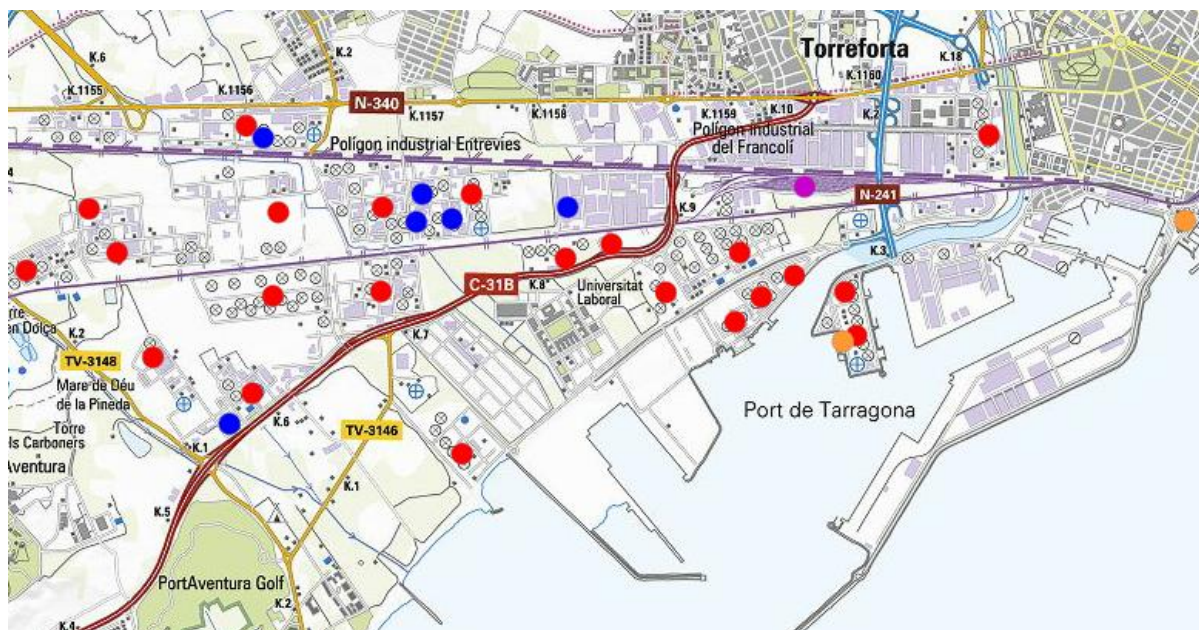


Figura 5.2. Riesgos Tecnológicos/Riesgo químico en establecimientos industriales

Donde los puntos rojos representan un riesgo alto, el azul un riesgo bajo, el naranja corresponde con otros tipos y el lila representa un estacionamiento de trenes. En este caso, la presencia de diversas empresas en las proximidades del establecimiento genera la afectación ante un posible accidente industrial originado en dichas instalaciones.

### 5.2.4.3. Establecimientos vulnerables

A continuación, se listan en la tabla 5.6 los establecimientos vulnerables ubicados en los alrededores de la instalación, así como la distancia entre ellos. Además, en la figura 5.3. se puede observar un mapa con la identificación de estos elementos.

Tabla 5.6. Elementos vulnerables del Parque de Tanques Exterior

Establecimiento	Distancia (m)
Complejo educativo de Tarragona (IES Pere Martell e IES Cal·lípolis)	200
Centro comercial Makro	540
Centro comercial Bricodepot	750
Centro comercial Wala	740
Centro comercial Mercadona	770
Hotel Tarraco Park	1250
Campo de futbol Bonavista	1360
Escola Mediterrani	930
Núcleo urbano Bonavista	1350
Campo de futbol Campclar	1160
Núcleo urbano de Campclar-Torreforta	900
Escolta Campclar	980
Complejo deportivo municipal Campclar	1400
Escola La Salle Torreforta	1420
Escola Els Àngels	1560



Figura 5.3. Mapa de los establecimientos vulnerables alrededor del P.T.E.

#### 5.2.4.4. Instalación de extinción de incendios

En el Parque de Tanques Exterior se dispone de diversos medios fijos para la extinción de incendios<sup>17</sup>:

- Sistema de bombeo.
- Dos tanques de 750m<sup>3</sup> de reserva de agua.
- Instalación de espuma de cubetos en los tanques B-5322 y tanque 1.
- Instalación de espuma en techo flotante de los tanques B-5322 y tanque 1.
- Instalación de anillos de refrigeración en esferas de almacenamiento 2.
- Instalación de rociadores en zona de bombas tanques enterrados almacenamiento 1 y 3, cortinas fijas de agua separación del exterior.
- 9 hidrantes, 6 cañones fijos, 1 cañón portátil, 13 extintores de polvo de 12kg, 7 carros de polvo de 50kg, 9 extintores de CO<sub>2</sub>, 3 Bocas de incendio equipadas (BIE) y otro material diverso.

Asimismo, se cuentan con medios móviles para la extinción de incendios ubicados en el centro de producción de *Site* de la fábrica de Tarragona como camiones de bomberos y un vehículo de intervención ligera.

#### 5.2.4.5. Localización de los equipos de seguridad

Las vías de evacuación de la planta que se utilizarán en caso de emergencia estarán bien identificadas. En la siguiente figura 5.4. se localizan los equipos de seguridad en el P.T.E.

<sup>17</sup> En el apartado 5.2.4.5. se puede observar la localización de estos equipos de seguridad en el P.T.E.



Figura 5.4. Localización equipos de seguridad en el Parque de Tanques Exterior

#### 5.2.4.6. Plan de actuación ante emergencias

A la hora de dar inicio a una emergencia, se debe tener en cuenta que existen situaciones o incidentes que no pueden considerarse como accidentes debido a su escasa importancia. Estos incidentes se resuelven en un tiempo muy breve por el equipo de operaciones y con los medios disponibles en la zona. Sin embargo, estos incidentes deben ser detectados, comunicados y controlados rápida y eficazmente, ya que podrían desembocar en una situación de emergencia o accidente grave.

En el caso que se presente una situación de emergencia, los trabajadores deberán dejar de trabajar y dirigirse inmediatamente a los puntos de concentración situados en zonas específicas de la planta. Una vez solucionado el problema, se dará una alarma de fin de emergencia y los trabajadores deberán volver a sus respectivos puestos de trabajo. Sin embargo, si se da la alarma de evacuación de la planta, los trabajadores deberán abandonar la planta de manera ordenada.

Además, si se da el caso de que se ocasiona un accidente, el protocolo de actuación seguido en este caso sigue el sistema de emergencias conocido como PAS (Proteger, Avisar y Socorrer). A continuación, se describe el procedimiento seguido:

- Proteger: la persona que se encuentra en el accidente debe asegurar que tanto el accidentado como él, están fuera de riesgo.
- Avisar: se avisa a emergencias y a los servicios sanitarios proporcionando la manera en la que se ha producido el accidente, la gravedad, el número de afectados, cuándo y dónde se ha producido.
- Socorrer: se pone calma y orden en el lugar del accidente, se examina el accidentado para valorar sus condiciones sin moverlo y manteniéndolo caliente.

#### 5.2.4.7. Incidentes y accidentes

Los incidentes/accidentes más probables en el Parque de Tanques Exterior son incendios de charco, llamaradas, dardos de fuego, explosiones no confinadas de nubes de vapor y fugas/derrames de productos inflamables.

Según la ley, un accidente de trabajo es una lesión corporal que sufre el trabajador como consecuencia del trabajo que realiza (ref. 44). Por otro lado, incidente se define como cualquier suceso no esperado ni deseado que no da lugar a pérdidas de la salud o lesiones en las personas, pero puede ocasionar daños a la propiedad, equipos, productos o al medio ambiente, además de pérdidas de producción o aumento de las responsabilidades legales (ref. 45).

Seguidamente se establece el protocolo para la investigación de accidentes/incidentes, es decir, los pasos que se deben seguir en caso de que haya un accidente/incidente:

- Notificar el accidente/incidente: si no se notifica no existe legalmente, es decir no se registran y no se tiene un control de éste.
- Investigación: saber exactamente qué ha pasado teniendo en cuenta las experiencias de las personas accidentadas. Para realizar una investigación exitosa se deben conocer los hechos sucedidos recogiendo los máximos datos posibles, investigarlos relacionando todas las informaciones, deducir las causas que los han producido para evitar casos similares y aprovechar la experiencia para la prevención de riesgos futura.
- Registro: archivar la documentación relativa a los accidentes/incidentes de trabajo que se hayan producido en la empresa. Esto es importante para hacer estudios de accidentes que ocurren con mayor frecuencia y así poder proponer mejoras para la seguridad.
- Proponer medidas: una vez se haya completado la investigación del accidente y saber qué lo ha provocado, se pueden proponer medidas para evitar o minimizar posibles futuros accidentes.
- Seguimiento del accidentado: dar apoyo al trabajador accidentado y saber cuándo se encuentra en condiciones de trabajar.
- Información a los trabajadores: se debe informar del accidente/incidente a los trabajadores de la empresa para que sean conscientes de lo importante que es la seguridad.

Realizar la investigación de incidentes/accidentes es muy importante ya que se incorporan medidas para que no vuelva a ocurrir. Se debe tener en cuenta que es más rentable invertir en la prevención de riesgos, que en accidentes/incidentes de trabajo ocurridos, ya que los costes de éstos son mucho más elevados, como por ejemplo indemnizaciones, gastos sanitarios, daños a equipos e instalaciones, etc. Si no se investiga un accidente/incidente no se aprovecha la posibilidad de conocer por qué ha sucedido y se pierde información valiosa para realizar medidas preventivas y disminuir la posibilidad de que éste se vuelva a producir en el futuro. Además, se incumple una obligación legal que conlleva a una infracción grave de la empresa.

### 5.3. Seguridad laboral

Seguidamente, se hace una explicación sobre la seguridad laboral, donde se determinan los equipos de protección individual y la formación en seguridad para los trabajadores.

#### 5.3.1. Equipos de protección individual

Los equipos de protección individual (EPI's) son los equipos destinados a proteger a los trabajadores de cualquier riesgo que pueda amenazar la seguridad o la salud (casco, gafas de seguridad, vestuario homologado de manga larga y zapatos de seguridad). Es obligatorio su uso y en las zonas EX (atmósferas explosivas) es obligatorio el uso de ropa antiestática.

Los EPI's no tienen la finalidad de eliminar las situaciones de riesgo, sino que tienen el objetivo de disminuir o hacer desaparecer los efectos que puedan producir cuando alguien está expuesto a un riesgo. Es muy importante que estos equipos se encuentren en un buen estado, por ello, deben estar homologados y se deben cambiar cada cierto tiempo. En la siguiente tabla 5.7. se muestran los EPI's que se utilizan y su función.

Tabla 5.7. EPI's que se utilizan y su función.

<b>EPI</b>	<b>Función</b>
Casco	Proteger de golpes o de caída de objetos
Gafas de seguridad	Proteger de impactos de partículas
Vestuario homologado de manga larga	Proteger el cuerpo de temperaturas altas, de riesgos en trabajos de tensión eléctrica, de salpicaduras de sustancias químicas...
Zapatos de seguridad	Proteger de impactos

Además, si se circula en bicicleta dentro del centro, es obligatorio el uso de casco. También es obligatorio el uso de arnés para realizar trabajos de altura en superficies inestables con riesgo de caída a diferente nivel, alturas superiores a 1.5m o en alturas si protección.

### 5.3.2. Formación en seguridad

Los trabajadores que deban operar en la unidad de almacenamiento recibirán instrucciones específicas sobre:

- Propiedades de las sustancias presentes en la unidad de almacenamiento.
- Manual de operaciones de los equipos.
- Instrucciones para asegurar el correcto uso de los equipos de protección de seguridad para la protección personal.
- Consecuencias que se podrían producir debidas a operaciones o usos de los elementos de seguridad incorrectos.
- Riesgos de los productos.
- Protocolo de actuación en caso de emergencia PAS (Proteger, Avisar y Socorrer).

Todos los trabajadores recibirán la formación anualmente, pudiendo así compartir experiencias y conocimiento. Además, en estas formaciones se informará de los cambios y modificaciones que se hayan realizado en la instalación y los nuevos procedimientos de operación.

## **6. ESTUDIO MEDIOAMBIENTAL**

La evaluación del impacto ambiental es un procedimiento que tiene como principales objetivos identificar, predecir e interpretar los impactos ambientales y prevenir, corregir y valorar estos impactos.

Mediante el estudio de seguridad, se puede observar que es necesaria la introducción de la conducción de aguas contaminadas para proteger el medioambiente contra las fugas que se puedan producir.

### **6.1. Identificación de las emisiones en el aire, agua y suelo e impactos producidos**

En el siguiente apartado se determinan las emisiones generadas en el aire, el agua y el suelo, así como los impactos que se producen en cada fase del proyecto. Las fases del proyecto se dividen en la fase de construcción (adaptación de las instalaciones) y la fase de operación (importación y exportación del aceite de palma).

#### **6.1.1. Impactos generados en la fase de construcción**

Durante la fase de construcción para adaptar las instalaciones, se pueden producir impactos debidos a las operaciones que se indican a continuación:

- Transporte de los materiales para la obra.
- Adaptación del área, colocación de cimientos, construcción de la instalación de *pig*, del aislamiento, traseado eléctrico, etc.
- Instalación de equipos, instrumentación, etc.
- Limpieza exhaustiva del interior del tanque, de tuberías y del resto de equipos.
- Pruebas de estanqueidad del tanque.

Vistas las actividades que se realizarán en la fase de construcción, los impactos y emisiones que se generarán podrían ser:

- Impactos sonoros: ruidos debidos a la construcción de la instalación. Seguramente no excederán los límites de la ley y se tendrá en cuenta que esta actividad es temporal y se desarrolla en un entorno industrializado. Este impacto se considera poco significativo y afectará como mucho a los trabajadores de la obra, los cuales llevarán protecciones auditivas.
- Impactos visuales: serán mínimos ya que la construcción se llevará a cabo en una zona industrializada, como lo es el Parque de Tanques Exterior, y el tanque de 5000m<sup>3</sup> ya está instalado y solo se construirán pequeñas modificaciones.
- Emisiones en el aire: de partículas en suspensión de polvo producidos en la perforación, movimiento de tierras, transporte de camiones por el suelo, etc., de gases generados por los motores de la maquinaria y por la circulación de vehículos y de gases generados en la pintura utilizada para el revestimiento interior del tanque si se aplica con aire comprimido. Este impacto será temporal y se desarrollará en una zona industrializada.
- Emisiones en el agua: se producirán aguas residuales, como las aguas residuales industriales o de proceso, que se generarán durante las pruebas de estanqueidad del tanque.
- Impacto económico: debido a la inversión que se deberá realizar y a los puestos de trabajo que se generarán. El impacto en este caso será positivo, aunque temporal.

### 6.1.2. Impactos generados en la fase de operación

Por otro lado, durante la fase de operación se pueden producir impactos debidos a las actividades indicadas a continuación:

- Almacenaje y transporte del producto.
- Operación de los equipos, incluyendo fugas debidas a válvulas, bombas, conexiones, etc.
- Purgado de líneas para mantenimiento.
- Limpieza del rack de tuberías mediante la instalación del sistema de *pig*.

Los impactos que se producen en esta fase de operación son:

- Impactos sonoros: ruidos debidos a la operación de carga y descarga del tanque, aunque no superarán los límites de la ley. También se consideran los ruidos debidos a la operación normal de las bombas durante la operación. Este nivel de ruido generado se considera muy bajo.
- Vibraciones: procedentes de las bombas durante la operación. Asumiendo que las bombas se instalarán de forma adecuada, no se superarán los límites de vibraciones.
- Emisiones en el aire: de gases como CO<sub>2</sub> debido al transporte mediante camiones y buques, de partículas en suspensión de polvo debida a la circulación de camiones. Esta emisión será mínima y temporal, y de nitrógeno del sistema de *pig* que no tendrá ningún impacto ambiental ya que se cuenta con un depósito de purga para limpiar las impurezas que pueda contener el gas y aliviarlo de forma segura a la atmósfera.
- Emisiones en el suelo: debidas a pequeñas fugas de aceite en válvulas, bombas, conexiones, etc. y debidas al sistema de vaciado de la línea que consta de un sistema de drenaje a la red de aguas contaminadas. En caso de fuga en el tanque, se dispone de una camisa de retención.
- Emisiones en agua: aguas residuales como aguas sanitarias producidas por los trabajadores en las oficinas y en la planta que son conducidas a una línea de tratamiento a la red de drenajes, y aguas pluviales que se evacuarán a la red de drenajes. También por pequeñas fugas de aceite que se puedan producir.
- Impacto económico: debido a la inversión inicial, sin embargo, se asume un impacto positivo debido al beneficio que se obtiene en el almacenaje del producto.

### 6.1.3. Evaluación cualitativa de los impactos

A continuación, se realiza una evaluación cualitativa de los impactos. Este análisis, tiene el objetivo de definir las acciones previstas en el proyecto, identificar los factores ambientales que pueden ser impactados por las acciones del proyecto y valorar estos impactos mediante un estudio exhaustivo. Se realizan dos análisis cualitativos, la matriz de causa-efecto<sup>18</sup> y la matriz de *Leopold*. En la tabla 6.1. se define la matriz de *Leopold*<sup>19</sup> con los criterios de importancia y los impactos considerados.

<sup>18</sup> En el anexo VI.1. Matriz causa-efecto se puede consultar la matriz de causa-efecto realizada.

<sup>19</sup> En el anexo VI.2. Explicación de los criterios de importancia de la matriz de *Leopold*, se puede observar la descripción de los criterios que se consideran para realizar esta matriz.

Tabla 6.1. Matriz de *Leopold*

Impactos	Criterios de importancia											Total
	Naturaleza	Intensidad	Extensión	Momento	Persistencia	Reversibilidad	Sinergia	Acumulación	Efecto	Periodicidad	Recuperabilidad	
Aire	-	3	2	3	1	1	2	3	3	3	1	22
Suelo	-	2	1	3	2	1	1	3	3	2	1	19
Agua	-	1	1	3	2	1	1	1	3	1	1	15
Clima	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
Flora	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
Fauna	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
Paisaje	-	1	1	1	3	2	1	1	1	1	1	13
Riesgo accidentes	-	3	2	3	2	1	2	1	2	2	1	19
Generación empleo	+	2	2	2	2	2	1	1	3	1	2	18

Mediante la elaboración de la matriz de *Leopold* se determina que el impacto en el aire es el que mayores efectos tiene. Esto es debido a la generación de partículas en suspensión mediante el transporte, maquinaria, etc. Seguidamente se encuentra el impacto en el suelo debido pequeñas fugas de aceite que se puedan producir en el proceso, y el impacto de riesgo de accidentes al aumentar el tráfico y el trabajo realizado en la zona.

## 6.2. Consumo de energías y recursos naturales

Los equipos incluidos en el alcance del proyecto no requieren el uso de recursos fósiles (carbón, petróleo o gas natural). El consumo de recursos queda reducido al consumo de agua, nitrógeno y electricidad para el funcionamiento de aparatos eléctricos (tracado, motores, etc.).

Por un lado, el consumo eléctrico anual del tracado del rack de tuberías será de 12,428kWh, el del tracado del tanque será de 210,328kWh, el de la bomba será de 5,868kWh y el del tracado de la tubería de la carga de camiones cisterna será de 3,136kWh. Todo esto hace un consumo eléctrico total de 231,760kWh al año.

Por otro lado, el nitrógeno se consumirá básicamente en la instalación de *pig*, que utiliza este producto para impulsar el dispositivo a través de la tubería del rack. Se obtiene un consumo de este recurso de 192,764Nm<sup>3</sup> anuales.

## 6.3. Programa de Vigilancia Ambiental

El Programa de Vigilancia Ambiental tiene como objetivo cumplir con las medidas correctoras y protectoras de la fase de construcción y operación.

En la fase de construcción, las obras se llevarán a cabo de una manera respetuosa con el medio ambiente, supervisando el cumplimiento de las medidas para prevenir y corregir el impacto ambiental. Además, se realizarán inspecciones periódicas para verificar que esto se cumpla. Se realizarán las siguientes acciones para el control ambiental:

- Supervisión de la obra para asegurar que las dimensiones del terreno que comprende la obra no exceden las previstas.
- Control de los puntos de almacenaje temporal de los materiales de la obra, residuos, maquinaria, etc.

- Vigilancia de la gestión adecuada de residuos generados durante las obras y de aceites usados en las máquinas.
- Control de vertidos accidentales durante las obras que se puedan generar, por ejemplo, en cambios de aceite, limpiezas, etc.
- Vigilancia del buen uso de las instalaciones existentes, ya que pueden verse afectadas por las obras.
- Verificar que los niveles de ruido producidos durante las obras no excedan los límites según la legislación.
- Control de las emisiones de polvo generadas durante la obra, y en caso de que se vaya a exceder, se implementarán medidas preventivas, como, por ejemplo, la reducción de la velocidad de los vehículos.

Además, se realizarán acciones para el control ambiental que se suman a las medidas previstas para el mantenimiento de las instalaciones. Entre estas acciones, se encuentra el control de los efluentes en la red de drenaje de aguas pluviales y contaminadas, el control de las fugas que se puedan producir y la verificación de niveles de ruido.

#### **6.4. Red de drenajes de aguas residuales**

Después del análisis de riesgo, se ha visto la necesidad de conducir las aguas contaminadas a una red de drenaje para aguas contaminadas con la finalidad de proteger el medioambiente.

Actualmente, se dispone de una camisa de retención para evitar que las posibles fugas que se produzcan en el tanque de almacenamiento vayan al exterior. En caso de que haya una fuga en el tanque, se dispone de un analizador de conductividad que avisa cuando detecte la existencia de un fluido en la camisa.

Adicionalmente, el Parque de Tanques Exterior cuenta con un sistema de canales donde el agua residual canaliza a la fosa de aguas residuales. Se dispone de un canal donde se encuentra el tanque con una pendiente del 1% que canaliza las fugas a una primera fosa. Esta fosa dispone de una válvula para conducir las aguas residuales a una segunda fosa, la cual dispone de dos bombas situadas en dos extremos con la finalidad de que, en caso de necesidad, se conduzcan las aguas residuales al tratamiento de aguas residuales. Además, si se produjera una fuga en las tuberías, se dispone de canales de contención.

## **7. MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES**

En este apartado, se realiza un plan de mantenimiento para cada equipo que forma parte de la unidad. El objetivo es analizar los problemas que se podrían generar en el sistema, y proponer estrategias del mantenimiento con la finalidad de alargar la vida útil de los equipos. Se debe tener en cuenta que todos los equipos deben ser accesibles para su mantenimiento y posible desmontaje.

### **7.1. Tipología de mantenimiento**

A continuación, se hace un breve resumen de los tipos de mantenimiento que existen en la industria.

#### **7.1.1. Mantenimiento correctivo**

El mantenimiento correctivo consiste en reparar las averías cuando aparecen. Este tipo de mantenimiento no genera gastos fijos, no requiere una gran infraestructura técnica ya que solo se usan los recursos cuando es necesario hacerlo, no se tiene que programar nada ya que todo es a corto plazo, y se aprovecha al máximo la vida útil de los componentes.

A pesar de esto, tiene bastantes inconvenientes como, por ejemplo, las averías se presentan de forma imprevista cosa que hace que se originen trastornos en la producción y que se tenga un mantenimiento de baja calidad debido al poco tiempo disponible para reparar el fallo, por ello se debe contar con técnicos que sean muy cualificados para reparar fallos al momento. Además, impide un diagnóstico fiable de las causas que provocan el fallo haciendo que la avería se pueda repetir a lo largo de la vida del equipo. Este mantenimiento implica la necesidad de un stock de repuestos importante. A veces no se puede aplicar este tipo de mantenimiento porque hay equipos que necesitan un mantenimiento continuo ya que necesitan continuos ajustes, vigilancia, engrase, etc. Además, las averías y los comportamientos anormales de los equipos no solo pueden poner en riesgo la producción, sino que también ponen en riesgo a las personas o al medioambiente, ya que se podrían generar accidentes.

Tal y como se puede observar, las ventajas de mantenimiento correctivo difícilmente superan los inconvenientes que se generan. Es por este motivo que basar el mantenimiento en el mantenimiento correctivo no es rentable.

#### **7.1.2. Mantenimiento preventivo**

El objetivo del mantenimiento preventivo es alargar la vida útil de los equipos realizando una serie de acciones programadas para prevenir averías imprevistas que incidan desfavorablemente en la instalación, y reducir la frecuencia y el impacto de los fallos.

Se basa en planificar inspecciones y acciones de mantenimiento en el equipo a lo largo de un periodo determinado para evitar reparaciones de emergencia.

Este tipo de mantenimiento se aplica a equipos sometidos a un desgaste seguro y a los que tienen una relación entre probabilidad de fallos y duración de vida conocida. Éste reduce las paradas imprevistas, aunque aumenta el gasto y disminuye la disponibilidad si no se elige la frecuencia de las acciones programadas correctamente. Además, a veces se realizan cambios innecesarios, lo que hace que no se aproveche la vida útil completa del equipo.

Para planificar este tipo de mantenimiento se deben definir los equipos que se deban incluir en este mantenimiento y los trabajos a realizar agrupados temporalmente.

### 7.1.3. Mantenimiento predictivo

Este tipo de mantenimiento pretende anticiparse a una futura avería de un componente de un equipo, de tal manera que este componente se pueda reemplazar por otro antes de que falle, maximizando así el tiempo muerto del equipo y optimizando los costes del mantenimiento.

Para ello, se deben medir diferentes parámetros relacionados con el ciclo de vida del componente, como por ejemplo las vibraciones, lubricantes, ultrasonidos, etc., e identificar los posibles fallos del equipo para escoger la manera más idónea de repararlo.

Este tipo de mantenimiento mejora el conocimiento y el control del estado de los equipos, además se ejecuta sin interrumpir el funcionamiento normal de las instalaciones y optimiza el tiempo para realizar el mantenimiento. Sin embargo, requiere personal muy formado, es costoso, no se pueden monitorizar todos los parámetros, por lo que se pueden producir averías no detectadas igualmente y se pueden producir averías entre dos mediciones de parámetros.

El mantenimiento predictivo no se aplicará en el plan de mantenimiento ya que no se trata de una planta en continuo y todo el mantenimiento se puede realizar cuando los equipos no estén funcionando. Sin embargo, se realizarán mediciones de vibraciones en bombas que pueden predecir un fallo cuando se detecte un aumento en éstas y mediciones de grosor de las tuberías y del tanque por ultrasonidos.

### 7.2. Plan de mantenimiento

Para determinar un plan de mantenimiento, se debe realizar antes un análisis del riesgo<sup>20</sup> donde se estudian los fallos y las consecuencias que se pueden generar. Por ello, se trata de un mantenimiento basado en el riesgo o *Risk Based Maintenance (RBM)*.

Este análisis del riesgo se basa en estudiar las consecuencias producidas por los fallos según la producción (que en este caso es la pérdida económica del aceite de palma), los costes de reparación, la seguridad y el medioambiente, mediante una matriz de riesgo que tiene en cuenta también la probabilidad o frecuencia de los fallos. De esta manera se puede clasificar según la gravedad y clasificar la criticidad de cada equipo. Se debe tener en cuenta que no existe ningún plan de mantenimiento que prevenga todas las averías de todos los equipos.

Por ello, a partir de matriz de riesgo representada la tabla 5.1. del apartado 5.2. Análisis cualitativo del riesgo, se evalúa cada uno de los equipos con la finalidad de obtener el grado de criticidad. En la tabla 7.1. se puede observar el nivel de criticidad de cada equipo según las consecuencias, para determinar la criticidad de las consecuencias.

Tabla 7.1. Criticidad de las consecuencias

Equipos	Criticidad consecuencias				Criticidad
	Seguridad	Medio Ambiente	Producción	Costes Mantenimiento	
<b>Bomba B-5320</b>	L	M	M	M	C2
<b>Tanque B-5322</b>	L	L	H	M	C2
<b>Tuberías</b>	L	M	M	M	C2
<b>Traceado</b>	L	L	M	L	C1

Finalmente, en la tabla 7.2. se puede observar el nivel de criticidad de cada equipo según la matriz de riesgo.

<sup>20</sup> Ver apartado 5.2. Análisis cualitativo del riesgo.

Tabla 7.2. Análisis de criticidad según la matriz de riesgo

Equipo	Consecuencia	Probabilidad	Criticidad
Bomba B-5320	C2	Alta	M
Tanque B-5322	C2	Media	M
Tuberías	C2	Media	M
Traceado	C1	Alta	M

Como se observa todos los equipos tienen criticidad media, por lo que se les considera una prioridad media dentro del plan de mantenimiento. Esto quiere decir que se deberá verificar el 100% de todos los componentes incluidos clasificados y se deberán inspeccionar el 25% de los puntos de todas las áreas susceptibles encontradas mediante la inspección visual. Se debe tener en cuenta que todas las áreas susceptibles, incluso si no se inspeccionan, deben estar incluidas en el seguimiento de mantenimiento.

Será necesario elaborar una estrategia para reducir el nivel ya sea sobre la probabilidad o sobre la consecuencia. En las próximas hojas se evaluará cada equipo para finalmente realizar un plan del mantenimiento.

### 7.2.1. Mantenimiento de bombas

Las causas más comunes que pueden provocar un fallo en las bombas centrífugas son la operación incorrecta y una lubricación inadecuada. Se debe tener en cuenta que el cierre mecánico es una de las partes más críticas y se suele romper con facilidad.

Por un lado, es importante que las bombas trabajen en unas condiciones óptimas de rendimiento, ya que trabajar fuera de sus condiciones puede provocar un fallo en la bomba como, por ejemplo, la rotura del cierre mecánico. Es por este motivo que se deben controlar la presión, la temperatura y las vibraciones del equipo.

Por otro lado, la lubricación inadecuada genera vibraciones excesivas y un recalentamiento de la bomba, cosa que puede provocar la rotura de sus cojinetes. El análisis de vibraciones de una bomba y de su motor se debería llevar a cabo al menos una vez al mes. La medida de las vibraciones del cojinete representa uno de los posibles métodos para monitorizar la condición de antifricción de cojinetes, proporcionando información valiosa sobre daños del cojinete inminentes y vida útil residual. La lubricación adecuada de los cojinetes es crítica para una vida útil más larga, se debe recordar que un exceso de lubricante es dañino, así como lo es una ineficiencia de este mismo. El nivel de aceite en la caja del cojinete o en el alojamiento del cojinete pueden ser monitorizados con un solo cristal para la visión o, preferiblemente, un engrasador de nivel constante. Se debe tener cuidado para asegurar que el grado de aceite usado es el correcto. Con el objetivo de reducir errores, se podría hacer uso de una etiqueta que muestre el grado del aceite usado en el alojamiento del cojinete. Los sellos de cojinete deben ser inspeccionados periódicamente para comprobar fugas de aceite.

Con la bomba operando en servicio normal, la temperatura del alojamiento del cojinete no debería exceder los 80°C. Las temperaturas en exceso de 90°C son, generalmente, inaceptables y se debería tener en consideración realizar un enfriamiento del aceite.

El mantenimiento adecuado de bombas es un requisito básico para la operación rentable de la unidad a lo largo de su vida útil. Por ello, para asegurar su funcionamiento correcto, se escoge el mantenimiento preventivo mediante la realización de medidas periódicas para prevenir averías imprevistas, como por ejemplo la inspección visual y sonora para verificar que el motor y la bomba giren sin vibraciones y para observar si hay pequeñas fugas de líquido, también se realizarán lubricaciones para asegurar que los rodamientos estén en todo momento lubricados, y se realizarán pruebas de estanqueidad en parado ya que la unidad no trabaja en continuo.

### 7.2.2. Mantenimiento del tanque

Un fallo en el tanque puede provocar el vaciado del sistema, causando una pérdida elevada de producción. Sin embargo, la probabilidad de que el tanque falle es reducida.

El tanque B-5320 puede fallar por problemas de corrosión originando fugas, es por este motivo que se selecciona un mantenimiento predictivo mediante la realización de medidas periódicas del espesor del tanque por ultrasonido para asegurar que el material no haya sufrido corrosión y prevenir una falla de la unidad.

Además, se aplicará el mantenimiento correctivo en la inspección exterior del tanque y, si se observa exteriormente que el aislamiento se encuentra en mal estado o se detecta un fallo, se procederá a renovarlo o a arreglarlo.

Con el objetivo de comprobar que el tanque cumpla con los requisitos de las normas de diseño, se realizará una prueba hidráulica para detectar posibles fugas en parado, ya que la unidad no trabaja en continuo. Para ello, se deberá instalar bridas ciegas para aislar el tanque, se aislarán las conexiones, se llenará con agua y se comprobará que las paredes del tanque retengan el agua y no haya ninguna fuga. Si el daño es leve, los poros deberán ser cubiertos para evitar la pérdida del contenido y si el daño es severo, se tendrá que reemplazar el área afectada.

### 7.2.3. Mantenimiento de tuberías

La pérdida de la funcionalidad de las tuberías que transportan el aceite puede provocar una pérdida de producción, sin embargo, la probabilidad de que suceda es reducida.

Las tuberías pueden fallar a causa de taponamientos o poros que se originen, generados principalmente por el producto que se transporta, aceite de palma, que se puede cristalizar debido a un fallo del traceado, y por la corrosión del material de las tuberías provocado por un fallo en el aislamiento.

En este caso, se opta por un mantenimiento preventivo. En el mantenimiento del aislamiento, se realizará una inspección visual para identificar defectos. En esta inspección lo que se pretende es identificar daños obvios, pero también definir ubicaciones susceptibles a la corrosión (válvulas, accesorios, bridas, etc.). En el plan de mantenimiento, se realizarán mediciones periódicas del grosor de la tubería por ultrasonidos que se corresponde con un mantenimiento predictivo.

Cuando se observe exteriormente que el aislamiento se encuentra en mal estado o se ha detectado un fallo, se procederá a quitar el aislamiento y se cambiará o se arreglará. Se debe tener en cuenta que durante la inspección o durante un trabajo de mantenimiento, el agua no debe penetrar en el aislamiento cuando el revestimiento es quitado, para ello, se deberá cubrir o proteger el aislamiento expuesto.

Además, existen métodos indirectos que pueden dar indicaciones de que la humedad ha penetrado en el aislamiento sin necesidad de quitar el aislamiento (ultrasonidos, termografía, radiografía, etc). Estos métodos son de carácter cualitativo y tienen la finalidad de identificar las áreas potenciales de sufrir corrosión. Entre ellos se encuentra el método de examinación de imágenes térmicas/infrarrojas que consiste en la utilización de cámaras especiales sensibles al infrarrojo ligero y se distingue las diferencias de temperatura en los objetos. En las áreas húmedas, la temperatura puede ser significativamente mayor que en las áreas secas. Sin embargo, la aplicación de esta técnica es a menudo difícil debido a la emisión de la luz solar directa, la falta de aislamiento, etc., que hacen que, a veces, no sea posible distinguir entre aislamiento húmedo y áreas no uniformemente o mal aisladas. Por este motivo la precisión de los resultados puede reducirse significativamente.

#### 7.2.4. Mantenimiento de válvulas

En el mantenimiento de las válvulas, se debe asegurar que éstas no tengan ningún tipo de fuga y los pistones deberán ser lubricados para su correcto funcionamiento. Todas las válvulas serán inspeccionadas varias veces y el vástago de las válvulas se lubricará periódicamente. Además, se realizarán inspecciones visuales y se comprobará el cuerpo de la válvula periódicamente y se someterán a pruebas hidrostáticas.

#### 7.2.5. Mantenimiento de válvulas de seguridad

La instrucción técnica complementaria del reglamento de aparatos a presión establece que cuando se realicen las inspecciones periódicas, las válvulas de seguridad se desmontarán, se probarán y se ajustarán. Estas serán inspeccionadas con regularidad para comprobar que trabajen correctamente, y se desmontarán periódicamente para verificar que trabajan correctamente. Además, se revisará el asiento del disco de cierre para comprobar que funcione bien y que el muelle no haya perdido sus propiedades.

#### 7.2.6. Mantenimiento de elementos de control de seguridad

Se determina una función de seguridad en la línea de nitrógeno ya que, si hay un fallo en el control de la presión diferencial, ésta baja y existe un posible *backflow* lo que conlleva a una contaminación de la línea de nitrógeno por aceite de palma.

Para la función instrumentada de seguridad (SIF), el mantenimiento y las pruebas deben diseñarse para minimizar, en la medida de lo posible, la probabilidad de fallas peligrosas derivadas de su uso. Se debe tener cuidado que todos los componentes de sistema instrumentado de seguridad tengan un acceso fácil para su debido mantenimiento. En caso de una falla, las funciones deben repararse tan pronto como sea posible (no exceder un máximo de 72h). Una vez completadas las reparaciones, se realizará una prueba funcional para garantizar la seguridad del proceso.

El mantenimiento preventivo será definido por las *Proof Tests* y durante la fase operativa se realizarán pruebas periódicas, pruebas después de reparaciones, después de un desmantelamiento temporal y después de una modificación.

Para las pruebas, se testeará la función de seguridad a partir de ensayos y simulaciones en los elementos primarios para activar los secundarios, se realizarán comprobaciones previas a la puesta en marcha (visual, en campo), y se verificará el correcto funcionamiento del transmisor. Además, se simulará la lógica de control, abriendo lazo y comprobando que la SIF actúa abriendo y cerrando las válvulas, y se normalizará el lazo para comprobar que las válvulas continúan enclavadas. Seguidamente, se reseteará la SIF y se comprobará que las válvulas abren si la presión vuelve a rango normal de operación.

#### 7.2.7. Mantenimiento del dispositivo *pig*

El dispositivo *pig* es un elemento que sufre un desgaste severo ya que roza con la tubería continuamente cuando se realizan limpiezas en ella. El elemento que sufre más desgaste son los labios del *pig* ya que es el elemento que está en contacto con la tubería.

Por ello, se aplica un mantenimiento preventivo, cambiando los labios del *pig* cada 10km, es decir 5 veces al año, ya que recorre 2km de tubería cada 2 semanas. Además, el dispositivo se deberá cambiar cada 4 años.

### 7.2.8. Plan de mantenimiento

A continuación, se realiza el plan de mantenimiento para cada equipo, en la tabla 7.3. para la bomba P-5322, en la tabla 7.4. para el tanque B-5320, en la tabla 7.5. para las tuberías, en la tabla 7.6. para las válvulas, en la tabla 7.7. para las válvulas de seguridad, en la tabla 7.8. para los elementos de control de seguridad y en la 7.9. para el dispositivo *pig*.

Tabla 7.3. Plan de mantenimiento de la bomba P-5322

Operaciones de mantenimiento	Periodicidad	Tipo de mantenimiento	Procedimiento
Inspección visual	Diario	Preventivo	Equipo de operación
Inspección sonora	Diario	Preventivo	Equipo de operación
Vibraciones	Trimestral	Predictivo	Mediciones periódicas
Alineación bomba	Cuando se detecte fallo	Correctivo	En parado
Equilibrado bomba	Cuando se detecte fallo	Correctivo	En parado
Estanqueidad	Cuando se detecte fallo	Correctivo	En parado, hidráulica
Lubricación o engrase	Mensual	Preventivo	Manual

Tabla 7.4. Plan de mantenimiento del tanque B-5320

Operaciones de mantenimiento	Periodicidad	Tipo de mantenimiento	Procedimiento
Inspección visual	Diario	Preventivo	Equipo de operación
Retirar aislamiento	Cuando se vea deterioro/ se detecte fallo	Correctivo	Manual
Renovación aislamiento	Cuando se vea deterioro/ se detecte fallo	Correctivo	Manual
Detección grietas	4 años	Preventivo	Hidráulica
Medición grosor	4 años	Predictivo	Ultrasonidos
Inspección traceado	Anual	Preventivo	Tester

Tabla 7.5. Plan de mantenimiento de las tuberías

Operaciones de mantenimiento	Periodicidad	Tipo de mantenimiento	Procedimiento
Inspección visual	Diario	Preventivo	Equipo de operación
Retirar aislamiento	Cuando se vea deterioro/ se detecte fallo	Correctivo	Manual
Detección grietas	4 años	Preventivo	Penetración
Medición grosor	4 años	Predictivo	Ultrasonidos
Inspección traceado	Anual	Preventivo	Tester
Renovación aislamiento	Cuando se vea deterioro/ se detecte fallo	Correctivo	Manual

Tabla 7.6. Plan de mantenimiento de las válvulas

Operaciones de mantenimiento	Periodicidad	Tipo de mantenimiento	Procedimiento
Inspección visual	Diaria	Preventivo	Equipo de operación
Comprobación fugas	6 meses	Preventivo	Ultrasonidos
Lubricación	6 meses	Preventivo	Ultrasonidos/termografía
Inspección interior	Cuando se detecte fallo	Correctivo	Visual e hidrostático

Tabla 7.7. Plan de mantenimiento de las válvulas de seguridad

Operaciones de mantenimiento	Periodicidad	Tipo de mantenimiento	Procedimiento
Inspección visual	Diaria	Preventivo	Equipo de operación
Comprobación fugas	6 meses	Preventivo	Ultrasonidos
Lubricación	6 meses	Preventivo	Ultrasonidos y termografía
Inspección interior	5 años o activación SV	Preventivo o correctivo	Manual

Tabla 7.8. Plan de mantenimiento de los elementos de control de seguridad

Operaciones de mantenimiento	Periodicidad	Tipo de mantenimiento	Procedimiento
Inspección visual del sensor	Diaria	Preventivo	Equipo de operación
Funcionamiento del sensor	Anual	Preventivo	Desmontado, forzar señal
Comprobación del sensor (test físico)	Anual	Preventivo	Desmontado, forzar señal
Calibración y revisión del sensor	Cada 5 años	Preventivo	Desmontado, forzar señal

Tabla 7.9. Plan de mantenimiento del dispositivo *pig*

Operaciones de mantenimiento	Periodicidad	Tipo de mantenimiento	Procedimiento
Inspección visual	Cada 2 semanas	Preventivo	Equipo de operación
Cambio de los labios	Cada 2 meses y medio	Preventivo	Manual
Cambio del dispositivo	Cada 4 años	Preventivo	Manual

### 7.2.9. Estrategia de recambios

Seguidamente se hace un breve resumen de la estrategia de recambios, es decir los elementos de los que se deben disponer en el almacén técnico para garantizar la operabilidad de la planta.

En relación con las válvulas, se dispondrá de recambios de válvulas de bola, una de DN 200, una válvula de DN 100 y una de DN 80, también se dispondrá de recambios de válvulas de pistón, una de DN 25 y una de DN 80, además se tendrá a disposición recambios de válvulas de compuerta, una de DN 200 y una de DN 80, y finalmente se contará con un recambio de una válvula de globo de DN 200 y de una de DN 80.

Para la bomba de descarga del tanque, se contará con los recambios mínimos que recomienda el fabricante, tales como el cierre mecánico, el rodete y los rodamientos.

También se contará con una serie de bridas para las tuberías de DN 200, DN 80 y DN 50 por si es necesario el cambio de alguna.

Con relación al *pig*, se dispondrá de labios de recambio ya que se deben cambiar cada 10km y de un *pig* de repuesto por si se rompe o se pierde.

### 7.2.10. Planificación y programación del mantenimiento

La función de planificación y programación es el centro desde el cual se coordina toda la actividad de mantenimiento. Mientras la planificación y programación están estrechamente relacionadas, son funciones distintas.

Por un lado, la planificación es un proceso detallado de análisis para determinar y describir el trabajo a realizar, las secuencias de tareas y la metodología. Identifica los recursos necesarios

(horas/hombre, piezas de repuesto, materiales, herramientas, equipos, etc.). Además, incluye una estimación del costo total.

Por otro lado, la programación es el proceso por el cual se determina el cronograma para garantizar que todos los recursos necesarios para completar trabajos específicos se asignen, coordinen y sincronicen en el momento y lugar especificados.

El proceso que se sigue es el siguiente:

- Solicitud de orden de trabajo: se describe el mal funcionamiento, la prioridad y la afectación a la producción del equipo en el que se debe aplicar el mantenimiento. Seguidamente, se debe analizar el problema y encontrar qué parte del equipo se ve afectada identificando las causas para poder determinar la acción que se debe llevar a cabo.
- Planificación y programación: en la planificación, todas las órdenes de trabajo del mantenimiento se deben preparar con la información técnica necesaria (tareas, planificación de la secuencia, estimación de costos, equipamiento, tiempo, etc.). Además, se adjuntan los datos históricos de mantenimiento. Por otro lado, en la programación se asignan, se coordinan y se sincronizan los recursos necesarios para completar trabajos específicos.
- Ejecución: las órdenes de trabajo se asignan según la disponibilidad de los operarios. Los operarios ejecutan el trabajo y al finalizar deben presentar las horas de trabajo, registrar el historial para determinar que el trabajo se ha completado, los materiales utilizados, etc.
- Cierre y revisión: en este último paso se debe actualizar y corregir los documentos proporcionados por el operario.

### 7.3. Corrosión debajo del aislamiento (CUI)

La corrosión que se produce debajo del aislamiento o *CUI* (*Corrosión Under Insulation*) es un mecanismo dañino que ocurre en equipos aislados, en este caso se trata de casi toda la instalación, tuberías y tanque de almacenamiento.

La *CUI* se produce cuando la humedad entra en el aislamiento y afecta principalmente al carbono (material utilizado en las instalaciones: acero al carbono), lo que resulta en una disminución del grosor de la pared. En la figura 7.1. se puede observar un esquema de una tubería en el que se ejemplifica el mecanismo de corrosión que se produce debajo del aislamiento.

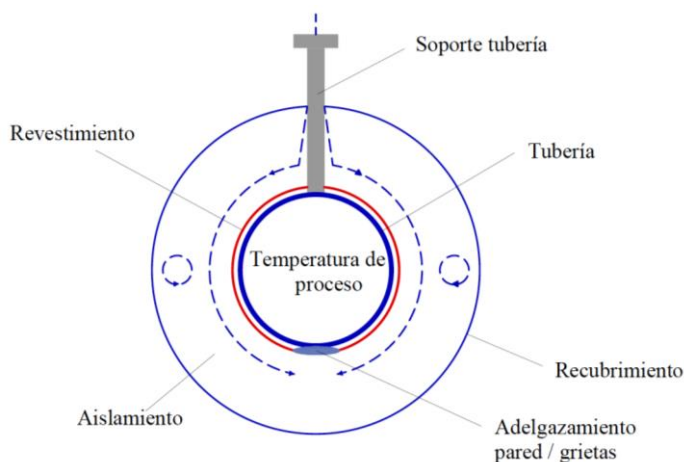


Figura 7.1. Ejemplo del mecanismo de corrosión debajo del aislamiento

El mecanismo de la corrosión debajo del aislamiento es el siguiente:

- La humedad o el agua se introduce dentro del aislamiento debido a defectos en el revestimiento.
- El aislamiento absorbe la humedad.
- El agua queda atrapada en el aislamiento.
- Se alterna la evaporación y la condensación.
- Concentración de contaminantes del agua en la pared de la tubería o del tanque (sulfatos, cloruros).
- Formación de depósitos.
- Degradación del recubrimiento.
- Inicio de la corrosión en la superficie del metal debido a la presencia de agua, oxígeno y los contaminantes que aceleran este efecto.

### 7.3.1. Clasificación CUI

El primer paso es identificar todos los equipos propensos a sufrir un ataque de CUI mediante la siguiente figura 7.2. que, según los rangos de temperatura y el material utilizado, determina si es susceptible o no.

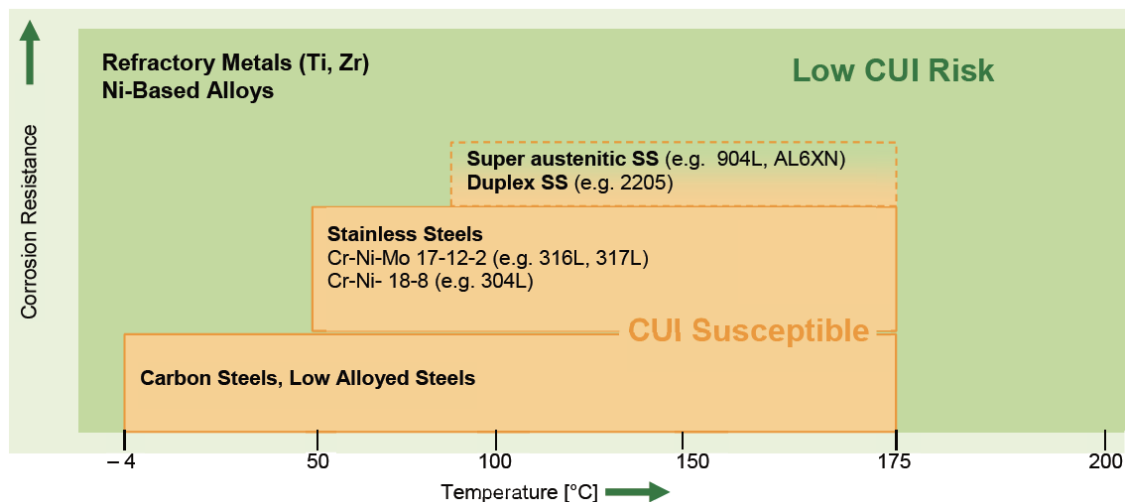


Figura 7.2. Rangos de temperatura crítica para CUI para diferentes materiales (ref. 46)

En este caso, toda la instalación de almacenamiento de aceite es de acero al carbono y según la figura 7.2. es un material clasificado como susceptible a la corrosión debajo del aislamiento.

Seguidamente, se identifican los equipos que realmente necesiten aislamiento. La forma más fácil de evitar la corrosión es eliminar el aislamiento donde no es necesario, por ejemplo, donde se utiliza solo para protección personal, se podrían colocar protectores metálicos o placas perforadas en vez de colocar un aislamiento, siempre y cuando la temperatura superficial esté entre 60°C y 150°C.

En este caso, como el aislamiento se utiliza con finalidades de conservar el calor del proceso y minimizar las pérdidas, no se puede evitar el aislamiento, y se deberán implementar buenas prácticas para prevenir la corrosión en el interior de éste.

Una vez identificados todos aquellos equipos que requieren aislamiento, se determina la probabilidad de tener CUI para cada caso. Para ello se realiza una matriz de riesgo teniendo en cuenta unos parámetros determinados en función del tipo de material. Para acero al carbono se deben tener en cuenta los parámetros representados en la siguiente tabla 7.10.

Tabla 7.10. Parámetros a tener en cuenta en la matriz de riesgo para acero al carbono

Parámetro	0	1	3	5
Temperatura de operación	Constante > 175°C o < -4°C	-4°C a 38°C	38°C a 77°C	77°C a 110°C o cíclico > 175°C o < 110°C
Revestimiento/ Duración	Revestimiento de calidad dentro de 8 años o duración sistema < 15 años	Revestimiento de calidad entro de 15 años o revestimiento general dentro de 8 años o duración sistema < 30 años	Revestimiento general 8 a 15 años	Duración revestimiento > 15 años o no revestimiento o duración sistema > 30 años o desconocido
Condición del aislamiento	Sin deficiencias	Con buen mantenimiento	Con alguna deficiencia	Dañado con severas deficiencias
Traceado de calor	Ninguno	Vapor de alta integridad o traceado eléctrico	Vapor de media integridad	Vapor con fugas visibles
Medioambiente externo	Seco (no humedad)	Árido e interior (baja humedad)	Otra localización (media humedad)	Costa/marina (alta humedad)
Tipo de aislamiento	Revestimiento aislamiento	Perlita expandida, vidrio de espuma	Fibra de vidrio, perlita, lana mineral < 10ppm Cl	Silicato de calcio, lana mineral > 10ppm Cl
Dimensión línea	Equipos	> 150mm	50mm a 150mm	≤ 50mm

Finalmente, mediante la matriz de riesgo para CUI determinada en la tabla 7.11. se clasifica el riesgo para cada elemento.

Tabla 7.11. Matriz de riesgo para CUI

Matriz de inspección para falla de CUI					
Probabilidad fallo por CUI	Esperado > 27	L	H	VH	inaceptable
	Posible $21 \leq 27$	L	M	H	VH
	Improbable pero posible $14 \leq 20$	L	L	M	H
	Improbable pero posible en limitados casos $7 \leq 13$	VL	L	L	M
	Improbable $\leq 6$	VL	VL	VL	L
Ratio de consecuencias		A	B	C	D
Seguridad	Fuga líquido no inflamable y no venenoso	Fuga líquido corrosivo o no inflamable o gas no venenoso	Fuga líquido corrosivo o no inflamable o gas no venenoso	Fuga líquido o gas tóxico y/o inflamable	
Medioambiente	No impacto	Impacto dentro de límite	Impacto dentro de límite	Impacto largo o fuera de límite	
Producción	No impacto en la producción	Pérdida limitada de producción	Pérdida significativa de producción	Pérdida significativa de producción	

A continuación, se clasifica la corrosión debajo del aislamiento en la tabla 7.12. para cada equipo y línea.

Tabla 7.12. Clasificación CUI

Línea/equipo	DN	Diámetro tubería	Espesor tubería	Espesor aislamiento	Material tubería	Tipo aislamiento
C1	200	219.1	4.5	80	St 37	Lana roca
C2	200	219.1	4.5	80	St 37	Lana roca
C3	200	219.1	4.5	80	St 37	Lana roca
Tanque	-	-	-	120	St 37	Lana roca
C6	100	114.3	3.6	60	St 37	Lana roca
Bomba	-	-	-	60	St 37	Lana roca
C7	80	88.9	2.6	60	St 37	Lana roca

(Cont.) Tabla 7.12. Clasificación CUI

Línea/equipo	CUI	Ratio consecuencia	Nivel riesgo	Extensión inspección	Prioridad
C1	17	C	M	25%	Media-Alta
C2	17	C	M	25%	Media-Alta
C3	17	C	M	25%	Media-Alta
Tanque	16	B	L	10%	Media
C6	19	C	M	25%	Media-Alta
Bomba	16	C	M	25%	Media-Alta
C7	19	C	M	25%	Media-Alta

Para una prioridad media-alta se comprueban el 100% de todos los componentes y para una prioridad media, el 25% de todos los componentes.

Una vez determinado el riesgo, se programa la inspección en campo de la instalación para evaluar visualmente las condiciones del aislamiento con la finalidad de identificar defectos que puedan provocar un ataque por *CUI* y determinar las posibles zonas críticas susceptibles a la *CUI*. En estas zonas se deberá aplicar métodos no destructivos descritos anteriormente<sup>21</sup> para determinar si la unidad ha sido atacada por la corrosión y poder repararla.

### 7.3.2. Recomendaciones para prevenir la *CUI*

Esta corrosión no se puede evitar, pero si se puede prevenir. Es por este motivo que en el siguiente apartado se hace una breve explicación de cómo se puede prevenir la corrosión que se genera debajo del aislamiento.

#### 7.3.2.1. Diseño de los equipos y tuberías

Por un lado, el diseño de los equipos tiene una influencia importante en el riesgo potencial de la corrosión generada debajo del aislamiento.

Existen muchas características de diseño que influyen negativamente como, por ejemplo, las formas del equipo que puedan retener aguas (superficies planas horizontales), artículos que causan interrupción en el revestimiento (plataformas, soportes de tubería) ya que cuantas más discontinuidades haya en el aislamiento, más probabilidades hay de que el agua penetre en éste.

Por ello, se deberán implementar buenas prácticas para prevenir la corrosión, como, por ejemplo, colocar una sección apuntando hacia abajo en la parte superior de la carcasa del tanque para evitar que el agua penetre en el aislamiento de la carcasa y drene. En la figura 7.3. se pueden observar los sitios de un tanque más propensos a sufrir corrosión.

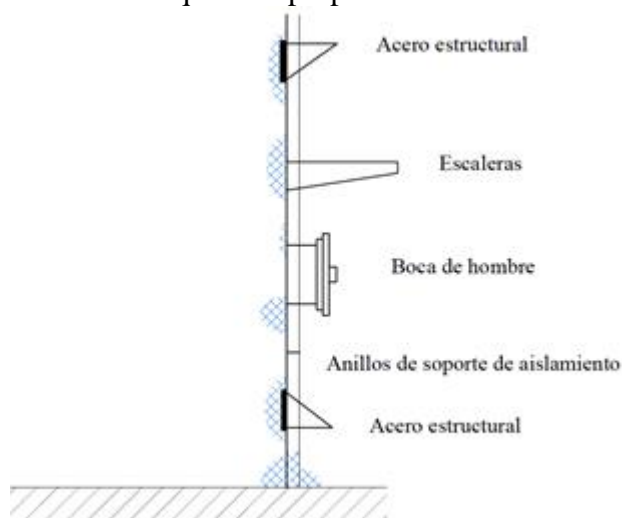


Figura 7.3. Localizaciones críticas de sufrir corrosión en un tanque.

Por otro lado, como se ha comentado anteriormente, aumentar el número de discontinuidades en la envoltura de la tubería aumentará el riesgo de que el agua entre en el aislamiento, potenciando la corrosión. Por ello, es importante minimizar el número de bridas, soportes y accesorios de la tubería ya que son difíciles de sellar eficazmente. Además, las perforaciones verticales dirigidas hacia arriba son puntos muy débiles que se deberán evitar en la medida de lo posible.

<sup>21</sup> Ver apartado 7.2.3. Mantenimiento de tuberías.

Ejemplos de buenas prácticas para prevenir la corrosión podrían ser la utilización de soportes que sostengan las líneas desde abajo, la ubicación de las válvulas y bridas en la parte horizontal de la tubería es mejor que la vertical para limitar la retención de agua.

#### 7.3.2.2. Revestimiento

El revestimiento continuo previene toda entrada de agua y por ello es la base para evitar la corrosión. Se puede fabricar con diversos materiales resistentes al agua como la chapa de aluminio, acero recubierto de aluminio zinc o metal revestido de plástico. En este caso, se recubrirá mediante una chapa de aluminio, ya que este tipo de material presenta propiedades excelentes de barrera al oxígeno y al vapor de agua, y por lo tanto a la corrosión.

#### 7.3.2.3. Transporte, almacenaje e instalación

Todos los materiales de aislamiento deben almacenarse en áreas secas y todos los trabajos de aislamiento deben realizarse en condiciones secas. Además, los materiales nuevos deben transportarse y conservarse en el embalaje. Los materiales de aislamiento y revestimiento externo deben instalarse de manera que el agua no penetre en el material, por este motivo, es mejor no interrumpir el trabajo antes de completar la instalación. Sin embargo, si la interrupción es inevitable, las aberturas deben protegerse.

## 8. ESTUDIO ECONÓMICO

En el siguiente apartado se muestra la evaluación económica del proyecto para determinar si es rentable o no. A continuación, se analizan los aspectos económicos y financieros mostrando la inversión para realizar el proyecto.

### 8.1. Presupuesto de ejecución del proyecto

A continuación, se determina el presupuesto necesario para la adaptación del tanque de almacenamiento de derivados de aceite de palma.

Para ello, se utiliza la herramienta *estiMADE* donde se consideran los costes de cada equipo o instrumento y los costes de su instalación. En la tabla 8.1. se puede observar el presupuesto desglosado, donde se tiene en cuenta las unidades necesarias, su precio unitario y la mano de obra.

Tabla 8.1. Coste total del proyecto

Equipo/Instrumento	Coste total (€)
Obra civil	12,681
Material y mano de obra para aislamiento y pintura	32,820
Equipos y máquinas	10,842
Material para tuberías	31,377
Electricidad	90,140
Instrumentación y electricidad	263,114
Montaje	327,434
Costes directos de planta	768,408
Ingeniería	190,371
Artículos de gastos	3,099
Tasas, permisos y seguros	11,130
Imprevistos	84,609
<b>Total</b>	<b>1,057,617</b>

### 8.2. Estimación de costes

Seguidamente, se determinan los costes implicados en el proceso de operación, sean variables o fijos. Los principales costes a tener en cuenta son las *utilities* y el mantenimiento.

Es importante remarcar los motivos por los cuales no se tienen en cuenta los siguientes costes:

- Materias primas: el aceite de palma se compra y se vende interiormente en la empresa, por lo que no representa un coste para proyecto cuando se compra, ni un ingreso cuando se vende.
- Mano de obra: los costes del personal para el montaje de la instalación se tienen en cuenta en la estimación del coste de inversión del proyecto.

#### 8.2.1. Costes de las *utilities*

Este término incluye la electricidad y el nitrógeno que se utiliza a lo largo del proceso de operación de la instalación.

Por un lado, para el cálculo del coste de la electricidad, se determina primero el coste del traceado de rack de tuberías, del tanque y finalmente de la carga de camiones.

Para el coste del rack de tuberías, primeramente, se debe calcular el tiempo que está en funcionamiento la instalación al año. Se sabe que los buques descargan una cantidad de producto de 3000m<sup>3</sup> cada dos semanas. Como el caudal de descarga es de 238m<sup>3</sup>/h, el buque tarda en descargar la totalidad del producto en 12.6h. Teniendo en cuenta esto, la potencia del traceado que es de 39.8kW y el precio de la electricidad, se tiene un coste de 808.4€/año.

Seguidamente, se debe calcular el coste de cada arranque del traceado, es decir los kWh que debe aportar para que la tubería pase de 5°C a 52°C, considerando el peor de los casos en un clima invernal. En la siguiente ecuación 8.2.1. se determina esta potencia necesaria.

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot e \cdot L \cdot \rho \cdot Cp \cdot \Delta T \quad (8.2.1)$$

Donde  $Q$  son los Julios que se obtienen que se pasarán a kWh para determinar el precio de cada arranque,  $r$  es el radio de la tubería de DN 200,  $e$  el espesor de la tubería que es de 4.5mm,  $L$  la longitud que es de 2km,  $\rho$  es la densidad del acero que toma un valor aproximado de 7850kg/m<sup>3</sup>,  $Cp$  es el calor específico del acero que es de 460J/kg·°C y  $\Delta T$  es la diferencia de temperaturas de 5°C a 52°C. Teniendo todo esto, se obtiene que la potencia necesaria en cada arranque del traceado es de 292kWh y por lo tanto el coste de cada arranque es de 18.1€. Sabiendo que cada dos semanas descarga el buque y, por lo tanto, que cada dos semanas se debe arrancar el traceado para que llegue a la temperatura deseada, se determinan 26 arranques al año. Con esto, se obtiene un coste de los arranques de 470.8€/año.

Finalmente, se determina un consumo total de rack de tuberías de 1279.2€/año, teniendo en cuenta el coste del arranque del traceado para que llegue a la temperatura deseada, y el coste del funcionamiento normal de traceado durante la descarga de buques.

Con relación al coste del traceado del tanque, se considera una operación de 24h/día para que el aceite que permanece en el tanque no se cristalice. Sabiendo esto, se obtiene un coste de 13040.3€/año.

Finalmente, para el coste de la carga de camiones, se tiene en cuenta el coste del traceado y el coste de la bomba. Para el coste de la bomba, se tiene en cuenta que todo lo que entra en el tanque tiene que salir, considerando que se mantienen un nivel constante en el tanque para que no se sobrellene. Por este motivo, si los buques descargan 3000m<sup>3</sup> cada dos semanas, los camiones cisterna deberán descargar esta cantidad y en el mismo periodo el producto. Sabiendo que los camiones tienen un volumen de 27m<sup>3</sup> y que por normativa no se pueden llenar más del 90%, se determina el número de camiones necesarios para transportar esa cantidad, que es de 62camiones a la semana. Sabiendo que un camión tarda en llenarse aproximadamente 1h teniendo en cuenta un margen, se obtiene el tiempo de uso anual de la instalación de 3224h/año. Por ello, como la bomba tiene una potencia de 1.82kW, se obtiene un coste del consumo de la bomba de 363.8€/año.

En relación con el traceado de la carga de camiones, se considera una operación de 24h/día, ya el tiempo de uso de la instalación es elevado y no merece la pena apagar y arrancar el traceado cada vez que se deba cargar un camión. Por ello, como la potencia del traceado de la tubería de carga de camiones es de 0.385kW, se obtiene un consumo de 194.4€/año.

Finalmente, se determina un consumo total de la operación de carga de camiones de 558.2€/año, teniendo en cuenta el coste del funcionamiento de la bomba y el coste del traceado eléctrico.

Por otro lado, para el coste del nitrógeno, se tiene en cuenta que como el rack de tuberías se utiliza cada 2 semanas, la limpieza de estas tuberías mediante el sistema *pigging* que utiliza nitrógeno como fluido de trabajo, también se utiliza cada dos semanas. Sabiendo que el volumen de producto en el interior de la tubería que hay que vaciar es de 1320m<sup>3</sup> (DN 200 y 2km de largo), se determina el volumen de nitrógeno necesario para vaciar toda la tubería.

Sabiendo que la densidad en las condiciones de operación y en las condiciones normales, se obtiene un volumen de nitrógeno de  $7414\text{Nm}^3$ . Finalmente, teniendo en cuenta la periodicidad del uso de la instalación y el coste del nitrógeno, que es de  $0.07\text{€/Nm}^3$ , se obtiene un coste de  $13493.5\text{€/año}$ .

En la tabla 8.2. se encuentra de forma resumida el coste anual de las *utilities* utilizadas en el proceso.

Tabla 8.2. Coste anual de las *utilities* utilizadas en el proceso

<i>Utilities</i>	Precio	Cantidad	Coste (€/año)
Electricidad	$0.062\text{€/kWh}$	$66.0\text{kW}$	14,878
Nitrógeno	$0.070\text{€/Nm}^3$	$7410\text{Nm}^3$	13,494

Por lo tanto, el coste anual de las *utilities* es de  $28,371\text{€/año}$ .

### 8.2.2. Costes fijos

Los costes fijos hacen referencia a los costes de mantenimiento de la instalación, ya que no dependen de la producción. Estos costes, teniendo en cuenta el criterio de la empresa, se estima que serán de un 10% del coste total de la instalación, es decir, de  $105,762\text{€/año}$ .

### 8.3. Evaluación global de la inversión

Los ingresos que se obtendrán vendrán del coste de alquiler del tanque a la unidad de negocio que es de  $9.87\text{€/m}^3$  mensual y el coste de descarga de las cisternas de aceite de palma que es de  $6.2\text{€/Tm}$  descargada.

Por un lado, como el volumen del tanque de almacenamiento es de  $5000\text{m}^3$ , se obtendrán unos ingresos por el alquiler del tanque de  $592,200\text{€/año}$ . Por otro lado, sabiendo que se descargan unos 62 camiones a la semana de  $27\text{m}^3$ , se ingresarán  $437,447\text{€/año}$  debido a la descarga de cisternas.

Primeramente, se determinan el *Cash Flow* a partir de la cuenta de resultados anual<sup>22</sup> donde intervienen los ingresos, los costes, la amortización, el beneficio antes de impuestos (BAI), los impuestos que es del 34% y el beneficio después de impuestos (BDI). El *Net Cash Flow* se corresponde con el BDI más la amortización.

Una vez determinada la cuenta de resultados, con la finalidad de tomar la decisión de invertir o no en el proyecto, se evalúan diferentes indicadores, el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el *Payback Period*.

#### 8.3.1. Valor Actual Neto (VAN)

Para tomar la decisión de invertir o no en el proyecto, se debe cumplir que el VAN sea mayor o igual a cero. Para determinar este indicador, se aplica una tasa de retorno  $k$  del 13% y una tasa de ingresos del 34%.

Por lo tanto, el Valor Actual Neto en el décimo año tiene un valor de  $2,344,627\text{€}$ , por lo que la inversión será rentable ya que el VAN es positivo<sup>23</sup>. En la figura 8.1. se puede observar la evolución del VAN y como se hace positivo a partir del segundo año.

<sup>22</sup> En el anexo VII.1. se observa la cuenta de pérdidas y ganancias, y la cuenta de flujos de caja.

<sup>23</sup> Ver en el anexo VII.2. el procedimiento seguido para el cálculo del VAN.

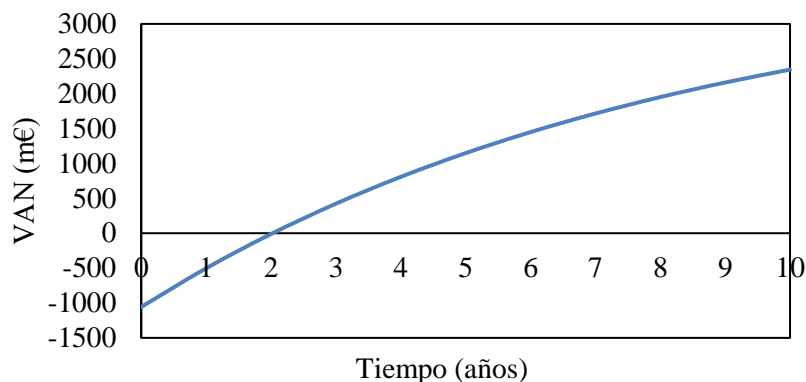


Figura 8.1. Evolución del Valor Actual Neto

### 8.3.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Otro sistema para calcular la rentabilidad del proyecto es determinar el interés que da un VAN=0. Este interés es la TIR. Si es superior a la tasa de interés que se ha fijado como aceptable, el proyecto es rentable.

Se obtiene un valor para la TIR<sup>24</sup> de 58.7%, que significa que el proyecto dará este porcentaje de beneficios, y como se encuentra por encima del coste de oportunidad el proyecto será rentable y por lo tanto sería una buena elección invertir en éste, ya que se produce mayor rentabilidad.

### 8.3.3. Payback Period

El *Payback Period* determina el tiempo que se tardará en recuperar la totalidad de la inversión inicial del proyecto mediante los *Cash Flow* generados. En este caso, será de 1 año y 8 meses<sup>25</sup>.

### 8.3.4. Estudio de sensibilidad

Finalmente, se realiza un estudio de sensibilidad para estudiar cómo se vería afectado el VAN en el caso de que variaran los ingresos, es decir, cuando varíe la descarga de cisternas que es un ingreso variable y el alquiler del tanque es un ingreso fijo.

Está claro que el VAN disminuiría si este ingreso disminuyera. Lo interesante, es estudiar la disminución de éste, ya que en este caso el VAN podría llegar a ser negativo.

Este ingreso, no puede ser todo lo mínimo ni lo máximo que se desee, ya que el tanque de almacenamiento tiene una capacidad máxima determinada. Considerando que todo el volumen que descargan los buques de carga, es decir 3000m<sup>3</sup> cada dos semanas, lo transportan los camiones, se necesitarían 62 camiones a la semana (ingresos máximos). Por otro lado, considerando que al final de año, el tanque queda lleno, y por lo tanto 5000m<sup>3</sup> no han podido ser transportados, se necesitarían 58 camiones a la semana (ingresos mínimos). Seguidamente, en la figura 8.2. se muestra un gráfico que refleja la afectación del VAN en el caso de disminuir la cantidad de camiones transportados, y por tanto a la cantidad de toneladas métricas descargadas.

<sup>24</sup> En el anexo VII.3. Tasa Interna de Retorno, se determina el procedimiento seguido.

<sup>25</sup> Ver el anexo VII.4. *Payback Period*.

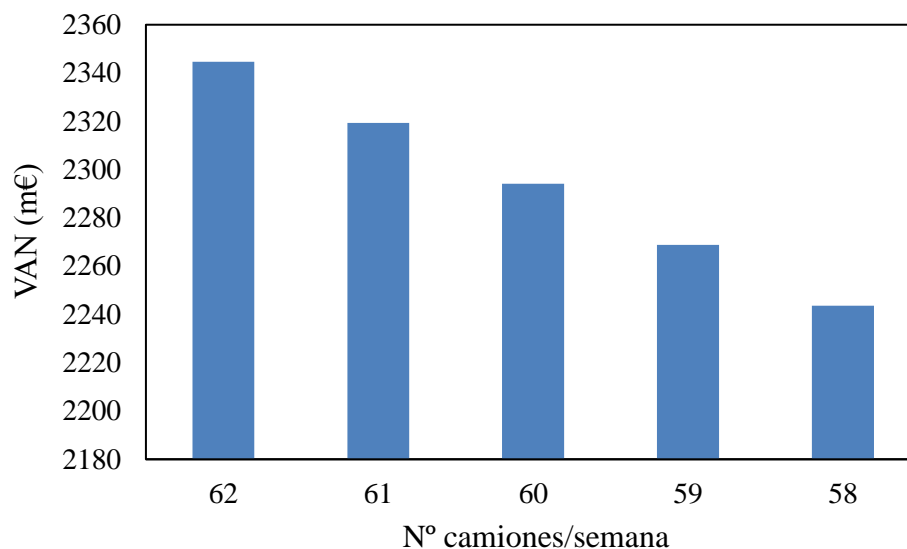


Figura 8.2. Afectación del VAN por la variación de los ingresos generados por la descarga de cisternas

Tal y como se puede observar, el VAN nunca llegará a ser negativo, por lo tanto, aunque se disminuya la descarga de cisternas al mínimo posible, el proyecto seguirá siendo rentable.

### 8.3.5. Conclusiones de la evaluación global de la inversión

En base a los tres indicadores determinados, se puede afirmar que la inversión del proyecto es rentable y económicamente atractiva. Se obtiene un Valor Actual Neto de 2,344,627€ haciéndose positivo después del segundo año. Asimismo, se determina una TIR de 58.7% lo que indica que es una tasa de retorno mayor que el coste de oportunidad. Además, se obtiene un tiempo de retorno de la inversión de 1 año y 8 meses, que es aceptable y que es significativamente pequeño.

## 9. CONCLUSIONES

El proyecto tiene como objetivo la adaptación de un tanque de techo flotante de 5000m<sup>3</sup> de capacidad para el almacenaje de aceite de palma

A lo largo del desarrollo del proyecto se ha conseguido determinar todos los requerimientos que se precisan para el almacenaje de derivados del aceite de palma.

En primer lugar, se ha determinado el problema principal de la adaptación de la instalación al nuevo producto. El aceite de palma debe ser almacenado a una temperatura de 41°C y cargado y descargado a 52°C. Es por este motivo, que el problema recae en el calentamiento de las tuberías y del tanque. Para ello, se tracearán eléctricamente las tuberías y se aislarán con lana de roca, consumiendo una potencia de 19W/m las tuberías de DN 200, una potencia de 14W/m las de DN 100, de 12W/m las de DN 80 y de 9.5w/m las de DN 50. Por otro lado, el tanque también se traceará eléctricamente que consumirá una potencia de 24kW. Además, se aislará mediante 120mm de espesor de lana de roca y una chapa de aluminio de 0.8mm.

Otro problema que surge en la elaboración de este proyecto es que el aceite de palma se degrada al estar en contacto con el carbono. Como el tanque está hecho de acero al carbono, se recubrirá interiormente mediante una capa de resina epoxi de 3mm de grosor.

Seguidamente, se han diseñado los elementos que componen la nueva instalación de la zona de carga de camiones, así como los elementos utilizados para adaptar las instalaciones ya existentes como la descarga de buques y el tanque de almacenamiento. Por ello, se ha determinado el nuevo punto de operación de la bomba de buques que proporcionará un caudal de 238m<sup>3</sup>/h y una altura manométrica de 106m. Asimismo, se ha diseñado la bomba de carga de camiones nueva que proporcionará un caudal de 39m<sup>3</sup>/h y una altura manométrica de 11m. Además, se ha diseñado la instalación *pigging* con la finalidad de limpiar la tubería de descarga de buques, es decir del rack de tuberías, mediante un dispositivo *pig* y nitrógeno como fluido de trabajo. Finalmente, se han determinado todos los elementos de control, tales como transmisores de presión, de temperatura, etc. y se han diseñado las válvulas de control.

Por otro lado, se ha determinado el estudio de seguridad que ha definido la necesidad de varios sistemas redundantes de control, así como, de una válvula de seguridad para el sistema que distribuye el nitrógeno utilizado en la instalación *pigging*. Además, se puede concluir que la camisa de retención de la que dispone el tanque es suficiente para retener posibles fugas que se puedan producir en éste.

Por último, el estudio económico realizado, muestra que la inversión que se debe realizar para implementar el proyecto es rentable económicamente y se recupera en 1 año y 8 meses.

Así pues, se concluye que la adaptación de un tanque de techo flotante de 5000m<sup>3</sup> de capacidad para el almacenaje de derivados del aceite de palma situado en el Parque de Tanques Exterior de la empresa BASF Española S.L., es una buena inversión, desde el punto de vista económico, medioambiental y energético.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] AKO Electromecànica S.A.L. *Traceado Eléctrico*. 10ª Ed. España, 2014. Consultada el 20/02/2018. <https://store.ako.com/instructions/63/es/357210050.pdf>
- [2] Heat Trace. Electric Heat Tracing of Very Long Pipelines.
- [3] Wikipedia. *Skin Effect*. Consultada el 20/02/2018. [https://en.wikipedia.org/wiki/Skin\\_effect](https://en.wikipedia.org/wiki/Skin_effect)
- [4] Perma-Pipe. Installation and Operation Manual for Skin Effect Electrically Traced Piping Systems. Illinois, pág. 5. Consultada el 20/02/2018. [http://www.permapipe.com/uploads/products/documents/installationguides/Skin%20Effect%20Current%20Tracing\\_Installation%20manual.pdf](http://www.permapipe.com/uploads/products/documents/installationguides/Skin%20Effect%20Current%20Tracing_Installation%20manual.pdf)
- [5] Pentair-Raychem. *Skin-effect Heat-tracing Systems (STS)*. 2017.
- [6] BASF, *Palm Oil Challenge*, 2017/18.
- [7] RSPO, Estándar de Certificación de la Cadena de Suministro, 2014.
- [8] Milena, S; Mauricio, D. *Análisis de las Propiedades del Aceite de Palma en el Desarrollo de su Industria*. Vol. 30, 2ª Ed. España, 2009.
- [9] BASF. *Ficha de Datos de Seguridad según reglamento CE Nº 1907/2006*. 2014.
- [10] Narváez, P; Rincón, S; Castañeda, L. *Determination of Some Physical and Transport Properties of Palm Oil and of its Methyl Esters*. Latin American Applied Research. 2007.
- [11] Castañeda, L.; Narváez, P.; Rincón, S. *Simulación de un proceso de obtención de ésteres metílicos a partir de aceite de palma*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 2005.
- [12] Ikata, E. *Electrocapillarity in Palm Oil: Evidence of Induced Non-linearity*. *J. Physics*. 1990.
- [13] Ceriani, R.; Meirelles, A. *Predicting Vapor-liquid Equilibria of Fatty Systems*. *Fluid Phase Equilibria*. 2004.
- [14] *Guideline for Handling and Storage of Palm Oil*. Consultada el 26/02/2018. <https://es.scribd.com/document/62297247/Guideline-for-Handling-and-Storage-of-Palm-Oil>
- [15] ADR. *European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road*. 2015. Consultada el 26/02/2018. [www.unce.org/trans/danger/publi/adr/adr\\_e.html](http://www.unce.org/trans/danger/publi/adr/adr_e.html)
- [16] Moodle de la URV, Asignatura Treball de Fi de Grau. *Preus Energies*. abril 2016.
- [17] Google Maps. Consultada el 29/02/2018. <https://www.google.de/maps/@41.1039655,1.205729,2503m/data=!3m1!1e3>
- [18] Climate-Data. *Clima Tarragona*. Consultada el 29/02/2018. <https://es.climate-data.org/location/1565/>
- [19] Ministerio de Fomento. Consultada el 29/02/2018. <https://www.fomento.gob.ec/MFOM.CP.Web/handlers/pdfhandler.ashx?idpub=BN0222>
- [20] Topographic-map. *Mapa topográfico de Tarragona*. Consultada el 29/02/2018. <http://es-es.topographic-map.com/places/Tarragona-980292>
- [21] Diagrama de Moody. Consultada el 12/03/2018. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Diagramme\\_de\\_Moody](https://fr.wikipedia.org/wiki/Diagramme_de_Moody)
- [22] Rodríguez, L. *Pérdidas Menores. Mecánica de los fluidos*. 2010. Consultada el 12/03/2018. <https://www.slideshare.net/LuismartinRodriguez1/perdidas-menores-mecanica-de-los-fluidos>
- [23] Wikipedia. *Pérdida de Carga*. Consultada el 12/03/2018. [https://es.wikipedia.org/wiki/P%C3%A9rdida\\_de\\_carga](https://es.wikipedia.org/wiki/P%C3%A9rdida_de_carga)
- [24] Twyman, J. A.; Twyman, C.J. *Golpe de Ariete en Redes de Tuberías*. 2009. Consultada el 20/03/2018. [http://www.twyman.cl/TWYMAN%20Golpe\\_de\\_Ariete.pdf](http://www.twyman.cl/TWYMAN%20Golpe_de_Ariete.pdf)
- [25] Institution of Chemical Engineers (ChemE). *Water Hammer*.

- [26] Knežević, D.; Milažinović, A.; Milovanović, Z.; Savić, V. *Analysis of Changes of Bulk Modulus of Oil*. Serbia, 2011.
- [27] KSB. *KSB CPK Manual Técnico e Curvas características*. Brasil.
- [28] *Guía de las Lanasy Minerales Aislantes*. Consultado el 22/03/2018.  
<http://www.renoveconlanamineral.com/pdf/guia-de-la-lana-mineral.pdf>
- [29] Tecafric S.A. *Aislamiento de Aparatos de Calor*.
- [30] McAdams, W.H. *Transmisión de calor*. 3ª Ed. México, 1978.
- [31] Moilchtechnik GmbH. *One Pig System*. Consultado el 30/03/2018.  
<http://www.piggingsystems.com/en/products/examples/example-one-pig-system.html#cj>
- [32] Moilchtechnik GmbH. *Duo-lip Pig with Replacable Lips*. Consultado el 30/03/2018.  
<http://www.piggingsystems.com/en/products/pigs/duo-lip-pig-with-replaceable-lips.html>
- [33] Moilchtechnik GmbH. *Pig Launching and Receiving Station*. Consultado el 30/03/2018.  
<http://www.piggingsystems.com/en/products/stations-valves/pig-launching-and-receiving-station.html#cj>
- [34] Moilchtechnik GmbH. *Pig Loading and Unloading Station*. Consultado el 30/03/2018.  
<http://www.piggingsystems.com/en/products/stations-valves/pig-loading-and-unloading-station.html#cj>
- [35] Moilchtechnik GmbH. *Pig Sensor*. Consultado el 30/03/2018.  
<http://www.piggingsystems.com/en/products/accessories/pig-sensor.html#cj>
- [36] Samson. *Catalog Products*. Alemania, 2013.
- [37] *Velocidad del Sonido en los Gases*. Consultado el 8/04/2018.  
<https://sites.google.com/site/iesterorsonido/caracteristicas-del-sonido/velocidad-del-sonido-en-los-gases-1>
- [38] Infra Air Products. *Hoja de Datos de Seguridad Nitrógeno*. México, 2011. Consultado el 16/04/2018. <http://www.uacj.mx/IIT/CICTA/Documents/Gases/nitrogeno.pdf>
- [39] Nacional S.A. Catálogo Nacional General de Válvulas. España.
- [40] Gil, J.L.; Moneo, L. *Guía Técnica para la Elaboración de un Plan de Autoprotección*. 2007.
- [41] Decreto 30/2015. *Catálogo de actividades y centros obligados a adoptar medidas de autoprotección y se fija el contenido de estas medidas*. Cataluña, 3 de marzo.
- [42] PLASEQCAT. *Pla d'Emergència Exterior del Sector Químic de Catalunya*. Catalunya, 2017. Consultado el 20/03/2018. <http://usuaris.tinet.cat/protciv/>
- [43] Generalitat de Catalunya. *Mapa de Protecció Civil de Catalunya*. Consultado el 20/03/2018. <https://pcivil.icgc.cat/pcivil/v2/index.html#41.10697,1.19209,7z>
- [44] Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. *Real Decreto Legislativo 1/1994 BOE-A-1994-14960 Ley General de Seguridad Social*. Art. 115. Madrid, 1994.
- [45] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). *Investigación de accidentes por el método del árbol de causas*. 2ª Ed. Madrid, 2012.
- [46] BASF. *Corrosion Under Insulation*.

# Anexos

## **ÍNDICE ANEXO**

<b>ANEXO I. DISEÑO DE TUBERÍAS Y BOMBAS</b> .....	<b>101</b>
I.1. Tuberías y bombas de la descarga de buques .....	101
I.2. Tuberías y bombas de la carga de camiones .....	105
I.3. Pérdidas de calor en las tuberías .....	112
<b>ANEXO II. DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO</b> .....	<b>113</b>
II.1. Pérdidas de calor por el techo .....	113
II.2. Pérdidas de calor por el suelo .....	113
II.3. Pérdidas de calor por los laterales .....	114
II.4. Determinación del espesor de lana de roca .....	116
<b>ANEXO III. DISEÑO DEL CONTROL</b> .....	<b>121</b>
III.1. Comprobación del coeficiente de paso de las válvulas de control .....	121
<b>ANEXO IV. HOJAS DE ESPECIFICACIÓN DE EQUIPOS</b> .....	<b>123</b>
IV.1. Hoja especificación de la bomba de carga de camiones .....	123
IV.2. Hoja especificación válvula de seguridad .....	124
IV.3. Hoja especificación tanque .....	125
IV.4. Hoja especificación válvulas de control .....	126
<b>ANEXO V. ESTUDIO DE SEGURIDAD</b> .....	<b>128</b>
V.1. Tablas para el cálculo del área del orificio de la válvula de seguridad .....	128
V.2. Selección de la válvula de seguridad .....	128
<b>ANEXO VI. ESTUDIO MEDIOAMBIENTAL</b> .....	<b>130</b>
VI.1. Matriz causa-efecto .....	130
VI.2. Explicación de los criterios de importancia de la matriz de Leopold .....	131
<b>ANEXO VII. ESTUDIO ECONÓMICO</b> .....	<b>132</b>
VII.1. Cuenta de resultados .....	132
VII.2. Valor Actual Neto .....	133
VII.3. Tasa Interna de Retorno .....	133
VII.4. Payback Period .....	133

## ANEXO I. DISEÑO DE TUBERÍAS Y BOMBAS

En el siguiente apartado se determina el procedimiento seguido a la hora de diseñar las bombas de la instalación.

### I.1. Tuberías y bombas de la descarga de buques

A continuación, se determinan las condiciones iniciales como la presión de aspiración e impulsión, las propiedades del aceite, así como los coeficientes de resistencia para las pérdidas de carga menores. En la tabla I.1. se determinan estas propiedades.

Tabla I.1. Parámetros utilizados para el cálculo de la bomba

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
Densidad aceite a 52°C (kg/m <sup>3</sup> )	880.9
Viscosidad dinámica aceite a 52°C (kg/m·s)	0.0283
Diámetro interior tubería impulsión (mm)	210.1
Presión entrada	Atmosférica
Presión salida	Atmosférica
Longitud impulsión (m)	2000
Altura líquido buques (m)	5
Altura líquido tanque (m)	15+9
Rugosidad tubería de acero al carbono (mm)	0.0024
<i>K</i> entrada	1.0
<i>K</i> salida	1.0
<i>K</i> curva 90° con gran radio	0.2
<i>K</i> curva 45° con gran radio	0.2
<i>K</i> codo 90°	0.3
<i>K</i> ensanchamiento	$\left(1 - \left(D_1/D_2\right)^2\right)^2$
<i>K</i> reducción	$0.5 \cdot \left(1 - \left(D_1/D_2\right)^2\right)^2$
<i>K</i> válvula de retención abierta	2.0
<i>K</i> válvula de globo	16
<i>K</i> válvula de compuerta abierta	0.2
<i>K</i> conexión T en línea	0.2
<i>K</i> conexión T desviado	1

Seguidamente se determina la curva de la bomba en la figura I.1. que se utiliza para descargar la materia de los buques. Esta curva viene determinada por el fabricante, y se utilizará para determinar si la bomba se adapta a las nuevas condiciones del sistema y para determinar el nuevo punto de operación, si dicha bomba se adapta. Si no se adapta, se deberá diseñar una nueva bomba con las condiciones requeridas.

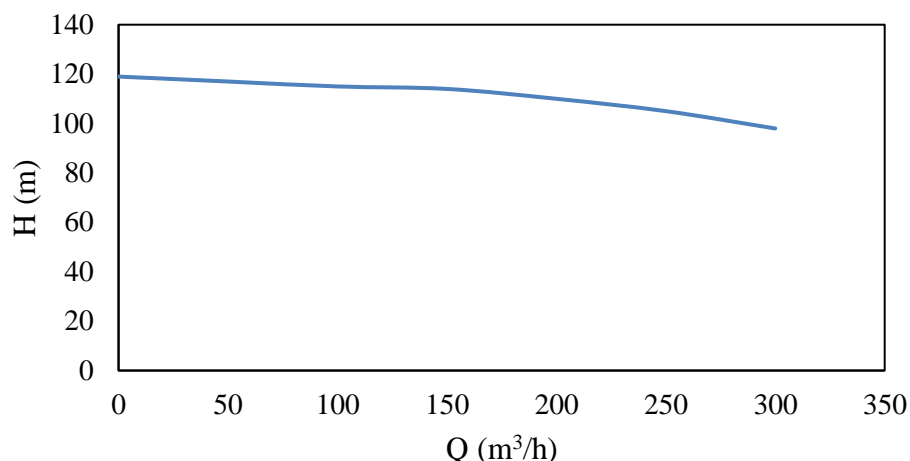


Figura I.1. Curva de la bomba de buques

A continuación, se determinan las dimensiones de las líneas de descarga de buques en la siguiente tabla I.2. Se puede observar que el diámetro es constante a lo largo de toda la tubería.

Tabla I.2. Dimensiones de la tubería del rack

Tubería	Función	Material	Diámetro	Diámetro interior (mm)
C1	Estación bombeo a tanque	Acero al carbono	DN 200	210.1
C2				
C3				

Con toda esta información, en el siguiente paso se calculará la curva del nuevo sistema en función del caudal. Por este motivo, una vez obtenida la curva del sistema, se comparará con la curva de la bomba, obteniendo así el punto de operación de la bomba y el caudal y por consiguiente la velocidad. Si el caudal se adapta a la bomba ya existente, el punto de operación será el determinado. Por el contrario, si no se adapta, como se ha comentado anteriormente, se deberá diseñar una nueva bomba. Además, si la velocidad se adapta a la de un líquido a través de una tubería, línea será la correcta. Sin embargo, si la velocidad es demasiado elevada, las pérdidas de carga serán también demasiado elevadas y se deberá sustituir la tubería por otra de mayores dimensiones.

Primeramente, se calcula el área de paso de cada tubería y la velocidad a la que fluye el aceite por el interior de cada tubería que dependerá del caudal que circule. En la ecuación I.1.1 se determina el cálculo del área de paso y en la ecuación I.1.2 la velocidad.

$$A = \pi \cdot r^2 \quad (I.1.1)$$

$$v = \frac{Q}{A} \quad (I.1.2)$$

Donde  $A$  es el área de paso en  $m^2$ ,  $r$  es el radio interior de la tubería en  $m$ ,  $v$  es la velocidad en  $m/s$  y  $Q$  es el caudal en  $m^3/s$ .

Seguidamente, se pasa a calcular el número de *Reynolds* en la aspiración y en la impulsión, para determinar si el aceite es un fluido en régimen laminar o turbulento, teniendo en cuenta que si el número de *Reynolds* es inferior a 2000 es laminar, si es superior a 4000 es turbulento y si está entre 2000 y 4000 es un fluido en régimen transitorio. En la siguiente ecuación I.1.3 se determina la fórmula que se utiliza para calcular esta propiedad.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad (I.1.3)$$

Donde  $Re$  es el número de *Reynolds*,  $\rho$  es la densidad en  $\text{kg/m}^3$ ,  $v$  la velocidad en  $\text{m/s}$ ,  $D$  el diámetro en  $\text{m}$  y  $\mu$  la viscosidad en  $\text{kg/m}\cdot\text{s}$ .

Como la velocidad es una función dependiente del caudal, y por lo tanto no se puede determinar el número de *Reynolds*, ésta se aproxima a la velocidad de un líquido que es de  $1\text{-}2\text{m/s}$ . En este caso, se escoge una velocidad del fluido de  $1\text{m/s}$ . Con estos datos se obtiene un valor del número de *Reynolds* para la impulsión de  $6539$ . Por lo tanto, se concluye que en fluido es turbulento y se puede utilizar la ecuación de *Swanee* y *Jain* para un flujo turbulento y determinar el factor de fricción. Este parámetro se recalculará cuando se haya obtenido el caudal, y así confirmar que se trata de un flujo turbulento o no. Si no se tratara de un flujo turbulento, se escogerá otra ecuación para determinar el factor de fricción.

A continuación, se determina este factor de fricción de Darcy que para un fluido turbulento se calcula con la ecuación de *Swanee* y *Jain* (1976) representada en la fórmula I.1.4.

$$f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right]^2} \quad (I.1.4)$$

Donde  $f$  es el factor de fricción,  $\varepsilon/D$  es el ratio de rugosidad del material de la tubería. Esta es una función que depende también del caudal que a su vez depende del punto de operación de la bomba. Una vez obtenido este parámetro, se determinan las pérdidas de energía por fricción en cada tramo, que se representan en la siguiente ecuación I.1.5.

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (I.1.5)$$

Donde  $h_f$  son las pérdidas de energía por fricción en  $\text{m}$ ,  $L$  la longitud de la tubería para cada tramo en  $\text{m}$  y  $g$  la gravedad que tiene un valor de  $9.81\text{m/s}^2$ .

Seguidamente, se determinan las pérdidas de energía menores, tales como la de los codos, las de las válvulas, la de la entrada, la de la salida y la de los estrechamientos. Estas pérdidas se calculan de la siguiente manera, haciendo uso de la ecuación I.1.6.

$$h_i = K_i \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (I.1.6)$$

Donde  $h_i$  es la pérdida de energía para cada elemento en  $\text{m}$ ,  $K_i$  es el coeficiente de fricción que depende de la geometría del accesorio. En la tabla I.3. se representa el número de accesorios existentes.

Tabla I.3. Pérdidas de energía menores en la impulsión

Accesorio	Número de accesorios
Curvas 90° con gran radio	70
Curvas 45° con gran radio	11
Válvulas de compuerta	4
Válvulas de retención	1
Válvula de control	1
Salida al tanque	1
Conexión T en línea	1
Conexión T desviado	2
Ensanchamiento DN 200 a DN 400	1

Seguidamente, se calcula la curva del sistema que relaciona la altura de la bomba y el caudal que circula por el sistema. En la ecuación I.1.7 se representa la curva del sistema.

$$H = C_1 + C_2 \cdot Q^2 \tag{I.1.7}$$

Donde  $C_1$  y  $C_2$  son dos constantes que se representan según las siguientes ecuaciones I.1.8 y I.1.9.

$$C_1 = \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \frac{1}{2 \cdot g} \cdot (v_2^2 - v_1^2) + (z_2 - z_1) \tag{I.1.8}$$

$$C_2 = \left[ f \cdot \left( \frac{L}{D} + \sum \frac{L_e}{D} \right) + \sum_i K_i \right] \cdot \frac{8}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g} \tag{I.1.9}$$

Donde  $P_1$  y  $P_2$  son las presiones a la entrada y a la salida del sistema que tiene el mismo valor de presión atmosférica y se desprecia,  $v_1$  y  $v_2$  son las velocidades a la entrada y a la salida, este término se desprecia ya que las velocidades toman un valor de 0 al tratarse de una cisterna y un tanque, y  $z_1$  y  $z_2$  son las alturas de la superficie del líquido.

Igualando la curva del sistema a la curva de la bomba del fabricante, se obtiene el punto de operación de la bomba en la siguiente figura I.2., que es donde las dos curvas se cruzan.

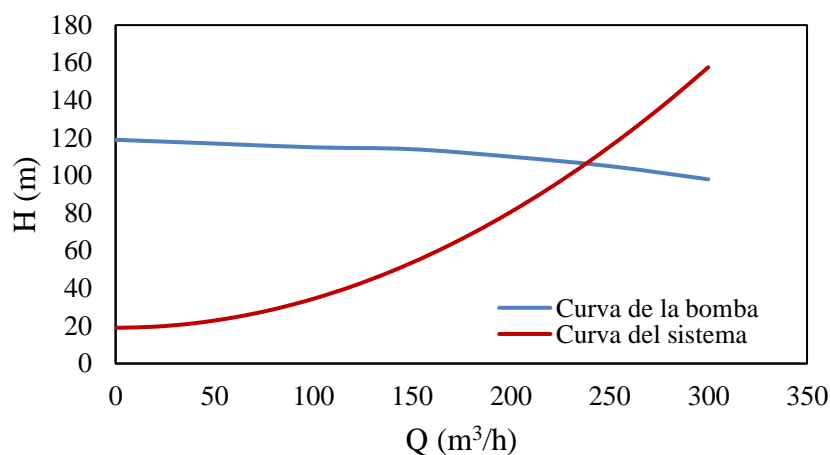


Figura I.2. Diagrama del punto de operación de la bomba de descarga de buques

En la siguiente tabla I.4. se determinan las pérdidas de carga que se generan, así como la velocidad del fluido por el interior de cada tubería.

Tabla I.4. Parámetros del punto de operación de la bomba

Parámetro	Valor
Caudal (m³/h)	237.9
Altura manométrica (m)	106.0
Velocidad (m/s)	1.91
Número de <i>Reynolds</i>	8313
Factor de fricción de <i>Darcy</i>	0.045
Pérdidas energía por fricción (m)	82.9
Pérdidas energía por curvas (m)	3.00
Pérdidas energía por válvulas (m)	3.41
Pérdidas energía debida a salida (m)	0.185
Pérdidas energía por conexión T (m)	0.407
Pérdidas energía por ensanchamientos (m)	0.0953
Pérdidas de energía totales (m)	90.0

Tal y como se puede observar, el número de *Reynolds* con la velocidad de paso sigue siendo correspondiendo a un fluido turbulento, además la velocidad a la que fluye el fluido está dentro del intervalo de velocidad para un líquido, es decir es menor de 2m/s. El caudal que se consigue con esta bomba es de 238m<sup>3</sup>/h y la altura manométrica es de 106m, además se puede observar que las pérdidas de carga son de 90m, y que en mayor parte son debidas a la fricción ya que se trata de una tubería muy larga.

## I.2. Tuberías y bombas de la carga de camiones

En la figura I.3., concretamente en la etapa 3, se representa la curva característica de la bomba en cuestión.

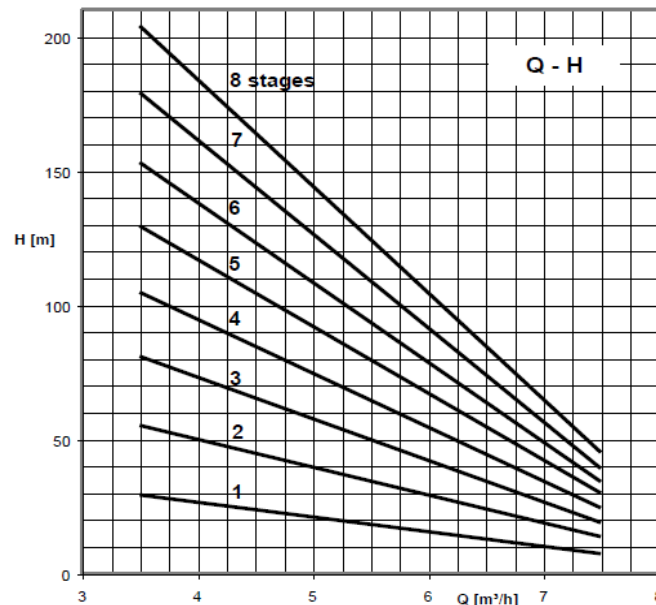


Figura I.3. Curva característica de la bomba en la curva 3

Observando el diagrama, se observa que el caudal máximo de trabajo de la bomba es de 7.5m<sup>3</sup>/h, por lo que la bomba ya existente no se adapta a las condiciones nuevas requeridas de un caudal de unos 36m<sup>3</sup>/h. Por este motivo se debe diseñar una nueva bomba.

Para determinar el nuevo diseño de la bomba de carga de camiones, se sigue el mismo procedimiento que en el apartado anterior, pero no se calculan los parámetros en función del caudal.

Primero, se determinan las propiedades iniciales para el diseño de la nueva bomba en la tabla I.5. y se preseleccionará una bomba mediante los datos que se tienen, seguidamente se calculará el punto de operación de la bomba y sus dimensiones y se recalcularán las pérdidas de carga hasta obtener el punto de operación constante.

Tabla I.5. Parámetros utilizados para el cálculo de la bomba

Propiedad	Valor
Densidad aceite a 52°C (kg/m <sup>3</sup> )	880.9
Viscosidad dinámica aceite a 52°C (kg/m·s)	0.0283
Presión entrada	Atmosférica
Presión salida	Atmosférica
Longitud aspiración (m)	12.63
Longitud impulsión (m)	15.00
Altura tanque (m)	15
Altura boca salida tanque (m)	0.63
Altura salida brazo carga (m)	6.0
Rugosidad tubería de acero al carbono (mm)	0.0024
$K$ codos 90°	0.3
$K$ ensanchamiento	$\left(1 - \left(D_1/D_2\right)^2\right)^2$
$K$ reducción	$0.5 \cdot \left(1 - \left(D_1/D_2\right)^2\right)^2$
$K$ válvula de retención abierta	2.0
$K$ válvula de globo	16
$K$ válvula de compuerta abierta	0.2
$K$ salida tanque	1.0

Primero, determinan las tuberías que se deberán implementar en la salida del tanque para la carga de camiones. El dimensionamiento de estas tuberías está limitado principalmente por la velocidad, ya que ésta debe ser inferior o igual a 2m/s, por la salida del tanque, la admisión de la bomba y el brazo de carga de camiones.

La salida del tanque corresponde con un DN 200, la tubería de descarga del tanque de DN 100 para poder unir la admisión de la bomba que se determinará cuando se haya seleccionado el tipo de bomba más adelante y el brazo de carga corresponde con un DN 80. Como la admisión de la bomba es de dimensiones cortas, no se tendrá en cuenta para los siguientes cálculos, sin embargo, una vez escogida la bomba, se recalculará teniendo en cuenta las pérdidas de carga de los tramos de admisión de la bomba. En la siguiente tabla I.6. se determinan las dimensiones de las tuberías.

Tabla I.6. Dimensiones de las tuberías de carga de camiones

Tubería	Función	Material	Diámetro	Diámetro interior (mm)
C6	Tanque a bomba	Acero al carbono	DN 100	109.1
C7	Bomba a cisterna	Acero al carbono	DN 80	82.5

Seguidamente, se realiza el estudio de la aspiración de la bomba con los datos que se tienen para después determinar el punto de operación y recalcular todos los parámetros. En la siguiente tabla I.7. se determina las características iniciales a un caudal de 36m<sup>3</sup>/h.

Tabla I.7. Características de la aspiración

Propiedad	Valor
DN	100
Área (m <sup>2</sup> )	0.009
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	36
Velocidad (m/s)	1.11
Longitud (m)	12.63
Número de codos 90°	3
Número de válvulas de compuerta	3
Reynolds	3700
Régimen	Transición

Una vez determinadas las principales características, se define el factor de fricción de Darcy, que para un fluido turbulento se calcula con la ecuación de Swanee y Jain (1976) expresada anteriormente en la fórmula I.1.4, para un fluido en régimen laminar se hace uso de la expresión I.2.1.

$$f = \frac{64}{Re} \tag{I.2.1}$$

Para un fluido en transición (laminar-turbulento) se utiliza el diagrama de *Moody* representado en la figura I.4.

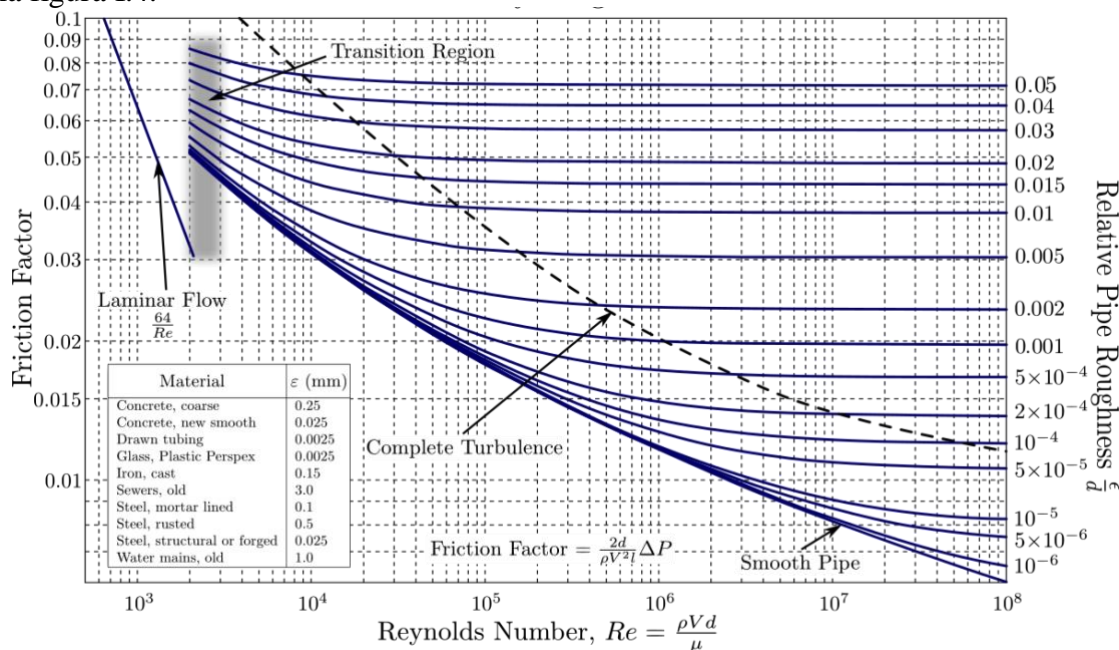


Figura I.4. Diagrama de Moody

A continuación, se calculan las pérdidas de carga mayores y menores. Las generadas por fricción se expresan en la ecuación I.2.2, las generadas por codos, válvulas, empalmes, reducciones, ensanchamientos y salida del tanque se representan en la ecuación I.2.3.

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \tag{I.2.2}$$

$$h_i = K_i \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \tag{I.2.3}$$

Finalmente, en la tabla I.8. se representan los resultados numéricos de las pérdidas de carga generadas en el tramo de aspiración.

Tabla I.8. Resultados numéricos de las pérdidas de carga en cada tramo de la aspiración

Propiedad	Valor
Pérdidas por fricción (m)	0.132
Pérdidas por codos (m)	0.057
Pérdidas por válvulas (m)	0.038
Pérdidas por la salida del tanque (m)	0.063
Pérdida reducción DN 200 – DN 100	0.255
Pérdidas totales (m)	0.545

Con relación a la impulsión de la bomba en la siguiente tabla I.9. se determinan las características de la tubería de impulsión

Tabla I.9. Características de la impulsión

Propiedad	Valor
DN	80
Área (m <sup>2</sup> )	0.0053
Velocidad (m/s)	1.87
Longitud (m)	15.0
Número de codos 90°	3
Número de válvulas de retención	1
Número de válvulas de control	1
Reynolds	4803
Régimen	Turbulento

Para calcular las pérdidas de carga, se hace uso de las mismas fórmulas que para calcular las pérdidas en la aspiración. En la tabla I.10. se determinan los resultados en la aspiración

Tabla I.10. Resultados numéricos de las pérdidas de carga en la aspiración

Propiedad	Valor
Pérdidas por fricción (m)	2.08
Pérdidas por codos (m)	0.161
Pérdidas por válvulas (m)	3.28
Pérdidas por la salida (m)	0.178
Pérdidas totales (m)	5.71

Con estos datos se realiza la ecuación de la curva del sistema y en la figura I.5. se representa.

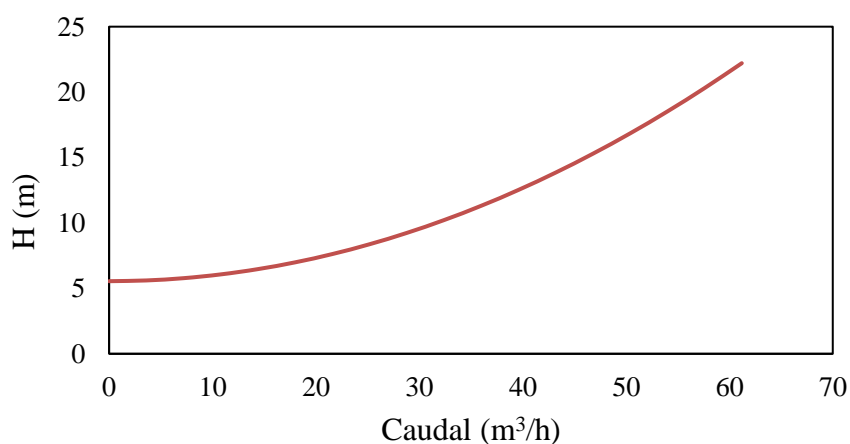


Figura I.5. Diagrama de la curva del sistema de carga a camiones

Finalmente, se escoge una bomba para impulsar el fluido por el sistema, obteniendo así la curva de dicha bomba proporcionada por el fabricante y de esta manera se determina el punto de operación de la bomba.

Para seleccionar la bomba correcta, se debe tener en cuenta que, para el caudal requerido, es decir de  $36\text{m}^3/\text{h}$ , se tiene una altura manométrica de unos  $11.3\text{m}$ . Sabiendo esto, y mediante el manual técnico de curvas características representado en la figura I.6. se determina el modelo de la bomba 50-200.

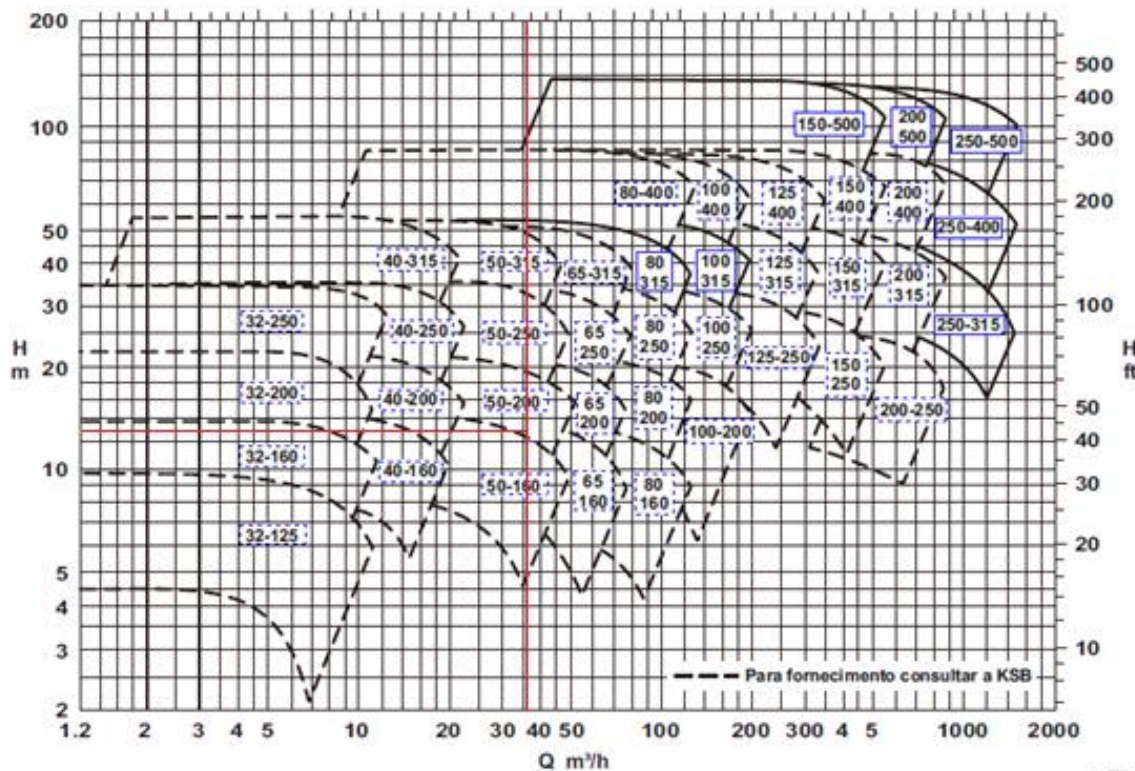


Figura I.6. Gráfico del campo de aplicación de los diferentes modelos de bomba

Se escoge un rodete de 180 ya que dará una altura manométrica mayor. Esta bomba tiene como diámetro de aspiración de DN 80 y de impulsión de DN 50 cosa que hará variar las pérdidas de carga y se deberá implementar una reducción a cada lado. En la siguiente figura I.7. se representa el punto de operación de la bomba.

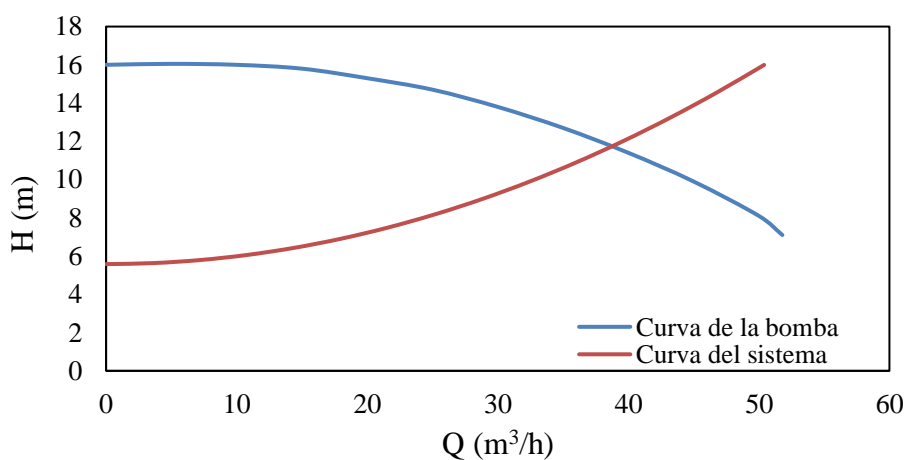


Figura I.7. Punto de operación de la bomba

Teniendo en cuenta esto, se obtiene un caudal de operación de 39.05m<sup>3</sup>/h con una altura manométrica de 11.83m. Se recalculan todos los parámetros incluyendo el número de *Reynolds* y el coeficiente de *Darcy*, y se obtienen los resultados representados en las tablas I.11. y I.12. con el nuevo caudal.

Tabla I.11. Pérdidas de carga en la aspiración

Tramo de la tubería	Propiedad	Valor
C6	Diámetro nominal	DN 100
	Velocidad (m/s)	1.20
	Longitud (m)	12.13
	Pérdidas por fricción (m)	0.508
	Pérdidas por codos (m)	0.067
	Pérdidas por válvulas (m)	0.044
	Pérdida por salida del tanque (m)	0.074
	Pérdidas por estrechamiento DN 200 a DN 100 (m)	0.300
	Pérdidas por estrechamiento DN 100 a DN 80 (m)	0.017
	Pérdidas totales (m)	1.01
Admisión bomba	Diámetro nominal	DN 80
	Velocidad (m/s)	2.03
	Longitud (m)	0.50
	Pérdidas por fricción (m)	0.044

Tabla I.12. Pérdidas de carga en la impulsión

Tramo de la tubería	Propiedad	Valor
Admisión bomba	Diámetro nominal	DN 50
	Velocidad (m/s)	4.65
	Longitud (m)	0.50
	Pérdidas por fricción (m)	0.728
	Pérdidas por ensanchamiento DN 50 a DN 80 (m)	0.350
		Pérdidas totales (m)
C7	Diámetro nominal	DN 80
	Velocidad (m/s)	2.03
	Longitud (m)	14.5
	Pérdidas por fricción (m)	2.35
	Pérdidas por codos (m)	0.189
	Pérdidas por válvulas (m)	3.36
		Pérdida por salida (m)
	Pérdidas totales (m)	6.10

Seguidamente, se representa la figura I.8. con las características de la bomba.

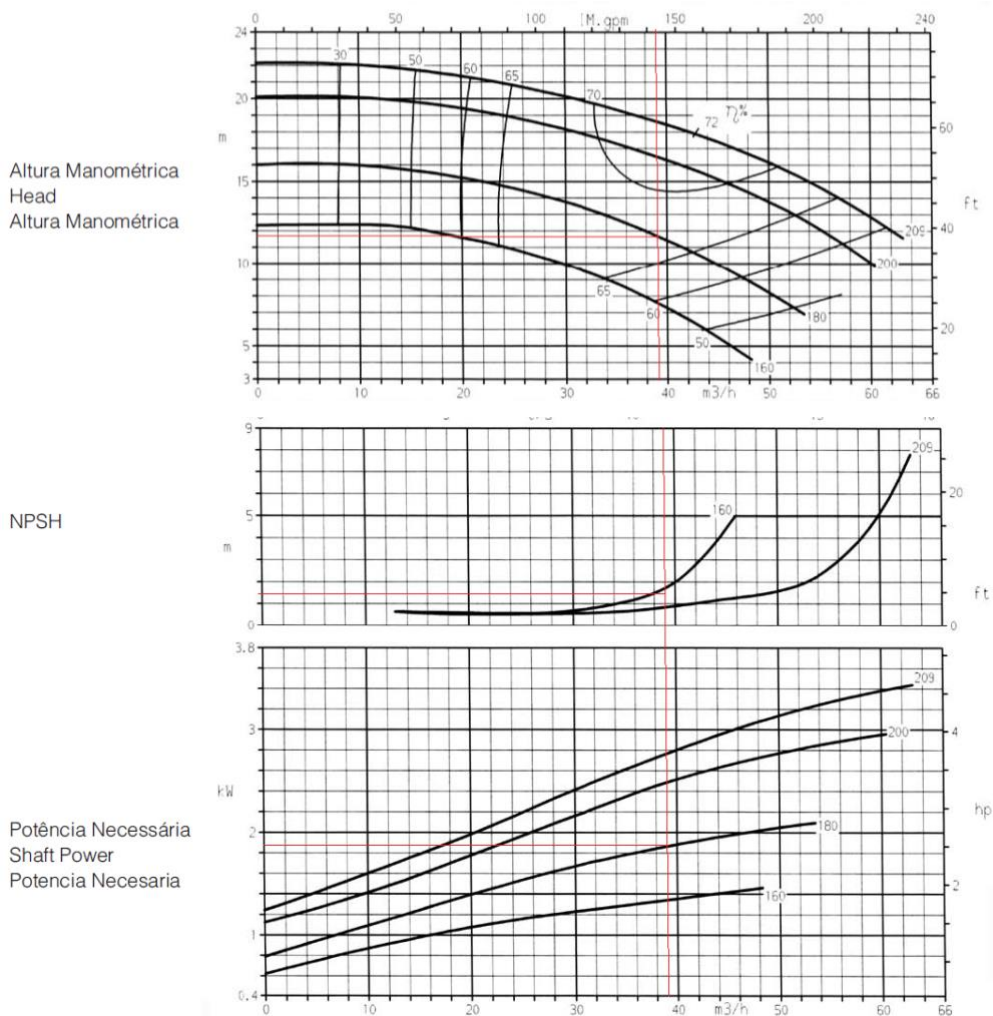


Figura I.8. Características de la bomba 50-200

La velocidad nominal de este tipo de bomba centrífuga es de 1750rpm, dando un caudal de 39.05m<sup>3</sup>/h, una altura manométrica de 11.83m, un NPSH requerido de 1.40m y una potencia necesaria de 1.82kW. Por lo que respecta el NPSH disponible, se calcula de la siguiente manera en la ecuación I.2.4.

$$NPSH_d = \frac{P_1}{\rho \cdot g} + z_1 - H_{a-1} - \frac{P_s}{\rho \cdot g} \tag{I.2.4}$$

Donde  $P_1$  es la presión de succión,  $z_1$  es la altura que tiene que superar la boma,  $H_{a-1}$  son las pérdidas en el tramo de aspiración y  $P_s$  es la presión de saturación del aceite a la temperatura de operación que, al tratarse de un valor muy pequeño, se desprecia. Se obtiene un NPSH disponible de 30.9m. Como el NPSH requerido es menor que el disponible, la bomba no cavitará.

Seguidamente se calcula la potencia transmitida al fluido mediante la ecuación I.2.5 y el rendimiento de la bomba en la fórmula I.2.6.

$$P_{fluido} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \tag{I.2.5}$$

$$\eta_b = \frac{P_{fluido}}{P_{necesaria}} \cdot 100 \tag{I.2.6}$$

Y, por lo tanto, la potencia del fluido es de 1.11kW y el rendimiento de la bomba de 60.9%.

### I.3. Pérdidas de calor en las tuberías

Mediante la siguiente fórmula I.3.1 se calculan las pérdidas de calor  $Q$  generadas en las tuberías.

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (I.3.1)$$

Donde  $\Delta T$  es la diferencia de temperaturas exterior  $T_{\infty}$  e interior  $T_1$  de las tuberías, es decir  $5^{\circ}\text{C}$  y  $52^{\circ}\text{C}$  y  $A$  es el área de transferencia de calor de las tuberías.

Para determinar el coeficiente global de transferencia de calor  $U$  se tiene en cuenta la conducción de la lana de roca y la convección natural del aire. En la siguiente ecuación I.3.2 se determina el cálculo del coeficiente de calor.

$$\frac{1}{U \cdot A} = R_{\text{conducción}} + R_{\text{convección}} \quad (I.3.2)$$

Donde  $R_{\text{conducción}}$  es la resistencia térmica de la lana de roca expresada en la ecuación I.3.3 y  $R_{\text{convección}}$  la resistencia térmica por convección natural del aire expresada en la ecuación I.3.4 y  $A$  es el área de transferencia de calor de las tuberías en  $\text{m}^2$ .

$$R_{\text{conducción}} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k} \quad (I.3.3)$$

$$R_{\text{convección}} = \frac{1}{h_o \cdot A} \quad (I.3.4)$$

Donde  $r_1$  y  $r_2$  son el radio exterior e interior de la lana de roca en m, que restándolos se corresponde con su espesor que depende de la normativa de la empresa,  $L$  la longitud de la tubería en m,  $k$  la conductividad de la lana de roca que es de  $0.04\text{W/m}\cdot\text{K}$  y  $h_o$  el coeficiente de convección natural del aire en  $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$  que se calcula a partir de una correlación para convección natural del aire para tubos horizontales y flujo turbulento expresada en la siguiente ecuación I.3.5.

$$h_o = 1.65 \cdot \sqrt[3]{\Delta T} \quad (I.3.5)$$

Donde  $\Delta T$  es la diferencia de temperaturas exterior y de la pared de la lana de roca de la tubería en  $^{\circ}\text{C}$  y  $D_t$  el diámetro del aislante exterior en m.

Para calcular la temperatura de la pared del aislante  $T_2$ , se igualan las pérdidas de calor generadas por la conducción a las generadas por la convección. Esta ecuación se representa en la ecuación I.3.6.

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k}{\ln(r_2/r_1)} \cdot (T_1 - T_2) = 1.65 \cdot \sqrt[3]{T_2 - T_{\infty}} \cdot A \cdot (T_2 - T_{\infty}) \quad (I.3.6)$$

## ANEXO II. DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

### II.1. Pérdidas de calor por el techo

El techo, se trata de un techo flotante de acero inoxidable. Este techo dispone de un flotador por el aro de la periferia, de manera que este flotador está siempre en contacto con el líquido y sube a medida que se llena el tanque y el volumen del líquido va aumentando. En cambio, la chapa de acero no está en contacto con el líquido

Está compuesto por una chapa de acero inoxidable de 4mm de grosor y tiene un diámetro de 20.6m. Para calcular las pérdidas de calor  $Q_t$  que se producen en el techo, se hace uso de la siguiente ecuación II.1.1.

$$Q_t = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (II.1.1)$$

Donde  $U$  es el coeficiente global de transferencia de calor,  $A$  es el área de transferencia de calor del techo y  $\Delta T$  la diferencia de temperaturas interior y exterior. Para determinar el coeficiente global de transferencia de calor, se utiliza la siguiente ecuación II.1.2.

$$\frac{1}{U \cdot A} = R_{aire,1} + R_{aire,2} \quad (II.1.2)$$

Donde  $R_{aire,1}$  es la resistencia por convección natural del aire que se genera entre el fluido y la chapa de acero del techo y  $R_{aire,2}$  es la resistencia por convección natural del aire en el exterior. En este caso, se ha despreciado la resistencia por conducción del acero, ya que es despreciable frente a las conducciones, y se trata de una capa fina y de un material muy conductivo.

Para calcular la convección natural interior se emplea la correlación para una placa fría mirando hacia abajo y para un flujo laminar expresada en la ecuación II.1.3 y para la convección natural la misma, pero para un flujo turbulento expresada en la ecuación II.1.4.

$$R_{convección,1} = 1.32 \cdot \left(\frac{\Delta T}{L}\right)^{1/4} \quad (II.1.3)$$

$$R_{convección,2} = 1.52 \cdot (\Delta T)^{1/3} \quad (II.1.4)$$

Donde  $L$  es la longitud que se corresponde con el diámetro y  $\Delta T$  es la diferencia de temperaturas ente el fluido y la chapa del techo para el caso de convección interior, y para el caso de convección exterior es la diferencia de temperaturas entre la chapa del techo y el aire exterior.

Para calcular la temperatura de la chapa, y por lo tanto la diferencia de temperaturas y las pérdidas de calor, se igualan las pérdidas de calor por convección interior a las exteriores en la ecuación II.1.5, de manera que la única incógnita es la temperatura de la chapa.

$$Q_t = R_{aire,1} \cdot (T_1 - T_2) = R_{aire,2} \cdot (T_2 - T_\infty) \quad (II.1.5)$$

Donde  $T_1$  es la temperatura interior del fluido de 41°C,  $T_2$  es la temperatura de la chapa y  $T_\infty$  la temperatura exterior del aire de 5°C. Con esto, se obtiene una temperatura de la chapa de acero del techo de 15.6°C, y por lo tanto unas pérdidas de calor por el techo de 11.78kW.

### II.2. Pérdidas de calor por el suelo

La chapa de acero al carbono del suelo del tanque está en contacto con el suelo del medio, es decir hormigón es este caso. Para determinar las pérdidas por el suelo  $Q_s$  se utiliza la siguiente ecuación II.2.1 y para determinar el coeficiente global de transferencia de calor  $U$  la ecuación II.2.2.

$$Q_s = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (II.2.1)$$

$$\frac{1}{U \cdot A} = R_{epoxi} + R_{acero} + R_{medio} \quad (II.2.2)$$

Donde  $R_{epoxi}$  es la resistencia por conducción del recubrimiento interior del tanque de resina epoxi,  $R_{acero}$  es la resistencia por conducción de la chapa de acero del suelo del tanque y  $R_{medio}$  es la resistencia del medio.

Para determinar la resistencia por conducción, se considera como una placa plana y se expresa en la ecuación II.2.3 para la resina epoxi y en la ecuación II.2.4 para la chapa de acero. Para determinar la resistencia del medio, se utiliza la correlación de un disco circular sobre la superficie del medio representada en la ecuación II.2.5.

$$R_{epoxi} = \frac{L}{A \cdot k_{epoxi}} \quad (II.2.3)$$

$$R_{acero} = \frac{L}{A \cdot k_{acero}} \quad (II.2.4)$$

$$R_{medio} = \frac{s}{2 \cdot D} \quad (II.2.5)$$

Donde  $L$  es la longitud de la placa que se corresponde con el diámetro,  $A$  es el área de la chapa del suelo circular,  $k$  es la conductividad térmica que para la resina epoxi es de  $0.77\text{W/m}\cdot\text{K}$  y para el acero al carbono es de  $40\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ ,  $D$  es el diámetro de la chapa del suelo y  $s$  se corresponde a la inversa de la conductividad del hormigón que es de  $2.3\text{W/m}\cdot\text{K}$ .

Una vez obtenidos estos parámetros, se calculan las pérdidas de calor por el suelo del tanque que son de  $2.46\text{kW}$ .

### II.3. Pérdidas de calor por los laterales

En este apartado se determinan las pérdidas de calor que se generan en los laterales del tanque. En la figura II.1. se representa un esquema del transporte de calor.

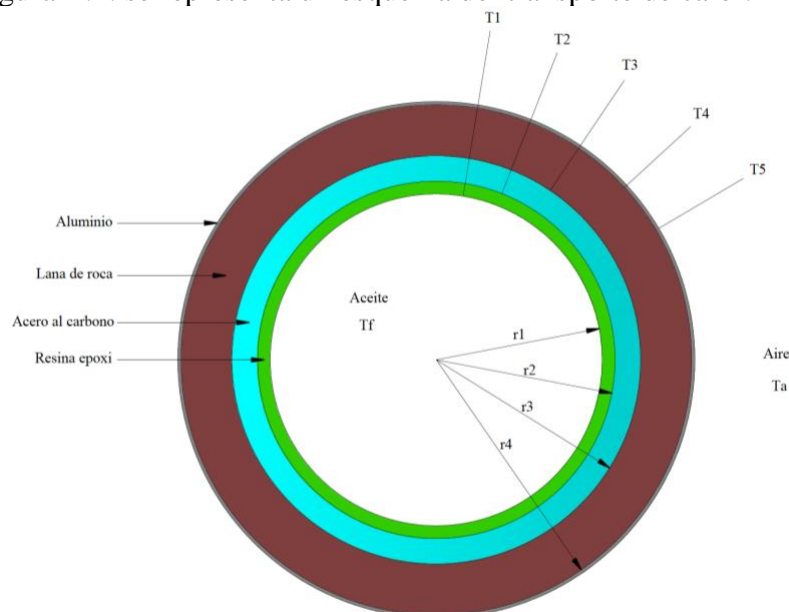


Figura II.1. Esquema de las pérdidas de calor laterales en el tanque

Mediante la siguiente fórmula II.3.1 se calculan las pérdidas de calor  $Q_l$  generadas en los laterales del tanque.

$$Q_l = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (II.3.1)$$

Para determinar el coeficiente global de transferencia de calor  $U$  se tiene en cuenta la conducción de la lana de roca y la convección natural del aire. En la siguiente ecuación II.3.2 se determina el cálculo del coeficiente de calor.

$$\frac{1}{U \cdot A} = R_{epoxi} + R_{acero} + R_{lana} + R_{aire} \quad (II.3.2)$$

Donde  $R_{epoxi}$  es la resistencia térmica por conducción de la resina epoxi expresada en la ecuación II.3.3,  $R_{acero}$  es la resistencia por conducción del acero al carbono expresada en la ecuación II.3.4,  $R_{lana}$  es la resistencia térmica por conducción de la lana de roca expresada en la ecuación II.3.5,  $R_{aire}$  la resistencia térmica por convección natural del aire expresada en la ecuación II.3.6 y  $A$  es el área de transferencia de calor del tanque en  $m^2$ .

$$R_{epoxi} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k_{epoxi}} \quad (II.3.3)$$

$$R_{acero} = \frac{\ln(r_3/r_2)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k_{acero}} \quad (II.3.4)$$

$$R_{lana} = \frac{\ln(r_4/r_3)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k_{lana}} \quad (II.3.5)$$

$$R_{aire} = \frac{1}{h_o \cdot A} \quad (II.3.6)$$

Donde  $r_3$  y  $r_2$  son el radio exterior e interior del tanque de acero al carbono,  $r_1$  el radio del recubrimiento interior de la resina epoxi, y  $r_4$  el radio de la lana de roca que restando el radio exterior del tanque de acero corresponde con el espesor de la lana de roca,  $L$  la altura del tanque,  $k$  la conductividad de cada material que para la resina epoxi es de  $0.77W/m \cdot K$ , para el acero es de  $40W/m \cdot K$  y para la lana de roca que es de  $0.04W/m \cdot K$  y  $h_o$  el coeficiente de convección natural del aire en  $W/m^2 \cdot K$  que se calcula a partir de la correlación para cilindros verticales y flujo laminar ya que el tanque está cubierto por una pared cilíndrica de hormigón que hace que el aire de entre el tanque y esta pared de hormigón tenga velocidad 0. Esta correlación se expresa en la siguiente ecuación II.3.7.

$$h_o = 1.42 \cdot \left( \frac{T_p - T_\infty}{L} \right)^{1/4} \quad (II.3.7)$$

Donde  $L$  es la longitud vertical del tanque, es decir la altura,  $T_\infty$  es la temperatura exterior del aire considerada para un clima invernal de  $5^\circ C$  y  $T_p$  es la temperatura de la pared exterior de la lana de roca  $T_4$  que se calcula teniendo en cuenta que las pérdidas de calor son constantes. Igualando las pérdidas de calor a través de la conducción expresadas en la ecuación II.3.8 a las pérdidas a través de la convección expresadas en la fórmula II.3.9, se obtiene la temperatura de la pared exterior  $T_4$  de la lana de roca, y por tanto el coeficiente de convección natural del aire en función del grosor del aislante.

$$Q_l = \left( \frac{\ln(r_2/r_1)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k_{epoxi}} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k_{acero}} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k_{lana}} \right)^{-1} \cdot (T_1 - T_4) \quad (II.3.8)$$

$$Q_l = \left( \frac{1}{1.31 \cdot (T_4 - T_\infty)^{1/3} \cdot A} \right)^{-1} \cdot (T_4 - T_\infty) \quad (II.3.9)$$

Donde  $T_1$  es la temperatura interior del tanque que es de 41°C. Una vez obtenida esta temperatura, se obtiene las pérdidas de calor producidas en el lateral  $Q_l$  en función del grosor de la lana de roca, que son las que el traceado deberá aportar al tanque. En la siguiente tabla II.1. se determinan los resultados obtenidos para los diferentes espesores, sabiendo que la resistencia por conducción para la resina epoxi, que no depende del espesor del aislante, es de  $3.77 \cdot 10^{-6}$  K/W y para el acero al carbono, que tampoco depende del espesor del aislante, es de  $9.66 \cdot 10^{-8}$  K/W.

Tabla II.1. Pérdidas de calor laterales en el tanque en función del grosor del aislante

Espesor (mm)	D exterior aislamiento (m)	R aislante (K/W)	$h_o$ (W/m <sup>2</sup> ·K)	R aire (K/W)	$Q_l$ (kW)
40	20.69	$9.635 \cdot 10^{-4}$	1.397	$6.886 \cdot 10^{-4}$	21.74
50	20.71	$1.204 \cdot 10^{-3}$	1.356	$7.084 \cdot 10^{-4}$	18.79
60	20.73	$1.444 \cdot 10^{-3}$	1.322	$7.260 \cdot 10^{-4}$	16.56
80	20.77	$1.923 \cdot 10^{-3}$	1.267	$7.560 \cdot 10^{-4}$	13.42
100	20.81	$2.402 \cdot 10^{-3}$	1.224	$7.813 \cdot 10^{-4}$	11.30
120	20.85	$2.879 \cdot 10^{-3}$	1.188	$8.031 \cdot 10^{-4}$	9.766
140	20.89	$3.356 \cdot 10^{-3}$	1.158	$8.224 \cdot 10^{-4}$	8.608
150	20.91	$3.594 \cdot 10^{-3}$	1.145	$8.312 \cdot 10^{-4}$	8.128
160	20.93	$3.832 \cdot 10^{-3}$	1.132	$8.396 \cdot 10^{-4}$	7.700
180	20.97	$4.307 \cdot 10^{-3}$	1.109	$8.553 \cdot 10^{-4}$	6.969
200	21.01	$4.781 \cdot 10^{-3}$	1.089	$8.695 \cdot 10^{-4}$	6.367
220	21.05	$5.254 \cdot 10^{-3}$	1.071	$8.826 \cdot 10^{-4}$	5.863
240	21.09	$5.726 \cdot 10^{-3}$	1.054	$8.948 \cdot 10^{-4}$	5.434
260	21.13	$6.197 \cdot 10^{-3}$	1.039	$9.061 \cdot 10^{-4}$	5.065
280	21.17	$6.667 \cdot 10^{-3}$	1.025	$9.166 \cdot 10^{-4}$	4.744
300	21.21	$7.137 \cdot 10^{-3}$	1.012	$9.265 \cdot 10^{-4}$	4.462
320	21.25	$7.606 \cdot 10^{-3}$	1.001	$9.359 \cdot 10^{-4}$	4.213
340	21.29	$8.073 \cdot 10^{-3}$	0.9893	$9.446 \cdot 10^{-4}$	3.990
360	21.33	$8.540 \cdot 10^{-3}$	0.9788	$9.530 \cdot 10^{-4}$	3.791
380	21.37	$9.006 \cdot 10^{-3}$	0.9690	$9.608 \cdot 10^{-4}$	3.611
400	21.41	$9.471 \cdot 10^{-3}$	0.9597	$9.683 \cdot 10^{-4}$	3.447
420	21.45	$9.935 \cdot 10^{-3}$	0.9509	$9.755 \cdot 10^{-4}$	3.298
440	21.49	$1.040 \cdot 10^{-2}$	0.9426	$9.823 \cdot 10^{-4}$	3.162
460	21.53	$1.086 \cdot 10^{-2}$	0.9346	$9.887 \cdot 10^{-4}$	3.037
480	21.57	$1.132 \cdot 10^{-2}$	0.9271	$9.950 \cdot 10^{-4}$	2.922
500	21.61	$1.178 \cdot 10^{-2}$	0.9199	$1.001 \cdot 10^{-3}$	2.815

Como era de esperar, a medida que se aumenta el grosor del aislamiento, disminuyen las pérdidas de calor. Para determinar el grosor óptimo, se debe realizar un pequeño estudio económico de los costes de la lana de roca, ya que, si no, se escogería un grosor infinito para minimizar al máximo las pérdidas de calor, y esto no es posible.

#### II.4. Determinación del espesor de lana de roca

Una vez obtenidas todas las pérdidas de calor totales producidas en el tanque, se determina el grosor óptimo, teniendo en cuenta las pérdidas económicas que esto genera.

En la siguiente tabla II.2. se determinan las pérdidas totales, teniendo en cuenta las pérdidas producidas en los laterales, en el techo y en el suelo del tanque.

Tabla II.2. Pérdidas totales

<b>Espesor (mm)</b>	<b>Q<sub>l</sub> (kW)</b>	<b>Q<sub>t</sub> (kW)</b>	<b>Q<sub>s</sub> (kW)</b>	<b>Q (kW)</b>
40	21.74	11.78	2.461	35.98
50	18.79	11.78	2.461	33.03
60	16.56	11.78	2.461	30.80
80	13.42	11.78	2.461	27.66
100	11.30	11.78	2.461	25.54
120	9.766	11.78	2.461	24.01
140	8.608	11.78	2.461	22.85
150	8.128	11.78	2.461	22.37
160	7.700	11.78	2.461	21.94
180	6.969	11.78	2.461	21.21
200	6.367	11.78	2.461	20.61
220	5.863	11.78	2.461	20.11
240	5.434	11.78	2.461	19.68
260	5.065	11.78	2.461	19.31
280	4.744	11.78	2.461	18.99
300	4.462	11.78	2.461	18.70
320	4.213	11.78	2.461	18.46
340	3.990	11.78	2.461	18.23
360	3.791	11.78	2.461	18.03
380	3.611	11.78	2.461	17.85
400	3.447	11.78	2.461	17.69
420	3.298	11.78	2.461	17.54
440	3.162	11.78	2.461	17.40
460	3.037	11.78	2.461	17.28
480	2.922	11.78	2.461	17.16
500	2.815	11.78	2.461	17.06

Como se puede observar, las pérdidas laterales disminuyen a medida que se aumenta el grosor del aislamiento. También se puede observar que las pérdidas generadas por el techo son bastante elevadas a causa de que el techo se compone de una chapa fina de acero al carbono que es un material conductor. Para reducir estas pérdidas de calor por el techo, se podría implementar un falso techo en la parte de arriba del tanque, de manera que se cubriría todo el interior del tanque.

Sabiendo que el precio de la energía eléctrica es de 62€/MWh, en la figura II.2. se determina la variación del consumo de energía eléctrica del traceado en miles de €/año en función del espesor de la lana de roca.

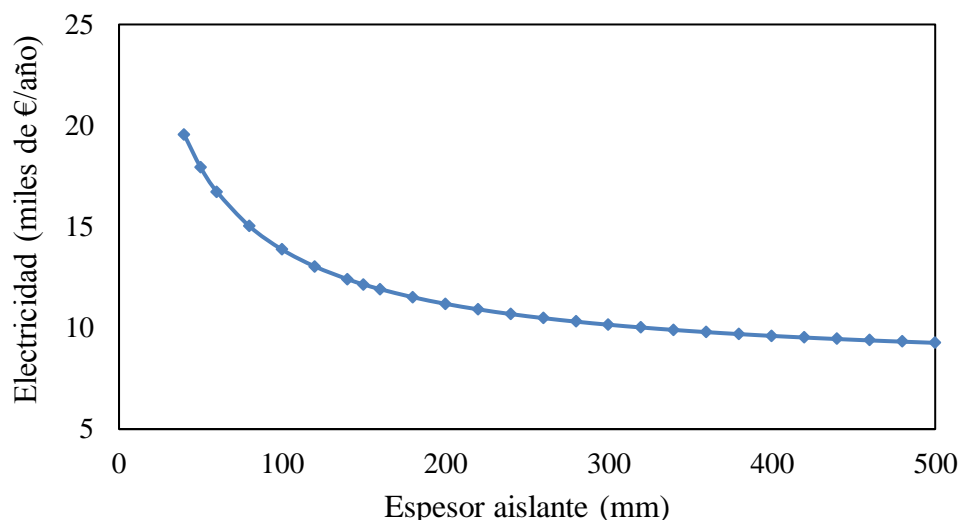


Figura II.2. Variación del consumo en función del espesor

Tal y como se puede observar, a medida que se aumenta el espesor del aislante, las pérdidas disminuyen, y por lo tanto el consumo de energía eléctrica del traceado disminuye también.

Para escoger el espesor, se tiene como objetivo optimizar el coste anual, es decir minimizar la energía eléctrica consumida y la amortización del aislante. Para ello, primero se debe determinar el coste que conlleva la aplicación del aislante. En este apartado se tiene en cuenta del precio del aislante dependiendo del grosor y el coste de montaje que depende de las capas que se acoplen. Además, se sabe que el coste del montaje para equipos con una capa de aislamiento es de  $15.01\text{€}/\text{m}^2$  y para equipos con dos capas de aislamiento de  $22.14\text{€}/\text{m}^2$ . Sabiendo que el área exterior del tanque es de  $1036\text{m}^2$ , en la siguiente tabla II.3. se determina el coste de la lana de roca, el coste del montaje y el coste total en función de cada grosor.

Tabla II.3. Precios de la lana de roca dependiendo del espesor

<b>Espesor (mm)</b>	<b>Nº de capas</b>	<b>Precio (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Precio aislamiento (m€)</b>	<b>Coste montaje (m€)</b>	<b>Coste total (m€)</b>
40	1	36.47	37.78	15,55	53,33
50	1	38.21	39.58	15,55	55,13
60	1	39.45	40.87	15,55	56,41
80	1	42.24	43.76	15,55	59,30
100	1	44.54	46.14	15,55	61,69
120	1	46.81	48.49	15,55	64,04
140	2	58.55	60.65	22,93	83,58
150	2	59.84	61.99	22,93	84,92
160	2	62.50	64.74	22,93	87,68
180	2	63.02	65.28	22,93	88,21
200	2	65.25	67.59	22,93	90,52
220	2	67.55	69.97	22,93	92,91
240	2	69.85	72.36	22,93	95,29
260	2	72.15	74.74	22,93	97,67
280	2	74.45	77.12	22,93	100,1
300	2	76.75	79.50	22,93	102,4
320	2	79.05	81.89	22,93	104,8
340	2	81.35	84.27	22,93	107,2
360	2	83.65	86.65	22,93	109,6
380	2	85.95	89.03	22,93	112,0
400	2	88.25	91.42	22,93	114,3
420	2	90.55	93.80	22,93	116,7
440	2	92.85	96.18	22,93	119,1
460	2	95.15	98.56	22,93	121,5
480	2	97.45	100.9	22,93	123,9
500	2	99.75	103.3	22,93	126,3

Una vez obtenido el coste del aislamiento, se determina una amortización de 10 años, por lo que se obtendrá un coste de la inversión anual durante 10 años. Con esto, se calcula el coste total, que es la suma del coste de la inversión más las pérdidas generadas en función del aislamiento. En la siguiente tabla II.4. se pueden observar los resultados del coste total.

Tabla II.4. Coste total del aislamiento en función del grosor de la lana de roca


<b>Espesor (mm)</b>	<b>Coste pérdidas (m€/año)</b>	<b>Coste inversión (m€/año)</b>	<b>Coste total (m€/año)</b>
40	19.54	5.333	24.88
50	17.94	5.513	23.45
60	16.73	5.641	22.37
80	15.02	5.930	20.95
100	13.87	6.169	20.04
120	13.04	6.404	19.44
140	12.41	8.358	20.77
150	12.15	8.492	20.64
160	11.92	8.768	20.68
180	11.52	8.821	20.34
200	11.19	9.052	20.25
220	10.92	9.291	20.21
240	10.69	9.529	20.22
260	10.49	9.767	20.25
280	10.31	10.01	20.32
300	10.16	10.24	20.40
320	10.02	10.48	20.51
340	9.902	10.72	20.62
360	9.794	10.96	20.75
380	9.696	11.20	20.89
400	9.607	11.43	21.04
420	9.527	11.67	21.20
440	9.453	11.91	21.36
460	9.385	12.15	21.53
480	9.322	12.39	21.71
500	9.264	12.63	21.89

Como se puede observar, el grosor de 120mm tiene el menor coste total de todos los espesores.

## ANEXO III. DISEÑO DEL CONTROL

### III.1. Comprobación del coeficiente de paso de las válvulas de control

Se utiliza la herramienta de Samson para calcular el dimensionamiento de las válvulas, y comprobar que el cálculo está realizado correctamente.

Oferta/nº ped.:	Cliente:						
Proyec.:	Fecha: 08/06/2018 elaborado por:						
Número posición	Número punto med.		 Dimens.válvula Versión 4.70				
Fluido: Agua	Estado fluido en entrada: líquido						
<b>Datos proceso y fluido</b>							
Caudal	Q	[m³/h]	Caso 1: 237.9	Caso 2: 237.9	Caso 3: 237.9		
Presión entrada	p1	[bar(a)]	2.33	2.33	2.33		
Presión salida	p2	[bar(a)]	2.08	2.08	2.08		
Temperat. entrada	t1	[°C]	52	52	52		
Densidad	rho1	[kg/m³]	880.9	880.9	880.9		
Pres.vapor	pv	[bar(a)]	1	1	1		
Pres.critica	pc	[bar(a)]	3.69	3.69	3.69		
Viscosidad	eta	[mPas]	2.83E-05	2.83E-05	2.83E-05		
<b>Resultados y factores</b>							
<b>Coef.paso válv.calcul.</b>	<b>Kv</b>		<b>447</b>	<b>447</b>	<b>447</b>		
Paso nom.mín.nec.	DN nec.	[mm]	135	135	135		
Velocid. de salida	w	[m/s]	2.10	2.10	2.10		
<b>SDP VDMA 24422 mod.</b>	<b>LA*</b>	<b>[dB(A)]</b>	<b>47</b>	<b>47</b>	<b>47</b>		
Carrera relat.	h	[%]	75.0	75.0	75.0		
Relación de pres.diferenc.	xF		0.19	0.19	0.19		
Valor FL	FL		0.91	0.91	0.91		
Valor xFmr	xFmr		0.70	0.70	0.70		
Fact.forma válv.	Fd		0.44	0.44	0.44		
Valor xFz a plena carga	xFz		0.20	0.20	0.20		
Exp. de nivel	F1		-7.40	-7.40	-7.40		
Exp. inclinación	F2		0.30	0.30	0.30		
Elem. correcc.	Delta LF [dB]		0	0	0		
<b>Datos válv.</b>							
<b>Modelo válvula</b>		<b>de paso recto</b>	<b>Serie</b>	<b>240</b>			
<b>Coef.paso válv.</b>	<b>Kvs</b>	<b>630</b>	<b>Tipo</b>	<b>3241</b>			
<b>Diám. nom.</b>	<b>DN [mm]</b>	<b>200</b>	<b>Material cuerpo</b>	<b>EN-JS1049</b>			
<b>Presión nomin.</b>	<b>PN</b>	<b>25</b>	<b>Reducc. de ruido</b>	<b>ning.</b>			
<b>Carrera</b>	<b>H [mm]</b>	<b>60</b>	<b>Caracter.</b>	<b>Isoporc.</b>			
<b>Diám.asien.</b>	<b>DA [mm]</b>	<b>200</b>	<b>Sentido de circul.</b>	<b>abriendo</b>			
<b>Diám.hus.obt.</b>	<b>Dh [mm]</b>	<b>40</b>	<b>Comp.presión</b>	<b>sin (0.0)</b>			
<b>Material de los internos</b>	<b>4571 / 316Ti</b>		<b>Clase fugas</b>	<b>IV</b>			
<b>Prensaest.</b>	<b>PTFE (1.6)</b>		<b>P.sup.</b>	<b>estándar</b>			
<b>C. cierre</b>	<b>sello metal (2.0)</b>						
<b>Datos tubo</b>							
Tipo tubería	Tubo acero	Aislamiento tubería	Temperatura D1 [mm]	200	D2 [mm]	200	
cR [m/s]	5100	rho [kg/m³]	7800	di [mm]	210.1	s [mm]	4.5
<b>Datos accion.</b>							
<b>Tipo</b>		<b>3277</b>	<b>Pos.seguridad</b>	<b>Husillo sali</b>			
<b>Superf.membr.</b>	<b>A</b>	<b>[cm²]</b>	<b>700</b>	<b>pman [bar]</b>	<b>0.90 ... 1.00</b>		
(Puntos:	p1máx [bar(a)]	2.3	p2mín [bar(a)]	1.01	t1máx [°C]	52)	
			<b>A.alim</b>	<b>pal [bar]</b>	<b>1.20</b>		
<b>Result. accionam.</b>							
Fuerza man. nec	Fo min. [kN]	5.74	Dif.nec.pcerr.-ps100	d ps [bar]	0.05		
Fuerza man.adm.	Fadm. [kN]	167.13	Fuer. accion.	Fa [kN]	6.31		
Pd adm.en obtur.	dp adm. [bar]	1.50	Factor de segur. cerrar	Fa/Fo(FS)	1.10		
Val.inic.pr.man.nec.	ps0min. [bar]	0.90					

Oferta/nºped.:  
Proyec.:

Cliente:  
Fecha: 14/05/2018 elaborado por:



Número posición Fluido: Agua      Número punto med. Estado fluido en entrada: líquido

Dimens válvula Versión 4.70

**Datos proceso y fluido**

			Caso 1	Caso 2	Caso 3
Caudal	Q	[m³/h]	39.05	39.05	39.05
Presión entrada	p1	[bar(a)]	2.53	2.53	2.53
Presión salida	p2	[bar(a)]	2.28	2.28	2.28
Temperat. entrada	t1	[°C]	52	52	52
Densidad	rho1	[kg/m³]	880.9	880.9	880.9
Pres.vapor	pv	[bar(a)]	1	1	1
Pres.crítica	pc	[bar(a)]	3.69	3.69	3.69
Viscosidad	eta	[mPas]	2.83E-05	2.83E-05	2.83E-05

**Resultados y factores**

<b>Coef.paso válv.calcul.</b>	<b>Kv</b>		<b>73.3</b>	<b>73.3</b>	<b>73.3</b>
Paso nom.mín.nec.	DN nec. [mm]		52.6	52.6	52.6
Velocid. de salida	w [m/s]		2.16	2.16	2.16
<b>SDP VDMA 24422 mod.</b>	<b>LA*</b>	<b>[dB(A)]</b>	<b>38</b>	<b>38</b>	<b>38</b>
Carrera relat.	h [%]		86.5	86.5	86.5
Relación de pres.diferenc.	xF		0.16	0.16	0.16
Valor FL	FL		0.91	0.91	0.91
Valor xFmr	xFmr		0.70	0.70	0.70
Fact.forma válv.	Fd		0.44	0.44	0.44
Valor xFz a plena carga	xFz		0.20	0.20	0.20
Exp. de nivel	F1		-6.77	-6.77	-6.77
Exp. inclinación	F2		0.30	0.30	0.30
Elem. correcc.	Delta LF [dB]		0	0	0

**Datos válv.**

<b>Modelo válvula</b>		<b>de paso recto</b>	<b>Serie</b>	<b>240</b>
<b>Coef.paso válv.</b>	<b>Kvs</b>	<b>100</b>	<b>Tipo</b>	<b>3241</b>
<b>Diám. nom.</b>	<b>DN [mm]</b>	<b>80</b>	<b>Material cuerpo</b>	<b>EN-JS1049</b>
<b>Presión nomin.</b>	<b>PN</b>	<b>25</b>	<b>Reducc. de ruido</b>	<b>ning.</b>
<b>Carrera</b>	<b>H [mm]</b>	<b>30</b>	<b>Caracter.</b>	<b>Isoporc.</b>
<b>Diám.asien.</b>	<b>DA [mm]</b>	<b>80</b>	<b>Sentido de circul.</b>	<b>abriendo</b>
<b>Diám.hus.obt.</b>	<b>Dh [mm]</b>	<b>10</b>	<b>Comp.presión</b>	<b>sin (0.0)</b>
<b>Material de los internos</b>	<b>4571 / 316Ti</b>		<b>Clase fugas</b>	<b>IV</b>
<b>Prensaest.</b>	<b>PTFE (1.6)</b>		<b>P.sup.</b>	<b>estándar</b>
<b>C. cierre</b>	<b>sello metal (2.0)</b>			

**Datos tubo** Tipo tubería cR [m/s] 5100      Tubo acero      Aislamiento tubería rho [kg/m³] 7800      TemperaturaD1 [mm] 80      di [mm] 82.5      D2 [mm] 80      s [mm] 3.2

**Datos accion.**

<b>Tipo Superf.membr.</b>	<b>A</b>	<b>[cm²]</b>	<b>3277</b>	<b>700</b>	<b>Pos.seguridad Margen pres.mando A.alim</b>	<b>Husillo sali pman [bar] pal [bar]</b>	<b>0.21 ... 1.00</b>	<b>1.20</b>
(Puntos:	p1máx [bar(a)]	2.5	p2mín [bar(a)]	1.01	t1máx [°C]	52)		

**Result. accionam.**

Fuerza man. nec	Fo min. [kN]	1.33	Dif.nec.pcerr.-ps100	d ps [bar]	0.00971
Fuerza man.adm.	Fadm. [kN]	26.77	Fuer. accion.	Fa [kN]	1.46
Pd adm.en obtur.	dp adm. [bar]	1.78	Factor de segur. cerrar	Fa/Fo(FS)	1.10
Val.inic.pr.man.nec.	ps0min. [bar]	0.21			

## ANEXO IV. HOJAS DE ESPECIFICACIÓN DE EQUIPOS

### IV.1. Hoja especiación de la bomba de carga de camiones

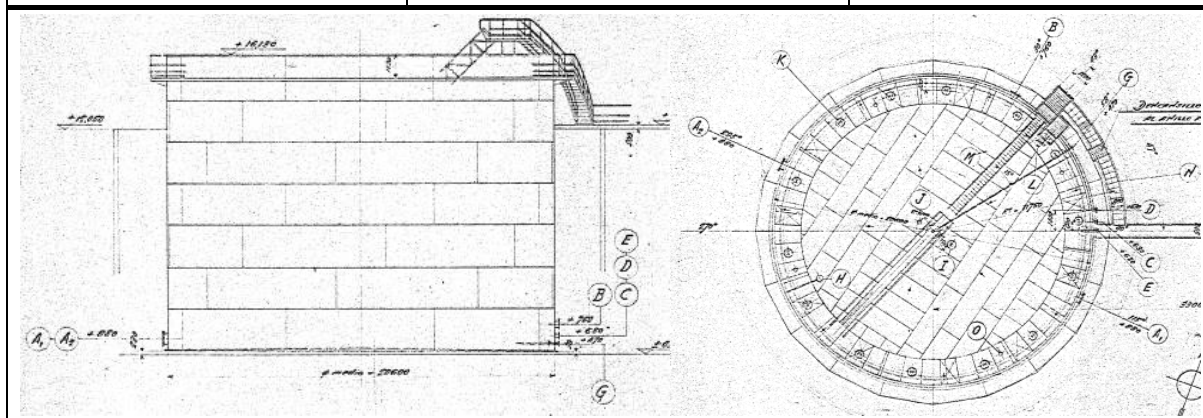
Equipo	<b>Bomba</b>																																	
Denominación	P-5322																																	
Fabricante y modelo	KSB CPK 50-200																																	
Fluido impulsado	Derivados del aceite de palma																																	
Temperatura de operación	52	°C																																
Densidad (52°C)	880.9	kg/m <sup>3</sup>																																
Viscosidad (52°C)	0.0283	kg/m·s																																
<b>Condiciones de aspiración</b>																																		
NPSH Disponible	30.9	m																																
NPSH Requerido	1.5	m																																
Presión de aspiración	2.24	bar																																
DN de aspiración	80																																	
<b>Condiciones de descarga</b>																																		
Presión de impulsión	3.26	bar																																
Diferencia de presión	1.02	bar																																
Caudal	39.05	m <sup>3</sup> /h																																
DN impulsión	50																																	
<b>Requerimientos de la bomba</b>																																		
Tipo de bomba	Centrífuga																																	
Rendimiento	60.9	%																																
Frecuencia de rotación	1750	rpm																																
Potencia de la bomba	1.82	kW																																
Electricidad	60	Hz																																
		<table border="1"> <tr> <td><i>DN1</i></td> <td>80</td> <td><i>h1</i></td> <td>160</td> </tr> <tr> <td><i>DN2</i></td> <td>50</td> <td><i>h2</i></td> <td>180</td> </tr> <tr> <td><i>a</i></td> <td>100</td> <td><i>i</i></td> <td>35</td> </tr> <tr> <td><i>c</i></td> <td>485</td> <td><i>v</i></td> <td>100</td> </tr> <tr> <td><i>f</i></td> <td>385</td> <td><i>w</i></td> <td>285</td> </tr> <tr> <td><i>g1</i></td> <td>14</td> <td><i>l</i></td> <td>50</td> </tr> <tr> <td><i>g2</i></td> <td>8</td> <td><i>x</i></td> <td>100</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	<i>DN1</i>	80	<i>h1</i>	160	<i>DN2</i>	50	<i>h2</i>	180	<i>a</i>	100	<i>i</i>	35	<i>c</i>	485	<i>v</i>	100	<i>f</i>	385	<i>w</i>	285	<i>g1</i>	14	<i>l</i>	50	<i>g2</i>	8	<i>x</i>	100				
<i>DN1</i>	80	<i>h1</i>	160																															
<i>DN2</i>	50	<i>h2</i>	180																															
<i>a</i>	100	<i>i</i>	35																															
<i>c</i>	485	<i>v</i>	100																															
<i>f</i>	385	<i>w</i>	285																															
<i>g1</i>	14	<i>l</i>	50																															
<i>g2</i>	8	<i>x</i>	100																															

**IV.2. Hoja especificación válvula de seguridad**

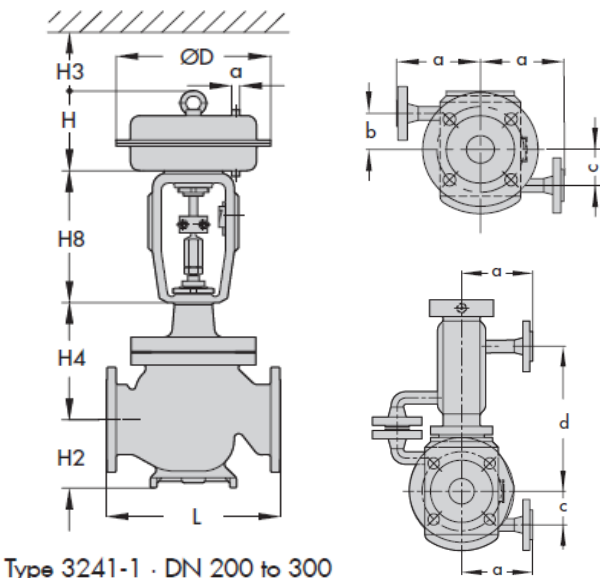
Válvula de seguridad																			
Tag		Y-101																	
Servicio		BT																	
Fabricante		Nacional																	
Modelo		3-5211																	
Condiciones de diseño	Fluido		Nitrógeno																
	Peso Molecular		28.02 g/mol																
	Factor de compresibilidad Z		1																
	Exponente isoentrópico		1.40																
	Presión de trabajo, absoluta		10-10.5 bar																
	Presión de descarga, absoluta		12 bar																
	Presión de tarado, absoluta		11 bar																
	Caudal de descarga		43.6 m <sup>3</sup> /h																
	Temperatura		15 °C																
Características de diseño	Dimensiones	Diámetro interior		12.9 mm															
		Área del orificio requerida		1.31 cm <sup>2</sup>															
		Área del orificio elegida		1.98 cm <sup>2</sup>															
		Clase del orificio		F															
	Clasificación	Entrada	1 1/2 - 150																
		Salida	2 - 150																
	Material cuerpo		Acero al carbono																
	Material resorte		Acero al carbono																
	Coeficiente de descarga		0.946																
	Matl.	Cuerpo		A 352 LC3															
Tapa		AISI 304																	
Resorte		AISI 304																	
			<table border="1"> <tr><td>A</td><td>153</td></tr> <tr><td>B</td><td>124</td></tr> <tr><td>C</td><td>554</td></tr> <tr><td>D</td><td>40</td></tr> <tr><td>E</td><td>572</td></tr> <tr><td>F</td><td>102</td></tr> <tr><td>G</td><td>60</td></tr> <tr><td>H</td><td>18</td></tr> </table>	A	153	B	124	C	554	D	40	E	572	F	102	G	60	H	18
A	153																		
B	124																		
C	554																		
D	40																		
E	572																		
F	102																		
G	60																		
H	18																		

**IV.3. Hoja especificación tanque**

Equipo	<b>Taque</b>	
Denominación	B-5320	
Servicio	Almacenamiento aceite	
Tipo de techo	Flotante	
Capacidad	5000	m <sup>3</sup>
<b>Condiciones de operación</b>		
Presión de operación	1.0	atm
Temperatura de operación	41	°C
Densidad del líquido (41°C)	894.5	kg/m <sup>3</sup>
Caudal de entrada	256	m <sup>3</sup> /h
Caudal de salida	39.0	m <sup>3</sup> /h
<b>Datos de diseño</b>		
Presión de diseño	1.0	atm
Temperatura de diseño	50	°C
<b>Materiales</b>		
	Grosor (mm)	Material
Laterales	4.0	St37
Techo	4.0	St37
Suelo	4.0	St37
	Diámetro DN	Material
A	DN 600	St37
B	DN 400	St37
C	DN 200	St37
D	DN 200	St37
E	DN 100	St37
F	DN 25	St37
G	DN 100	St37



**IV.4. Hoja especificación válvulas de control**

Equipo	<b>Regulador de caudal</b>	
Servicio	Control de nivel tanque B-5320	
<b>Condiciones de operación</b>		
Fluido	Aceite	
Temperatura operación	52	°C
Densidad (36°C)	880.9	kg/m <sup>3</sup>
<b>Válvula H404</b>		
Fabricante	Samson	
Modelo	3241-1	
Material	Grafito EN-JS1049	
Caudal entrada	237.9	m <sup>3</sup> /h
Presión entrada (abs)	1.33	bar
Presión salida (abs)	1.08	bar
Kv	447	m <sup>3</sup> /h
Kvs	630	m <sup>3</sup> /h
Presión nominal	PN 25	
Diámetro nominal	DN 200	
 <p>Type 3241-1 · DN 200 to 300</p>		L=600
		H=403
		H2=245
		H3=610
		H4=390
		H8=418
		OD=462

Equipo	<b>Regulador de caudal</b>	
Servicio	Control de totalizador de caudal	
<b>Condiciones de operación</b>		
Fluido	Aceite	
Temperatura operación	52	°C
Densidad (36°C)	880.9	kg/m <sup>3</sup>
<b>Válvula H501</b>		
Fabricante	Samson	
Modelo	3241-1	
Material	Grafito EN-JS1049	
Caudal entrada	39.05	m <sup>3</sup> /h
Presión entrada (abs)	1.53	bar
Presión salida (abs)	1.28	bar
Kv	73.3	m <sup>3</sup> /h
Kvs	100	m <sup>3</sup> /h
Presión nominal	PN 25	
Diámetro	DN 80	
<p>Type 3241-1 · DN 15 to 150</p>		L=310
		H=403
		H1=262
		H2=128
		H3=610
		OD=462
		a=180
		b=35
c=215		
d=230		

## ANEXO V. ESTUDIO DE SEGURIDAD

### V.1. Tablas para el cálculo del área del orificio de la válvula de seguridad

Para determinar el área del orificio de la válvula de seguridad se necesitan varios factores expresados en las siguientes tablas y figuras. En la figura V.1. se observa el valor del coeficiente de expansión en función del exponente isoentrópico.

Valores de C en función de k • Values of C as function of k							
k	C	k	C	k	C	k	C
0'40	0'417	1'01	0'609	1'40	0'685	1'82	0'747
0'45	0'439	1'02	0'611	1'42	0'688	1'84	0'750
0'50	0'459	1'04	0'615	1'44	0'691	1'86	0'752
0'55	0'478	1'06	0'620	1'46	0'695	1'88	0'755
0'60	0'496	1'08	0'624	1'48	0'698	1'90	0'758
0'65	0'512	1'10	0'628	1'50	0'701	1'92	0'760
0'70	0'528	1'12	0'633	1'52	0'704	1'94	0'763
0'75	0'543	1'14	0'637	1'54	0'707	1'96	0'765
0'80	0'557	1'16	0'641	1'56	0'710	1'98	0'767
0'82	0'562	1'18	0'645	1'58	0'713	2'00	0'770
0'84	0'567	1'20	0'649	1'60	0'716	2'10	0'781
0'86	0'573	1'22	0'652	1'62	0'719	2'20	0'793
0'88	0'578	1'24	0'656	1'64	0'722	2'30	0'803
0'90	0'583	1'26	0'660	1'66	0'725	2'40	0'813
0'92	0'588	1'28	0'664	1'68	0'728	2'50	0'823
0'94	0'593	1'30	0'667	1'70	0'731	2'60	0'832
0'96	0'597	1'32	0'671	1'72	0'734	2'7	0'841
0'98	0'602	1'34	0'674	1'74	0'736	2'80	0'850
0'99	0'604	1'36	0'678	1'78	0'742	2'90	0'858
1'001	0'607	1'38	0'681	1'80	0'745	3'00	0'866

Figura V.1. Valores del coeficiente de expansión en función del exponente isoentrópico

Como el nitrógeno tiene un exponente isoentrópico de 1.40, el coeficiente de expansión toma un valor de 0.685.

Seguidamente en la figura V.2. se observan los coeficientes correctores por contrapresión, que en este caso los dos toman un valor de 1.

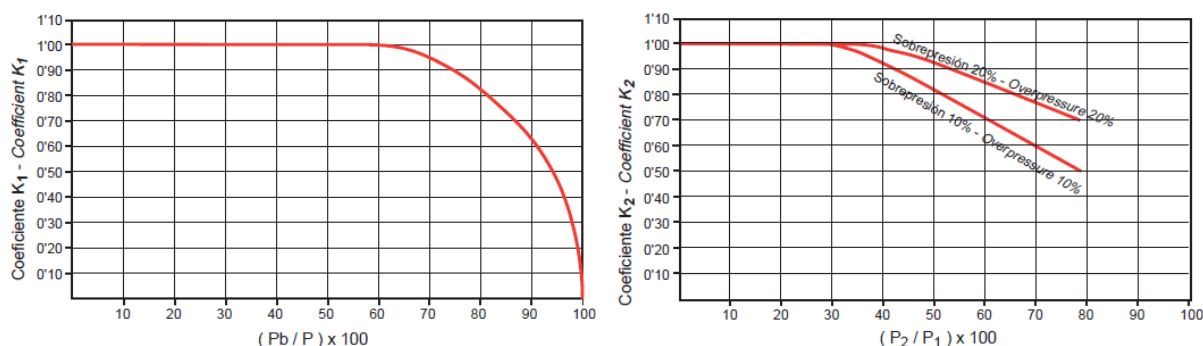


Figura V.2. Coeficiente corrector por contrapresión  $K_1$  y  $K_2$

### V.2. Selección de la válvula de seguridad

Para seleccionar la válvula de seguridad, se escoge la clase de orificio en función del área del orificio calculada. Como se obtiene un área requerida de  $1.31\text{cm}^2$ , se escoge un área del orificio de  $1.98\text{cm}^2$  y por lo tanto la clase se corresponde con la F.

Una vez escogida la clase, como la presión de tarado es de 10bar y la temperatura es de  $15^\circ\text{C}$ , se escoge la válvula de  $1\frac{1}{2}$ -150 x 2-150. En la figura V.3. se observa el gráfico para la válvula de seguridad de clase de orificio F.

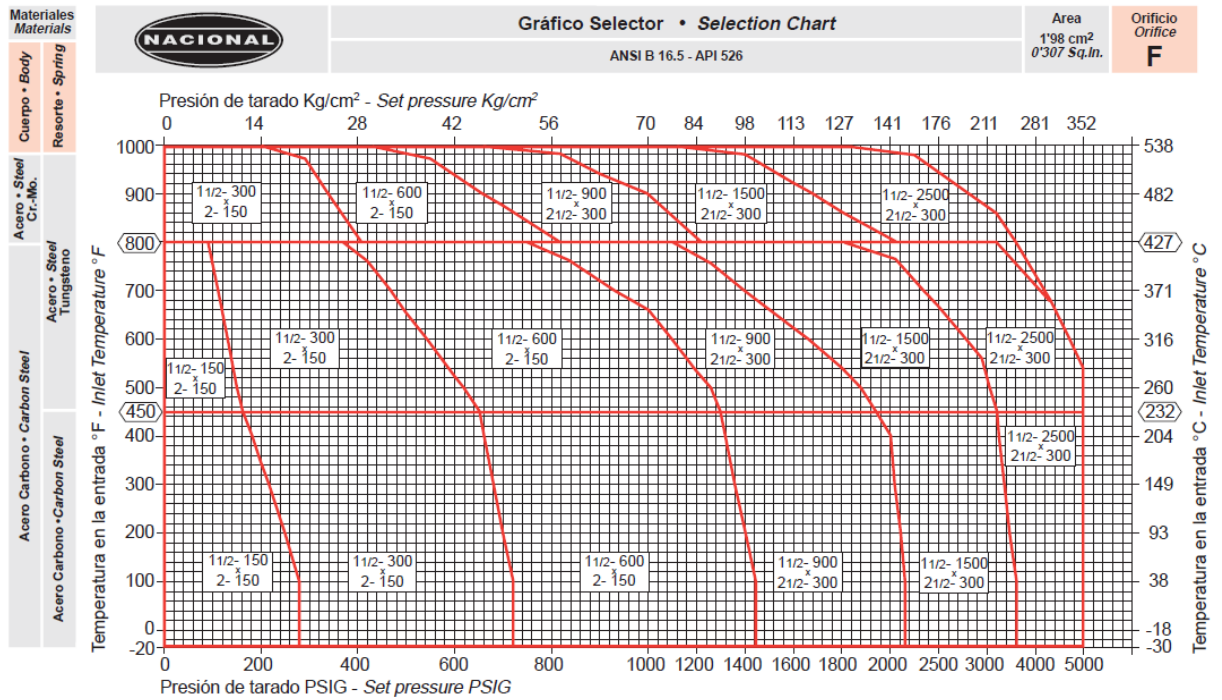


Figura V.3. Gráfico selector para la válvula de seguridad

**ANEXO VI. ESTUDIO MEDIOAMBIENTAL****VI.1. Matriz causa-efecto**

Para evaluar los efectos que se pueden originar a lo largo de la adaptación del tanque se realiza una matriz de causa-efecto, que tiene el objetivo de determinar los impactos generados en cada acción de cada fase del proyecto. En la tabla VI.1. se puede observar la matriz.

Tabla VI.1. Matriz causa-efecto

		Factores ambientales	Fases del proyecto							
			Construcción					Operación		
			Transporte materiales	Adaptación terreno	Instalación equipos	Limpiezas	Pruebas estanqueidad	Almacenamiento y transporte	Operación equipos	Purgado
			Medio físico	Aire	Concentración gases	X			X	
Partículas en suspensión	X	X			X	X		X		
Contaminación sonora		X			X			X		
Contaminación lumínica										
Suelo	Aumento erosión			X	X					
	Cambio en la permeabilidad			X	X					
	Aumento de la compactación						X		X	X
Agua	Contaminación por sólidos									
	Contaminación por aceites				X	X	X	X	X	
Medio biótico	Flora	Destrucción directa								
		Riesgo de incendio		X	X					
		Degradación de la vegetación								
	Fauna	Destrucción directa								
		Efecto barrera	X					X		
		Aumento atropellos	X					X		
Medio socio-económico	Paisaje	Degradación del paisaje								
		Pérdida propiedades								
	Suelo	Cambio de uso								
	Humano	Seguridad	X	X	X					
		Aumento de movilidad	X							
	<b>Total</b>			6	5	5	3	2	6	2

Se puede observar que la fase del proyecto que causa mayores impactos es la fase de construcción, debido a que es una fase en la que se realizan muchos trabajos que a lo largo de

la operación normal de la unidad no se llevarán a cabo, ya que son trabajos temporales. Concretamente, se puede ver que el transporte es la acción que causa más impactos, ya que se, sobre todo se produce contaminación en el aire debido a partículas en suspensión y a la concentración de gases.

Además, se puede percibir que los factores que salen más perjudicados son la contaminación del suelo por aumento de partículas en suspensión y la contaminación del agua por aceites, debido a pequeñas fugas que se produce, ya que el aceite se trata del producto almacenado.

## **VI.2. Explicación de los criterios de importancia de la matriz de Leopold**

La matriz de *Leopold* (1975) también es un método cualitativo para evaluar el impacto ambiental. Como criterios de importancia se consideran los siguientes:

- Naturaleza: hace referencia al carácter beneficioso o perjudicial de las acciones. Se clasifica como positivo (+) o negativo (-).
- Intensidad: es el grado de incidencia de la acción sobre el factor. Se clasifica como baja (1), media (2) o alta (3).
- Extensión: es el área de influencia del impacto sobre el entorno del proyecto. Puede ser puntual (1), parcial (2) o extensa (3).
- Momento: es el tiempo que transcurre entre la acción y el efecto. Se clasifica en inmediato (3), mediato (2) o a largo plazo (1).
- Persistencia: tiempo que permanecería el efecto. Puede ser fugaz (1), temporal (2) o permanente (3).
- Reversibilidad: posibilidad de retornar a las condiciones previas a la acción por medios naturales y una vez que deja de actuar sobre el medio. Puede ser corto (1), medio (2) o a largo plazo (3).
- Sinergia: cuando los efectos actúan en conjunto y se crea un efecto extra debido a la acción conjunta. Se puede clasificar como no sinergia (1), moderado (2) o alto (3).
- Acumulación: se refiere al aumento del efecto cuando permanece la causa. Se clasifica en no existen efectos acumulativos (1) o si existen efectos acumulativos (3).
- Periodicidad: es el ritmo de aparición del impacto. Puede ser continua (3), periódica (2) o discontinua (1).
- Recuperabilidad: significa la posibilidad de retornar a las condiciones previas a la acción por medio de la intervención humana. Se clasifica en inmediato (1), mediato (2) o parcialmente recuperable (3).

## ANEXO VII. ESTUDIO ECONÓMICO

### VII.1. Cuenta de resultados

En la siguiente tabla VII.1. se representa la cuenta de pérdidas y ganancias, y en la tabla VII.2. los flujos de caja para el cálculo del VAN.

Tabla VII.1. Cuenta de pérdidas y ganancias

<b>Cuenta de pérdidas y ganancias</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Ingresos</b>	1029646	1029646	1029646	1029646	1029646	1029646	1029646	1029646	1029646	1029646
<b>Costes</b>										
O&M	105762	105762	105762	105762	105762	105762	105762	105762	105762	105762
Amortización	105762	105762	105762	105762	105762	105762	105762	105762	105762	105762
Costes de operación	28371	28371	28371	28371	28371	28371	28371	28371	28371	28371
<b>Beneficio antes de impuestos BAI</b>	789752	789752	789752	789752	789752	789752	789752	789752	789752	789752
<b>Impuestos (34%)</b>	268516	268516	268516	268516	268516	268516	268516	268516	268516	268516
<b>Beneficio después de impuestos BDI</b>	521236	521236	521236	521236	521236	521236	521236	521236	521236	521236

Tabla VII.2. Flujos de caja

<b>Flujos de caja</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Actividades de operación</b>											
Beneficio neto		521236	521236	521236	521236	521236	521236	521236	521236	521236	521236
Amortización		105762	105762	105762	105762	105762	105762	105762	105762	105762	105762
<b>Actividades de inversión</b>											
Inversión	-1057617										
<b>Net Cash Flow</b>	<b>-1057617</b>	<b>626998</b>	<b>626998</b>	<b>626998</b>	<b>626998</b>	<b>626998</b>	<b>626998</b>	<b>626998</b>	<b>626998</b>	<b>626998</b>	<b>626998</b>

## VII.2. Valor Actual Neto

Para calcular el VAN, se determinan los diferentes flujos de caja calculados en la tabla anterior VII.2. y la inversión inicial, y mediante la ecuación VII.2.1 se calcula este parámetro.

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+k)^i} \quad (VII.2.1)$$

## VII.3. Tasa Interna de Retorno

Para calcular el interés que da un VAN=0, se determina la TIR o Tasa Interna de Retorno. Si la TIR es superior a la tasa de interés fijada como aceptable, el proceso es rentable. Se calcula mediante la siguiente expresión VII.3.1.

$$0 = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+TIR)^i} \quad (VII.3.1)$$

## VII.4. Payback Period

Para calcularlo se utiliza la ecuación VII.4.1 ya que los *Cash Flows* son constantes e iguales.

$$Payback\ Period = \frac{I_0}{CF} \quad (VII.4.1)$$

En la siguiente figura VII.1. se determina gráficamente la evolución del *Payback Period* en función del transcurso de los años. Se puede observar como casi en el segundo año se recupera la inversión realizada.

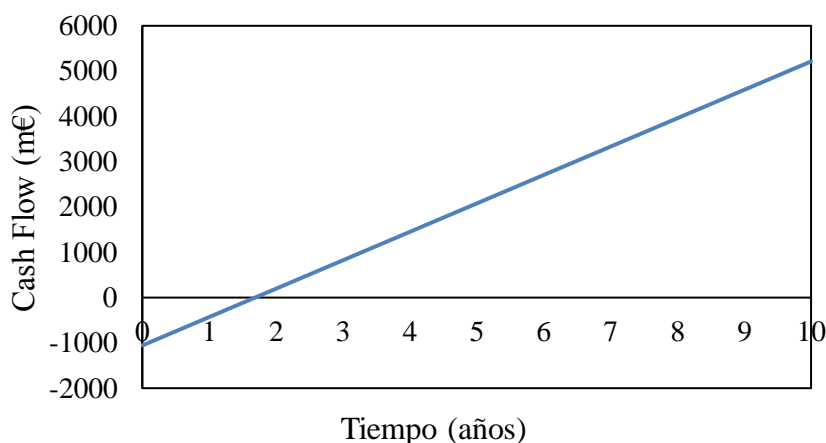


Figura VII.1. Evolución del *Payback Period*