



**UNIVERSITAT  
JAUME·I**

# **UNIVERSITAT JAUME I**

**ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA I CIÈNCIES  
EXPERIMENTALS**

**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

**REDISEÑO Y MEJORA DEL SISTEMA DE  
LUBRICACIÓN INSTALADO EN UN EQUIPO  
DESHIDRATADOR DE SULFATO AMÓNICO  
EN UNA EMPRESA DEL SECTOR QUÍMICO.  
VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA.**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**AUTOR**

Héctor Pino Falomir

**DIRECTOR**

Alejandro Doménech Monforte

Castellón, julio de 2017



***A mi familia, y especialmente a mi madre, por mostrarme en todo momento su apoyo incondicional.***

***A Marta por acompañarme durante esta etapa de mi vida.***

***A mi compañera Ana Soler por ofrecerme siempre su ayuda desinteresada.***

***A todos los compañeros del Departamento de Fiabilidad e Inspección de UBE por dedicarme su tiempo y regalarme su experiencia durante la elaboración de este proyecto.***

***A la empresa UBE por darme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente en el mundo de la ingeniería.***



## **ÍNDICE GENERAL**

MEMORIA.....	6
ANEXOS .....	117
PLIEGO DE CONDICIONES.....	155
MEDICIONES Y PRESUPUESTO.....	173

**MEMORIA**

## ÍNDICE MEMORIA

1	OBJETIVO.....	10
2	UBICACIÓN .....	11
3	ALCANCE.....	14
4	ANTECEDENTES .....	15
5	NORMATIVA Y REFERENCIAS.....	16
6	EL PROCESO PRODUCTIVO .....	20
7	LA PRODUCCIÓN DE SULFATO AMÓNICO .....	24
7.1	El producto .....	24
7.2	Objeto de la unidad.....	26
7.3	Fundamentos teóricos .....	27
7.4	El proceso principal de producción de sulfato amónico en la unidad 433 .....	30
7.5	Elementos que intervienen en el proceso .....	33
7.6	Bases de diseño de la unidad .....	34
8	EL DESHIDRATADOR DE SULFATO AMÓNICO .....	35
8.1	Secado y manejo de los cristales.....	35
8.2	Especificaciones técnicas .....	39
8.3	Sustentación y movimiento de rotación del secador.....	41
8.4	La lubricación .....	44
8.5	Rodillos y bandas de rodadura.....	47
8.6	Mecanismo piñón corona.....	49
9	REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO.....	53
10	PROPUESTA Y ANÁLISIS DE SOLUCIONES.....	54
10.1	Método de lubricación del piñón .....	54
10.1.1	La problemática.....	54
10.1.2	Propuesta de soluciones .....	58
10.1.3	Adopción de la solución final .....	66
10.2	Tipo de lubricante .....	71
10.2.1	La problemática.....	71
10.2.2	Propuesta de soluciones .....	73
10.2.3	Adopción de la solución final .....	83
10.3	Bombeo de lubricante.....	86
10.3.1	La problemática.....	86
10.3.2	Solución propuesta.....	89
10.4	Método de lubricación de bandas y rodillos de rodadura .....	93

10.4.1	La problemática.....	93
10.4.2	Solución propuesta.....	96
11	DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN FINAL .....	105
11.1	Modificaciones referentes a la lubricación del mecanismo piñón corona .....	106
11.2	Modificaciones referentes a la lubricación de las bandas y rodillos de rodadura....	108
12	PLANIFICACIÓN.....	109
12.1	Introducción .....	109
12.2	Diagrama de GANTT .....	113
13	ESTUDIO ECONÓMICO .....	116
14	CONCLUSIONES .....	117



## **1 OBJETIVO**

El objetivo del proyecto presentado es el rediseño y mejora del sistema de lubricación del mecanismo piñón-corona y rodillos de apoyo instalados en un deshidratador de sulfato amónico.

Este equipo se encuentra ubicado en la planta petroquímica UBE Corporation Europe S.A., en Castellón, y forma parte de su lista de equipos críticos debido a la cantidad de fallos que se producen en él y la gravedad de sus consecuencias.

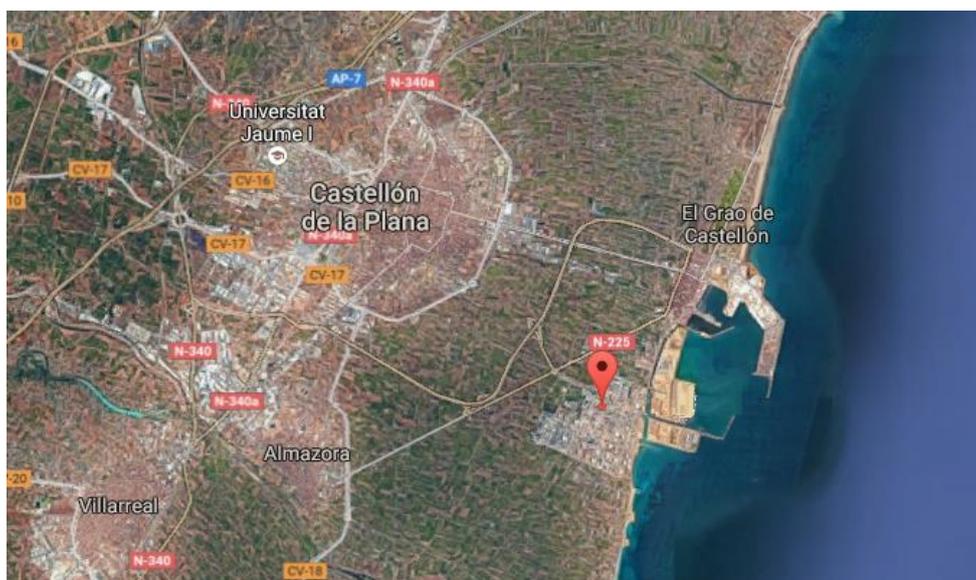
El presente proyecto se ha llevado a cabo a partir de una solicitud real del Departamento de Fiabilidad e Inspección de la planta petroquímica mencionada anteriormente, donde el alumno también ha realizado la estancia en prácticas externas curriculares por la Universitat Jaume I.

## 2 UBICACIÓN

El equipo sobre el cual se va a llevar a cabo las mejoras mostradas en el presente proyecto se encuentra ubicado en la planta de UBE, emplazada en el polígono industrial El Serrallo S/N, en Castellón, España.

Dicha planta comparte ubicación con la planta BP Oil Refinería de Castellón, además de otras instalaciones de diversas empresas del sector industrial como Iberdrola, CLH o Repsol Butano.

Está situada a una distancia de unos 8,5 kilómetros del núcleo urbano cercano más importante, Castellón de la Plana. Además, el distrito marítimo de esta ciudad, denominado el Grao de Castellón, se encuentra a una distancia de 5,6 kilómetros aproximadamente.



*Imagen 1: Vista aérea del Polígono Industrial el Serrallo..*



*Imagen 2: Vista aérea de la planta.*

Por otro lado, cabe indicar que el polígono industrial El Serrallo cuenta con acceso terrestre a través de la carretera CS-22, además de acceso marítimo por el puerto de Castellón, facilitando de esta manera las operaciones comerciales llevadas a cabo por la empresa.

Por último, vale la pena señalar también que la planta de UBE cuenta con una superficie útil de unos 340000 m<sup>2</sup>, de los cuales 300000 m<sup>2</sup> corresponden a la planta petroquímica, mientras que los 40000 m<sup>2</sup> restantes pertenecen a la zona del puerto, tal y como se puede observar en la imagen.



*Imagen 3: Vista aérea de la superficie de la planta.*

### **3 ALCANCE**

La justificación de la mejora que el Departamento de Fiabilidad e Inspección de UBE desea realizar en el deshidratador se basa en la necesidad de mantener la continuidad del proceso productivo, y en los beneficios económicos que esto conlleva.

Para ello, es imprescindible reducir, al máximo de las posibilidades y siempre actuando dentro de la legalidad y respetando el medio ambiente, el número de paradas ocasionadas por la avería del equipo y garantizar la mayor disponibilidad de funcionamiento de la máquina posible.

Por otro lado, cabe indicar que la seguridad del trabajador es otro de los aspectos indispensables en la realización de este proyecto. No suele ser habitual que se produzcan accidentes en personas por los fallos producidos en el equipo objeto del presente proyecto, pero es un factor a tener en cuenta principalmente por el alto riesgo para la salud de la víctima de dichos accidentes.

El proyecto abarca el estudio de la aplicación de posibles soluciones según viabilidad técnica y económica.

Por un lado, el mecanismo piñón corona que mueve el secador necesita de una lubricación adecuada y eficiente para evitar posibles fallos en los engranajes, provocando el paro del equipo y sus consecuencias. Para ello, se elegirá de entre varias opciones el método de lubricación más apropiado para las características del equipo y las condiciones de operación, así como el lubricante empleado.

Por otro lado, se precisa que los rodillos de rodadura sobre los que se apoya el deshidratador también se encuentren correctamente lubricados. Por tanto, se estudiará una solución para asegurar la lubricación y el correcto funcionamiento de los mismos, repercutiendo de manera positiva en la actividad del deshidratador.

#### **4 ANTECEDENTES**

UBE Industries, Ltd. es una entidad nacida en el año 1897 en la ciudad de Ube, Japón. Se dedica a la manufactura y elaboración de productos químicos, y su constante crecimiento y éxito le ha permitido expandirse por todo el mundo, poniendo en marcha diferentes plantas en Europa y América. En 1993, el grupo japonés invirtió en España, inaugurando la planta Proquimed, actualmente conocida como UBE Corporation Europe S.A., con sede en Castellón.

El grupo UBE, en su planta de Castellón, se dedica principalmente a la elaboración de nylon-6. Éste es un material que se obtiene a partir de la caprolactama, y constituye una parte muy considerable del mercado de fibras sintéticas del mundo, con una gran salida al mercado actual, lo que permite a la entidad situarse en los primeros puestos del escalafón en cuanto a producción y ventas se refiere.

Sin embargo, que UBE Corporation Europe S.A. sea una de las empresas líderes en el sector conlleva la responsabilidad de mantener satisfechos a sus clientes, generando un producto de calidad y a un precio competitivo.

Por estos motivos, la entidad considera necesaria la realización de mejoras sobre su proceso productivo y, más concretamente, sobre la máquina objeto del presente proyecto, ya que se encuentra en la lista de equipos críticos de planta y su fallo supone una parada en la línea de producción y, por lo tanto, cuantiosas pérdidas económicas para la empresa.

## 5 NORMATIVA Y REFERENCIAS

### Normativa española

- **UNE 58207:1989:** Aparatos de manutención continua para productos a granel. Tambores rotativos.
- **UNE 58203:1975:** Aparatos de manutención continua. Reglas generales relativas a los aparatos para graneles sólidos o cargas aisladas.
- **UNE 58211:1985:** Aparatos de manutención continua. Código de seguridad. Reglas generales.
- **UNE 58216:1986:** Aparatos de manutención continua. Nomenclatura.
- **UNE 58217:1986:** Aparatos de manutención continua. Código de seguridad. Reglas particulares.
- **UNE-EN ISO 5455:1996:** Dibujos técnicos. Escalas.
- **UNE 157001:2014:** Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.
- **UNE-EN ISO 5457:2000:** Documentación técnica de producto. Formatos y presentación de los elementos gráficos de las hojas de dibujo.
- **UNE 1032:1982:** Dibujos técnicos. Principios generales de representación.
- **UNE 1027:1995:** Dibujos técnicos. Plegado de planos.

### Software utilizado

- **Paquete de Microsoft Office:** Word 2013, Excel 2013 y Powerpoint 2013.
- **Dassault Systèmes:** Solidworks 2014.
- **GanttProject:** Versión 2.6.1 Brno.

### Otras referencias de consulta

- Catálogo general de Klüber Lubrication para la selección del lubricante a emplear en el mecanismo piñón corona: <https://www.klueber.com/en/>
- Catálogo general de SKF para el cálculo del Índice de Viscosidad del lubricante a emplear en el mecanismo piñón corona: <http://www.skf.com/es/index.html>
- Catálogo general de Lincoln para seleccionar el equipo de bombeo de lubricante: <http://www.lincolnindustrial.com/home.aspx>
- Catálogo general de RIVI para seleccionar el sistema de lubricación para el mecanismo piñón corona: <http://www.rivi.net>

- Catálogo general de Mareche para seleccionar el método de lubricación empleado en el conjunto rodillos-bandas de rodadura: <http://mareche.es/sistema-dmt-spc/>
- Apuntes de Elasticidad y Resistencia de Materiales.
- Apuntes de Tecnologías de Fabricación.
- Apuntes de Materiales.
- Apuntes de Teoría de Máquinas y Mecanismos.
- Apuntes de Proyectos de Ingeniería.
- Apuntes de Electrotecnia.

### Definiciones y abreviaturas

- **1,5-Pentanodiol:** Alcohol producido por UBE que se utiliza en la obtención de poliuretanos y poliésteres.
- **1,6-Hexanodiol:** Alcohol producido por la empresa que se emplea en la fabricación de plásticos.
- **Ácido sulfúrico:** Compuesto químico extremadamente corrosivo empleado como materia prima en planta para la fabricación de hidroxilamina.
- **Amoniaco:** Compuesto químico de nitrógeno que se usa como materia prima en la producción de hidroxilamina.
- **Azufre:** Materia prima sometida a un proceso de calentamiento para, posteriormente, obtener ácido que se emplea en la producción de caprolactama.
- **Bandas de martillaje:** Bandas metálicas formadas por martillos neumáticos que golpean la estructura cilíndrica del deshidratador y separan los cristales de sulfato amónico adheridos a la superficie interior del tambor.
- **Caprolactama:** Materia prima utilizada para la fabricación de nylon.
- **Ciclohexano:** Una de las materias primas para la producción de hexanodiol.
- **Ciclohexanona:** Compuesto orgánico procedente de la reacción de oxidación del ciclohexano.
- **CX:** Abreviatura de ciclohexano.
- **Deshidratador de sulfato amónico:** También denominado secador, es un equipo rotativo donde los cristales de sulfato amónico con un contenido

inferior al 1% entran en contacto con una corriente de aire caliente para su secado.

- **Dióxido de azufre:** Una de las materias primas para la producción de hidroxilamina.
- **Equipo crítico:** Clasificación que se hace a la maquinaria que posee altos índices de fallo y gravedad de sus consecuencias.
- **HDL:** Abreviatura de 1,6-hexanodiol.
- **Hidróxido de sodio:** También denominado como sosa cáustica, se trata de una sustancia de alta alcalinidad que se emplea en el proceso de tratamiento de aguas y para la regulación del pH.
- **Hidroxilamina:** Compuesto inorgánico empleado en la producción de caprolactama.
- **Licor madre:** Solución acuosa que contiene finos o cristales de sulfato amónico.
- **Lubricante:** Sustancia que, colocada entre dos cuerpos, forma una capa que impide el contacto y permite el movimiento.
- **Misceláneos:** Se refiere a cualquier equipo de planta que no esté categorizado como un equipo habitual (centrifugadora, deshidratador, criba).
- **Nylon-6:** Polímero artificial que pertenece al grupo de las poliamidas.
- **ONA:** Abreviatura de ciclohexanona.
- **Oxidación:** Reacción mediante la cual se hace aumentar el contenido en oxígeno de un compuesto.
- **PCD:** Abreviatura de policarbonatodiol.
- **PDL:** Abreviatura de 1,5-pentanodiol.
- **Policarbonatodiol:** Alcohol producido en la planta empleado en la industria farmacéutica.
- **Polímero:** Sustancia química que resulta de un proceso de polimerización.
- **Piñón-corona:** Mecanismo en el que el par de giro de un engranaje (piñón) es transmitido a otro (corona) por medio del arrastre de fuerzas.
- **Rodillos de rodadura:** Ruedas metálicas sobre las que se apoya el deshidratador.
- **SO<sub>2</sub>:** Fórmula molecular de dióxido de azufre.

- **Secador:** Forma alternativa de denominar al deshidratador de sulfato amónico.
- **Sulfato amónico:** Residuo procedente del proceso de fabricación de caprolactama.
- **UBESOL45:** Fertilizante propio, granulado y de amplio espectro que se obtiene a partir del sulfato amónico.

## 6 EL PROCESO PRODUCTIVO

Como ya se ha mencionado anteriormente, la planta de UBE en Castellón se dedica principalmente a la obtención de nylon-6, un polímero artificial perteneciente al grupo de las poliamidas. Se trata de una fibra textil elástica y resistente, empleada en múltiples aplicaciones industriales y comerciales.

El proceso productivo de la planta es extenso y complejo, por lo que se va a efectuar una descripción breve y básica del mismo. Es digno mencionar que la planta está dividida en diferentes zonas en las que se realizan diferentes procesos y actividades. A su vez, estas zonas se fraccionan en unidades donde se concentran operaciones relacionadas entre sí dentro del proceso productivo.

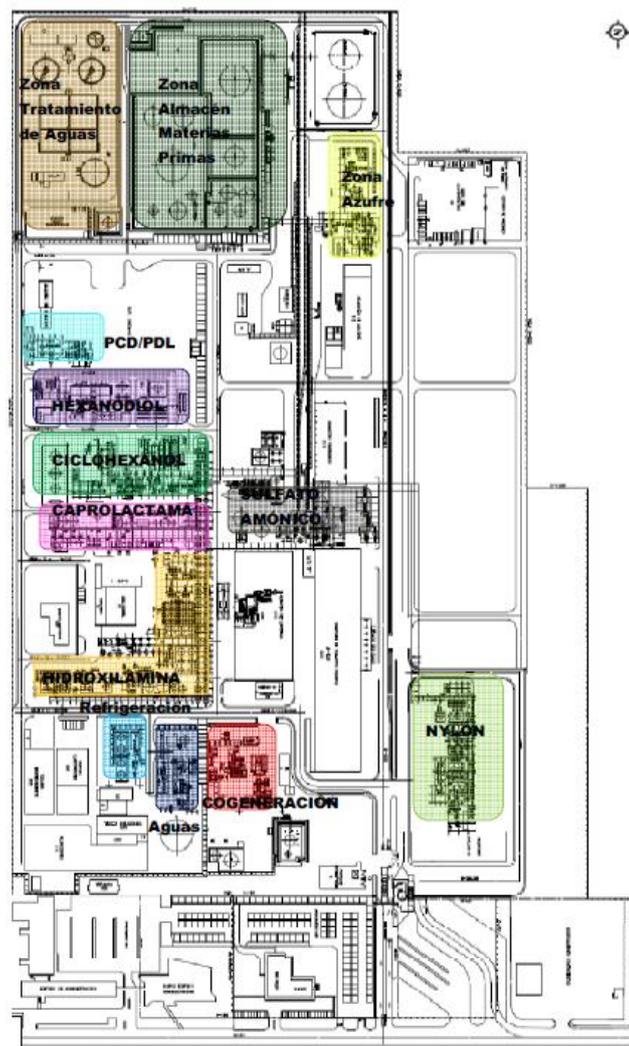


Imagen 4: Plano de la distribución en planta de las diferentes zonas.

La planta cuenta con un proceso principal en el que se realiza la elaboración de caprolactama, una molécula clave en la síntesis del nylon. Este producto, a su vez, se obtiene a partir de otros dos compuestos químicos de elaboración propia, la hidroxilamina, compuesto inorgánico que procede del dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), una de las materias primas empleadas en el proceso; y la ciclohexanona (ONA), compuesto orgánico procedente de la reacción de oxidación del ciclohexano (CX), otra de las materias primas utilizadas en la planta.

Por otro lado, cabe señalar que en el proceso de elaboración de la caprolactama se produce, al mismo tiempo, un residuo: el sulfato amónico, una sal a partir de la cual se elabora UBESOL45, un fertilizante propio, granulado y de amplio espectro.

Por último, cabe indicar que a partir de algunos ácidos producidos en el proceso principal anteriormente descrito, se fabrica 1,6-hexanodiol (HDL), un producto empleado en la industria farmacéutica y de alto valor añadido. Además, la planta también cuenta con varias líneas de producción de 1,5-pentanodiol (PDL) y policarbonatodiol (PCD), así como otros productos de química fina.

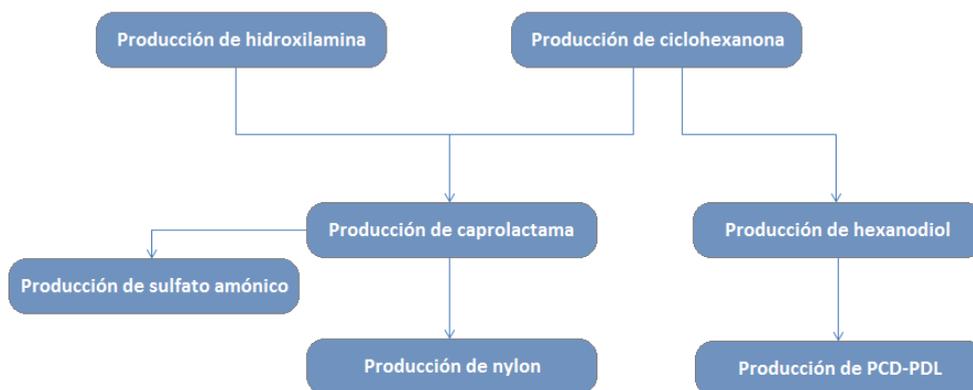


Imagen 5: Esquema explicativo del proceso productivo.

Una vez presentado el proceso productivo de la planta petroquímica, resulta interesante conocer los datos de producción anuales de la entidad:

Producción en 2015 (toneladas)	
Caprolactama	97000
Sulfato amónico	450604
Hexanodiol	4150
Pentanodiol	400
Policarbonatodiol	1480
Nylon-6	29715

Tabla 1: Producción de la planta en 2015.

Por otro lado, a continuación puede observarse el gráfico circular junto con los porcentajes equivalentes a los datos de producción anuales:

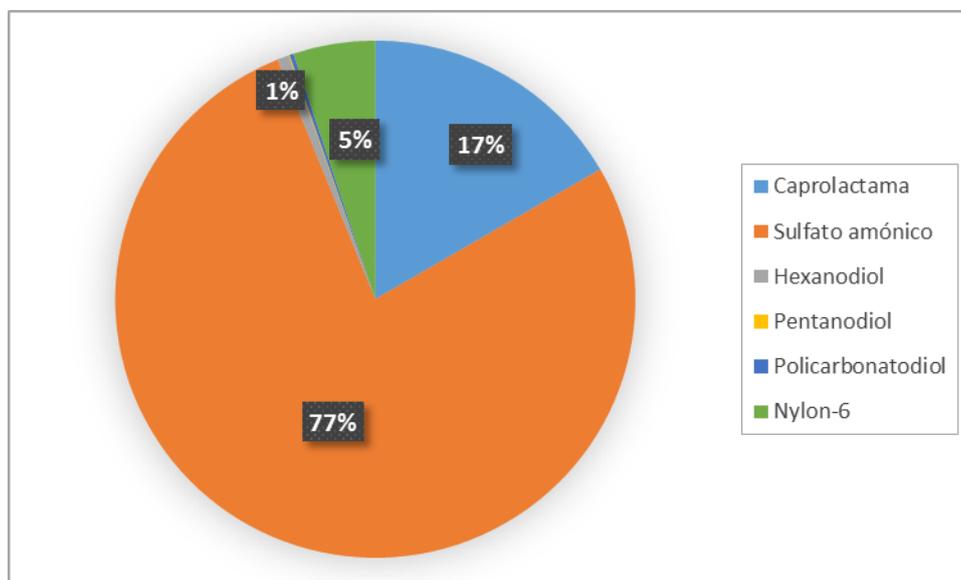


Imagen 6: Gráfica circular de la producción anual.

En lo que al consumo de materias primas se refiere, la planta presenta los siguientes parámetros:

Materias primas en 2015 (toneladas)	
Ciclohexano	61041
Amoniaco	129001
Azufre	86729
Ácido sulfúrico	75014
Hidróxido de sodio	10948

Tabla 2: Materias primas empleadas en 2015.

Por otro lado, se muestran también, en forma de gráfica circular, los porcentajes pertenecientes a las materias primas empleadas en la planta:

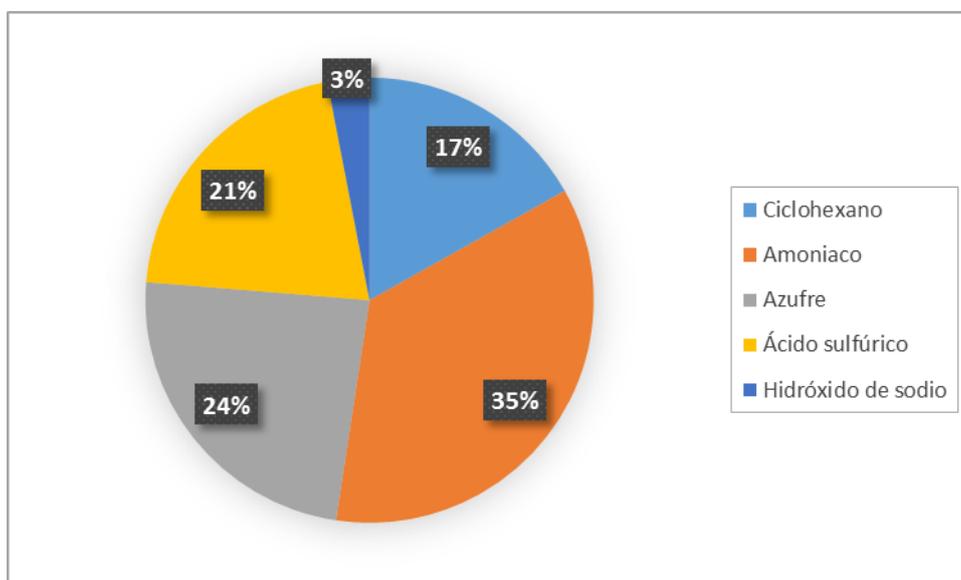


Imagen 7: Gráfica circular de las materias primas empleadas en 2015.

## 7 LA PRODUCCIÓN DE SULFATO AMÓNICO

### 7.1 El producto

El sulfato amónico producido en la planta, denominado UBESOL45, es un fertilizante de uso agrícola. Este producto representa el 77% de la producción anual de la planta, lo que equivale a unas 450000 toneladas al año.

Por su composición química, está recomendado para cultivos que extraen grandes cantidades de azufre, como son los cultivos forrajeros, hortalizas, cereales y gramíneas. Además, cabe indicar que debe ser distribuido uniformemente sobre el terreno cultivado mediante el empleo de fertilizadoras mecánicas o, en su defecto, de forma manual.



*Imagen 8: Almacén de sulfato amónico.*

Algunas de las características del sulfato amónico producido en la factoría son las siguientes:

- Contenido en  $N_2$ : 21%.
- Acidez libre: 0,05% (como  $H_2SO_4$ ) máximo.
- Humedad máxima: 0,45% en peso.
- Aspecto: Cristales de color blanco de alrededor de 1,5 milímetros, sueltos y libres de impurezas visibles.

Por otro lado, es digno señalar ciertas ventajas que presenta el sulfato amónico como fertilizante:

- Contiene nitrógeno y azufre, nutrientes esenciales constituyentes de las proteínas, asociados además con la formación de la clorofila.
- Favorece el crecimiento rápido de la planta y, por otro lado, aumenta la calidad, el rendimiento y la rentabilidad de los cultivos.
- Es recomendable su aplicación en suelos de pH alcalino de origen calcáreo.
- Cada tonelada contiene 450 kg de nutrientes esenciales.
- Aumenta la disponibilidad del fósforo y de los micronutrientes.

Por último, cabe indicar que se trata de un producto que, disuelto en agua, genera una reacción ácida y es fuertemente corrosivo. Ataca a una amplia variedad de metales y, si la sustancia ingresa en el organismo, puede causar ardor de garganta, irritación o deficiencia respiratoria.

## **7.2 Objeto de la unidad**

En la unidad 433 (U-433) se produce la cristalización, secado y separación de cristales de sulfato amónico (SA) en dos fracciones de diferente tamaño, las cuales se envían al almacén de SA (también denominado unidad 434) para su posterior comercialización.

La U-433 junto con la U-435 se diferencian de las otras unidades de cristalización existentes en planta (U-431 y U-432) en que en ellas se produce un cristal característico por su apariencia redondeada y lenticular y, además, éste tiene un tamaño medio superior al cristal producido en el resto de unidades. Por tanto, se trata de un cristal con mayor valor añadido, más fluido y manejable como abono sólido.

Alrededor de un 65% de la producción final de la unidad 433, separada mediante el empleo de una criba y constituida por los cristales más gruesos (de un tamaño comprendido entre 1,7 mm y 2,4 mm) se denomina sulfato granular, y tiene un tratamiento comercial distinto a la fracción restante.

Por otro lado, el cristal de grano menor se mezcla con el producto de las unidades U-431, U-432 y U-435, denominándose sulfato normal.

Por último, cabe indicar que el licor madre que es necesario retirar continuamente de la unidad, se aprovecha como materia prima en las instalaciones de preparación de abonos líquidos.

### **7.3 Fundamentos teóricos**

La cristalización de sulfato amónico para obtener cristales de sulfato granular, mayoritariamente más grandes que los producidos mediante un sistema convencional, requiere la utilización de un tipo de cristalizador especialmente adecuado para este fin.

El cristalizador existente en la U-433 dispone de un potente sistema de agitación interior capaz de mantener en suspensión una concentración elevada de cristales, ya que es en la zona superior del mismo donde se produce la continua evaporación de agua, la consiguiente sobresaturación de la solución de sulfato amónico y el crecimiento de los cristales presentes.

Al mismo tiempo, gracias al permanente movimiento al que se someten los cristales y la fuerte agitación, éstos adquieren su forma redondeada característica.

Además, el cristalizador tiene una serie de divisiones o tabiques internos para canalizar el producto agitado, de forma que la fracción rica en cristales de gran tamaño se va depositando en el fondo, hacia la salida que se dirige a la centrífuga. En cuanto a la fracción de cristales de menor tamaño, incluyendo los finos, se deposita en una zona de sedimentación en cuya parte superior se encuentra una bomba de reciclo que toma la cantidad suficiente de solución saturada con finos.

La corriente de reciclo con solución saturada con finos, anteriormente mencionada, se calienta con el objetivo de que se produzca la necesaria evaporación del agua; al mismo tiempo, se trata de un calentamiento de 8 - 10° C adecuado para disolver los finos. De esta forma, además de favorecer la eficaz separación de los cristales grandes dentro del cristalizador, se impide la aparición de cristales más pequeños.

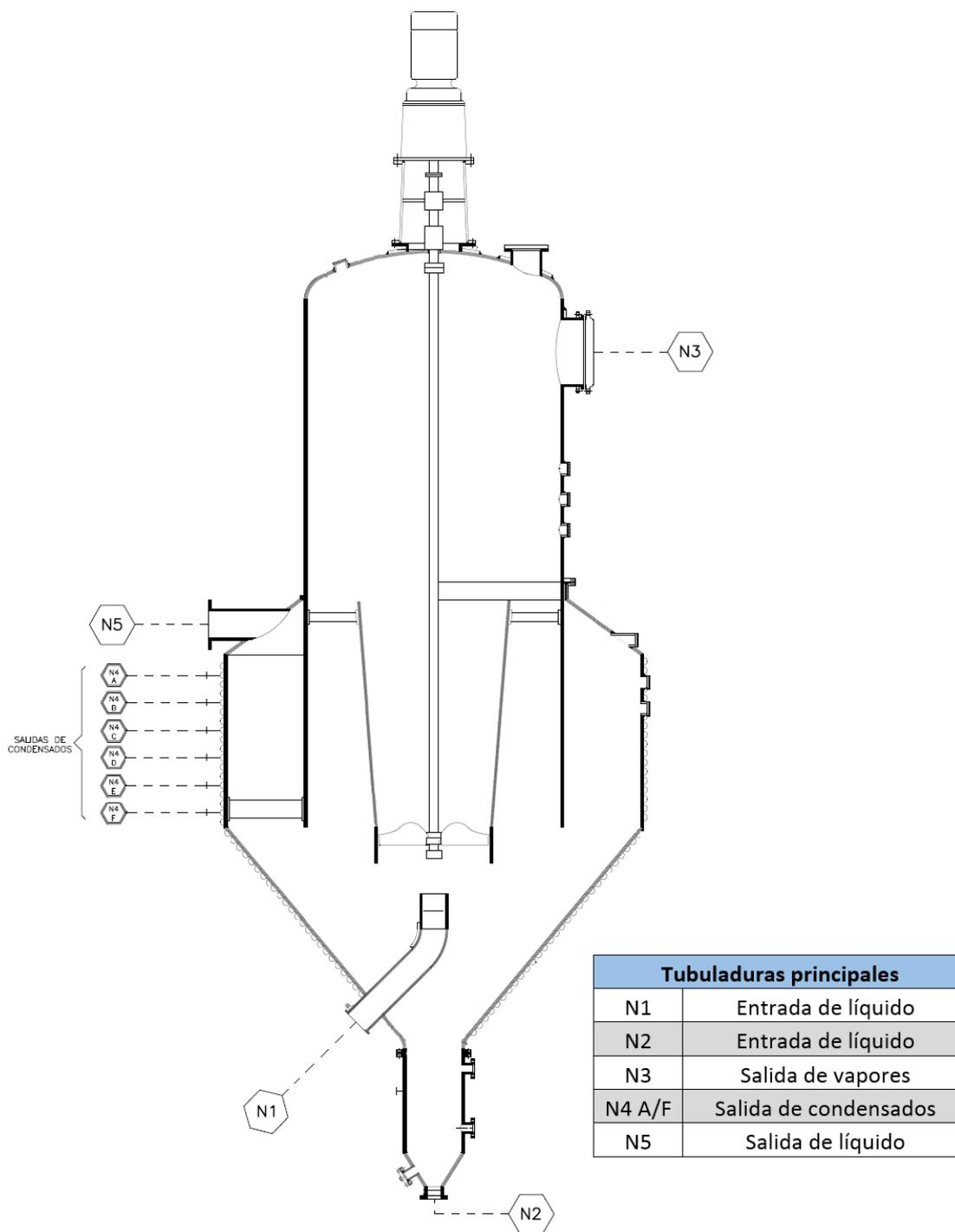


Imagen 9: Plano del cristalizador de sulfato amónico.

En general, los procesos de cristalización requieren que se mantenga una cierta estabilidad de operación para conseguir el estado estacionario o equilibrio entre la formación de nuevos núcleos de cristalización y la extracción de los cristales. El cristizador de la unidad descrita, en particular, es muy sensible a las alteraciones en el proceso, por lo que para obtener su máximo rendimiento, es necesaria la absoluta constancia respecto a los valores de las variables del proceso.

Asimismo, después de una puesta en marcha, el tiempo de establecimiento del estado estacionario y, por lo tanto, la capacidad nominal de producción de sulfato granular puede alcanzar los dos días. En consecuencia, cualquier parada reduce la capacidad máxima de producción de este producto en tres o cuatro días adicionales al tiempo de parada.

#### 7.4 El proceso principal de producción de sulfato amónico en la unidad 433

En este apartado se va a explicar en qué consiste y cómo se realiza la producción de sulfato amónico en la U-433. A continuación, se muestra una imagen de los principales equipos que forman dicha unidad:

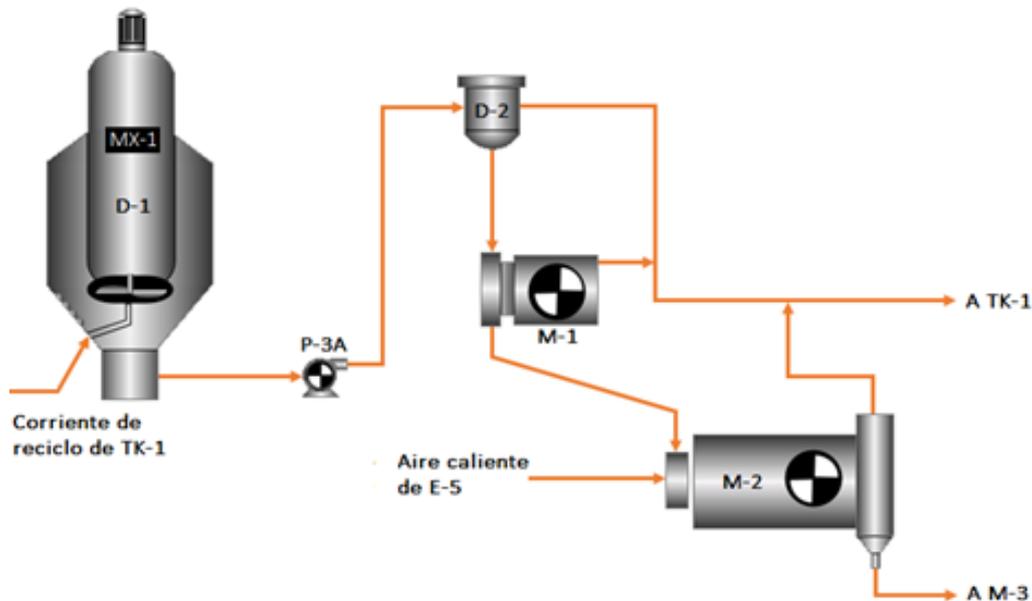


Imagen 10: Equipos principales de la unidad 433.

En la unidad 433 se realiza un proceso encargado de la cristalización, secado y separación de cristales de sulfato amónico.

En primer lugar, el taque de licores madre TK-1 se alimenta de una solución de sulfato amónico procedente de los tanques de almacenamiento de la unidad 421 (Oximación). Dicho tanque recibe, entre otras, las siguientes corrientes que contienen sulfato amónico:

- Aguas madres con cristales pequeños o finos, procedentes de la centrífuga M-1 y del espesador D-2.
- Solución acuosa de lavado de los vahos procedentes del secado de los cristales.
- Solución saturada con finos procedente de analizadores.

El TK-1 posee agitador, línea de aporte de condensado de proceso y sistema de calefacción interna para asegurar en todo momento un buen mezclado y la

redisolución de todos los finos que recibe. La disolución resultante se traslada a un cristalizador mediante el uso de la bomba P-1.

El depósito cristalizador D-1 recibe la corriente de reciclo previamente calentada por un intercambiador de vapor. La alimentación se introduce debajo de la hélice del agitador interno MX-1, de forma que se produce un vigoroso mezclado en sentido ascendente por el canal central del depósito.

Por la parte superior del D-1 se evapora el exceso de agua. Esto se produce debido a que la temperatura de equilibrio correspondiente a la zona de operación es de 72° C. Por tanto, siempre que se mantenga un caudal suficiente en la alimentación procedente de P-1 y una temperatura superior a la de la cabeza del cristalizador, se producirá esta evaporación.

Así pues, en la parte próxima al fondo del cristalizador se generan una corriente rica en cristales de sulfato amónico, también denominada “lodos”.

Posteriormente, estos lodos son impulsados mediante la bomba P-3A hacia el espesador o filtro ciclónico D-2. En el interior de este equipo se produce una eliminación previa de parte de los licores madre, llevándose a cabo debido a la disposición tangencial de la tubuladura de alimentación, la cual genera una fuerza centrífuga sobre los lodos. Éstos son lanzados contra la pared filtrante en forma de cono que, por un lado, deja pasar las aguas madres y las expulsa lateralmente hacia el TK-1 y, por el otro, abre el paso a los lodos que van al fondo de la malla cónica.

A continuación, el producto principal cae, por acción de la gravedad, sobre la centrifugadora M-1, que es de tipo horizontal con empujador. Aquí se produce, también a través de una cesta filtrante, la separación intensiva de los cristales de sulfato, mientras que los licores madre que se separan también rebosan hacia el TK-1.

Los cristales producidos con un contenido de agua inferior al 1% en peso entran por gravedad al tambor del secador (deshidratador) rotatorio M-2, donde se ponen en contacto con una corriente en paralelo de aire caliente. El M-2 consta de un tambor cilíndrico de 2 metros de diámetro por unos 15 de largo, que gira lentamente sobre su eje y tiene una ligera inclinación (3%) hacia la salida para posibilitar el avance del

producto. Sobre la superficie interior del secador hay unos deflectores dispuestos de forma alternada y paralelos al eje del cilindro cuya misión es la de facilitar la fluidificación del sólido y garantizar el máximo contacto con el aire caliente.

El secador funciona a ligero vacío, la entrada de aire es inducida desde el ambiente hasta el tambor del equipo pasando por el E-5. Éste es un calentador de tubos aleteados por los que circula el vapor de calefacción, procedente de la red de vapor de media.

Los cristales secos de sulfato amónico con un contenido de menos del 0,3% de humedad en peso abandonan el M-1.

Una vez superado el secado, los cristales se transfieren a través de una cinta CO-1 al elevador de cangilones CO-2, y de aquí caen sobre la criba de tipo oscilante M-3, donde el producto se distribuye finalmente, según el tamaño de los cristales, en dos fracciones:

- Sulfato granular, que está formado por cristales con un diámetro mayor a 1,7 milímetros.
- Sulfato normal, el resto de los cristales de sulfato que llegan a la criba.

Por último, los cristales, dependiendo de su clasificación, son depositados en diferentes zonas situadas dentro del almacén de sulfato mediante cintas transportadoras.

## 7.5 Elementos que intervienen en el proceso

Como ya se ha mencionado anteriormente, la unidad 433 engloba la cristalización, el secado y la separación de cristales de sulfato amónico. En este apartado se va a exponer los principales equipos que intervienen en el proceso de producción de dicha unidad:

Tanques y depósitos	
TK-433-1	Tanque de almacenamiento de licores madre.
D-433-1	Depósito cristalizador de sulfato amónico.
D-433-2	Depósito espesador de lodos o filtro ciclónico.

Tabla 3: Tanques y depósitos de la U-433.

Intercambiadores	
E-433-5	Calentador de aire para M-422-2.

Tabla 4: Intercambiadores de la U-433.

Misceláneos	
M-433-1	Centrifugadora de cesta horizontal con malla filtrante.
M-433-2	Deshidratador de cristales de sulfato amónico.
M-433-3	Criba separadora de cristales de sulfato amónico.

Tabla 5: Misceláneos de la U-433.

Agitadores	
MX-433-1	Agitador interno del cristalizador D-433-1.

Tabla 6: Agitadores de la U-433.

Bombas	
P-433-1	Bomba de reciclo del cristalizador D-433-1.
P-433-3A	Bomba encargada del envío de los desde D-433-1 a D-433-2.

Tabla 7: Bombas de la U-433.

Transportadores	
CO-433-1	Cinta transportadora de cristales de sulfato amónico.
CO-433-2	Elevador de cangilones de cristales de sulfato amónico.

Tabla 8: Transportadores de la U-433.

## 7.6 Bases de diseño de la unidad

La unidad 433 está diseñada para producir, con carácter general, cristales de mayor tamaño y de apariencia redondeada. Sin embargo, como ya se ha indicado en apartados anteriores, se efectúa una separación en dos fracciones: granular y normal. Los valores nominales de capacidad serán los siguientes:

- **Producción total:**
  - Diaria: 320 toneladas.
  - Anual: 110000 toneladas.
  - Sulfato granular anual: 60000 toneladas.
  - Sulfato normal anual: 50000 toneladas.
  
- **Características de los cristales:**
  - Tamaño de cristales de sulfato granular: > 1,7 milímetros.
  - Tamaño de cristales de sulfato normal: < 1,7 milímetros.
  - Contenido en nitrógeno amoniacal:  $\geq 21\%$  en peso.
  - Acidez como ácido sulfúrico libre:  $\leq 0,05\%$  en peso.
  - Humedad:  $\leq 0,3\%$  en peso.
  - Temperatura: 66 °C.

En cuanto a los consumos, se estiman los siguientes valores orientativos a plena carga:

- **Consumos:**
  - Vapor de media presión: 24 t/h.
  - Vapor de baja presión: 0,2 t/h.
  - Agua de refrigeración: 1000 m<sup>3</sup>/h.
  - Corriente de reciclo proveniente de U-421: 31 t/h.

## 8 EL DESHIDRATADOR DE SULFATO AMÓNICO

### 8.1 Secado y manejo de los cristales

Como ya se ha mencionado anteriormente, los cristales que salen de la centrifugadora horizontal M-433-1 con un contenido inferior al 1% pasan al secador M-433-2. Éste es del tipo cilíndrico rotatorio, y consiste en un cilindro hueco en cuyo interior se encuentran múltiples deflectores internos longitudinales. El equipo está ligeramente inclinado hacia delante, y gira lentamente sobre su eje.

Al caer los cristales de sulfato amónico dentro del deshidratador se encuentran con una corriente de aire caliente que circula en el mismo sentido de avance del producto. Este aire es aspirado por una soplante instalada aguas abajo, lo cual implica que el equipo opera a presión subatmosférica. La transferencia de la humedad hacia el aire se favorece por el movimiento de los cristales, los cuales forman a lo largo de todo el tambor del secador como una sucesión de cortinas o cascadas de cristales que van cayendo desde cada uno de los deflectores.



*Imagen 11: Vista interior del deshidratador de sulfato amónico.*

Además, el equipo está dotado de dos bandas de martillaje, formadas por 6 bolas de acero de 160 milímetros de diámetro en cada banda. Estos martillos neumáticos realizan, mediante el movimiento de rotación del secador, determinados golpes de forma cíclica sobre la estructura, lo cual produce el desapelmazamiento y desprendimiento de los cristales de sulfato amónico adheridos a las paredes del tambor, provocando el avance del producto.



*Imagen 12: Bandas de martillaje.*

Por otro lado, cabe indicar que sobre el tambor se encuentran instaladas dos bandas de rodadura, apoyadas cada una de ellas sobre dos rodillos de rodadura de apoyo, que permiten el movimiento rotativo del equipo y garantizan la sustentación del tambor del secador sobre las bancadas.



*Imagen 13: Banda y rodillo de rodadura.*

En el extremo del M-433-2, el lugar por donde sale el producto, se encuentra una válvula rotativa que se encarga de la extracción de los cristales secos y, al mismo tiempo, evita la entrada masiva de aire exterior aspirado por el conducto de salida.

Una caja de derivación instalada junto a la válvula rotativa se encarga de conducir los cristales hasta la cinta CO-433-1, que a su vez los transfiere al elevador de cangilones CO-433-2. Este elevador hace llegar el producto hasta la criba M-433-3. Ésta es del tipo oscilante, lo que significa que el tamiz receptor de los cristales está sometido a un movimiento rotativo, sin vibraciones o cambios de posición bruscos que pudieran provocar la ruptura de los cristales. Al mismo tiempo, la criba está inclinada hacia adelante con pendiente negativa, de manera que los cristales van avanzando mientras se separan.

En la parte superior del tamiz quedan retenidos los cristales de sulfato granular, cuyo tamaño es superior a 1,7 milímetros, y el resto de cristales atraviesa la malla del tamiz para incorporarse a la fracción de sulfato normal. Las dos clases de sulfato salen por diferentes conductos en dirección al almacén mediante diversas cintas transportadoras.



## 8.2 Especificaciones técnicas

A continuación, aparecen detalladas las especificaciones del equipo principal:

- **Servicio**

Secado de los cristales de sulfato amónico producidos en la centrifuga M-433-1, operando durante 24 horas diarias.
  
- **Condiciones de diseño**
  - Producto: Cristales de sulfato amónico.
  - Caudal de diseño: 20000 kg/h de cristales.
  - Caudal normal: 13800 kg/h de cristales.
  - Densidad real de los cristales: 1770 kg/m<sup>3</sup>.
  - Densidad aparente de los cristales: 1100 kg/m<sup>3</sup>.
  - Calor específico (estimado): 0,345 kcal/kg·°C.
  
- **Características del producto**
  - Humedad inicial: 1-2 %.
  - Humedad final: 0,1 %.
  - Cantidad de agua evaporada máxima: 488 kg/h.
  - Cantidad de agua evaporada normal: 368 t/h.
  - Temperatura de entrada: 60 °C.
  - Temperatura de salida: 69 °C.
  - Granulometría:

Tamaño (mm)	% del total
> 2,4	45
1,7 - 2,4	33
1,0 - 1,7	14
0,6 - 1,0	3
< 0,6	5

Tabla 9: Granulometría de los granos de sulfato amónico.

- **Proceso**

- Funcionamiento: avance de aire y producto en paralelo.
- Tiempo de secado: 15 - 18 minutos.
- Pendiente del tambor: 3%.
- Velocidad del tambor: 3,7 rpm.
- Margen de variación de velocidad: 2,9 - 4,5 rpm.
- Coeficiente de llenado: 12%.
- Potencia térmica absorbida: 463430 kcal/h.
- Potencia térmica instalada: 935000 kcal/h.
- Caudal de aire de secado: 31958 kg/h.

### 8.3 Sustentación y movimiento de rotación del secador

El deshidratador de sulfato amónico M-433-2, como ya se ha expuesto anteriormente, se trata de un tambor rotativo, hueco en su interior, encargado de realizar la última fase del proceso de secado de los cristales de sulfato amónico.

El equipo está fabricado en su totalidad en acero inoxidable AISI 316, ya que el producto tratado es extremadamente corrosivo, lo que provoca unas condiciones de trabajo realmente extremas.

Debido a sus dimensiones (15 metros de largo por 2 de diámetro) y a la cantidad de producto que traslada en su interior (en ocasiones hasta 20000 kg/h), el secador debe contar con un sistema de sustentación adecuado para la carga soportada. Para ello, en la superficie exterior del tambor se encuentran instaladas dos bandas de rodadura que permiten el apoyo del mismo sobre las bancadas, en las que se hallan dos rodillos de rodadura por cada banda.

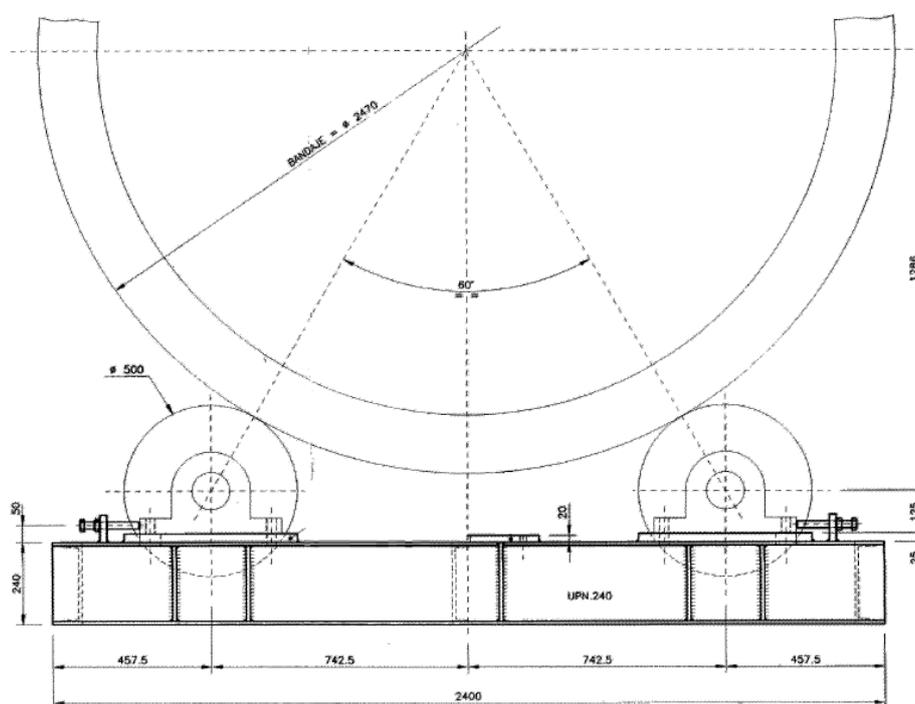


Imagen 14: Plano de banda y rodillos de rodadura.

Además, el secador se mueve alrededor de su eje a una velocidad de 3,7 rpm aproximadamente. Este movimiento de rotación es realizado mediante un mecanismo formado por una corona dentada, ubicada en la superficie exterior del tambor, que engrana con un piñón de ataque situado a la salida de una caja reductora. Previo a la caja reductora, se encuentra instalado un motor eléctrico que entrega una potencia nominal de 22kW.

La corona dentada está fabricada de acero moldeado 34CrMo4, un acero para temple y revenido adecuado para este tipo de instalaciones. En cuanto a sus características principales, posee un peso de aproximadamente 980 kg. Además, cuenta con 172 dientes, un ángulo de presión de 20 ° y un módulo de 16.

Por otro lado, el piñón está fabricado del mismo material que la corona dentada (34CrMo4). Su peso aproximado es de 140 kg, su número de dientes es de 23 y su módulo 16, al igual que la corona, siendo ésta una condición básica para el correcto engrane entre ambos.



*Imagen 15: Engrane entre el piñón y la corona.*

Conocidas las características básicas de cada uno de los elementos que desarrollan el movimiento de rotación de la máquina y la soportan sobre su estructura, se debe exponer en qué condiciones trabajan dichos elementos y de qué manera éstas pueden

afectar positiva o negativamente sobre el funcionamiento de la máquina y, consecuentemente, sobre el proceso de producción de la planta.

#### **8.4 La lubricación**

Principalmente, y como ya se ha indicado anteriormente, el presente proyecto trata de analizar y mejorar el sistema de lubricación instalado en un deshidratador rotativo de sulfato amónico.

La lubricación es la técnica empleada para reducir el rozamiento entre dos superficies que se encuentran muy próximas y en movimiento una respecto a la otra. Entre ellas, se interpone una sustancia que soporta la carga generada entre los sólidos enfrentados, denominada lubricante.

La película de lubricante interpuesta entre las superficies puede ser un sólido, como el grafito; un líquido, como el aceite o la grasa; o excepcionalmente un gas.

Una adecuada lubricación permite un funcionamiento continuo de los equipos mecánicos, con un ligero desgaste y sin excesivo estrés o ataque a las partes móviles (cojinetes y engranajes). Cuando falla la lubricación, los materiales que conforman las superficies enfrentadas pueden rozar y destruirse unos a los otros, causando aumento de temperatura, daños irreparables y, consecuentemente, fallo general del equipo.

Para realizar una correcta selección del lubricante, deben ser considerados los siguientes factores:

- Velocidad.
- Carga.
- Temperatura de operación.
- Material de los componentes.
- Forma o tipo de la superficie a lubricar.
- Ambiente de trabajo.
- Sistema de aplicación del lubricante.

Cada uno de los factores enunciados propone un producto lubricante diferente. Por ello, siempre deben ser considerados en su conjunto. Para la selección final del producto, se debe optar por aquellos factores que se identifiquen como las características más críticas de la instalación.

Los fabricantes de equipos, generalmente, incluyen en los manuales de operación o de mantenimiento sus indicaciones, sugerencias o referencias acerca del tipo de lubricante a emplear. En ocasiones, incluso señalan la marca y el nombre comercial del producto.

La característica principal de un lubricante es la viscosidad, definida como la resistencia que presenta el fluido a las deformaciones graduales producidas por tensiones cortantes o tensiones de tracción. A grandes rasgos y sin tener en cuenta otros factores de carácter menor, se puede indicar que la viscosidad de un lubricante es directamente proporcional a la carga que debe soportar e inversa a la velocidad de trabajo.

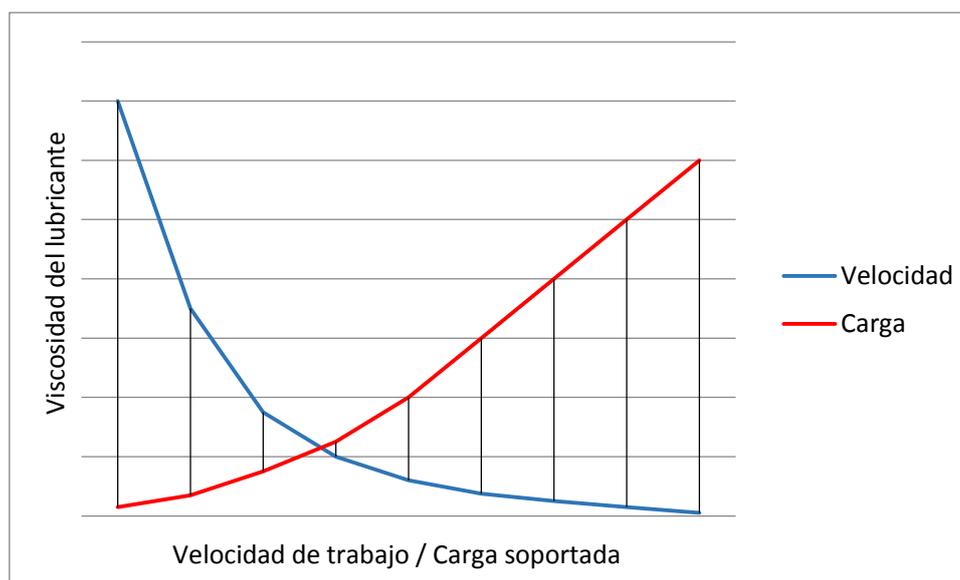


Imagen 16: Gráfica Viscosidad-Velocidad y Viscosidad-Carga.

Por tanto, en vista de lo expuesto anteriormente, se afirma que la correcta selección del método de aplicación y el lubricante a emplear es fundamental para una mayor vida útil de los elementos lubricados.



## 8.5 Rodillos y bandas de rodadura

Los rodillos de apoyo y las bandas de rodadura son los únicos elementos con los que cuenta el equipo para mantener el tambor en su posición adecuada, es decir, el deshidratador no se encuentra apoyado por ningún otro elemento. Además, permiten el movimiento rotativo ejercido por el mecanismo piñón corona. Por ello, es imprescindible realizar una lubricación correcta y acorde a las características del equipo y sus condiciones de operación.



*Imagen 17: Rodillo de rodadura.*

Como ya se ha indicado, el secador trabaja a velocidades bajas, soportando a su vez altas cargas producidas por las dimensiones del equipo y el producto que transporta. Éstas son algunas de las variables que se debe tener en cuenta a la hora de realizar una correcta selección del método de lubricación y el tipo de lubricante a emplear.

Actualmente, el sistema encargado de lubricar las ruedas de rodadura está formado por una pequeña bomba que, previamente programada para fijar los intervalos de

bombeo, envía a la superficie del rodillo (mediante goteo) cierta cantidad de lubricante a través de dos tubos de acero inoxidable. Posteriormente, el lubricante depositado sobre el primero de los rodillos se traslada, debido al movimiento de rotación, a la banda de rodadura. A su vez, el rodillo instalado en el lado opuesto es lubricado de la misma manera, gracias al contacto con la banda de rodadura.

Por otro lado, cabe indicar que el lubricante utilizado para esta aplicación ha ido variando con el paso del tiempo desde su instalación. En algo más de 15 años, las ruedas de rodadura han sido lubricadas mediante bloques de grafito, diferentes aceites y varias grasas.

Sin embargo, en la actualidad el lubricante empleado es una “mezcla casera” de grasa y aceite realizada por los operarios de la planta en base a su experiencia con el secador.

## 8.6 Mecanismo piñón corona

El tambor del deshidratador de sulfato amónico, como ya se ha indicado, gira sobre su eje de rotación. Este movimiento es producido mediante el engrane de la corona instalada sobre el tambor y un piñón de ataque movido por un motor eléctrico.

La eficiencia con la cual un engranaje opera depende, en gran medida, del lubricante que les sea aplicado y la forma en la que se realice. Los lubricantes para engranajes tienen varias funciones importantes para llevar a cabo:

- **Lubricación:** Cuando los engranajes transmiten potencia, los esfuerzos sobre sus dientes se concentran en una región muy pequeña y en un tiempo muy reducido. Además, las fuerzas que actúan en esta región son muy elevadas, por lo que si los dientes de los engranajes entran en contacto directo, los efectos de la fricción y el desgaste destruyen rápidamente los flancos de los dientes. Por ello, es necesario que el lubricante cumpla su función principal, que no es otra que reducir la fricción entre los dientes del engranaje y disminuir el desgaste.
- **Refrigeración:** El lubricante debe actuar como refrigerante y extraer el calor generado a medida que el diente rueda y se desliza sobre otro.
- **Protección:** Los engranajes deben ser protegidos por el lubricante contra la corrosión y la herrumbre, más aún si el mecanismo se encuentra descubierto y las condiciones de operación son exigentes.
- **Limpieza:** Los lubricantes para engranajes deben extraer la suciedad y los desechos producidos durante el encaje de un diente con otro.

Así pues, se puede indicar que la correcta selección del método de lubricación y el lubricante empleado es de vital importancia para un funcionamiento adecuado y eficiente de la máquina.

En la actualidad, el método de lubricación empleado para hacer llegar el lubricante, que en este caso se trata de una grasa muy fluida, desde el bidón comercial hasta la superficie de los dientes del piñón es la lubricación por pulverización. Este sistema consta de un pequeño depósito, con una capacidad de 30 litros, en el que se encuentra

el lubricante; una bomba, unida al depósito y encargada de lanzar la grasa que éste contiene; un sistema neumático, compuesto por un filtro de aire, un regulador de la presión, un manómetro, etc.; varios tubos de acero inoxidable, a través de los cuales se conduce el lubricante por todo el circuito; y dos boquillas de pulverización, encargadas de depositar la grasa sobre la superficie de los dientes del piñón.



*Imagen 18: Sistema de bombeo del mecanismo piñón corona.*

Por otra parte, cabe señalar que, para trasladar el lubricante desde el bidón comercial (200 litros de capacidad) hasta el depósito pequeño, se emplea una pequeña bomba neumática que es accionada por los operadores en el momento que observan que el nivel de lubricante está disminuyendo.



*Imagen 19: Bomba neumática y barril comercial de lubricante.*

La bomba empleada para enviar el lubricante hacia las boquillas de pulverización es una bomba neumática de un solo pistón con dos salidas. El accionamiento de la bomba se realiza mediante un motor embridado y se puede emplear en ambos sentidos de giro. Posee un volumen de elevación por salida de hasta  $720 \text{ cm}^3/\text{h}$ . El accionamiento de la bomba se realiza mediante aire comprimido que, además, es empleado también en las boquillas de pulverización. Con la ayuda de un final de carrera, adjunto al distribuidor progresivo, se controla la entrega de la grasa y el modo correcto de trabajo de la bomba de forma simultánea.

Además, cabe indicar que las boquillas no están equipadas con ningún tipo de mecanismo que permita conocer el estado de operación de las mismas.

Por otro lado, el lubricante empleado para esta aplicación es una grasa de la marca alemana Klüber Lubrication. Concretamente, se trata del modelo de grasa Grafloscon C-SG 1000 Ultra. Éste es un lubricante de color negro a base de aceite mineral, adherente y pulverizable, que presenta una gran capacidad para soportar elevadas cargas y contiene aditivos que disminuyen el desgaste, mejoran la adherencia y

protegen contra la corrosión. Además, es digno señalar que ésta es una grasa significativamente fluida y posee una baja consistencia (grado NLGI 0).

## 9 REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO

Para la elaboración del presente proyecto, es necesario tener en cuenta una serie de requisitos generales que afectan a todos los elementos que componen equipo a mejorar. Se puede destacar los siguientes:

- **Requisitos de producción:** Se requiere satisfacer la necesidad de mantener la continuidad del proceso de producción. Para ello, es de necesidad intervenir sobre los puntos críticos del equipo causantes de fallos y paradas en la producción.
- **Requisitos de seguridad y medio ambiente:** A la hora de llevar a cabo los trabajos de mejora del equipo, se debe respetar las condiciones de seguridad personal y medioambiental fijados por la compañía.
- **Requisitos técnicos:** La instalación requiere que las mejoras desarrolladas sobre el equipo no modifiquen la situación del mismo, es decir, se debe respetar la posición original de todos los elementos existentes en la línea de producción.
- **Requisitos económicos:** Se requiere, por parte de la compañía, que la solución adoptada para la mejora tenga un período de amortización igual o menor a 2 años.
- **Requisitos de mantenimiento y fiabilidad:** Se requiere que las mejoras desarrolladas en el equipo provoquen una reducción en el número de intervenciones de mantenimiento, aumentando de esta manera la fiabilidad del mismo y reduciendo los costes de reparación.

## 10 PROPUESTA Y ANÁLISIS DE SOLUCIONES

En el siguiente apartado se pretende explicar el conjunto de soluciones propuestas encaminadas a mejorar el funcionamiento del equipo objeto del presente proyecto. Para ello, se analizan con detalle y se exponen las diferentes ventajas e inconvenientes que presentan cada una de ellas con el objetivo de obtener la solución óptima para cada problema.

### 10.1 Método de lubricación del piñón

#### 10.1.1 La problemática

Como se ha comentado anteriormente, la falta de lubricación del mecanismo piñón corona que proporciona el movimiento al secador puede provocar graves consecuencias sobre el equipo y, consecuentemente, sobre el proceso productivo.

Para lubricar el mecanismo, actualmente la instalación cuenta con un sistema básico de lubricación por pulverización. Éste está formado por una pequeña bomba neumática y un par de boquillas de pulverización Lincoln de la serie SD. Se trata de unas boquillas económicas de funcionamiento simple, que se basa en la pulverización de grasa mediante el empleo de aire comprimido a una presión de 3 bar.

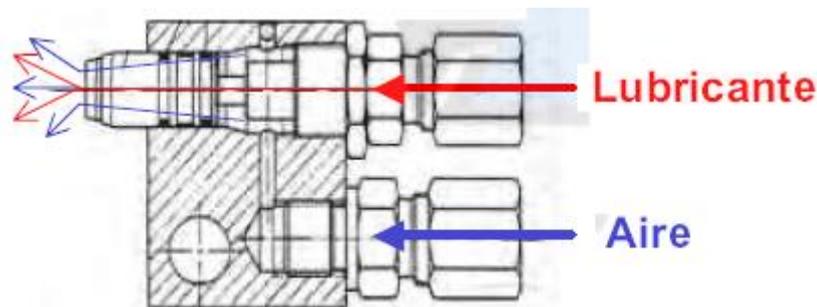
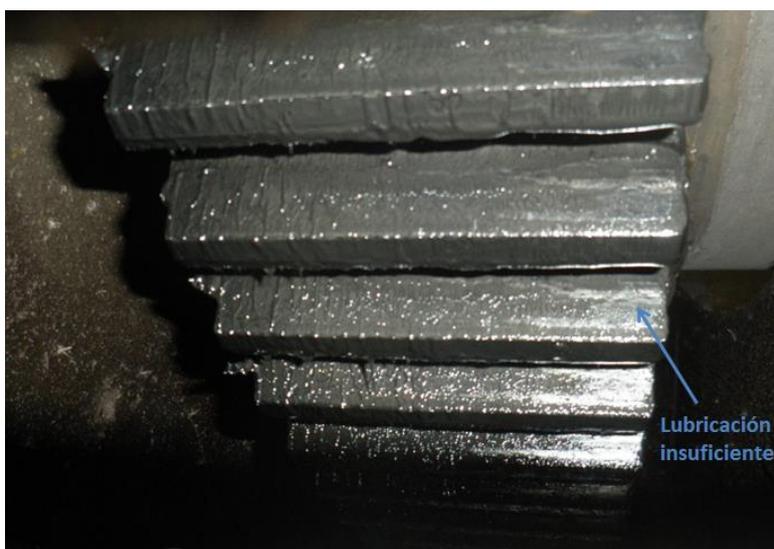


Imagen 20: Plano de boquilla de pulverización simple.

Estas boquillas resultan adecuadas, a grandes rasgos, para la aplicación de grasa por pulverización. Sin embargo, el principal inconveniente reside en la ausencia de un sistema de control, capaz de monitorizar tanto el flujo de aire como el de lubricante a través de la boquilla.

En estos mecanismos se produce con relativa frecuencia la obturación de las vías de paso de las boquillas, impidiendo el movimiento de lubricante hasta el piñón. Dicho fallo se debe a que, pese a que la grasa empleada tiene baja consistencia, posee una alta viscosidad. En ocasiones, se obstruye sólo una de las dos boquillas, provocando que el piñón se encuentre lubricado de forma irregular, provocando fuerzas de contacto excesivas en un solo lado del diente.

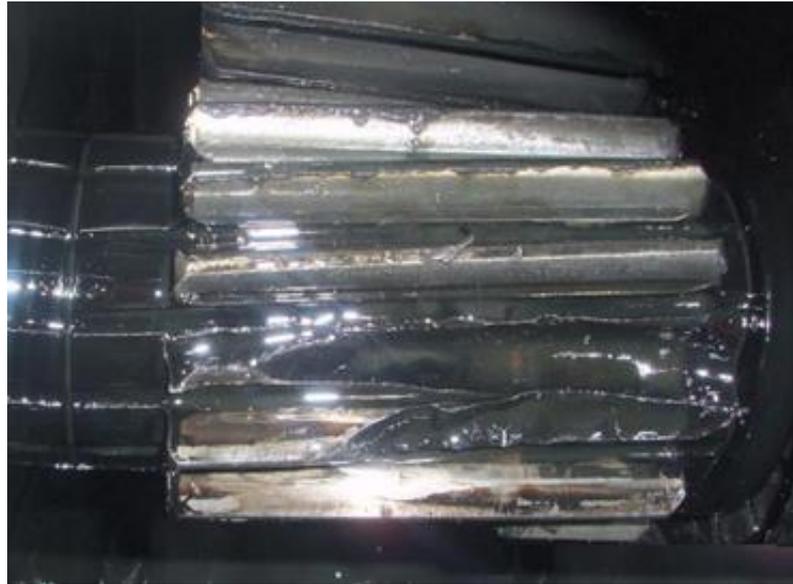


*Imagen 21: Piñón con lubricación insuficiente en el flanco derecho.*

La obturación de las boquillas repercute directamente en el estado de los engranajes y, consecuentemente, en el funcionamiento del secador. De esta manera, la falta de lubricación produce una reducción considerable de la vida útil del mecanismo.

Algunas de los problemas que han afectado a estos engranajes por falta de engrase son los siguientes:

- **Rotura:** Se presenta el agrietamiento o fractura de los dientes del engranaje, siendo éstas generalmente súbitas.



*Imagen 22: Rotura de dientes en piñón.*

- **Indentación:** Se trata de la generación de cráteres o hendiduras sobre los flancos de los dientes, producto de la deformación plástica derivada de fuerzas de contacto excesivas entre los engranajes o la presencia de partículas contaminadas.
- **Desgaste corrosivo:** Se genera ataque corrosivo sobre las diferentes partes del engranaje, ya sea por la acción de un lubricante no apto o de otro fluido con el que entra en contacto, generándose daño superficial y depósitos.
- **Desgaste abrasivo:** Se presenta pérdida de material por contacto metal-metal entre los engranajes, producto de la pérdida parcial o total de la película de lubricante.



*Imagen 23: Desgaste abrasivo en piñón.*

Con el objetivo de reducir o eliminar completamente esta serie de problemas, se decide seleccionar y analizar las diversas soluciones que puedan llevarse a cabo sobre el deshidratador.

### 10.1.2 Propuesta de soluciones

El método de lubricación y su forma de aplicación tienen una importancia primordial, en lo que a técnicas de lubricación y mantenimiento se refiere.

Al seleccionar el método de lubricación y de aplicación, es preciso verificar si los flancos de los dientes de carga están suficientemente abastecidos de lubricante, para evitar irregularidades en el buen funcionamiento del equipo.

Es evidente que el tipo de lubricante establece una importante diferenciación. El lubricante puede ser líquido o consistente, por lo que la selección del mismo dependerá del método de lubricación elegido.

Las relaciones más comunes entre los lubricantes más usuales y los métodos de aplicación para transmisiones de corona dentada se esquematizan a continuación:



Imagen 24: Esquema de la relación entre lubricante y método de aplicación.

Como se puede apreciar en el esquema anterior, los sistemas de lubricación se diferencian en:

- Lubricación continua.
- Lubricación intermitente.

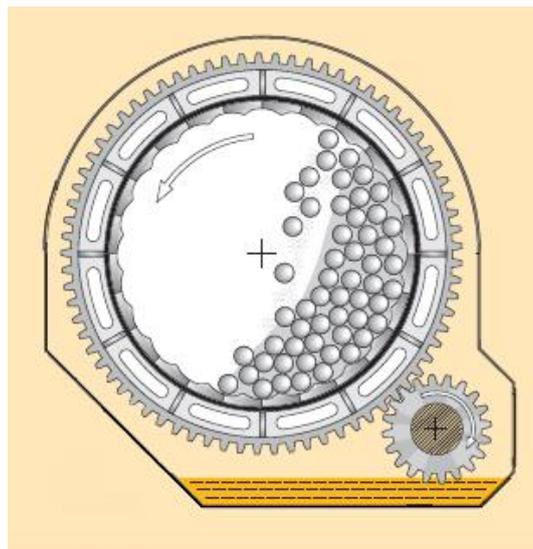
En ambos casos, se pueden seleccionar diferentes formas de aplicación.

### **10.1.2.1 Aplicación de un sistema de lubricación continua**

La lubricación continua es un método de lubricación en el cual el lubricante llega de forma ininterrumpida al punto de fricción, que en este caso es el engrane del diente. La cantidad de lubricante que alcanza a los flancos de los dientes puede oscilar entre cantidades abundantes a una mínima lubricación.

#### **10.1.2.1.1 Aplicación de un sistema de lubricación por baño de inmersión**

Se trata de un método que se emplea básicamente cuando la velocidad del elemento encargado de salpicar el aceite es baja y no garantiza un flujo adecuado de lubricante hacia los mecanismos. Forma parte de los sistemas más seguros de aplicación de lubricante, siempre y cuando el baño esté siempre lleno en cantidad suficiente, tal y como se muestra en la siguiente imagen:



*Imagen 25: Lubricación por baño de inmersión.*

Por otro lado, es imprescindible que la carcasa del sistema esté herméticamente cerrada, a fin de evitar pérdidas o fugas de lubricante que puedan provocar disminuciones en el rendimiento del deshidratador.

La instalación de este método de lubricación en el secador presenta las siguientes ventajas:

- Es ampliamente utilizado en mecanismos que trabajan a velocidades bajas y medias.
- Se trata de un sistema de lubricación de larga duración, lo que provoca una reducción en el consumo de lubricante.
- Es uno de los sistemas más seguros empleados en la actualidad cuando se cumplen los requisitos mencionados anteriormente.
- No emplea elementos auxiliares, tales como bombas o válvulas de seguridad, evitando así el gasto en su mantenimiento.

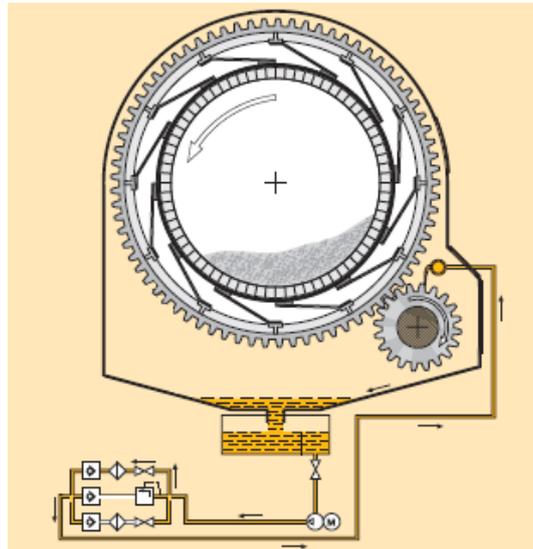
Como inconvenientes, se tiene que:

- Comporta altos costes de revisiones y mantenimiento preventivo. Se realizan con el objetivo de evitar lubricaciones insuficientes causadas por fugas o pérdidas a través de la carcasa de protección.
- Es necesario el empleo de un lubricante estable frente a los cambios de temperatura. De lo contrario, la variación en la viscosidad del mismo podría inducir una lubricación deficiente, llegando incluso a provocar la rotura de los dientes de los engranajes.
- Conlleva una amplia dificultad en la instalación de este sistema en la organización del equipo actual.

Puede producirse la entrada desde el exterior de suciedad, provocando la contaminación del lubricante.

### 10.1.2.1.2 Aplicación de un sistema de lubricación por circulación

En este método la aportación de lubricante se efectúa mediante bombas accionadas exteriormente, circulando por líneas de lubricación hasta llegar al mecanismo a lubricar, tal y como se puede observar en la imagen siguiente:



*Imagen 26: Lubricación por circulación.*

Este es uno de los sistemas más adecuados para lograr una óptima lubricación, ya que permite formar una película lubricante de excelentes características y mantiene los engranajes refrigerados y limpios

Sus principales ventajas son las siguientes:

- Es perfectamente compatible con mecanismos rotativos que trabajan a bajas velocidades.
- Proporciona un abundante, permanente y eficaz suministro de lubricante a los flancos de los dientes de los engranajes.
- En este sistema, el aceite hace las veces de lubricante y de refrigerante.
- Al tratarse de un sistema circulatorio cerrado, el lubricante es reutilizado constantemente, lo que provoca una disminución en el consumo del mismo.

Por otro lado, los principales inconvenientes que presenta la instalación de este sistema en el secador son:

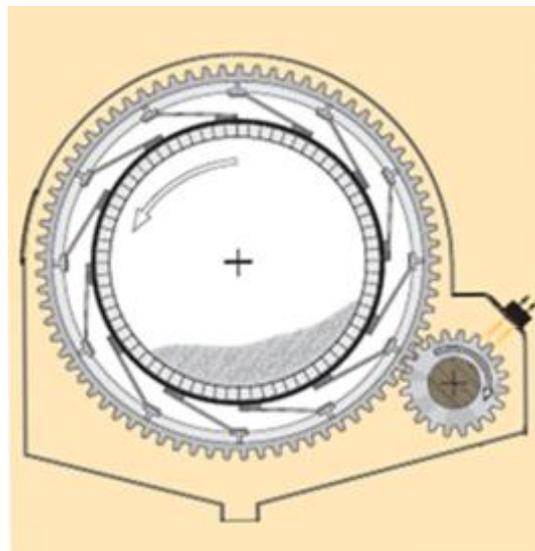
- Su instalación conlleva realizar diferentes cambios en el equipo, además de una importante inversión.
- Precisa mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo de los elementos auxiliares.
- Se debe invertir en la inspección y mantenimiento de la carcasa, a fin de evitar fugas de lubricante o entrada de suciedad ambiental en el sistema.

### **10.1.2.2 Aplicación de un sistema de lubricación intermitente**

La lubricación intermitente es un método en el que la aplicación de lubricante se produce en secuencias de tiempo interrumpidas. Este modo de lubricación comporta siempre una lubricación a pérdida, lo cual acentúa la importancia de prestar atención especial a factores económicos y de rentabilidad.

#### **10.1.2.2.1 Aplicación de un sistema de lubricación por pulverización automática**

Los sistemas de pulverización emplean aire comprimido proveniente de un compresor para aportar el lubricante suministrado por la bomba a las superficies de fricción.



*Imagen 27: Lubricación por pulverización.*

Para ello, como se puede ver en la imagen anterior, se emplean boquillas de pulverización con control que proporcionan monitorización del flujo de lubricante y aire, evitando de esta manera futuros fallos en el mecanismo piñón corona provocados por una lubricación deficiente o inexistente.

Las ventajas de este método de lubricación son las siguientes:

- Conlleva una instalación de bajo costo, teniendo en cuenta el sistema instalado actualmente en el deshidratador.
- Es compatible con sistemas rotativos que funcionan a bajas velocidades y precisa un mantenimiento simple.

- Proporciona un suministro de lubricante permanente y eficaz fijando los tiempos de pulverización y de espera adecuados.
- Las boquillas con control proporcionan una monitorización del 100% del flujo de aire y de lubricante.

Sin embargo, la implantación de sistemas de pulverización también presenta ciertos inconvenientes, que son los siguientes:

- Es necesario emplear un lubricante estable frente a los cambios en las condiciones de operación, asegurando de esta manera el bombeo y posterior pulverización del mismo.
- Se requiere aire a presión proveniente de diferentes compresores instalados en la planta.

El consumo de grasa es superior en comparación a otros métodos debido a que se trata de un sistema de lubricación a pérdida.

### 10.1.3 Adopción de la solución final

Para seleccionar la solución que se llevará a cabo finalmente, se ha decidido emplear el método multi-criterio. Éste es un instrumento que se utiliza para evaluar diversas posibles soluciones a un problema determinado, considerando un número variable de criterios o atributos, con el objetivo de apoyar la toma de decisiones en la selección de la solución final más conveniente.

En este caso, se ha seleccionado cuatro atributos o características que, ordenadas de mayor a menor importancia, son:

- **Atributo 1:** El método instalado asegura la correcta lubricación del mecanismo.
- **Atributo 2:** El precio del sistema de lubricación.
- **Atributo 3:** La fácil instalación y mantenimiento del sistema.
- **Atributo 4:** El consumo de lubricante.

A continuación, se muestra en la siguiente tabla el conjunto de soluciones propuestas, y se realiza una valoración de los atributos expuestos anteriormente:

	Atributo 1	Atributo 2	Atributo 3	Atributo 4
Por baño de inmersión	95%	Muy caro	50%	100%
Por circulación	90%	Caro	60%	100%
Por pulverización automática	90%	Moderado	95%	60%

*Tabla 10: Valoración de los atributos de cada alternativa.*

Ahora, con el objetivo de realizar una media ponderada, se debe calcular el peso unitario de cada atributo. Además, se necesita estudiar el nivel de importancia de cada característica respecto del resto, estableciéndolo de manera numérica según el decisor. Para ello, se aplican los valores de la siguiente tabla:

Importancia	Definición
1	Igual importancia
3	Dominancia débil
5	Fuerte dominancia
7	Demostrada dominancia
9	Absoluta dominancia
2,4,6,8	Valores intermedios

Tabla 11: Niveles de importancia estandarizados.

El nivel de importancia de los atributos mencionados anteriormente es el siguiente:

	Atributo 1	Atributo 2	Atributo 3	Atributo 4
Atributo 1	1	3	4	7
Atributo 2	1/3	1	2	4
Atributo 3	1/4	1/2	1	3
Atributo 4	1/7	1/4	1/3	1

Tabla 12: Nivel de importancia entre los atributos seleccionados.

Una vez obtenidos estos valores, se puede calcular el peso unitario de cada uno de los atributos empleando la siguiente ecuación matemática:

$$W_n = \frac{(a_{n1} \cdot a_{n2} \cdot \dots \cdot a_{nn})^{\frac{1}{x}}}{\sum W_n}$$

donde:

- W<sub>n</sub>**            peso de la característica seleccionada
- a<sub>nn</sub>**            valor del nivel de importancia
- x**                número de atributos

De esta manera, se procede a calcular el peso de cada atributo, empleando la expresión anterior:

$$W_1 = (1 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 7)^{\frac{1}{4}} = 3,0274$$

$$W_2 = \left(\frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 2 \cdot 4\right)^{\frac{1}{4}} = 1,2778$$

$$W_3 = \left( \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 3 \right)^{\frac{1}{4}} = 0,7825$$

$$W_4 = \left( \frac{1}{7} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{3} \cdot 1 \right)^{\frac{1}{4}} = 0,0102$$

Se obtiene a continuación el sumatorio de los pesos:

$$W_{total} = \sum W_n = 3,0274 + 1,2778 + 0,7825 + 0,0102 = 5,0979$$

Dividiendo los  $W_n$  entre el sumatorio, se obtiene el peso unitario de cada atributo:

$$W_1 = \frac{3,0274}{5,0979} = 0,5938$$

$$W_2 = \frac{1,2778}{5,0979} = 0,2506$$

$$W_3 = \frac{0,7825}{5,0979} = 0,1535$$

$$W_4 = \frac{0,0102}{5,0979} = 0,0021$$

A continuación, se debe valorar los atributos correspondientes a cada solución con valores entre cero y uno:

	Atributo 1	Atributo 2	Atributo 3	Atributo 4
Por baño de inmersión	0,95	0,5	0,5	1
Por circulación	0,9	0,7	0,6	1
Por pulverización automática	0,9	0,8	0,95	0,6

Tabla 13: Valoración de los atributos con valores de 0 a 1.

Para finalizar, se calcula el valor que se obtiene para cada método de lubricación presentado, con el objetivo de elegir la solución óptima:

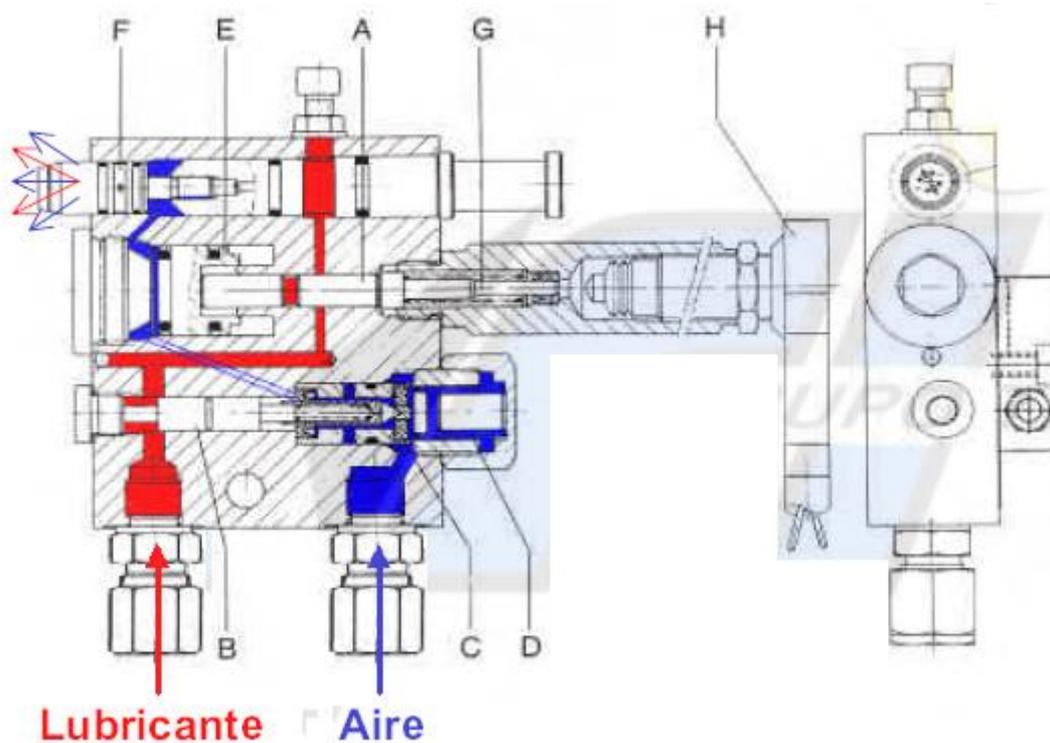
$$S_1 = 0,95 \cdot 0,5938 + 0,5 \cdot 0,2506 + 0,5 \cdot 0,1535 + 1 \cdot 0,0021 = \mathbf{0,7682}$$

$$S_2 = 0,9 \cdot 0,5938 + 0,7 \cdot 0,2506 + 0,6 \cdot 0,1535 + 1 \cdot 0,0021 = \mathbf{0,8041}$$

$$S_3 = 0,9 \cdot 0,5938 + 0,8 \cdot 0,2506 + 0,85 \cdot 0,1535 + 0,6 \cdot 0,0021 = \mathbf{0,8663}$$

A la vista de los resultados obtenidos tras realizar el estudio multi-criterio, se puede afirmar que los tres sistemas de lubricación propuestos podrían ser instalados en el deshidratador de sulfato amónico.

Sin embargo, se puede concluir con que la **lubricación por pulverización automática** es la solución óptima, por lo que se decide optar por ella.



A - Pistón

B - Pistón de control

C - Válvula

D - Muelle

E - Pistón de aire

F - Pulverizador

G - Varilla

H - Detector

Imagen 28: Plano de boquilla pulverizadora con control.

Una vez escogido este sistema de lubricación, cabe indicar que dicho sistema tiene el cometido de dosificar lubricante de forma continua. Esta dosificación se realiza mediante 2 boquillas de pulverización, auto pilotadas y con monitorización eléctrica de funcionamiento. Cada boquilla recibe aire comprimido desde la instalación, cuya comunicación con el exterior (tobera de la boquilla, donde se produce la pulverización) queda bloqueada por una compuerta interior. Al recibirse lubricante en el interior de la boquilla, se genera una presión que actúa la compuerta neumática y abre el paso al aire comprimido. De esta forma se produce simultáneamente la dosificación de lubricante al exterior, y la pulverización del mismo mediante el aire comprimido. Una vez dosificado el lubricante, la presión en el interior disminuye, por lo que vuelve a cerrarse el paso de aire comprimido. Mediante la apertura y cierre del paso al aire comprimido, se produce el movimiento de un pistón que es detectado por un sensor de proximidad inductivo, cuya señal se transmite al cuadro de control del sistema, permitiendo monitorizar en todo momento el funcionamiento de las boquillas. La señal eléctrica emitida por el sensor, implica el movimiento del pistón, y por tanto que se ha dosificado lubricante (ya que éste produce dicho movimiento por la presión ejercida). En combinación con un sensor de presión mínima en línea de aire, el sistema queda totalmente monitorizado.

Por último, indicar que esta secuencia de funcionamiento implica un consumo de aire comprimido durante, únicamente, cada instante de pulverización de lubricante.

## 10.2 Tipo de lubricante

### 10.2.1 La problemática

Como ya se ha comentado en el apartado 10.1.1., el lubricante empleado para engrasar el mecanismo piñón corona del secador M-2 es una grasa de la factoría alemana Klüber Lubrication denominado Grafloscon C-SG 1000 Ultra. Éste es un lubricante de color negro capaz de soportar altas cargas. Además, como su propio nombre indica, posee una viscosidad a 40 °C de 1000 mm<sup>2</sup>/s. Aparentemente, es una grasa apta en casi la totalidad de sus características para su utilización en el equipo objeto del presente proyecto.

Ensayo	Método ASTM	Unidades	Grafloscon C-SG 1000 Ultra
Color	-	-	Negro
Grado NLGI	D-217	-	0
Rango de temperatura	-	°C	5 - 100
Viscosidad 40°C	D-445	mm <sup>2</sup> /s	1000
Viscosidad 100°C	D-445	mm <sup>2</sup> /s	66

Tabla 14: Ficha técnica Grafloscon C-SG 1000 Ultra.

Uno de los principales problemas que suelen aparecer en el secador es la obturación de las boquillas de pulverización, también indicado en apartados anteriores. Este fallo viene dado, principalmente, por la incompatibilidad del método de lubricación y el lubricante utilizados. Más concretamente, se puede afirmar que 1000 mm<sup>2</sup>/s a 40 °C es una viscosidad demasiado elevada para una grasa pulverizable y, por dicho motivo, el piñón corona presenta falta de lubricación en reiteradas ocasiones como consecuencia de la obstrucción de las boquillas.

Por otro lado, la suciedad es otro de los problemas que presenta Grafloscon C-SG 1000 Ultra. Debido su alta viscosidad, esta grasa de intenso color negro no fluye adecuadamente por los drenajes de la carcasa hacia los puntos de recogida de la grasa usada y se acumula en los alrededores del conjunto piñón corona, afectando negativamente a toda la zona.



*Imagen 29: Lubricante acumulado en los alrededores del equipo.*

Asimismo, como consecuencia del bloqueo de las boquillas, la grasa fuga por los diferentes elementos del sistema de lubricación, perjudicando de esta manera al conjunto motor-reductor que mueve el mecanismo y la bancada sobre la que se encuentra ubicado.



*Imagen 30: Suciedad en la bancada.*

### 10.2.2 Propuesta de soluciones

Como solución a la problemática presentada en el apartado anterior se propone seleccionar diversas grasas lubricantes compatibles con el sistema de lubricación automática elegido en el apartado 10.1.3. y posteriormente realizar su análisis y comparación.

Para ello, es estrictamente necesario conocer las características que debe poseer la grasa para poder lubricar correctamente los engranajes y, a su vez, funcionar adecuadamente en el sistema instalado y para las condiciones de operación del secador M-2.

La característica principal de un lubricante, que posteriormente determinará su funcionamiento en el sistema de lubricación, es la viscosidad. Ésta se define como la resistencia interna a fluir que presentan las moléculas de un líquido cuando pasan una al lado de la otra, en su movimiento, a una temperatura determinada. Por tanto, es ésta la principal propiedad a estudiar para llevar a cabo el proyecto.

La viscosidad, según una regla práctica para la selección aproximada de la viscosidad de un lubricante empleado en un sistema de pulverización basada en diferentes normas ASTM, depende directamente de tres factores:

- Velocidad de giro de los engranajes.
- Temperatura de operación del equipo.
- Carga soportada por los engranajes.

Tras la realización del estudio presentado en el **ANEXO I**, se conoce los valores numéricos de las siguientes características:

	Valor	Unidades
Velocidad de giro	3,78	rpm
Temperatura de operación	42	°C
Carga soportada	29	kN

Tabla 15: Características del deshidratador.

Además, en dicho anexo, se procede al cálculo de la viscosidad ISO aproximada que fijará la característica principal a tener en cuenta en la selección de los diferentes lubricantes, según el sistema indicado anteriormente:

	Viscosidad baja	Viscosidad media	Viscosidad alta
Velocidad	alta	media	baja
Carga	baja	media	alta
Temperatura	baja	normal	media-alta

*Tabla 16: Tabla para el cálculo de la viscosidad del lubricante.*

Por tanto, y en vista de las anteriores afirmaciones, se concluye con que el lubricante utilizado en el sistema de lubricación automática deberá poseer un alto grado de viscosidad, coincidiendo así con las recomendaciones del fabricante del equipo, que aseguran que el lubricante a emplear deberá tener una viscosidad ISO de aproximadamente 680 mm/s<sup>2</sup>.

A continuación, se procede a la selección y presentación de cuatro lubricantes diferentes y su posterior comparativa.

### **10.2.2.1 Klüberfluid C-F 8 Ultra**

#### **10.2.2.1.1 Descripción**

Se trata de un lubricante de servicio de nueva generación de color pardo comercializado por la empresa alemana Klüber Lubrication, marca que cuenta con amplia experiencia en el ámbito de la lubricación de todo tipo de equipos. Ha sido desarrollado, especialmente, para la lubricación de grandes accionamientos de corona dentada. Su composición se basa en hidrocarburos sintéticos y aceite mineral, estando exento de betún, disolventes, cloro, metales pesados y materias sólidas. Ofrece una buena adherencia y resistencia a altas presiones, además de una alta protección contra el desgaste. Además, puede ser utilizado hasta temperaturas de 120 °C. Las características de este producto pueden contribuir a minimizar los gastos de mantenimiento, aumentando a su vez la vida útil del equipo. Además, el color claro de este lubricante asegura una mayor limpieza de la zona en la que se ubica el equipo frente a posibles fugas u obstrucciones en los drenajes de la carcasa. El precio del barril de 200 litros de este lubricante es de 2493,37 €.

Cabe señalar que este lubricante forma parte de un sistema de lubricación A-B-C, siendo éste empleado en la etapa C (lubricación de servicio). Este sistema se emplea para asegurar una perfecta lubricación en todas las fases de servicio del mecanismo y para proteger las transmisiones de daños desde sus primeras maniobras.

#### **10.2.2.1.2 Campos de aplicación**

Esta grasa lubricante puede ser empleada para la lubricación por inmersión, mediante paleta, por circulación o pulverización de grandes accionamientos de corona dentada, siempre que no superen una velocidad periférica de 8 m/s. En términos de potencia o tamaño de los accionamientos, indicar que la aplicación de este producto no se ve limitada por dichos factores. Estos accionamientos se suelen localizar en molinos tubulares, tambores, hornos y maquinaria similar en la industria cementera, térmica y química.

### 10.2.2.1.3 Datos técnicos

Ensayo	Método ASTM	Unidades	Klüberfluid C-F 8 Ultra
Color	-	-	Pardo
Grado NLGI	D-217	-	00
Rango de temperatura	-	°C	0 - 80
Viscosidad 40°C	D-445	mm <sup>2</sup> /s	680
Viscosidad 100°C	D-445	mm <sup>2</sup> /s	63
Índice de viscosidad	D-567	-	163
Punto de inflamación	D-92	°C	200
Resistencia al agua	D-942	-	0
Corrosión del cobre	D-130	-	2b
Protección contra corrosión	D-665	-	Pasa

Tabla 17: Ficha técnica Klüberfluid C-F 8 Ultra.

### 10.2.2.1.4 Valoración de las características del lubricante

Las principales ventajas que ofrece este lubricante son:

- Posee una viscosidad a 40 °C igual a la recomendada por el fabricante y su índice de viscosidad es moderadamente alto.
- Es totalmente resistente al agua y presenta buena protección contra la corrosión.
- Tiene un color claro, lo que colabora en la limpieza de la zona de trabajo.
- Asegura una perfecta lubricación y protección del mecanismo en todas las fases de funcionamiento.

En cuanto a sus inconvenientes, son los siguientes:

- Presenta una leve tendencia a provocar corrosión en metales blandos.
- Su precio es elevado.

### **10.2.2.2 Grafloscon B-SG 0 Ultra**

#### **10.2.2.2.1 Descripción**

Se trata de un lubricante de servicio de color negro. También es fabricado y comercializado por la factoría alemana Klüber Lubrication. Presenta una base de aceite mineral, pulverizable y adherente, espesado con estereato de aluminio y con grafito fino como lubricante sólido. Posee una gran capacidad para soportar elevadas presiones y, además, contiene aditivos que disminuyen el desgaste, protegen contra la corrosión y mejoran la adherencia a la superficie lubricada. Por otro lado, no contiene betún, metales pesados ni disolventes. Éste es un lubricante experimentado y relativamente económico. El precio del barril de 200 litros asciende a 2501,95 euros.

#### **10.2.2.2.2 Campos de aplicación**

Este producto puede usarse como lubricante o agente de protección de todo tipo de engranajes abiertos, cadenas, cables metálicos o vías de deslizamiento, aunque principalmente ha sido concebido para la lubricación por pulverización de accionamientos de hornos giratorios, mezcladores tubulares y molinos empleados en la industria de cemento, de cal y de yeso, además de en minas y en la industria química.

#### **10.2.2.2.3 Datos técnicos**

Ensayo	Método ASTM	Unidades	Grafloscon B-SG 0 Ultra
Color	-	-	Negro
Grado NLGI	D-217	-	0
Rango de temperatura	-	°C	0 - 90
Viscosidad 40°C	D-445	mm <sup>2</sup> /s	680
Viscosidad 100°C	D-445	mm <sup>2</sup> /s	45
Índice de viscosidad	D-567	-	119
Punto de inflamación	D-92	°C	200
Resistencia al agua	D-942	-	1
Corrosión del cobre	D-130	-	2d
Protección contra corrosión	D-665	-	Pasa

Tabla 18: Ficha técnica Grafloscon B-SG 0 Ultra.

#### **10.2.2.2.4 Valoración de las características del lubricante**

Las ventajas que presenta este lubricante son las siguientes:

- Su viscosidad a 40 °C coincide con la recomendada con el fabricante.
- Muestra una buena protección contra la corrosión.

Por otro lado, los inconvenientes que posee esta grasa son:

- Posee un índice de viscosidad medio-bajo.
- Su composición se ve ligeramente alterada por el contacto con el agua.
- Es propensa a provocar corrosión en metales blandos.
- Tiene un precio elevado.

### **10.2.2.3 Castrol Tribol 3020/1000**

#### **10.2.2.3.1 Descripción**

Se trata de una grasa de servicio opaca y de color negro creada por la empresa londinense Castrol, uno de los principales fabricantes, distribuidores y comerciantes de lubricantes del mundo. Ésta posee un espesante de jabón de litio, así como aceites minerales de alta viscosidad que forman una película lubricante estable soportando así elevadas y continuas cargas propias de los procesos minerales primarios y de la industria química. Además, este producto contiene un paquete de aditivos denominados TGOA que se activan automáticamente con cargas elevadas, causando una reacción físico-química que conduce a un aislamiento de las rugosidades de la superficie sin crear abrasión. En consecuencia, el proceso de rodaje puede realizarse con el mismo tipo de lubricante. El precio del barril comercial de 200 litros es de 1998,45 euros.

#### **10.2.2.3.2 Campos de aplicación**

El lubricante expuesto anteriormente ha sido fabricado para la lubricación de grandes equipos de la minería, cementeras, centrales térmicas y químicas, además de grandes excavadoras, perforadoras, molinos y secadores. Además, se indica que es aplicable manualmente o por sistemas automáticos.

#### **10.2.2.3.3 Datos técnicos**

Ensayo	Método ASTM	Unidades	Castrol Tribol 3020/1000
Color	-	-	Negro
Grado NLGI	D-217	-	0
Rango de temperatura	-	°C	-30 - 120
Viscosidad 40°C	D-445	mm <sup>2</sup> /s	1000
Viscosidad 100°C	D-445	mm <sup>2</sup> /s	54
Índice de viscosidad	D-567	-	104
Punto de inflamación	D-92	°C	195
Resistencia al agua	D-942	-	0
Corrosión del cobre	D-130	-	1b
Protección contra corrosión	D-665	-	Pasa

Tabla 19: Ficha técnica Castrol Tribol 3020/1000.

#### **10.2.2.3.4 Valoración de las características del lubricante**

Las ventajas que posee este lubricante son:

- Tiene un amplio rango de temperatura de operación.
- Es resistente al agua y protege al mecanismo contra la corrosión.

Sin embargo, posee ciertos inconvenientes:

- Su viscosidad a 40 °C es demasiado elevada en comparación a la recomendada por el fabricante.
- Presenta un índice de viscosidad muy bajo.

#### **10.2.2.4 Olipes Maxigras 94 OGL**

##### **10.2.2.4.1 Descripción**

Se trata de un lubricante fluido de color negro fabricado y comercializado por la empresa española Olipes S.L., con un alto grado de viscosidad aparente y exento de diluyentes, cloro, plomo y metales pesados. Esta grasa ha sido formulada con bases sintéticas, grafito coloidal ultrafino y jabón especial de complejo de aluminio. Cabe indicar que este lubricante ofrece una elevada protección contra la corrosión y la oxidación, gran capacidad de bombeabilidad y excelente adherencia sobre las superficies a lubricar. Además, debido a su composición química, reduce el efecto de micro-pitting en el engranaje minimizando el desgaste en los flancos de los dientes. Añadir que puede ser utilizado a una temperatura de hasta 140 °C en picos térmicos puntuales. El precio del barril comercial de 200 litros es de 1602,22 €.

##### **10.2.2.4.2 Campos de aplicación**

Esta grasa lubricante ha sido fabricada para su utilización en grandes engranajes abiertos sometidos a fuertes cargas y altas temperaturas ubicados en hornos rotativos, molinos en cementeras e industria minera, cintas y cadenas de transporte. Además, puede ser empleada en el ámbito del mantenimiento y la lubricación marina.

##### **10.2.2.4.3 Datos técnicos**

Ensayo	Método ASTM	Unidades	Olipes Maxigras 94 OGL
Color	-	-	Negro
Grado NLGI	D-217	-	0
Rango de temperatura	-	°C	-110 + 120
Viscosidad 40°C	D-445	mm <sup>2</sup> /s	680
Viscosidad 100°C	D-445	mm <sup>2</sup> /s	51
Índice de viscosidad	D-567	-	131
Punto de inflamación	D-92	°C	250
Resistencia al agua	D-942	-	0
Corrosión del cobre	D-130	-	1a
Protección contra corrosión	D-665	-	Pasa

Tabla 20: Ficha técnica Olipes Maxigras 94 OGL.

#### **10.2.2.4 Valoración de las características del lubricante**

Las principales ventajas que ofrece este lubricante son:

- Su viscosidad a 40 °C es la adecuada.
- Es totalmente compatible con las condiciones de trabajo presentadas.
- Posee un amplio rango de temperatura de operación.
- Su precio es moderado.

Por otro lado, muestra los siguientes inconvenientes:

- Presenta un índice de viscosidad medio-bajo
- Posee un alto contenido en lubricantes sólidos, lo que podría provocar la obturación de las boquillas de pulverización.

### 10.2.3 Adopción de la solución final

Para seleccionar el lubricante más adecuado para el mecanismo piñón corona instalado en el deshidratador, se ha decidido emplear el método matricial de análisis multi-criterio, tal y como se ha realizado en el apartado 10.1.3.

Se ha seleccionado cuatro atributos o características que, ordenadas de mayor a menor importancia, son:

- **Atributo 1:** El lubricante asegura la total protección del mecanismo.
- **Atributo 2:** La grasa es compatible con el sistema de bombeo y pulverización, con el mecanismo y con las condiciones de operación.
- **Atributo 3:** El precio del lubricante y su instalación.
- **Atributo 4:** La limpieza de la zona de trabajo y el mantenimiento del equipo.

Una vez fijadas las características a evaluar, se debe construir una tabla que las relacione con cada una de las grasas lubricantes propuestas para su instalación en el mecanismo.

	Atributo 1	Atributo 2	Atributo 3	Atributo 4
<b>Klüberfluid C-F 8 Ultra</b>	100%	90%	2493,37	90%
<b>Grafloscon B-SG 0 Ultra</b>	85%	80%	2501,95	75%
<b>Castrol Tribol 3020/1000</b>	65%	95%	1998,45	70%
<b>Olipes Maxigras 94 OGL</b>	80%	100%	1602,22	70%

Tabla 21: Valoración de los atributos de cada alternativa.

A continuación, se necesita estudiar el nivel de importancia de cada característica respecto del resto, estableciéndolo de manera numérica según el decisor:

	Atributo 1	Atributo 2	Atributo 3	Atributo 4
<b>Atributo 1</b>	1	3	7	5
<b>Atributo 2</b>	1/3	1	6	3
<b>Atributo 3</b>	1/7	1/6	1	2
<b>Atributo 4</b>	1/5	1/3	1/2	1

Tabla 22: Nivel de importancia entre los atributos seleccionados.

Ahora, se procede a calcular el peso de cada atributo:

$$W_1 = (1 \cdot 3 \cdot 7 \cdot 5)^{\frac{1}{4}} = 3,2011$$

$$W_2 = \left(\frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 6 \cdot 3\right)^{\frac{1}{4}} = 1,8481$$

$$W_3 = \left(\frac{1}{7} \cdot \frac{1}{6} \cdot 1 \cdot 2\right)^{\frac{1}{4}} = 0,4671$$

$$W_4 = \left(\frac{1}{5} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot 1\right)^{\frac{1}{4}} = 0,4273$$

Se obtiene a continuación el sumatorio de los pesos:

$$W_{total} = \sum W_n = 3,2011 + 1,8481 + 0,4671 + 0,4273 = 5,9436$$

Dividiendo los  $W_n$  entre el sumatorio, se obtiene el peso unitario de cada atributo:

$$W_1 = \frac{3,2011}{5,9436} = 0,5386$$

$$W_2 = \frac{1,8481}{5,9436} = 0,3109$$

$$W_3 = \frac{0,4671}{5,9436} = 0,0786$$

$$W_4 = \frac{0,4273}{5,9436} = 0,0719$$

Se debe valorar en este momento los atributos correspondientes a cada solución con valores entre cero y uno:

	Atributo 1	Atributo 2	Atributo 3	Atributo 4
<b>Klüberfluid C-F 8 Ultra</b>	1	0,9	0,25	0,85
<b>Grafloscon B-SG 0 Ultra</b>	0,85	0,75	0,25	0,75
<b>Castrol Tribol 3020/1000</b>	0,6	0,95	0,5	0,7
<b>Olipes Maxigras 94 OGL</b>	0,8	1	0,65	0,7

Tabla 23: Valoración de los atributos con valores de 0 a 1.

Para concluir, se calcula el valor que obtiene cada lubricante seleccionado, con el objetivo de elegir la solución óptima:

$$S_1 = 1 \cdot 0,5386 + 0,9 \cdot 0,3109 + 0,25 \cdot 0,0786 + 0,85 \cdot 0,0719 = \mathbf{0,899}$$

$$S_2 = 0,85 \cdot 0,5386 + 0,75 \cdot 0,3109 + 0,25 \cdot 0,0786 + 0,75 \cdot 0,0719 = \mathbf{0,764}$$

$$S_3 = 0,6 \cdot 0,5386 + 0,95 \cdot 0,3109 + 0,5 \cdot 0,0786 + 0,7 \cdot 0,0719 = \mathbf{0,708}$$

$$S_4 = 0,75 \cdot 0,5386 + 1 \cdot 0,3109 + 0,65 \cdot 0,0786 + 0,7 \cdot 0,0719 = \mathbf{0,843}$$

En vista de los resultados, se observa que todas las grasas lubricantes podrían ser empleadas en el mecanismo piñón corona con bastante eficacia. Sin embargo, **Klüberfluid C-F 8 Ultra** es la solución óptima y, por tanto, se optará por ella para ser pulverizada sobre los engranajes del deshidratador.

### **10.3 Bombeo de lubricante**

#### **10.3.1 La problemática**

El sistema encargado del bombeo de lubricante sufre, actualmente, constantes averías y fallos, provocando una continua falta de lubricación en el mecanismo piñón corona. Este sistema consta de un depósito de 30 litros, donde se encuentra almacenado el lubricante; una bomba, unida a dicho depósito, encargada de lanzar la grasa; un sistema neumático provisto de un filtro de aire, regulador de la presión, manómetro, etc.; y varios tubos de acero inoxidable a través de los cuales viaja el lubricante hacia las boquillas de pulverización.



*Imagen 31: Bomba neumática con depósito de 30 litros de capacidad.*

Por otro lado, se cuenta con una segunda bomba neumática encargada de trasladar el lubricante desde el bidón comercial removible de 200 litros hasta el depósito de bombeo. Es en este punto del sistema donde residen los principales inconvenientes, que son los siguientes:



*Imagen 32: Barril comercial con bomba neumática de accionamiento manual.*

- **Bomba manual:** Ésta no es una bomba automática programable, sino que debe ser accionada por un operario cada vez que vaya a ser puesta en funcionamiento. Además, cabe indicar que, para llenar el depósito de 30 litros, el operario debe estar accionando manualmente la bomba durante unos 20 minutos.
- **Sensores de nivel:** Dicha situación, además de provocar una pérdida innecesaria de tiempo para el operario, se produce de forma aleatoria en el tiempo, es decir, la bomba es accionada cuando el operario se percata que en el depósito hay escasez de lubricante, debido a que el depósito no está monitorizado y no cuenta con sensores de nivel de lubricante que faciliten el control sobre la instalación.
- **Cambio de barril:** Durante las tareas de cambio e instalación del nuevo barril de lubricante comercial de 200 litros, se producen con frecuencia varios retrasos en el tiempo, debido a la incomodidad de dicha operación, lo que provoca en ciertas ocasiones la no lubricación del mecanismo piñón corona.
- **Pérdida de lubricante:** Habitualmente, se suceden también derrames de lubricante durante las tareas anteriormente mencionadas, como son el cambio

de barril o el traslado del lubricante. Esta situación provoca, obviamente, un malgasto de lubricante, que se traduce en pérdidas económicas.

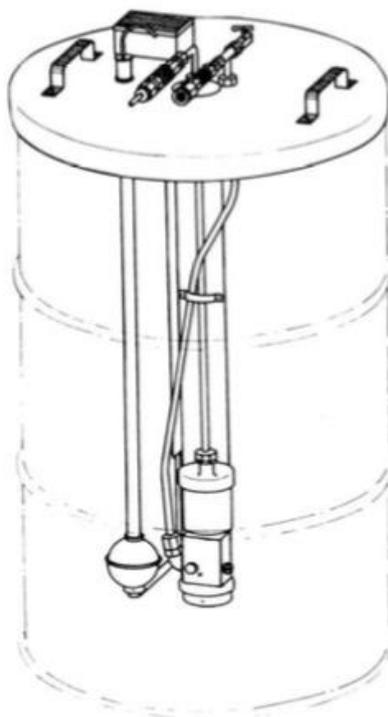
- **Contaminación de la zona adyacente:** Como consecuencia de los derrames descritos en el punto anterior, se ocasiona la acumulación de lubricante y suciedad en el área cercana al equipo de bombeo, contaminándola y suponiendo un peligro real para la integridad física de las personas que allí trabajan.
- **Contaminación de lubricante:** Por último, cabe indicar que durante el transcurso de las tareas de traslado de lubricante, se produce el contacto de éste con el medio, lo que ocasiona la entrada de partículas contaminantes en él. Esto provoca la pérdida de propiedades del lubricante y, en situaciones extremas, el deterioro total del mismo.

### 10.3.2 Solución propuesta

Debido a los inconvenientes descritos anteriormente y con el objetivo de reducir o eliminar completamente dichos problemas, se ha decidido tomar una serie de medidas y realizar ciertas modificaciones y sustituciones en el equipo de bombeo.

Primeramente, se considera necesario suprimir la fase de trasvase de lubricante del bidón comercial (200 litros) al depósito de bombeo (30 litros), de manera que se pueda minimizar o eliminar los problemas causados por derrames de lubricante, tales como la contaminación de los alrededores de la instalación o la pérdida del mismo. Por otro lado, también se necesita erradicar la contaminación que sufre el lubricante durante esta fase y la pérdida de tiempo sufrida por el operario que ocasiona dicha operación de traslado de grasa de un lugar a otro.

Por tanto, se decide eliminar cada una de las bombas neumáticas empleadas en sendos depósitos para la tarea de bombeo, e instalar una la bomba neumática para barriles comerciales modelo SAF2-YL de la marca Lincoln.

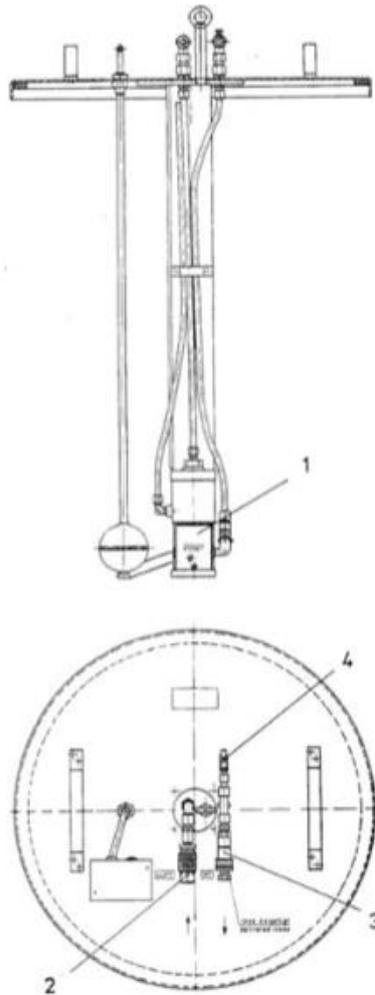


*Imagen 33: Bomba SAF2-YL.*

La bomba SAF2-YL está prevista exclusivamente para el uso en sistemas de pulverización para la elevación de lubricantes adhesivos de las clases NLGI 0 y NLGI 00. Cabe indicar que la dicha bomba realiza una elevación de lubricante directamente desde el envase comercial de 200 litros. Por otro lado, posee un sensor de nivel que indica constantemente la cantidad de lubricante restante en el bidón y en qué momento debe realizarse el cambio del mismo. Además, dicha bomba está provista de dos salidas de lubricante de 1,1 cm<sup>3</sup> cada una, y cuenta con la posibilidad de incorporarle una unidad de soporte y cabestrante, lo que facilita y agiliza la operación de cambio de barril comercial.

Así pues, las ventajas que presenta la instalación de dicha estación de bombeo son las siguientes:

- Se produce una elevación directa del envase original, por lo que no es necesario rellenar ningún recipiente y se erradican los problemas de derrame y contaminación de lubricante, así como las pérdidas de tiempo innecesarias del personal de trabajo.
- Puesto que se emplea una armadura con cabestrante de levantamiento, es fácil retirar y colocar la bomba en un nuevo barril de tapa removible.
- Cuenta con un sensor de nivel, de manera que es posible llevar el control sobre la estación.
- No posee émbolo prolongado, siendo posible así también la elevación de lubricante en barriles abollados y deformados.



*Imagen 34: Alzado y planta de la bomba SAF2-YL.*

La bomba SAF2-YL consta de los siguientes componentes principales:

1. Elemento de bomba con cilindro de accionamiento.
2. Empalme para aire comprimido.
3. Empalme para lubricante.
4. Grifo de purga de aire.

Por último, el método de funcionamiento de la bomba SAF2-YL es el siguiente:

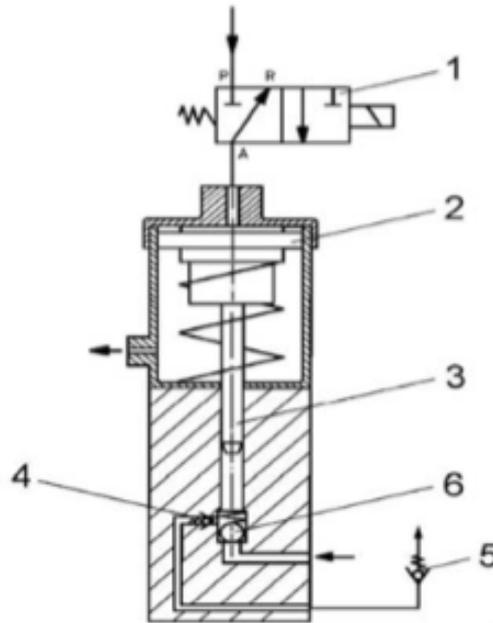


Imagen 35: Válvula y émbolo de la bomba.

Con el objetivo de accionar el émbolo de aire bajo presión de resorte, es necesaria una válvula electromagnética de aire comprimido de 3 vías - 2 posiciones.

Al activarse dicha válvula, entra aire comprimido en el cilindro neumático (posición 2) y mueve el émbolo de aire hacia abajo. El lubricante es transportado por el émbolo de trabajo (posición 3) a través de la válvula de retención interna (posición 4) hacia la válvula de retención externa (posición 5).

La válvula electromagnética de 3 vías - 2 posiciones debe permanecer activa durante, como mínimo, 3 segundos, para que haya suficiente tiempo para el establecimiento de presión en el sistema. Después de desconectar la válvula electromagnética, el émbolo de aire bajo presión de resorte puede retroceder a su posición inicial, aspirando al mismo tiempo lubricante nuevo del bidón comercial mediante el émbolo de trabajo a través de la válvula de aspiración (posición 6).

De esta manera, la bomba está dispuesta para un nuevo ciclo de trabajo.

## **10.4 Método de lubricación de bandas y rodillos de rodadura**

### **10.4.1 La problemática**

Los rodillos de apoyo y las bandas de rodadura son los elementos encargados de soportar y mantener en su posición correcta al tambor del deshidratador. Adicionalmente, se ha explicado en apartados anteriores de qué manera es lubricado idealmente el secador: una pequeña bomba se encarga de depositar periódicamente sobre un primer rodillo de apoyo el lubricante, el cual se desplaza hacia la banda de rodadura y el segundo rodillo de apoyo debido al movimiento de rotación y al contacto entre las superficies de los mismos.



*Imagen 36: Sistema de lubricación actual de los rodillos y bandas de rodadura.*

Sin embargo, existen varios inconvenientes que imposibilitan que la lubricación ideal de los elementos de rodadura del secador se produzca, generando diversas averías en el equipo que, en ocasiones, han provocado la parada inmediata del mismo y, consecuentemente, de la planta de producción de sulfato amónico.

Cabe señalar que, como ya se ha indicado en otros apartados, el lubricante empleado consiste en una “mezcla casera” de aceite y grasa realizada por un operario de campo. Este lubricante casero posee entre sus características una baja viscosidad y baja

consistencia. Por ello, no es capaz de trasladarse por contacto directo desde el primer rodillo hasta la banda de rodadura y, posteriormente, al segundo rodillo. Contrariamente, el lubricante se acumula en el primer rodillo de rodadura prácticamente en su totalidad.

Por estos motivos, se producen los siguientes inconvenientes en el sistema:

- **Derrame del lubricante:** El sistema de lubricación envía directamente la grasa hacia el primer rodillo, en el cual se acumula sin trasladarse a la banda de rodadura. Por ello, se produce el derrame y deposición de lubricante en las zonas colindantes al secador, además de originarse una gran acumulación de suciedad, suponiendo un peligro para la integridad física de los operarios que trabajan en el equipo.
- **Sobrelubricación en el primer rodillo de rodadura:** Por otro lado, la incapacidad del lubricante a avanzar hacia los elementos posteriores del sistema mecánico provoca irremediablemente una acumulación del mismo en el primer rodillo. Una parte de éste, como se indica en el punto anterior, se derrama por los alrededores del equipo. Sin embargo, todo el lubricante que es capaz de admitir el rodillo queda depositado sobre éste, generando una capa de lubricante sólida y seca que impide el movimiento correcto del sistema, e incluso provocando, en alguna ocasión, la rotura y desalineación del eje del rodillo.
- **Banda y segundo rodillo sufren lubricación insuficiente:** La imposibilidad, anteriormente mencionada, del lubricante a trasladarse provoca la falta de engrase de la banda de rodadura y del segundo rodillo de apoyo. Por este motivo, algunos de los problemas que han afectado a dichos elementos son los siguientes:
  - **Indentación:** Se forman hendiduras o cráteres sobre las superficies de rodadura generados por la deformación plástica derivada de fuerzas de contacto excesivas o de la presencia de partículas contaminadas.

- Desgaste corrosivo: Al no estar debidamente protegidas por el lubricante, las superficies de rodadura son víctima de un ataque corrosivo producido por otros fluidos agresivos, generándose dañar superficial y depósitos.
- Desgaste abrasivo: Se presenta una pérdida de material por el contacto metal-metal de las superficies de rodadura, producto de la lubricación insuficiente de las mismas.

#### **10.4.2 Solución propuesta**

Debido a la imposibilidad de implantar en el equipo un sistema de lubricación convencional (por baño de inmersión, por pulverización automática, etc.), se ha decidido instalar un sistema de lubricación seca, también denominado “dry coating”.

Éste es un método de lubricación moderno, eficaz, económico y de fácil aplicación. La lubricación seca es habitualmente empleada para proteger superficies metálicas de difícil acceso y, tal y como sucede en este caso, representa el único método aplicable.

Los lubricantes secos “dry coating” o lubricantes sólidos son capaces de reducir de forma notable la fricción entre dos superficies que se deslizan entre sí, sin necesidad de contar con un medio líquido. Este tipo de lubricantes comprenden materiales tales como el grafito, el nitruro de boro hexagonal, el disulfuro de molibdeno y el disulfuro de tungsteno, que se adhieren a las superficies metálicas y crean un coeficiente de fricción óptimo y predeterminado. Concretamente, el disulfuro de molibdeno posee excepcionales cualidades antifricción y el contacto metal-metal se reduce hasta en un 80%, lo que aumenta la vida de las partes metálicas considerablemente. Además, cabe indicar que son capaces de lubricar a temperaturas superiores a las que pueden operar los líquidos y lubricantes basados en líquidos y que repelen la suciedad y el polvo en suspensión.

Sus excelentes propiedades de lubricación se atribuyen a sus estructuras en formas de láminas a nivel molecular con fuerzas de unión débiles entre las mismas. Estas láminas tienen la capacidad de deslizarse unas sobre otras con muy pequeñas fuerzas de tracción, lo que les confiere las propiedades de baja fricción. Adicionalmente, se caracterizan por su alta resistencia a la presión y al envejecimiento, además de poseer excelentes propiedades anticorrosivas.

Cabe indicar que esta solución especial de lubricación es utilizada en numerosos sectores industriales:

- Fabricación de cemento.
- Fabricación de papel y pulpa de papel.
- Minería.
- Química.
- Siderurgia y metalurgia.
- Grúas industriales y portuarias.
- Aplicaciones marinas y submarinas.

### 10.4.2.1 Componentes

El sistema de lubricación seca consiste en un conjunto formado por un aplicador de acero inoxidable y un bloque lubricador.

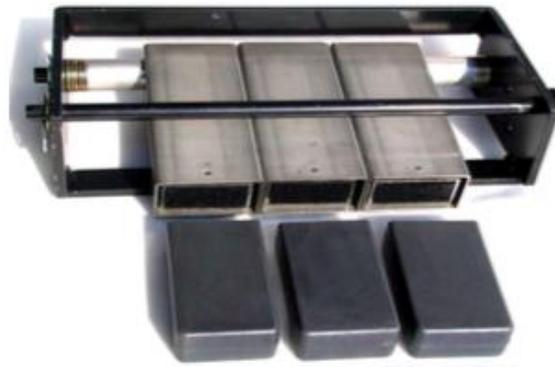


Imagen 37: Sistema de lubricación seca.

Los aplicadores, de alta resistencia, están equipados de un resorte que presiona sobre los bloques para que el contacto con la superficie metálica sea constante. Están fabricados en acero inoxidable, lo que les confiere un valor añadido para la aplicación seleccionada, ya que, como ya se ha mencionado anteriormente, el sulfato amónico es un producto altamente corrosivo.



Imagen 38: Aplicadores de lubricante seco.

Los bloques lubricadores, denominados bloques de Dm-SPC, son la solución más económica de aplicar cuando los lubricantes convencionales no pueden ser utilizados, o son usados con alto coste de materiales y mano de obra. Entre sus ventajas,

destacan las siguientes:

- Son totalmente secos y repelentes al polvo.
- No gotean ni migran.
- Están libres de mano de obra, no necesitan de mantenimiento y son muy duraderos.
- Garantizan un recubrimiento uniforme y continuo.
- Cubren superficies mojadas.
- Son resistentes a altas y bajas temperaturas.
- Se suministran en diferentes longitudes y anchuras.



*Imagen 39: Bloque de lubricante seco.*

### 10.4.2.2 Modo de funcionamiento

Los bloques Dm-SPC se encargan de recubrir las superficies metálicas con una capa protectora, sólida y no migratoria de aproximadamente 10 micras de grosor.



Imagen 40: Espesor de la película de lubricante seco.

Este recubrimiento es el encargado de realizar las siguientes funciones:

- Mantiene un coeficiente de fricción óptimo y constante entre las superficies metálicas de contacto.
- Reduce el desgaste de las superficies metálicas, aumentando de forma significativa la vida útil de estas partes de la máquina.
- Evita que las superficies en contacto se mellen o descarrilen.

Cabe indicar que el modo de funcionamiento de este sistema de lubricación consta de tres fases:



Imagen 41: Modo de funcionamiento.

1. Se produce la separación parcial del lubricante sólido de la película.
2. Tiene lugar la transferencia de lubricante sólido hasta la superficie de contacto opuesta.
3. Se forma la película lubricante entre ambas superficies.

El recubrimiento protector es consumido de forma continua, pero con la misma rapidez es renovado por la presión de los bloques sobre las superficies metálicas giratorias. El mantenimiento de un coeficiente óptimo de fricción entre las superficies reduce sustancialmente el desgaste de la superficie y alcanza ahorros de costes (reducción de gastos para piezas de repuesto y mano de obra).

Debido al contacto de los bloques con la superficie metálica y a su consumo, se desprende un polvo de grafito. Sin embargo, los resultados desprendidos en otras aplicaciones han demostrado que este polvo tiende a adherirse a las superficies lubricadas, sin ensuciar o contaminar los alrededores del equipo.

Por otra parte, las características y beneficios que muestra el lubricante seco son:

- Reducción sustancial del desgaste en rodillos y bandas de rodadura, lo que conlleva el aumento de la vida útil de los mismos.
- No tiene efectos negativos en la operativa de la máquina.
- Produce un recubrimiento continuo y equilibrado para lograr un coeficiente de rozamiento óptimo y permanente.
- Repele las partículas abrasivas del polvo y otros contaminantes.
- Libre de mantenimiento, excepto en el instante de reemplazar los bloques lubricadores.
- Seguro para el medio ambiente, sin perjuicio para el suelo, agua o aire.
- No es tóxico ni inflamable, y no mira ni deja restos de grasas o aceite.

### 10.4.2.3 Instalación en el deshidratador

El secador de sulfato amónico cuenta, como se indica en apartados anteriores del presente proyecto, con 4 rodillos de soportación. Además, cada par de rodillos contacta con una banda de rodadura y, todos ellos, deben estar protegidos debidamente para lograr el correcto funcionamiento del equipo.

Por este motivo, se ha decidido instalar un kit de lubricación seca por cada estación “rodillo-banda-rodillo”.

El área a proteger de cada uno de los rodillos posee 240 mm de ancho. Por otro lado, cada uno de los bloques posee una superficie lubricadora de 50 mm. En consecuencia, los bloques necesarios para proteger un rodillo son los siguientes:

$$\frac{240 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} = 4,8 = 5 \text{ bloques lubricadores}$$

Por tanto, se debe instalar en el equipo dos kits de lubricación seca con las siguientes características:

<b>Aplicación</b>	Secador rotativo de sulfato amónico en una planta petroquímica.
<b>Artículo</b>	Sistema de lubricación seca, con 5 bloques insertados en 5 aplicadores de acero inoxidable (AISI 316) equipados con muelle de presión constante.
<b>Cantidad</b>	1 Kit Lubricador por estación.
<b>Precio</b>	Kit Lubricador: 1050 € (incluye los 5 bloques). Bloque de repuesto: 35 €.

Tabla 24: Características del kit de lubricación seca.

Así pues, el coste total del material necesario para la aplicación del sistema de lubricación seca en cada uno de los rodillos equivale a:

$$1050 \text{ €} \cdot 2 = 2.100,00 \text{ €}$$

#### **10.4.2.4 Preparación de la superficie a proteger**

En el momento de la instalación del sistema de lubricación seca, todas las superficies metálicas deben estar limpias, libres de grasas y aceites y oxidación. Generalmente, no es necesario suavizar las superficies. Sin embargo, en este caso los rodillos y las bandas de rodadura se encuentran ligeramente dañados y rugosos, por lo que el personal de mantenimiento rotativo de la planta deberá mecanizar levemente las superficies de cada uno de los rodillos y bandas.

#### **10.4.2.5 Vida útil de los bloques lubricadores**

Generalmente, no todos los bloques son reemplazados al mismo tiempo. El desgaste de los bloques se suele producir de forma desigual, por lo que se recambian de forma individual en función de qué parte del rodillo necesita mayor recubrimiento y del deterioro del bloque.

Además, cabe indicar que la experiencia en estas aplicaciones muestra que los bloques instalados en los extremos tienen una vida útil superior a los situados en el medio.

Pese a que es complicado calcular la vida útil de cada bloque con exactitud, ésta depende de varios factores que pueden ser analizados:

- El estado original de las superficies a tratar (las superficies lisas necesitan menor recubrimiento en la fase inicial que las fases rugosas).
- Las interacciones de las partes metálicas (presiones de deslizamiento, presiones directas, vibraciones, etc.).
- La cantidad de horas de funcionamiento del equipo.
- La frecuencia en las arrancadas de la máquina y los ciclos de frenado.

## **11 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN FINAL**

En este apartado se pretende realizar un resumen de todas las modificaciones que se tienen que llevar a cabo para finalizar el presente proyecto. Reuniendo toda la información referente a dichas modificaciones expuestas anteriormente, se puede afirmar que quedan divididas en dos direcciones:

- Modificaciones referentes a la lubricación del mecanismo piñón corona.
- Modificaciones referentes a la lubricación de las bandas y rodillos de rodadura.

### **11.1 Modificaciones referentes a la lubricación del mecanismo piñón corona**

- **Aplicación de un sistema de pulverización automática.**

A raíz de las constantes faltas de lubricación sufridas por el piñón corona, producidas por la obturación de las boquillas de pulverización, se decide instalar un sistema de pulverización que emplea boquillas con control. Estas boquillas proporcionan monitorización del flujo de lubricante y aire, evitando así futuros fallos en el mecanismo producidos por una lubricación deficiente o inexistente y, consecuentemente, reduciendo las paradas en el equipo y la planta de producción de sulfato amónico provocadas por dichos fallos.



*Imagen 42: Boquillas de pulverización con control instaladas.*

- **Sustitución del lubricante.**

Debido también a las obturaciones mencionadas anteriormente en las boquillas pulverizadoras, se decide realizar un estudio para conocer si el lubricante empleado es correcto para este uso o si existe alguno más adecuado. En consecuencia, se decide sustituir el lubricante empleado por otro, denominado Klüberfluid C-F 8 Ultra.

Klüberfluid C-F 8 Ultra es un lubricante de servicio de nueva generación comercializado por la empresa alemana Klüber Lubrication. Posee una viscosidad igual a la recomendada por el fabricante del mecanismo piñón corona. Además, presenta una excelente protección contra la corrosión y asegura una perfecta lubricación y protección del mecanismo en todas las fases de funcionamiento.

- **Sustitución del equipo de bombeo.**

Como consecuencia de los diferentes problemas surgidos en el equipo de bombeo actual, tales como la pérdida de lubricante, la contaminación de la zona de trabajo o la contaminación del lubricante, se considera necesario realizar alguna modificación en el mismo.

Por tanto, se decide eliminar cada una de las bombas neumáticas empleadas actualmente para la tarea de bombeo, e instalar una la bomba neumática para barriles comerciales modelo SAF2-YL de la marca Lincoln. Dicha bomba es adecuada para el tipo de lubricante empleado y realiza la elevación del mismo directamente desde el envase comercial de 200 litros.



*Imagen 43: Bomba SAF2-YL instalada con soporte con cabestrante.*

## **11.2 Modificaciones referentes a la lubricación de las bandas y rodillos de rodadura.**

- **Mecanizado de las bandas y rodillos de rodadura.**

Debido a las horas de servicio en las que el deshidratador ha estado operando sin lubricar correctamente las bandas y los rodillos de rodadura, éstos han sufrido ligeras desviaciones en su superficie. Por este motivo, es necesario que el personal de mantenimiento estático realice un mecanizado in situ de cada uno de los elementos de rodadura que posee el equipo antes de la puesta en marcha.

- **Aplicación de un sistema de lubricación seca.**

Debido a la imposibilidad de instalar en el equipo un sistema de lubricación convencional (pulverización automática, baño de inmersión, etc.), se decide implantar un sistema de lubricación seca, denominado “dry coating”. Éste es un método de lubricación moderno, eficaz, económico y de fácil aplicación. La lubricación seca es habitualmente empleada para proteger superficies metálicas de difícil acceso y, tal y como sucede en este caso, representa el único método aplicable.

Con dicha modificación, se reducirá considerablemente la fricción entre las bandas y rodillos de rodadura, mejorando así el funcionamiento de éstos y aumentando su vida útil.



*Imagen 44: Kit de lubricación seca en rodillo.*

## 12 PLANIFICACIÓN

### 12.1 Introducción

La planificación del presente proyecto consta de 9 etapas principales que se describen detalladamente a continuación:

#### 1. Elaboración del anteproyecto.

Durante esta etapa inicial, el proyectista estudiará la instalación que se desea mejorar y realizará un anteproyecto, que es la forma inicial de un proyecto y posee las siguientes partes:

- Título: El nombre que se le da al proyecto.
- Antecedentes: Se describen todos los antecedentes que ha tenido el equipo sobre el que se lleva a cabo el estudio antes de su investigación.
- Definición del problema: Se define el problema que se va a tratar.
- Justificación: Se argumentan las diferentes razones por las que es importante la realización del proyecto.
- Objetivos: Se fija lo que se pretende obtener con el desarrollo del proyecto.
- Alcances y limitaciones: El alcance define el área o el lugar concreto donde se aplicará el proyecto. Por otro lado, la limitación define la función específica de la actividad a realizar dentro de ese lugar.
- Procedimiento: Se define la forma en la que se van a realizar las actividades para lograr el objetivo fijado.
- Descripción de las actividades: Presenta la explicación global de las actividades seleccionadas en el proyecto.
- Cronograma: Delimita el tiempo que comprenderá cada una de las actividades para el desarrollo del proyecto.
- Presupuesto: Cálculo de los gastos que requieran los recursos implicados en el proyecto.
- Bibliografía: Determina las fuentes que han sido consultadas para el desarrollo del proyecto.

## 2. Formulación de una propuesta de mejora de la instalación.

El proyectista que se ha encargado de la elaboración del anteproyecto, rellenará un formulario de propuesta de mejora de la instalación. Dicho formulario contendrá la siguiente información:

- Originador de la propuesta: Nombre y firma del proyectista.
- Justificación de la mejora: Se especificará si la justificación de la mejora es de tipo económica, de seguridad, de medio ambiente, de calidad u otra.
- Origen de la mejora: Se describen las diferentes deficiencias de la instalación actual, problemas que ha causado anteriormente, costes económicos que provoca, etc.
- Descripción de la mejora: Se realiza una explicación detallada de la mejora que se pretende llevar a cabo.
- Presupuesto estimado de la mejora: Se dará una cifra aproximada del coste que puede suponer la inversión para llevar a cabo la mejora.
- Incentivo económico: Se describirá brevemente el motivo por el cuál es interesante para la empresa llevar a cabo las mejoras propuestas sobre el equipo.
- Medios necesarios y personal involucrado en la mejora: En este apartado, se describirán brevemente los medios necesarios para realizar la modificación en el equipo y, además, se detallará el personal que se necesita.
- Observaciones.

Una vez rellenado este documento, será remitido a los supervisores de los departamentos de fiabilidad, mantenimiento, proyectos, seguridad y producción, que se reúnen cada quince días para estudiar las mejoras propuestas y deciden si éstas van a ser llevadas a cabo o si, por el contrario, van a ser declinadas.

### 3. Elaboración del proyecto.

Si la propuesta de mejora es aceptada y firmada por los responsables de los diferentes departamentos, se realizará el proyecto de mejora de la instalación.

Este proyecto constará, como mínimo, de las siguientes partes:

- Descripción y análisis de la situación actual.
- Propuesta de soluciones a los problemas de la instalación actual.
- Justificación de las mejoras propuestas mediante estudios, cálculos, etc.
- Estudio económico.

### 4. Compra de los materiales, maquinaria, herramientas, etc. necesarios.

Durante esta etapa, el departamento de compras recibirá el proyecto y desglosará los diferentes elementos a comprar. Posteriormente, solicitará presupuesto a los diferentes proveedores y se escogerá la oferta más competitiva.

### 5. Preparación en taller.

Una vez se dispone de todos los elementos necesarios para la ejecución del proyecto, se prepararán las piezas y la maquinaria en el taller con el objetivo de que esté todo a punto para ejecutar el montaje el día fijado para la instalación.

### 6. Desmontaje de la instalación anterior.

Durante esta etapa, el personal de mantenimiento será el encargado de desmontar la instalación sometida a mejora y deberán dejar todo listo para que se lleve a cabo el montaje de la instalación propuesta.

### 7. Montaje de la nueva instalación.

El personal de mantenimiento se encargará de montar la instalación nueva adecuándose a los planos y respetando todos los puntos del proyecto.

8. Prueba de la nueva instalación.

Una vez montada la nueva instalación, los operadores de la unidad efectuarán una prueba con el objetivo de verificar que todo funciona según lo previsto y que no se produce ninguna situación anómala inesperada.

9. Puesta en marcha.

Durante esta última etapa, se llevará a cabo la puesta en funcionamiento de la nueva instalación, mostrando especial atención en ella los días posteriores.

## 12.2 Diagrama de GANTT

A continuación, se muestra una tabla donde aparecen las distintas actividades del proyecto y su duración:

Actividad	Descripción	Predecesora	Fechas
A	Anteproyecto	-	01/8/17 - 01/9/17
B	Propuesta de mejora	A	4/9/17 - 19/9/17
C	Proyecto	B	20/9/17 - 20/10/17
D	Compras	C	23/10/17 - 3/11/17
E	Preparación	D	6/11/17 - 17/11/17
F	Desmontaje	E	20/11/17 - 20/11/17
G	Montaje	F	21/11/17 - 22/11/17
H	Pruebas de la instalación	G	23/11/17 - 28/11/17
I	Puesta en marcha	H	29/11/17

Tabla 25: Actividades del proyecto y su duración.

En la siguiente página, se puede observar el diagrama de Gantt del proyecto, donde se pueden consultar las diferentes actividades y la duración total del proyecto. Cabe indicar que, en las tareas que participen operarios de planta, se realizarán 3 turnos de 24 horas, fijando como festivos los sábados y los domingos.

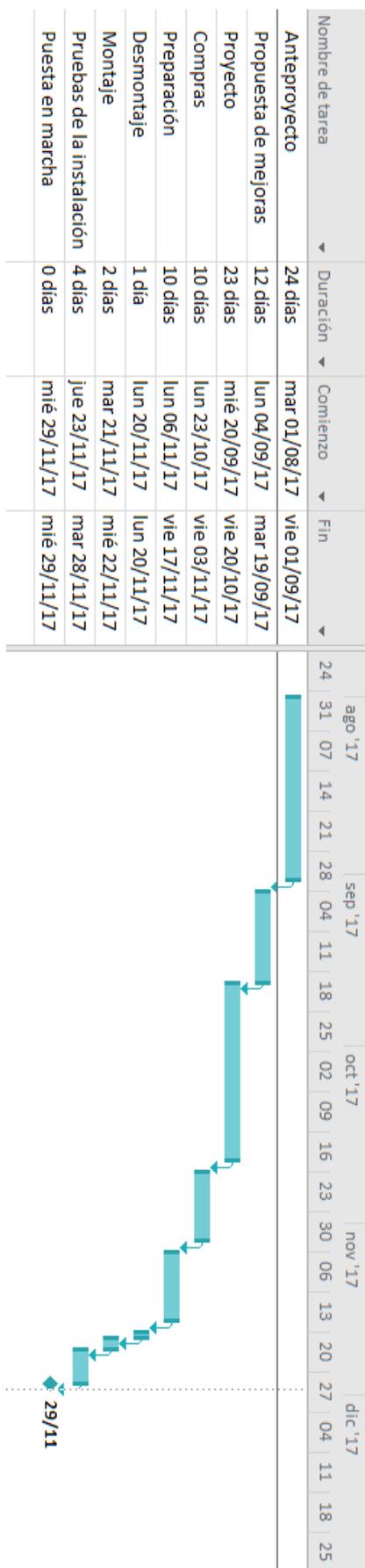


Imagen 45: Diagrama de Gantt.



### **ESTUDIO ECONÓMICO**

Tal y como se puede apreciar en el anexo “Estudio económico” del presente proyecto, el presupuesto total para llevar a cabo la realización del mismo asciende a 13.339,34 €.

Por otro lado, el beneficio anual esperado a causa de reducir significativamente el gasto en sustitución de componentes, así como el gasto de mantenimiento de la instalación, asciende a 8.623,29 €/año.

Así pues, se puede concluir que el proyecto es viable económicamente, dado que se amortizaría durante los dos primeros años.

### 13 CONCLUSIONES

Como consecuencia a las diversas modificaciones expuestas en apartados anteriores de la memoria, se pretende lograr los siguientes resultados:

- Mejorar el método de lubricación del mecanismo piñón corona, introduciendo un sistema de pulverización automática con control.
- Optimizar el tipo y modelo de lubricante empleado en el mecanismo piñón corona, con el objetivo de alargar su vida útil lo máximo posible.
- Mejorar el equipo de bombeo de lubricante hacia las boquillas de pulverización, garantizando un engrase constante en el mecanismo piñón corona.
- Sustituir el sistema de lubricación actual de las bandas y rodillos de rodadura por un moderno y eficaz método de lubricación seca, con el objetivo también de garantizar la fiabilidad del equipo y aumentar la vida útil de dichos elementos.

Una vez expuestas todas las mejoras que se quieren introducir en el deshidratador de sulfato amónico para la mejora de su fiabilidad y una vez verificado el cumplimiento de los requisitos impuestos por la compañía y el proyectista, se da por concluido el presente proyecto.

# ANEXOS

## **ÍNDICE ANEXOS**

ANEXO I	CÁLCULOS.....	120
1	Cálculo de la viscosidad del lubricante a seleccionar.....	120
2	Cálculo del índice de viscosidad del lubricante a seleccionar.....	130
3	Cálculo del espesor de la película lubricante.....	133
4	Cálculo del consumo de lubricante seleccionado.....	136
ANEXO II	INTRODUCCIÓN A LAS CARACTERÍSTICAS DE LA FICHA TÉCNICA De LUBRICANTES	
	140	
1	Consistencia o Grado NLGI.....	140
2	Rango de temperaturas de operación.....	140
3	Viscosidad.....	141
4	Punto de inflamación.....	141
5	Resistencia al agua.....	142
6	Corrosión al cobre.....	142
7	Protección contra la corrosión (herrumbre).....	143
ANEXO III	ANEXO: MODO DE EMPLEO Y FUNCIONAMIENTO DEL LUBRICANTE SELECCIONADO	
	145	
1	Sistema de lubricación A-B-C.....	145
ANEXO IV	ESTUDIO ECONÓMICO.....	148
1	INTRODUCCIÓN.....	148
2	GASTOS DE MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN ACTUAL.....	149
3	GASTOS DE MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN PROPUESTA.....	150
4	BENEFICIOS.....	151
5	INVERSIÓN ESTIMADA.....	152
6	ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO.....	153
7	CONCLUSIÓN.....	154

## **ANEXO I    CÁLCULOS**

### **1 Cálculo de la viscosidad del lubricante a seleccionar**

La selección correcta del lubricante a utilizar en un mecanismo es tan importante como su mismo diseño, fabricación o puesta en operación. Grandes plantas y factorías pierden cuantiosos capitales anualmente como resultado de una selección inapropiada del lubricante a emplear.

El equipo que está siendo objeto de estudio puede servir como ejemplo de lo expuesto anteriormente: la detención del deshidratador de sulfato amónico provoca directamente la parada de toda la unidad, suponiendo para la empresa unas pérdidas diarias cercanas a los 60000 €.

Por este motivo, es indispensable conocer las recomendaciones del fabricante del equipo respecto al lubricante empleado en él. En este caso, COMSPAIN XXI, S.A., para las condiciones de trabajo del deshidratador, asegura que el lubricante utilizado en el mecanismo piñón corona deberá tener una viscosidad ISO de aproximadamente 680 mm/s<sup>2</sup>.

Por otro lado, también puede resultar interesante realizar una serie de estudios con el propósito de corroborar las recomendaciones del fabricante y obtener un grado de viscosidad ISO aproximado. Para ello, se debe tener en cuenta principalmente los siguientes factores:

- **Velocidad:** Se trata de la velocidad de giro del mecanismo a lubricar. Cuando es baja, el espesor de la capa de grasa debe ser grande; por el contrario, la capa de lubricante debe ser delgada cuando la velocidad es alta.

Es necesario, en este momento, concretar en qué rangos de valores se encuentran estas afirmaciones. Para ello, se ha realizado la siguiente clasificación de las velocidades de giro (rpm):

	Mínimo	Máximo
Baja	0	450
Media	450	900
Alta	900	-

Tabla 26: Velocidades de giro.

Con el objetivo de ubicar el secador en unas coordenadas de la tabla anterior, se debe conocer la velocidad a la que giran el piñón y la corona que componen el mecanismo. Para realizar los cálculos, se cuenta con los siguientes datos:

$$\omega_m = 1465 \text{ rpm} \quad r_r = \frac{1}{51,81} \quad z_p = 23 \text{ dientes} \quad z_c = 172 \text{ dientes}$$

Teniendo la velocidad de giro del motor ( $\omega_m$ ) y la relación de reducción de la caja reductora ( $r_r$ ), se puede obtener la velocidad de giro de la reductora:

$$r_r = \frac{\omega_r}{\omega_m}$$

$$\omega_r = r_r \cdot \omega_m = \frac{1}{51,81} \cdot 1465 \text{ rpm} = 28,2764 \text{ rpm}$$

Una vez obtenida la velocidad de la caja reductora y teniendo el número de dientes del piñón y la corona, se puede calcular la velocidad de giro de cada uno de ellos:

$$r_t = \frac{\omega_c}{\omega_p} = \frac{D_p}{D_c} = \frac{m \cdot z_p}{m \cdot z_c} = \frac{z_p}{z_c} = \frac{23 \text{ dientes}}{172 \text{ dientes}} = 0,1337$$

$$\omega_r = \omega_p = 28,2764 \text{ rpm}$$

$$\omega_c = r_t \cdot \omega_p = 0,1337 \cdot 28,2764 \text{ rpm} = 3,7805 \text{ rpm}$$

Conociendo estos resultados y acudiendo a la tabla anterior, se puede indicar que tanto el piñón como la corona se mueven a velocidades muy bajas.

- **Carga:** Se trata de la carga que soporta el mecanismo cuando está en funcionamiento. Se sabe que, para cargas ligeras, la viscosidad del lubricante debe ser baja. Por el contrario, si el mecanismo soporta grandes cargas deberá ser lubricado con una grasa de alta viscosidad.

En este caso, cabe indicar que el funcionamiento de la unidad de secado se produce en dos fases:

### 1ª Fase

En ella se presenta un caudal de cristales de sulfato amónico de 13800 kg/h, donde el tiempo de secado de éstos es de 18 minutos. Por tanto, se puede calcular la carga que soporta el deshidratador en esta fase:

$$Carga_1 = 13800 \frac{kg}{h} \cdot 0,3 h = 4140 kg$$

### 2ª Fase

Durante este período el secador aumenta sustancialmente su carga, llegando a circular por él un caudal de 20388 kg/h, de donde se puede deducir:

$$Carga_2 = 20388 \frac{kg}{h} \cdot 0,3 h = 6116,4 kg$$

Una vez realizados estos cálculos y únicamente teniendo en cuenta el producto circulante por el interior del equipo, ya se puede afirmar que el deshidratador de sulfato amónico es un equipo que soporta altas cargas en cualquiera de sus dos fases de funcionamiento. Sin embargo, cabe indicar que estas cargas son soportadas tanto por la estructura del deshidratador como por el mecanismo piñón corona instalado en el tambor.

Por tanto, con el propósito de conocer las cargas ejercidas sobre el mecanismo por todo el conjunto, es necesario realizar el análisis de fuerzas en los engranajes que componen el sistema piñón corona. Para ello, se necesita conocer ciertos datos del motor eléctrico asíncrono de jaula de ardilla instalado en el sistema, que se extraen de la ficha técnica:

$$\omega_m = 1465 \text{ rpm}$$

$$f_N = 50 \text{ Hz}$$

$$V_N = 500 \text{ V}$$

$$P_N = 22 \text{ kW}$$

$$I_N = 33 \text{ A}$$

$$\cos \varphi_1 = 0,84$$

donde:

$\omega_m$	velocidad angular del eje del motor eléctrico
$f_N$	frecuencia del motor eléctrico
$V_N$	tensión
$P_N$	potencia nominal entregada por el motor eléctrico
$I_N$	corriente nominal del motor eléctrico
$\cos \varphi_1$	factor de potencia a plena carga

Sin embargo, cabe indicar que estos datos corresponden al motor trabajando a plena carga (100%). Por este motivo, es necesario realizar una prueba de amperaje para conocer ciertos valores que varían dependiendo de la carga a la que trabaja el motor, de la que se extraen los siguientes resultados:

$$I_L = 27 A \qquad f_R = 37 Hz \qquad \cos \varphi_2 = 0,8$$

donde:

$I_L$	corriente de línea que circula por la instalación
$f_R$	frecuencia real del motor eléctrico
$\cos \varphi_2$	factor de potencia real

A partir de estos datos, se puede realizar el cálculo de la potencia real que entrega el motor:

$$P_{abs} = \sqrt{3} \cdot V_N \cdot I_L \cdot \cos \varphi_2$$

donde:

$P_{abs}$	potencia real entregada por el motor
$V_N$	tensión en la planta
$I_L$	corriente de línea que circulan por la instalación
$\cos \varphi_2$	factor de potencia real

Por tanto:

$$P_{abs} = \sqrt{3} \cdot 500 \cdot 27 \cdot 0,8 = 18706,15 W$$

Además, se conoce que el rendimiento del motor, que cabe indicar que es relativamente nuevo, es del 90%. Por otro lado, a éste se le acopla una caja reductora de 3 etapas, cuyo rendimiento, indica el fabricante, es del 94%.

Por tanto, la potencia en el eje del piñón viene definida por la siguiente ecuación:

$$P_{eje} = P_{abs} \cdot \eta_{motor} \cdot \eta_{reductor}$$

donde:

$P_{eje}$	potencia transmitida por el eje del piñón
$P_{abs}$	potencia real entregada por el motor
$\eta_{motor}$	rendimiento del motor
$\eta_{reductor}$	rendimiento de la caja reductora

Así pues:

$$P_{eje} = 18706,15 \cdot 0,9 \cdot 0,94 = 15825,41 W$$

Una vez calculada la potencia real entregada al eje que une la caja reductora con el piñón, se puede calcular el par de fuerzas transmitido en el engranaje con el objetivo de, finalmente, obtener la distribución de fuerzas actuantes en él. Para ello, se cuenta con los siguientes datos numéricos obtenidos de diferentes planos y cálculos anteriores:

$$P_{eje} = 15825,41 W \quad \omega_p = 28,27 \text{ rpm} \quad D_p = 0,368 m$$

donde:

$P_{eje}$	potencia transmitida por el eje del piñón
$\omega_p$	velocidad angular del piñón
$D_p$	diámetro primitivo del piñón

Se sabe que la potencia entregada en el eje del piñón queda definida por la siguiente ecuación:

$$P_{eje} = T_p \cdot \omega_p$$

donde:

$T_p$  par de fuerzas transmitido por el eje del piñón

Entonces, para hallar el par de fuerzas:

$$T_p = \frac{P_{eje}}{\omega_p}$$

Con el objetivo de obtener el par en N·m, debemos convertir la velocidad angular del piñón de rpm a rad/s. Para ello:

$$\omega_p = 28,27 \text{ rpm} \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} = 2,96 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Así pues:

$$T_p = \frac{15825,41}{2,96} = 5346,42 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Finalmente, y habiendo obtenido el par de fuerzas transmitido en el eje, podemos hallar la distribución de fuerzas actuantes en el engranaje.

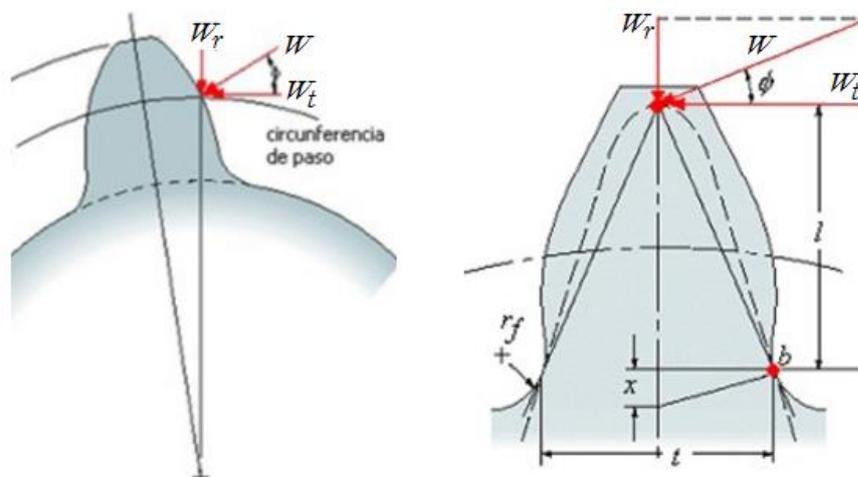


Imagen 46: Fuerzas actuantes en engranaje.

Tal y como se puede observar en la imagen, la fuerza actuante sobre la línea de presión se discrimina en dos componentes: una radial y otra tangencial, que vienen dadas por las siguientes expresiones:

$$F_t = F \cdot \cos \varphi$$

$$F_r = F \cdot \sen \varphi$$

donde:

<b>F</b>	fuerza total actuante sobre la línea de presión
<b>F<sub>t</sub></b>	fuerza tangencial
<b>F<sub>r</sub></b>	fuerza radial
<b>φ</b>	ángulo de presión

Sin embargo, la fuerza tangencial es la única que se puede relacionar con la capacidad de transmisión de potencia y par, y viene definida por la siguiente expresión:

$$P_{eje} = T_p \cdot \omega_p = \frac{F_t \cdot D_p}{2}$$

Por tanto, obtenemos la fuerza tangencial:

$$F_t = \frac{2 \cdot P_{eje}}{D_p \cdot \omega_p} = \frac{2 \cdot 15825,41}{0,368 \cdot 2,96} = 29056,64 \text{ N}$$

Finalmente, y habiendo obtenido la componente tangencial de la fuerza actuante en el engranaje, se puede afirmar que el equipo trabaja a cargas realmente elevadas.

- **Temperatura:** Se trata de la temperatura a la que trabaja el mecanismo expuesto, es decir, la de servicio. En este caso, es la temperatura en el punto de contacto entre el piñón y la corona. Es el factor que más afecta a la viscosidad del aceite. Cabe indicar que, para altas temperaturas, se deben emplear grasas

de alta viscosidad; por el contrario, se utilizan lubricantes de viscosidad baja para temperaturas menores.

Con el propósito de concretar más en estas aseveraciones, se ha realizado la siguiente clasificación de las temperaturas de operación (°C):

	Mínimo	Máximo
Baja	0	20
Normal	20	45
Media-Alta	45	-

Tabla 27: Temperaturas de operación.

Una vez expuestos los diferentes rangos de temperaturas de servicio, es necesario fijar la temperatura a la que trabaja el mecanismo piñón corona en alguno de ellos.

Cabe indicar que esta temperatura no es la equivalente a la temperatura ambiente, sino que además tiene especial importancia el rozamiento y la fricción producidos por el contacto entre los dientes de los engranajes que conforman el mecanismo.

Así pues, la temperatura de operación del mecanismo piñón corona queda definida como:

$$T_{op} = T_a + T_f$$

donde:

- $T_{op}$  temperatura de operación, °C
- $T_a$  temperatura ambiente, °C
- $T_f$  incremento de temperatura por fricción, adimensional

Así pues, se puede conocer el incremento de la temperatura producido por la fricción entre el piñón y la corona, dependiendo de las diferentes condiciones de lubricación que presentará cada una de las grasas lubricantes seleccionadas para su estudio.

En este caso, la temperatura de operación es de 42 °C, obtenida en planta mediante un termómetro de infrarrojos. Teniendo en cuenta el criterio fijado por la tabla, el mecanismo trabaja sobre un valor medio de temperatura.



Imagen 47: Termómetro de infrarrojos.

Por otro lado, la temperatura ambiente se fija dependiendo de la ubicación y la zona climática en la que se encuentre la planta, siendo de 25 °C en este caso.

Por tanto, el incremento de la temperatura por fricción será:

$$T_f = 42 - 25 = 17 \text{ °C}$$

Una vez estudiados y determinados los 3 factores más determinantes en la correcta selección del lubricante a emplear y con el objetivo de determinar la viscosidad del mismo, se debe proceder a la valoración de los resultados. Para ello, se emplea una regla práctica para la selección aproximada de la viscosidad del lubricante basada en diferentes normas ASTM:

	Viscosidad baja	Viscosidad media	Viscosidad alta
Velocidad	alta	media	baja
Carga	baja	media	alta
Temperatura	baja	normal	media-alta

Tabla 28: Tabla para el cálculo de la viscosidad del lubricante.

En la tabla se da la viscosidad aproximada en función de la velocidad, la carga y la temperatura, considerados cada uno aisladamente. Así pues, en vista de los resultados obtenidos anteriormente para las condiciones en las que trabaja el deshidratador y

teniendo en cuenta que el método utilizado es la pulverización automática, se puede aseverar que el lubricante necesario deberá tener una viscosidad alta.

Con el propósito de obtener un valor numérico y más concreto de esta viscosidad, se acude a la siguiente clasificación:

	Mínimo	Máximo
Baja	32	68
Media	100	220
Alta	320	680

*Tabla 29: Niveles de viscosidad.*

Por tanto, se finaliza este estudio realizando las siguientes conclusiones:

- El mecanismo piñón corona instalado en el secador trabaja a unas velocidades realmente bajas. Concretamente, el piñón gira a una velocidad de 28,27 rpm y la corona a 3,78 rpm.
- El equipo soporta una carga significativamente alta, siendo la fuerza tangencial actuante sobre los engranajes que forman el mecanismo de 29056,64 N.
- En cuanto a la temperatura de operación, ésta registra un valor normal. Sin embargo, en ciertas condiciones de trabajo podría acercarse a un valor alto, afectando así a la viscosidad de la grasa empleada.
- Por tanto, y en vista de las anteriores conclusiones, el lubricante deberá tener un alto grado de viscosidad, coincidiendo así con las recomendaciones del fabricante del equipo, que aseguran que el lubricante a emplear deberá tener una **viscosidad ISO** de aproximadamente **680 mm/s<sup>2</sup>**.

## 2 Cálculo del índice de viscosidad del lubricante a seleccionar

Después de la viscosidad, es la característica más importante que se debe tener en cuenta en la elección del lubricante, y se define como la mayor o menor estabilidad de la viscosidad de una grasa lubricante con los cambios de temperatura.

A altas temperaturas, la viscosidad puede reducirse tanto que la película de lubricante puede llegar a romperse. Por el contrario, a bajas temperaturas, puede incrementarse hasta tal punto que impida la normal circulación de la grasa por todos los conductos, impidiéndole llegar al mecanismo y provocando el contacto metálico.

Por tanto, bajo estas condiciones de funcionamiento, es necesario que el lubricante tenga un elevado IV para que la viscosidad ofrezca una mayor estabilidad a las variaciones de temperatura. De esta manera, se puede afirmar que el índice de viscosidad es un indicativo de la calidad de la grasa y, cuanto mayor sea éste, más estable será el lubricante.

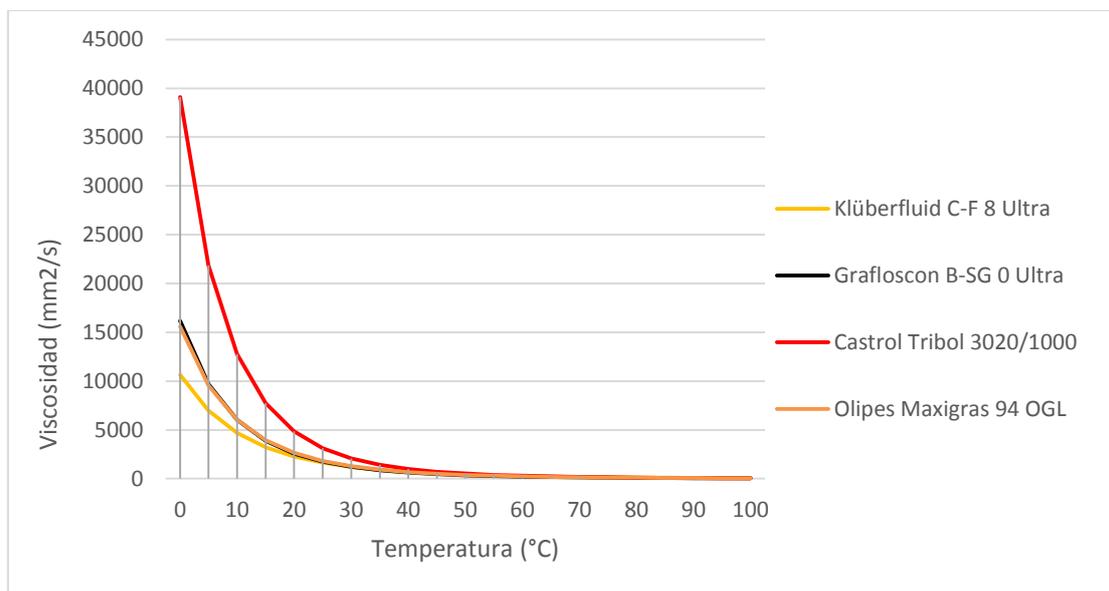


Imagen 48: Gráfica Viscosidad-Temperatura de los diferentes lubricantes estudiados.

Tal y como se observa en la gráfica, se puede afirmar que la grasa Klüberfluid C-F 8 Ultra es la que posee el IV más alto, ya que su curva V-T es la más estable (sufre una menor variación de viscosidad al aumentar o disminuir la temperatura).

Por otro lado, se observa a través de su curva que la grasa Castrol Tribol 3020/1000 será la que más variará su viscosidad frente a los posibles cambios de temperatura que

se puedan producir en el mecanismo, originando así los diferentes problemas anteriormente indicados.

Cabe señalar que el índice de viscosidad es un dato que, habitualmente, los fabricantes de grasas y aceites lubricantes no suelen mostrar en sus fichas de datos técnicos. Sin embargo, y como ya se ha mencionado, es de principal necesidad conocer este valor correspondiente a cada uno de los lubricantes analizados.

Así pues, basándose en la norma ASTM D-2270, el cálculo del índice de viscosidad de un lubricante se realiza de la siguiente manera:

- Para lubricantes con un IV de hasta 100:

$$IV = \frac{L - v}{L - H} \cdot 100$$

donde:

- L** Viscosidad en cSt, a 40°C, de un lubricante que tiene un IV de 0 y una viscosidad en cSt, a 100°C, igual a la de la muestra de lubricante.
- v** Viscosidad en cSt, a 40°C, de la muestra de lubricante.
- H** Viscosidad en cSt, a 40°C, de un lubricante que tiene un IV de 100 y una viscosidad en cSt, a 100°C, igual a la de la muestra de lubricante. Este valor se obtiene de diversas tablas con valores estandarizados.

- Para lubricantes con un IV de 100 o mayor:

$$IV = \frac{10^N - 1}{0,00715} + 100$$

N se calcula:

$$N = \frac{\log H - \log v}{\log Y}$$

donde:

- Y** Viscosidad en cSt, a 100°C, de la muestra de lubricante.

En el caso de los lubricantes utilizados para el proceso de selección de la grasa de lubricación adecuada para el mecanismo piñón corona, se sabe que sus IV serán

superiores a 100. Por ello, el cálculo se basará en la segunda alternativa presentada, obteniendo los siguientes resultados:

Lubricante	H	v	Y	N	IV
Klüberfluid C-F 8 Ultra	1333,6	680	63	0,16	163
Grafloscon B-SG 0 Ultra	780,7	630	45	0,06	119
Castrol Tribol 3020/1000	1045,4	1000	54	0,01	104
Olipes Maxigras 94 OGL	956,1	680	51	0,09	131

*Tabla 30: Tabla para el cálculo del Índice de Viscosidad del lubricante.*

En vista de los resultados obtenidos, se puede alcanzar las siguientes conclusiones:

- Klüberfluid C-F 8 Ultra es la grasa más estable frente a los cambios de temperatura, dado su alto índice de viscosidad, tal y como se había indicado en el análisis de la gráfica.
- Grafloscon B-SG 0 Ultra y Olipes Maxigras 94 OGL son lubricantes con un índice de viscosidad medio, siendo este valor suficiente (aunque no óptimo) teniendo en cuenta el clima correspondiente a la ubicación de la planta.
- Castrol Tribol 3020/1000 es la grasa que más variará como consecuencia de los cambios de temperatura en el deshidratador, poniendo en riesgo de esta manera la correcta lubricación del mecanismo piñón corona.

### **3 Cálculo del espesor de la película lubricante**

Uno de los objetivos de este proyecto es llevar a cabo un programa de reducción del consumo y ahorro de energía. Para ello, es necesario conocer bajo qué condiciones de lubricación trabajan los elementos del equipo rotativo.

Los distintos tipos de lubricación son denominados habitualmente regímenes de lubricación. Durante el ciclo de trabajo del equipo puede haber cambios entre los diferentes regímenes, variando así las condiciones de lubricación del mecanismo.

Existen tres regímenes de lubricación diferentes:

- **Lubricación límite:** Tiene lugar siempre que un mecanismo se pone en movimiento, ya que las condiciones de trabajo en ese momento no son favorables para la formación de una película fluida. Bajo condiciones normales de trabajo, este régimen debe desaparecer totalmente; de lo contrario, se producirán interacciones entre las rugosidades de las superficies de contacto, aumentando así la fricción entre ellas y dando lugar a una reducción considerable de la vida útil del mecanismo.
- **Lubricación mixta:** Este régimen representa un estado intermedio entre lubricación límite y lubricación hidrodinámica, por el cual todo mecanismo pasa antes de alcanzar esta última condición. En este caso, parte de las asperezas superficiales de ambos mecanismos se intercalan de tal forma que una parte de la carga es soportada por las acciones hidrodinámicas y la otra por la película límite que recubre las irregularidades de ambas superficies. Una selección incorrecta del lubricante, al igual que una disminución de su viscosidad, pueden dar lugar a que el mecanismo quede funcionando bajo estas condiciones.
- **Lubricación hidrodinámica:** Se presenta cuando, por la acción del movimiento relativo entre dos superficies lubricadas, se crea una película lubricante lo suficientemente gruesa como para impedir todo contacto metal-metal. En este caso, las condiciones de la lubricación serán óptimas y el mecanismo podrá

funcionar durante largo tiempo sin desgaste alguno, siempre que se mantengan estas condiciones de operación.

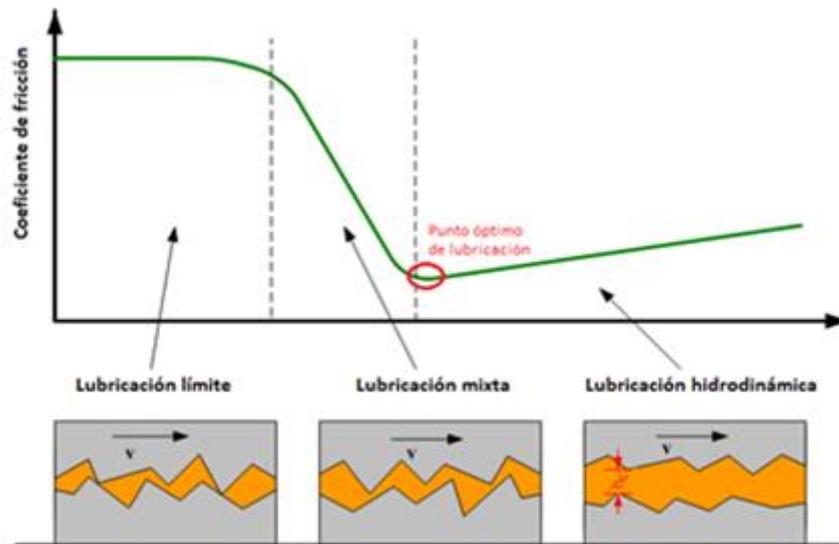


Imagen 49: Curva de Stribeck y diferentes regímenes de lubricación.

Una vez presentadas las diferentes condiciones de lubricación y observando la Imagen 48, se sabe que el régimen adecuado para que el equipo rotativo instalado en el deshidratador funcione de manera correcta y permita reducir el consumo y la energía consumida en él es el régimen de lubricación hidrodinámica. Esto significa que el espesor mínimo de la película lubricante debe ser algo superior a la suma promedio de las irregularidades de ambas superficies. Por tanto:

$$P_b = \frac{h_c}{R_{a1} + R_{a2}}$$

donde:

- P<sub>c</sub>** Probabilidad de que las superficies lubricadas no entren en contacto.
- h<sub>c</sub>** Espesor de la película lubricante.
- R<sub>a1</sub>** Rugosidad superficial del flanco del diente del piñón.
- R<sub>a2</sub>** Rugosidad superficial del flanco del diente de la corona.

Así pues, sabiendo que la rugosidad superficial de los flancos de los dientes de ambos engranajes es de  $6,3 \mu\text{m}$ , el espesor mínimo de la película lubricante será:

$$h_c = (R_{a1} + R_{a2}) \cdot P_b$$
$$h_c = (6,3 + 6,3) \cdot 1 = 12,6 \mu\text{m}$$

#### 4 Cálculo del consumo de lubricante seleccionado

Una vez seleccionado el lubricante adecuado para el mecanismo piñón corona del deshidratador, se necesita conocer el modo de funcionamiento del mismo para realizar el cálculo del consumo de grasa.

El equipo está provisto de un sistema de pulverización automática que tiene el cometido de dosificar lubricante de forma intermitente a un sistema piñón corona de 180 mm de anchura. Esta dosificación se realiza mediante dos boquillas de pulverización que reciben aire comprimido y lubricante de forma simultánea, realizándose así el engrase del mecanismo.

Para poder calcular la cantidad necesaria de lubricante, se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Superficie de contacto a lubricar.
- Tamaño de la transmisión.
- Velocidades periféricas.
- Temperatura de operación.

Una vez fijadas todas estas variables, se acude al manual realizado por Klüber en el que ha desarrollado, en base a muchos años de experiencia, un diagrama que informa sobre valores indicativos de cantidades de aplicación de lubricantes de servicio.

El primer paso es determinar la cantidad de lubricante específica en g/cm por anchura de flanco y horas de servicio, dependiendo del modo de funcionamiento del equipo:

	Tipo de instalación/transmisión	Lubricante de servicio g/(cm·hora)
1	Accionamientos de tambores giratorios	0,8
2	Transmisiones de piñón simple para secadores	1
3	Transmisiones de molinos de piñón simple	1,3
4	Transmisiones de piñón simple para molinos de grandes dimensiones	1,5
5	Transmisiones de piñón doble para molinos	1,8

Tabla 31: Cantidades específicas para la lubricación de servicio con Klüberfluid C-F 8 Ultra.

Se puede ubicar al deshidratador de sulfato amónico en varios de los tipos de transmisión que aparecen en la tabla anterior. Sin embargo, el que más se asemeja es el modo de funcionamiento 2: **Transmisiones de piñón simple para secadores.**

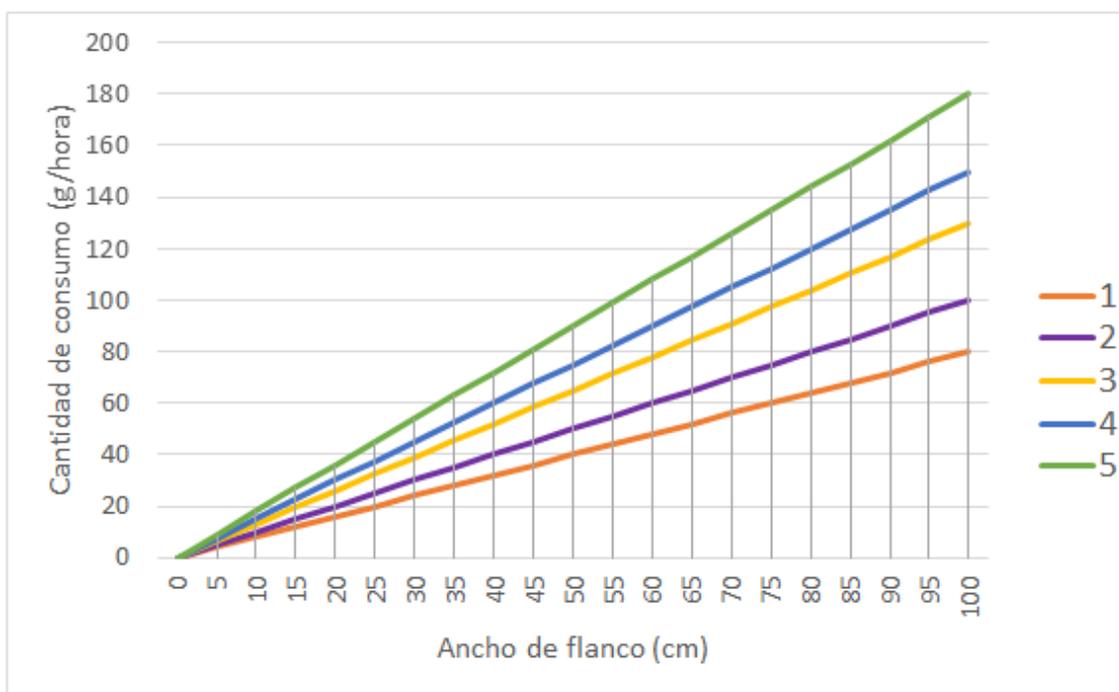


Imagen 50: Diagrama para la determinación de la cantidad específica de consumo de lubricante.

Así pues, se sabe que la cantidad específica necesaria de consumo en g/(cm·hora) es de 1.

Posteriormente, mediante el ancho de flanco del piñón, que es de 18 cm, se puede calcular de forma teórica el valor aproximado de consumo por hora de servicio:

$$\text{Consumo por hora} = 1 \frac{g}{cm} \cdot 18 \text{ cm} = 18 \text{ g}$$

Además, se obtiene el consumo de lubricante de servicio al día:

$$\text{Consumo al día} = 18 \frac{g}{h} \cdot 24 \text{ h} = 432 \text{ g} = 0,432 \text{ kg}$$

Sabiendo que el bidón comercial de la marca Klüber es de 180 kg de lubricante, se puede obtener el tiempo que tarda dicho bidón en consumirse en la instalación:

$$\text{Tiempo de consumo} = \frac{180 \text{ kg}}{0,432 \frac{\text{kg}}{\text{día}}} \approx 417 \text{ días}$$

Además, se conoce que la cantidad de lubricante pulverizado por las boquillas en cada embolada es de  $1,2 \text{ cm}^3$  y que la densidad de Klüberfluid C-F 8 Ultra es de  $0,92 \text{ g/cm}^3$ .

Por tanto:

$$\text{Consumo por embolada} = 1,2 \text{ cm}^3 \cdot 0,92 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1,104 \text{ g}$$

$$\text{Número de emboladas a la hora} = \frac{18 \frac{\text{g}}{\text{h}}}{1,104 \frac{\text{g}}{\text{emb}}} \approx 17 \frac{\text{emboladas}}{\text{hora}}$$

Así pues, finalmente, se debe fijar el tiempo de ciclo de la instalación. Éste viene definido por el tiempo de pulverización, que es de 4 segundos; y el tiempo de espera, que viene definido por la siguiente ecuación:

$$T_e = \frac{3600}{N_e} - T_p$$

donde:

$T_e$	Tiempo de espera
$T_p$	Tiempo de pulverización
$N_e$	Numero de emboladas a la hora

Por tanto:

$$T_e = \frac{3600}{17} - 4 \approx 216 \text{ segundos}$$

Sabiendo que el espesor de la película de lubricante Klüberfluid es de  $12,6 \mu\text{m}$ , se obtiene la siguiente gráfica:

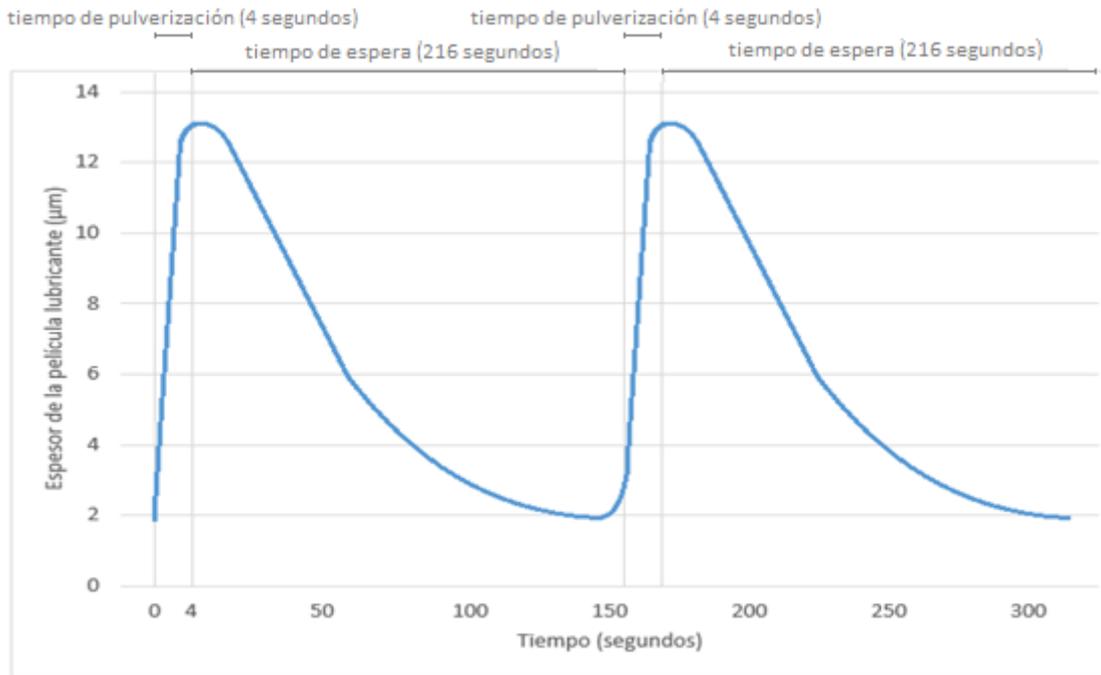


Imagen 51: Tiempo de pulverización y espera.

## **ANEXO II INTRODUCCIÓN A LAS CARACTERÍSTICAS DE LA FICHA TÉCNICA DE LUBRICANTES**

### **1 Consistencia o Grado NLGI**

Se define como la resistencia que presenta un material plástico a la deformación cuando se le aplica una fuerza. En el caso de las grasas lubricantes, es una medida de su dureza relativa y se puede definir como la propiedad que caracteriza la fluidez de la misma cuando se le aplica una presión determinada a una temperatura específica. Concretamente, es la profundidad (en décimas de milímetro) que logra penetrar un cono estandarizado dentro de la grasa bajo condiciones predefinidas. Si el accionamiento es lubricado con una grasa con la consistencia adecuada, ésta permanecerá en el accionamiento sin generar apenas fricción.

Esta característica se da de acuerdo con la penetración ASTM. Se clasifica según la siguiente escala, creada por el NLGI (Instituto Nacional de Grasas Lubricantes):

<b>Consistencia NLGI</b>	<b>Penetración ASTM D-217 (<math>10^{-1}</math> mm)</b>	<b>Grado de dureza a 25°C</b>
000	447-475	Muy fluida
00	400-430	Fluida
0	355-385	Semifluida
1	310-340	Muy blanda
2	265-295	Blanda
3	220-250	Semidura
4	175-205	Dura
5	130-160	Muy dura
6	85-118	Extremadamente dura

*Tabla 32: Consistencia NLGI según penetración ASTM.*

Cabe indicar que en los sistemas de lubricación por pulverización el grado de consistencia NLGI debe ser como máximo 0, ya que es necesario un lubricante con alto grado de fluidez para poder ser pulverizado por las boquillas de aire comprimido.

### **2 Rango de temperaturas de operación**

Comprende los límites de uso adecuados de la grasa. Se sitúa entre el límite inferior de temperatura (LTL) y el límite superior de temperatura para un rendimiento eficaz

(HTPL). El LTL indica la temperatura más baja a la cual la grasa permite que el mecanismo funcione adecuadamente. Por debajo de esa temperatura límite existe una falta de suministro de lubricante, provocando así el fallo del sistema. Por el contrario, por encima del HTPL la grasa se degradará de forma incontrolada, reduciendo así la vida útil de la misma y empeorando el funcionamiento del mecanismo.

### **3 Viscosidad**

La viscosidad es la característica más importante a la hora de realizar una correcta selección del lubricante a emplear en un mecanismo. Ésta se define como la resistencia interna a fluir que presentan las moléculas de un líquido cuando pasan una al lado de la otra, en su movimiento, a una temperatura determinada.

Como esta resistencia interna a fluir depende de las fuerzas intermoleculares que se desarrollan en el interior del líquido, es de éstas de la que dependerá finalmente la resistencia mecánica observada cuando se hace deslizar una capa de líquido sobre otra capa adyacente de este mismo líquido.

En los lubricantes, una viscosidad apropiada debe garantizar la separación adecuada entre superficies sin causar demasiada fricción. Según la normativa ASTM D-445, se evalúa la viscosidad en Centistokes ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) a  $40^\circ\text{C}$  y a  $100^\circ\text{C}$ , permitiendo así calcular el **Índice de Viscosidad**.

En este caso, el fabricante del mecanismo estudiado recomienda emplear en el piñón un lubricante con una viscosidad a  $40^\circ\text{C}$  de  $680 \text{ mm}^2/\text{s}$ .

### **4 Punto de inflamación**

Es la temperatura mínima a la cual los gases formados se inflaman por un instante al aproximarles una chispa o llama. Se emplea como referencia para determinar la temperatura máxima hasta la cual se puede emplear una grasa o aceite sin riesgo alguno. Las grasas con puntos de inflamación inferiores a  $150^\circ\text{C}$  no se deben usar en lubricación. El punto de inflamación de los lubricantes nuevos aumenta cuanto mayor es la viscosidad.

## 5 Resistencia al agua

Se trata de la resistencia que presenta el lubricante a ser contaminado por una mínima cantidad de agua. Es importante conocer esta característica porque, en muchas ocasiones, cantidades muy pequeñas de agua son suficientes para modificar la estructura de las grasas.

Para determinar este parámetro, se recubre una tira de cristal con el lubricante que se quiere testar y se coloca en un tubo de ensayo con agua destilada. Éste se sumerge en un baño de agua durante un tiempo y una temperatura determinados (en este caso, 3 horas a 90°C). La alteración de la grasa se evalúa visualmente y se indica como un valor entre 0, que indica que no se ha producido ninguna alteración, y 3, que señala que se ha producido una alteración importante.

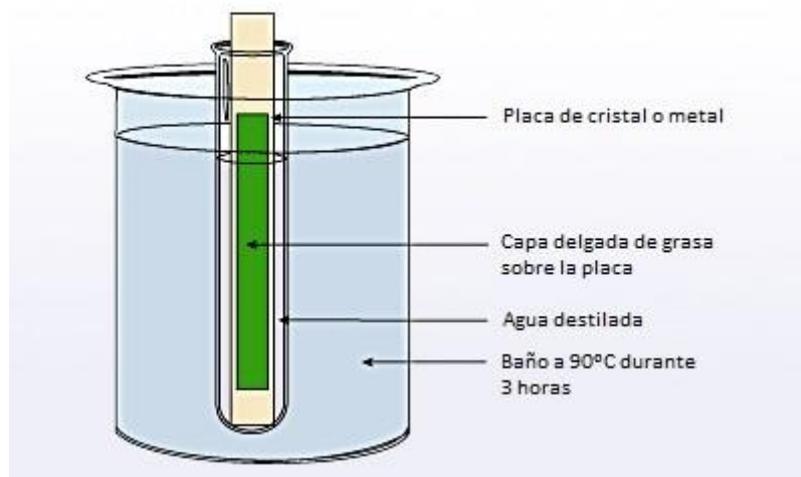


Imagen 52: Ensayo de resistencia al agua.

## 6 Corrosión al cobre

La mayor parte de los lubricantes nuevos son absolutamente inofensivos frente a los metales, que constituyen los mecanismos a lubricar. Sin embargo, es de interés determinar la tendencia que presenta una grasa para provocar corrosión en los metales blancos, tales como el cobre, bronce, etc.

La corrosividad del lubricante aumenta si hay presencia de agua porque ésta puede lavar parte de los aditivos anticorrosivos. Además, cabe añadir que este proceso es

más acelerado si el lubricante está parcialmente oxidado, ya que se forman ácidos orgánicos.

Con el objetivo de determinar esta variable, se realiza un ensayo en el que se coloca una lámina de cobre perfectamente pulida dentro de una muestra del lubricante que está siendo evaluado durante 3 horas a 100°C. Por la coloración que presenta dicha lámina al finalizar el ensayo se deduce el grado de corrosión que ha sufrido al compararla con la siguiente serie de colores patrones:

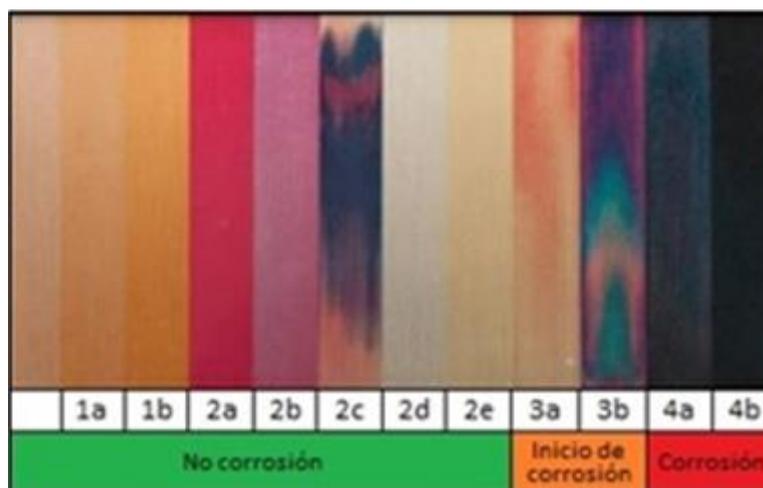


Imagen 53: Patrones de ensayo de corrosión al cobre.

## 7 Protección contra la corrosión (herrumbre)

La herrumbre es causada por el aire y el agua sobre el hierro y el acero (materiales ferrosos). Su acción se puede prevenir agregando a los lubricantes aditivos de tipo polar que forman capas protectoras sobre las superficies metálicas. Sin embargo, el porcentaje de éstos se debe controlar porque pueden ejercer una acción negativa sobre las propiedades antiespumantes, antioxidantes y de demulsibilidad de la grasa lubricante.

El método para evaluar esta característica está constituido por dos partes: el procedimiento A, usando agua destilada; y el procedimiento B, utilizando agua sintética de mar. En este caso, se realiza el procedimiento B por la ubicación de la planta, ya que se encuentra en ambiente marino.

Para efectuar la prueba, la muestra de lubricante se mezcla con un 10% de agua salada, introduciendo posteriormente en ella una varilla del material del mecanismo a lubricar y haciendo girar un eje a una velocidad de 1000 rpm. Esta varilla, pasado un período de tiempo determinado, es evaluada para fijar el grado de herrumbre. Finalmente, los laboratorios realizan un informe en el que detallan si el lubricante “pasa” o “no pasa” la prueba de herrumbre.

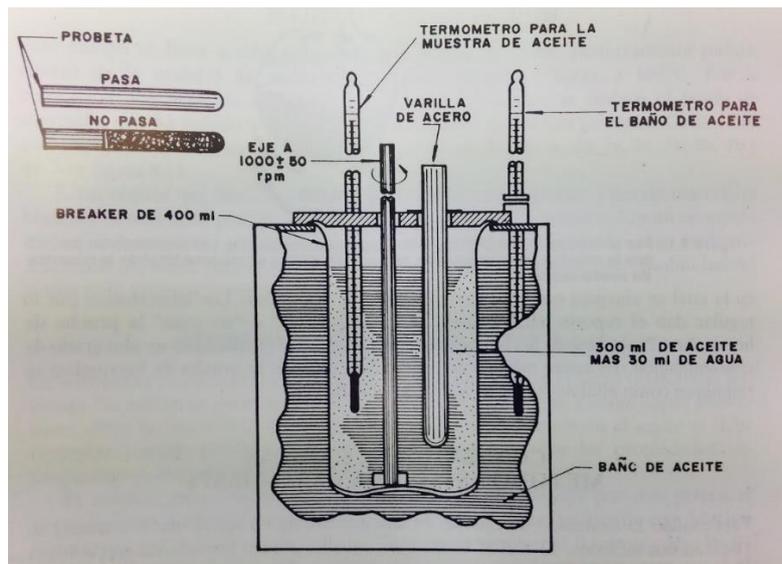


Imagen 54: Ensayo de protección contra la corrosión (herrumbre).

## **ANEXO III ANEXO: MODO DE EMPLEO Y FUNCIONAMIENTO DEL LUBRICANTE SELECCIONADO**

### **1 Sistema de lubricación A-B-C**

La seguridad de funcionamiento y un servicio óptimo sin averías del mecanismo piñón corona dependerá en gran medida, como ya se ha indicado anteriormente, de una lubricación adecuada.

Para realizar la puesta en funcionamiento del deshidratador después de realizar las modificaciones y mejoras desarrolladas en este proyecto, se debe pasar por varias etapas, entre las que se encuentran el pre-arranque y puesta en marcha, la fase de rodaje y la de servicio.

Con el objetivo de asegurar una perfecta lubricación en todas las fases y para proteger las transmisiones de daños desde las primeras maniobras del secador, la marca alemana Klüber Lubrication ofrece un método de lubricación integral denominado Lubricación con sistema A-B-C. Estas siglas representan los símbolos de las diferentes etapas de sistema, para las cuales la empresa ha desarrollado lubricantes diferentes, y poseen la siguiente interpretación:



*Imagen 55: Lubricación por sistema A-B-C de Klüber.*

### **Lubricante tipo A (Imprimación y lubricación pre-arranque)**

Se trata de un producto altamente aditivado que se debe aplicar antes de la puesta en marcha de la transmisión del deshidratador, es decir, durante los trabajos de mantenimiento realizados en el equipo.

- **Grasa a utilizar:** En este caso, se emplea Grafloscon A-G 1 Ultra, un lubricante de alto contenido en grafito (25%) que evita los daños que pueden producirse por el contacto metal-metal provocado por el retraso en la formación inicial de la película lubricante. Además, protege al engranaje contra la corrosión hasta la definitiva puesta en marcha de la transmisión.
- **Forma de aplicación:** Se realiza mediante lubricación manual con pincel o espátula. El piñón y la corona deben estar totalmente limpios de grasa y óxido y se debe aplicar una capa de aproximadamente 1.5 mm de espesor en los flancos de los dientes y una fina capa en el resto de la superficie a efectos de protección anti-corrosiva.

### **Lubricante tipo B (Lubricación de rodaje)**

Se trata de una grasa específica para la eliminación rápida de las rugosidades superficiales y para mejorar la superficie portante de los flancos de los dientes engranados entre la transmisión piñón corona.

- **Grasa a utilizar:** En esta fase, se emplea Grafloscon B-SG 00 Ultra, un lubricante pulverizable a base de aceite mineral que alisa las rugosidades superficiales creando así una situación idónea para evitar pittings u otros defectos. Además, minimiza las presiones específicas sobre los flancos de los dientes reduciendo el riesgo de gripado y, consecuentemente, aumentando la vida útil de la transmisión.

- **Forma de aplicación:** Se emplea el sistema de lubricación por pulverización automática instalado en el deshidratador. Antes de iniciar el proceso de rodaje, el pulverizador automático deberá programarse de forma que pulverice grasa de forma cuasi-continua. El secador deberá rodarse sin carga hasta que la corona y el piñón estén totalmente engrasados. En ese momento, se aplicará carga de forma progresiva y, una vez finalizada la alineación del secador y estando el engranaje trabajando correctamente, se deberá mantener la grasa de rodaje durante 50 horas más. Finalmente, se deberá sustituir progresivamente por el lubricante de servicio. Cabe indicar que ambos lubricantes son compatibles, de modo que no se requiere limpiar el pulverizador en el momento del cambio.

#### **Lubricante tipo C (Lubricación de servicio)**

Se trata de un lubricante especialmente desarrollado para las condiciones de trabajo de la transmisión piñón corona del deshidratador. Cumple con todas las prescripciones que el mecanismo exige para su correcto funcionamiento.

- **Grasa a utilizar:** En este caso, se emplea Klüberfluid C-F 8 Ultra, un lubricante pulverizable de nueva generación que se basa en hidrocarburos sintéticos y aceite mineral. Posee unas excelentes propiedades de adherencia, alta capacidad de carga portante, máxima protección contra el desgaste, resistencia al gripado y buena protección contra la corrosión.
- **Forma de aplicación:** Se emplea, al igual que en la fase anterior, lubricación por pulverización mediante el sistema automático instalado. Una vez finalizado el rodaje, se debe sustituir el barril del lubricante de rodaje por el del lubricante de servicio. Además, se debe reprogramar el sistema de lubricación de acuerdo a las condiciones de operación del equipo.

## **ANEXO IV ESTUDIO ECONÓMICO**

### **1 INTRODUCCIÓN**

En el presente anexo se va a someter a estudio la viabilidad del presente proyecto, es decir, si el tiempo de recuperación de la inversión que se va a realizar para la ejecución del proyecto resulta rentable a la empresa. Dicho tiempo de recuperación de la inversión no deberá ser mayor a dos años; por tanto, el proyecto será viable si la inversión se recupera antes de transcurrir este tiempo.

Para realizar este estudio, se va a tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Inversión realizada.
- Gastos de mantenimiento que presenta la instalación actual.
- Gastos de mantenimiento que presentará la instalación mejorada.

## **2 GASTOS DE MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN ACTUAL**

En este apartado se expondrán los gastos de mantenimiento aproximados de la instalación actual. Dichos gastos son los siguientes:

- 1) Coste de la mano de obra de mantenimiento.....1.076,00 €/año
- 4 operarios (mecánico) x 4h/reparación x 2 reparaciones/año x 22€/hora
  - 1 operario (mecánico) x 0,5h/reparación x 12 reparaciones/año x 22/hora
  - 1 operario (electromecánico) x 2h/reparación x 3 reparaciones/año x 40 €/hora
- 2) Coste de repuestos.....16.336,74 €/año
- Sustitución semestral del bidón de lubricante del mecanismo piñón corona.
  - Sustitución trimestral del bidón de lubricante de los conjuntos rodillos-bandas.
  - Sustitución del mecanismo piñón corona cada 10 años.
  - Sustitución de los conjuntos rodillos-bandas cada 15 años.
  - Pintar anualmente el motor y la reductora.
  - Sustitución anual de componentes eléctricos.
- TOTAL.....17.412,74 €/año**

### **3 GASTOS DE MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN PROPUESTA**

En este apartado se exponen los gastos de mantenimiento previstos para la futura instalación:

- 1) Coste de la mano de obra de mantenimiento.....432,00 €/año
  - 4 operarios (mecánico) x 4h/reparación x 1 reparación/año x 22€/hora
  - 1 operario (electromecánico) x 2h/reparación x 1 reparación/año x 40 €/hora
  
- 2) Coste de repuestos.....8.357,45 €/año
  - Sustitución del bidón de lubricante del mecanismo piñón corona cada 417 días.
  - Sustitución del lubricante seco de los conjuntos rodillos-bandas cada 2 años.
  - Sustitución del mecanismo piñón corona cada 25 años.
  - Sustitución de los conjuntos rodillos-bandas cada 20 años.
  - Pintar anualmente el motor y la reductora.
  - Sustitución anual de componentes eléctricos.

**TOTAL.....8.789,45 €/año**

#### 4 **BENEFICIOS**

Si se comparan los gastos de mantenimiento de la instalación actual con los previstos para la instalación propuesta, se obtienen los siguientes beneficios:

- 1) Reducción del coste de mano de obra de mantenimiento.....644,00 €/año
- 2) Reducción del coste de repuestos/componentes dañados.....7.979,29 €/año

**TOTAL.....8.623,29 €/año**

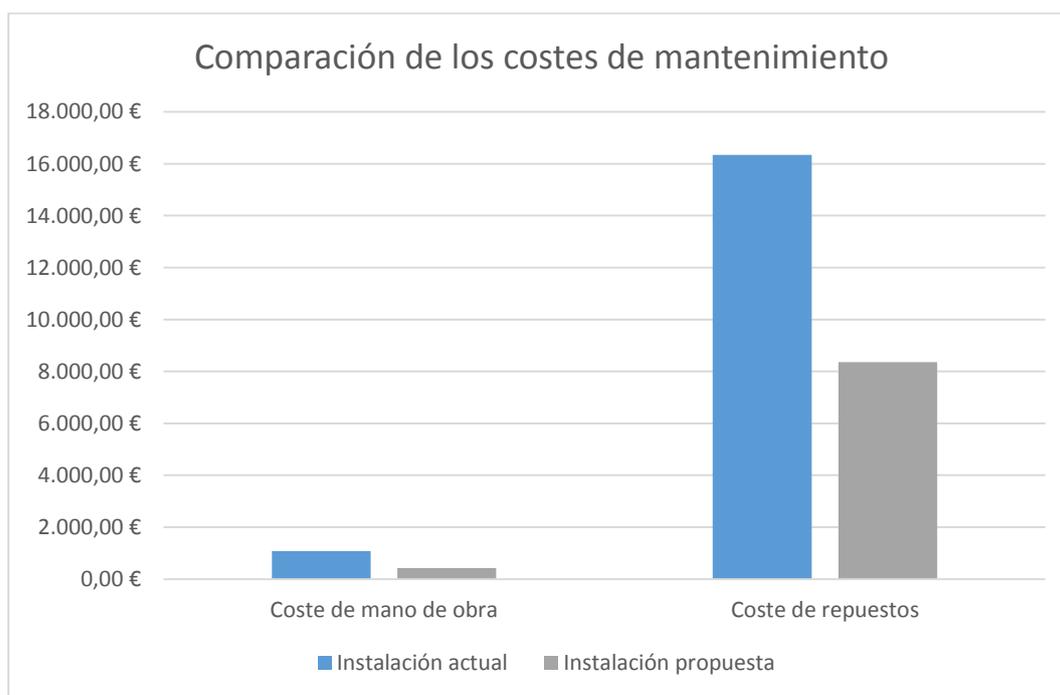


Imagen 56: Comparativa de los costes de mantenimiento en ambas instalaciones.

## **5 INVERSIÓN ESTIMADA**

Como se puede observar en el anexo de mediciones y presupuestos, el coste estimado de la ejecución del presente proyecto asciende a 13.339,34 €.

## 6 ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO

### 1 Resultados

Beneficios totales por año.....8.623,29 €/año

Beneficios totales en dos años.....17.246,58 €/año

Inversión total para llevar a cabo la instalación propuesta.....13.339,34 €/año

Diferencia entre beneficio e inversión en dos años.....3.907.24 €/año

### 2 Período de retorno de la inversión

El período de retorno de la inversión del presente proyecto es el siguiente:

$$PR = \frac{\textit{Inversión total}}{\textit{Beneficio promedio anual}} = \frac{13.339,34}{8.623,29} = 1,55 \text{ años}$$

## **7 CONCLUSIÓN**

Como se ha podido demostrar en los diferentes puntos del presente anexo, el proyecto será amortizable en menos de dos años, por lo que cumple la premisa que dicta la compañía. Por tanto, se puede afirmar que el presente proyecto es viable para la empresa.

# PLIEGO DE CONDICIONES

## ÍNDICE PLIEGO DE CONDICIONES

1	OBJETIVO DEL PLIEGO .....	157
2	CONDICIONES GENERALES .....	158
2.1	Director del proyecto .....	158
2.2	Comienzo de obra .....	158
2.3	Definición de los precios y mediciones .....	158
2.4	Normativa aplicable .....	158
2.5	Subcontratos .....	160
2.6	Libro de órdenes .....	160
2.7	Libro de incidencias.....	160
3	CONDICIONES TÉCNICAS .....	162
3.1	Generalidades .....	162
3.2	Materiales .....	162
3.2.1	Calidad.....	162
3.2.2	Utilización.....	163
3.2.3	Unión de componentes.....	163
3.2.4	Materiales no especificados.....	165
3.2.5	Aparatos .....	165
4	RECEPCIÓN Y EXPLOTACIÓN .....	167
5	CONDICIONES ECONÓMICAS .....	169
5.1	Generalidades .....	169
5.2	Obras defectuosas y mal ejecutadas.....	170
6	CONDICIONES LEGALES .....	171
6.1	Quién puede ser contratista.....	171
6.2	Formalización de contratos.....	171
6.3	Responsabilidad del contratista .....	171
6.4	Accidentes de trabajo y daños a terceros .....	172

## **1 OBJETIVO DEL PLIEGO**

El siguiente Pliego de Condiciones, que será de aplicación en el presente proyecto, constituye el conjunto de instrucciones, normas y especificaciones que juntamente con las establecidas en los planos del Proyecto, define todos los requisitos técnicos y generales de las obras que son objeto del mismo.

En general se ha procedido a definir lo más exhaustivamente posible los conceptos que cada unidad de obra comprende.

Se pretende con el presente pliego establecer las condiciones que ha de cumplir la maquinaria a instalar en la línea de producción de sulfato amónico. Asimismo, se establecen las condiciones de fabricación y puesta en obra, así como la normativa legal para la ejecución de las obras contempladas en el presente documento.

## **2 CONDICIONES GENERALES**

### **2.1 Director del proyecto**

El director del proyecto es el ingeniero firmante del mismo, y en él recaerán las labores de dirección, control y vigilancia de las obras a que se refiere el presente proyecto. El contratista proporcionará toda clase de facilidades para que el ingeniero o sus subalternos puedan llevar a cabo su trabajo con la máxima eficacia.

No será responsable ante la propiedad de la tardanza de los organismos competentes en la tramitación del proyecto. La tramitación es ajena al director de obra quien, habiendo conseguido todos los permisos, dará la orden de comenzar la obra.

### **2.2 Comienzo de obra**

La obra comienza con la Orden de Inicio de las Obras contenida en el Acta de Comprobación de Replanteo o, en su caso, en el Acta de Levantamiento de Suspensión de las Obras. Comprende este periodo la construcción de las obras civiles, la fabricación y adquisición de los materiales necesarios y el montaje de los mismos en obra, los trabajos de ajuste y comprobación de la obra civil y de la estructura.

### **2.3 Definición de los precios y mediciones**

Los precios comprenden, en general y salvo indicación alguna de lo contrario, todos los materiales, su transporte, mano de obra, operaciones y medios auxiliares necesarios para terminar completamente cada unidad con arreglo a las prescripciones de este Pliego y a las de una buena construcción.

### **2.4 Normativa aplicable**

- Instrucciones del Instituto Nacional de Racionalización y Normalización (Normas UNE).
- Legislación sobre Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Normas MV del Ministerio de la Vivienda.

- Ley de industria.
- Eurocódigo 1. Acciones en estructuras.
- UNE-EN 14610:2006: " Soldeo y procesos afines. Definiciones de los procesos de soldeo para metales."
- UNE-EN ISO 544:2004:" Consumibles para soldeo. Condiciones técnicas de suministro para materiales de aportación para soldeo. Tipos de producto, medidas, tolerancias y marcado (ISO 544:2003)".
- UNE 14044:2002: "Uniones soldadas de las estructuras metálicas. Inspección durante su ejecución y montaje".
- Real Decreto 681/2003 sobre protección de la salud y seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de la presencia de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.
- Si alguna de las Prescripciones o Normas a las que se refieren los párrafos anteriores coincidieran de modo distinto en algún concepto, se entenderá como válida la más restrictiva.

## **2.5 Subcontratos**

Ninguna parte de las obras podrá ser subcontratada sin consentimiento previo del Ingeniero Director.

Las solicitudes para ceder cualquier parte del contrato deberán formularse por escrito y acompañarse con un documento que acredite que la organización que ha de encargarse de los trabajos que han de ser objeto de subcontrato está particularmente capacitada y equipada para su ejecución. La aceptación del subcontrato no relevará al Contratista de su responsabilidad contractual.

El Contratista deberá atenerse a las disposiciones vigentes sobre Seguridad e Higiene en el trabajo. Como elemento primordial de seguridad se establecerá toda la señalización necesaria, tanto durante el desarrollo de las obras, como durante su explotación, haciendo referencias bien a peligros existentes o a las limitaciones de las estructuras. Para ello se utilizarán, cuando existan, las correspondientes señales vigentes establecidas por el Ministerio de Obras y Urbanismo y en su defecto, por otros Departamentos Nacionales y Organismos Internacionales.

## **2.6 Libro de órdenes**

El libro de órdenes se abrirá en la fecha de comprobación del replanteo y se cerrará en la recepción definitiva. Durante este tiempo, estará a disposición de la dirección de obra y de los representantes de la propiedad que, cuando proceda, anotaran en éste, las ordenes, instrucciones y comunicaciones que estimen oportunas, autorizándolas con su firma.

El contratista estará también obligado a transcribir en este libro, por sí mismo, o mediante su delegado de obra, cuantas ordenes o instrucciones reciba por escrito de la dirección de obra, y a firmar, a los efectos procedentes el oportuno acuse de recibo, sin perjuicio de la necesidad de una posterior autorización de estas prescripciones por la dirección de obra, con su firma, en el libro indicado.

## **2.7 Libro de incidencias**

Se hará constar en el libro de Incidencias todos aquellos hechos que considere oportunos la Dirección de Obra o el representante de la Propiedad, y con carácter diario, los siguientes:

- Las condiciones atmosféricas y la temperatura máxima y mínima ambiente.
- Relación de los trabajos realizados.
- Relación de los ensayos realizados con los resultados obtenidos.
- Cualquier circunstancia que pueda influir en la calidad y ritmo de la obra.

### **3 CONDICIONES TÉCNICAS**

#### **3.1 Generalidades**

Todos los materiales y equipos serán nuevos y vendrán provistos de su correspondiente certificado de calidad, para las características y condiciones de utilización.

El manejo de la instalación y pruebas de todos los materiales y equipos se efectuarán en estricto acuerdo con las normas legales y recomendaciones dadas por el fabricante.

Los materiales y equipos defectuosos o que resulten averiados en el curso de las pruebas, serán sustituidos o reparados de forma satisfactoria para la Dirección de Obra.

#### **3.2 Materiales**

##### **3.2.1 Calidad**

Todos los materiales que hayan de emplearse para la ejecución de las obras deberán reunir las características indicadas en este Pliego y en el Presupuesto, así como merecer la conformidad de la Dirección.

La Dirección tiene la posibilidad de rechazar en cualquier momento aquellos materiales que considere no responden a las condiciones del Pliego, o que sean inadecuados para el buen resultado de los trabajos.

Los materiales rechazados deberán retirarse de la obra a cuenta del Contratista, dentro del plazo que señale la Dirección.

El Contratista notificará con suficiente antelación a la Dirección la procedencia de los materiales, aportando las muestras y datos necesarios para determinar la posibilidad de su aceptación.

La aceptación de una procedencia o cantera, no anula el derecho de la Dirección a rechazar aquellos materiales que a su juicio no respondan a las condiciones del Pliego, aún en el caso de que tales materiales estuvieran ya puestos en obra.

### **3.2.2 Utilización**

El material a utilizar será un acero inoxidable 316 (según normativa ASME sección II división I), tanto para las boquillas de pulverización como para los consumibles de las uniones soldadas y los soportes de los bloques de lubricación seca. Estos elementos serán instalados en el lugar adecuado mediante soldadura, tal y como se indica en el apartado siguiente.

### **3.2.3 Unión de componentes**

Juntamente con los planos elaborados por el Director del proyecto, el taller deberá preparar un programa de soldadura que abarcará los siguientes puntos:

- Cordones a ejecutar en taller y en campo.
- Orden de ejecución de las distintas uniones y precauciones a adoptar para reducir al mínimo las deformaciones y las tensiones residuales.
- Procedimiento homologado de soldeo elegido para cada cordón, con breve justificación de las razones de procedimiento propuesto.
- Para la soldadura manual se indicarán: la clase y diámetro de los electrodos, el voltaje y la intensidad, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, la polaridad y las posiciones de soldeo para las que está aconsejado cada tipo de electrodos.
- Para la soldadura con arco sumergido se indicarán: el tipo y marca de la máquina, la calidad y diámetro del hilo, la calidad y el granulado del polvo, voltaje e intensidad.
- Para la soldadura en atmósfera de gas inerte se indicarán: el tipo y marca de la máquina, la calidad y el diámetro del hilo, la naturaleza del gas a utilizar, voltaje e intensidad.
- Orden de ejecución de cada cordón y de las capas sucesivas si las hubiese.

- Orden de ejecución de los distintos cordones de cada nudo.

Se tendrán muy en cuenta para la elaboración del citado procedimiento, los principios de máxima libertad, de máxima simetría y de máxima disipación de calor.

Las dimensiones de los cordones se ajustarán a las previstas con las siguientes tolerancias en su espesor de garganta.

- 0, + 20% para cordones con espesor inferior a 10 m/m.
- 0, + 10% para cordones con espesor superior a 10 m/m.

Antes del soldeo se limpiarán los bordes del corte, eliminando cuidadosamente toda la cascarilla, herrumbre o suciedad y, muy especialmente, las manchas de grasa o pintura.

Las partes a soldar deberán estar bien secas. Los electrodos cuyo recubrimiento sea especialmente higroscópico (los básicos entre otros), deberán ser introducidos en estufa o armario secador, siguiendo las instrucciones del suministrador y conservarlos en ellas hasta el momento de su empleo. En general en la manipulación y almacenamiento de electrodos se seguirán estrictamente las instrucciones del fabricante.

Después de ejecutar cada cordón elemental y antes de depositar el siguiente, se limpiará su superficie con piqueta y cepillo de alambre, eliminando todo rastro de escorias.

La superficie de soldadura presentará un aspecto regular, acusando una perfecta fusión del material y sin muestras de mordeduras, poros, discontinuidades o faltas de material.

Se tomarán las medidas necesarias para evitar los cráteres finales y las proyecciones de gotas de metal fundido sobre la superficie de las barras.

Cuando haya de rehacerse una soldadura se eliminará con arco - aire.

En el taller debe procurarse que el depósito de los cordones se efectúe, siempre que sea posible, en posición horizontal. Con este fin, se utilizarán los dispositivos de volteo que sean necesarios para poder orientar las piezas en la posición más conveniente para la ejecución de las distintas costuras sin provocar en ellas, no obstante, sollicitaciones excesivas que puedan dañar la débil resistencia de las primeras capas depositadas.

#### **3.2.4 Materiales no especificados**

Los demás materiales que se emplean en las obras objeto de este proyecto, y que no hayan sido específicamente tratados en el presente capítulo, serán de probada calidad entre los de su clase, en armonía con las aplicaciones que hayan de recibir y con las adecuadas características que exige su correcta conservación, utilización y servicio. Deberán cumplir las exigencias que figuran en la Memoria y Planos, así como las condiciones que, aun figurando explícitamente, sean necesarias para cumplir y respetar el espíritu en intención del proyecto. En todo caso, estos materiales serán sometidos al estudio y aprobación, si procede, del Director de Obras, quién podrá exigir cuantos catálogos, referencias, muestras, informes y certificados que los correspondientes fabricantes estimen necesarios. Si la información no se considerase suficiente, podrán exigirse los ensayos oficiales oportunos de los materiales a utilizar.

#### **3.2.5 Aparatos**

Todas las partes de la maquinaria que deben estar en contacto con los elementos a tratar, serán de material inalterable, con superficie lisa y fácilmente limpiable. De la misma manera, el exterior de la maquinaria deberá estar esmaltado o cubierto de material inalterable y sin ángulos entrantes que impidan una limpieza perfecta. Los elementos móviles deberán estar provistos de los debidos dispositivos de protección para el manejo del operador.

Para el caso de este proyecto, se tiene únicamente el actuador automático descrito en apartados anteriores. Las condiciones que debe satisfacer dicho elemento son las siguientes:

- La temperatura de trabajo debe estar comprendida entre  $-25^{\circ}\text{C}$  y  $70^{\circ}\text{C}$ .
- Debe poseer una capa protectora contra los agentes climatológicos externos (lluvia, niebla etc.).
- Imprescindible poseer un indicador mecánico de posición.
- Debe someterse al mantenimiento que aconseja el fabricante para los periodos de funcionamiento estándar.

#### 4 RECEPCIÓN Y EXPLOTACIÓN

Una vez realizadas las pruebas finales con resultados satisfactorios para el Director de Obra, se procederá al acto de recepción provisional de la instalación. Con este acto se dará por finalizado el montaje de la instalación, debiendo entregar la empresa instaladora al Director de Obra la documentación siguiente:

- Una Memoria Descriptiva de la Instalación realmente ejecutada, en la que se incluyan las bases de proyecto y los criterios adoptados para su desarrollo.
- Una Relación de los Materiales y los Equipos empleados, en la que se indique el fabricante, la marca, el modelo y las características de funcionamiento, junto con catálogos y con la correspondiente documentación de origen y garantía.
- Los Manuales con las Instrucciones de manejo, funcionamiento y mantenimiento, junto con la lista de repuestos recomendados y resultados de pruebas realizadas.

Si durante el periodo de garantía se produjesen averías o defectos de funcionamiento, éstos deberán ser subsanados gratuitamente por la empresa instaladora, salvo que se demuestre que las averías han sido producidas por falta de mantenimiento o uso incorrecto de la instalación.

El Contratista queda comprometido a conservar por su cuenta, hasta que sean recibidas provisionalmente, todas las obras que integran el Proyecto. Así mismo, queda obligado a la conservación de las obras durante el plazo de garantía de un año, a partir de la fecha de recepción provisional. Durante este plazo deberá realizarse cuantos trabajos sean precisos para mantener las obras ejecutadas en perfecto estado.

Será responsable el Contratista, hasta la recepción definitiva, de los daños y perjuicios a terceros como consecuencia de los actos, omisiones y negligencias del personal a su cargo o de una deficiente organización de las obras. El Contratista será responsable de todos los objetos que se encuentren o descubran durante la ejecución de las obras y deberá dar cuenta inmediata de los hallazgos al Director de las Obras y colocarlos bajo

su custodia, estando obligado a solicitar de los Organismos Públicos y Empresas de servicios, la información referente a las instalaciones subterráneas que puedan ser dañadas por las obras.

## 5 CONDICIONES ECONÓMICAS

### 5.1 Generalidades

Todas las unidades de obra se medirán y abonarán por volumen, superficie, longitud, peso o unidad. Para las unidades nuevas que puedan surgir y para las que sea preciso la redacción de un precio contradictorio, se especificarán claramente al acordarse éste el modo de abono, en otro caso, se establecerá lo admitido en la práctica habitual o costumbre de la construcción.

Si el Contratista construye mayor volumen de cualquier clase de fábrica que el correspondiente a los dibujos que figuran en los Planos, o de sus reformas autorizadas (ya sea por efectuar mal la excavación, por error, por su conveniencia, por alguna causa imprevista o por cualquier otro motivo) no será de abono ese exceso de obra.

Si a juicio del Director de las Obras, ese exceso de obra resultase perjudicial, el Contratista tendrá la obligación de demoler la obra a su costa y rehacerla nuevamente con las dimensiones debidas. En caso de que se trate de un aumento excesivo de excavación, que no pueda subsanarse con la demolición de la obra ejecutada, el Contratista quedará obligado a corregir este defecto, de acuerdo con las Normas que dicte el Director de Obras, sin que tenga derecho a exigir indemnización por estos trabajos.

Es obligación del Contratista la conservación de todas las obras y por consiguiente, la reparación o reconstrucción de aquellas partes que hayan sufrido daños o que se compruebe que no reúne las condiciones exigidas por este Pliego. Para estas reparaciones se atenderá estrictamente a las instrucciones que reciba del Director de las Obras.

Esta obligación del Contratista de la conservación de todas las obras, se extiende igualmente a los acopios que se hayan certificado, Corresponden pues, al Contratista, el almacenaje y guardería de los acopios y reposición de aquellos que se hayan perdido, destruido o dañado, cualquiera que sea la causa. En ningún caso el Contratista tendrá derecho a reclamar fundándose en insuficiencia de precios o en falta de

expresión, en la Valoración de la Obra o en el Pliego de Condiciones, explícita de algún material u operación necesaria para la ejecución de una unidad de obra.

## **5.2 Obras defectuosas y mal ejecutadas**

Si el Director de las Obras estima que las unidades de obra defectuosas y que no cumplen estrictamente las condiciones del Contrato, son sin embargo, admisibles, puede proponer a su Superioridad la aceptación de las mismas con la consiguiente rebaja de los precios. El Contratista queda obligado a rebajar los precios rebajados fijados por la Administración, a no ser que prefiera demoler y reconstruir las unidades defectuosas con arreglo a las Condiciones del Contrato.

## **6 CONDICIONES LEGALES**

### **6.1 Quién puede ser contratista**

Pueden ser contratistas de las obras los españoles y extranjeros que se hallen en posesión de sus derechos civiles con arreglo a las leyes, y a las sociedades y compañías legalmente construidas y reconocidas en España.

Quedan exceptuados:

- Los que se hallen procesados criminalmente.
- Los que estuviesen fallidos, con suspensión de pagos o con sus bienes intervenidos.
- Los que estuviesen apremiados como deudores o de los caudales públicos en concepto de seguros contribuyentes.
- Los que en contratos anteriores con la Administración, hubieran faltado reconocidamente a sus compromisos.

### **6.2 Formalización de contratos**

Los contratos se formalizarán mediante documento privado en general, que podrá elevarse a elección de escritura pública a petición de cualquiera de las partes y con arreglo a las disposiciones vigentes. Será de cuenta del adjudicatario todos los gastos que ocasionen la extensión del documento en que se consigne la contrata.

### **6.3 Responsabilidad del contratista**

El Contratista es responsable de la ejecución de las obras en condiciones establecidas en el contrato y en los documentos que componen el Proyecto (la Memoria no tendrá consideración de documento del Proyecto). Como consecuencia de ello, vendrá obligado a la demolición y reconstrucción de todo lo mal ejecutado, sin que pueda servir de excusa el que el Director de Construcción haya examinado y reconocido la

construcción durante las obras, ni el que hayan sido abonadas en liquidaciones parciales.

#### **6.4 Accidentes de trabajo y daños a terceros**

En caso de accidentes ocurridos a los operarios, con motivo y en ejercicio de los trabajos para la ejecución de las obras, el Contratista se atenderá a lo dispuesto en la legislación vigente, siendo en todo caso único responsable de su incumplimiento y sin que por ningún concepto pueda quedar afectada la propiedad, por responsabilidades de cualquier aspecto.

El Contratista está obligado a adoptar las medidas de seguridad que las disposiciones vigentes preceptúan, para evitar en lo posible accidentes a obreros o a los viandantes, no solo en los andamios, sino en todos los lugares peligrosos de la obra, huecos de escalera, etc.

De los accidentes y perjuicios de todo género que, por no cumplir el Contratista lo legislado sobre la materia, pudieran acaecer o sobrevenir, será éste el único responsable, o sus representantes de la obra, ya que se considera que en los precios contratados están incluidos todos los gastos y precios para cumplimentar debidamente dichas disposiciones legales.

El Contratista será responsable de todos los accidentes que por inexperiencia o descuido sobrevinieran tanto en la edificación donde se efectúen las obras, como en las auxiliares. Será, por tanto, de su cuenta el abono de las indemnizaciones a quien corresponda y cuando a ello hubiera lugar, de todos los daños y perjuicios que puedan causar las operaciones de ejecución de las obras.

# MEDICIONES Y PRESUPUESTO

## **ÍNDICE MEDICIONES Y PRESUPUESTO**

1. INTRODUCCIÓN.....	175
2. COMPONENTES ADQUIRIDOS DE EMPRESAS EXTERNAS.....	176
3. CONSUMIBLES.....	177
4. HORAS DE TRABAJO DEL PERSONAL DE PLANTA .....	178
5. RESUMEN DEL PRESUPUESTO .....	180

## 1. INTRODUCCIÓN

En este apartado se mostrará el presupuesto total para la realización del proyecto. Los gastos se dividirán en 3 grupos:

- Grupo 1: Componentes adquiridos de empresas externas.
- Grupo 2: Consumibles.
- Grupo 3: Horas de trabajo del personal de planta.

## 2. COMPONENTES ADQUIRIDOS DE EMPRESAS EXTERNAS

	Elemento	Resumen	Cantidad	Precio unitario	Total
		Bomba SAF2-YL.	1		
<b>1.1.</b>	Sistema de lubricación del piñón corona	Nivel eléctrico, tipo boya, libre de potencial.	1	4.325,00 €	4.325,00 €
		Boquilla de pulverización con control Lincoln de la Serie SD.	2	130,00 €	260,00 €
<b>1.2.</b>	Sistema de lubricación de bandas y rodillos de rodadura	Sistema de lubricación seca Mareche (Kit Lubricador Dm-SPC).	2	1.050,00 €	2.100,00 €
	Lubricante Klüber	Klüberfluid C-F 8 Ultra	1	2.493,37 €	2.493,37 €
<b>1.3.</b>	Sistema A-B-C	Grafloscon A-G 1 Ultra	1	523,40 €	523,40 €
		Grafloscon B-SG 00 Ultra	1	1.324,27 €	1.324,27 €

### 3. CONSUMIBLES

Elemento	Resumen	Cantidad	Precio unitario	Total
	Electrodos de 2,5 mm AWS A5.4 TIP E309L Mo17 para la soldadura de las boquillas de pulverización a la chapa de AISI 316.	4	3,33 €	13,32 €
2.1.	Electrodos			
	Electrodos de 2,5 mm AWS A5.4 TIP E309L Mo17 para la soldadura del kit de lubricación seca a la chapa de AISI 316.	6	3,33 €	19,98 €

#### 4. HORAS DE TRABAJO DEL PERSONAL DE PLANTA

	Elemento	Resumen	Cantidad	Precio unitario	Total
3.1.	Taller estático	Desmontaje de las bombas actuales, montaje e instalación de la nueva bomba.	8	22,00 €	176,00 €
		Desmontaje de las boquillas actuales, montaje e instalación de las nuevas boquillas pulverizadoras.	2	22,00 €	44,00 €
		Desmontaje del equipo de pulverización de los rodillos, montaje e instalación del nuevo equipo de de lubricación seca.	10	22,00 €	220,00 €
		Transporte de maquinaria y herramientas necesarias.	10	22,00 €	220,00 €
3.2	Taller rotativo	Horas de Soldador.	4	30,00 €	120,00 €
		Mecanizado de las bandas y rodillos de rodadura.	10	35,00 €	350,00 €

		Transporte de maquinaria y herramientas necesarias.	5	22,00 €	110,00 €
<b>3.3.</b>	Taller eléctrico	Instalación de los elementos de monitorización de las boquillas de pulverización.	1	40,00 €	40,00 €
		Instalación de los elementos de monitorización de la bomba SAF2-YL.	1	40,00 €	40,00 €
<b>3.4.</b>	Ingeniero proyectista	Horas de ingeniería para la elaboración del proyecto.	1	960,00 €	960,00 €

## 5. RESUMEN DEL PRESUPUESTO

GRUPO	RESUMEN	COSTE
1	Componentes adquiridos de empresas externas	11.026,04 €
2	Consumibles	33,30 €
3	Horas de trabajo del personal de planta	2.280,00 €

El presupuesto para la ejecución del presente proyecto asciende a la cantidad de:

**TRECE MIL TRESCIENTOS TRENTA Y NUEVE EUROS CON TRENTA Y CUATRO CÉNTIMOS**

**13.339,34 €**

Castellón de la Plana, Julio 2017

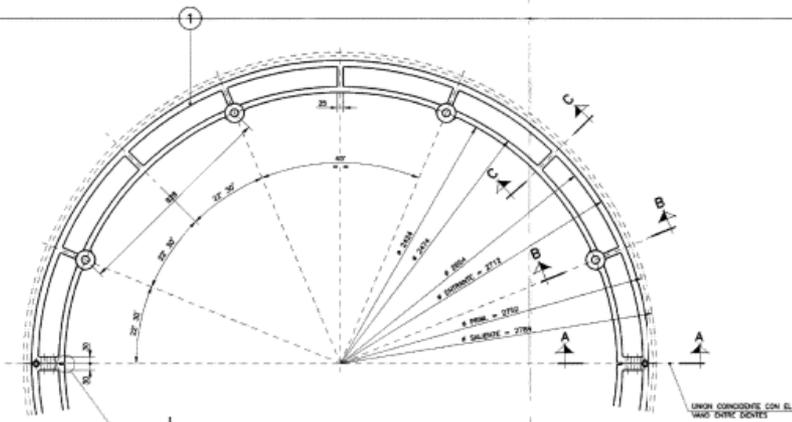
# PLANOS

## **ÍNDICE PLANOS**

**PLANO Nº1 TAMBOR SECADOR CORONA-PIÑÓN**

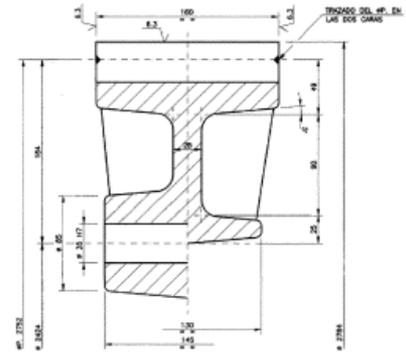
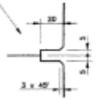
**PLANO Nº2 TAMBOR SECADOR CONJUNTO**

**PLANO Nº3 TAMBOR SECADOR BASTIDOR DE RODADURA**

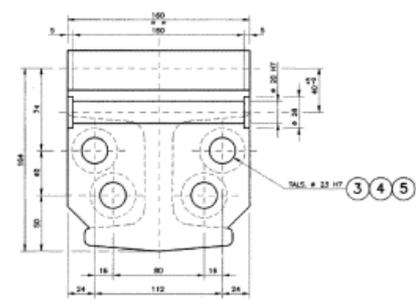


**CORONA**

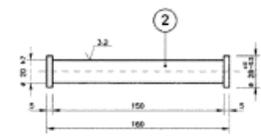
TALLADO RECTO  
 ANGULO DE PRECION = 20°  
 DIENTES = 172  
 MODULO = 16  
 MATERIAL = ACERO MOLDADO  
 DALEDA = 35 CD 4 Rv = 76/90 kg/m<sup>2</sup>  
 DUREZA = 285/310 HB  
 PESO = 190 Kg.  
 CLASE TALLADO = ISO 10



1/2 SECCION B-B 1/2 SECCION C-C

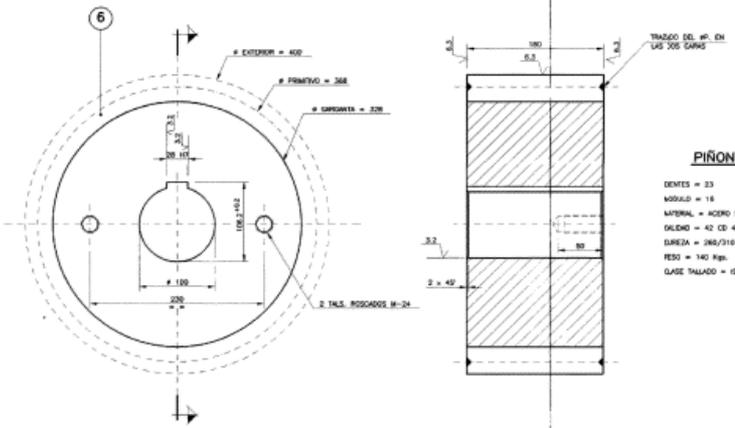


VISTA POR - A



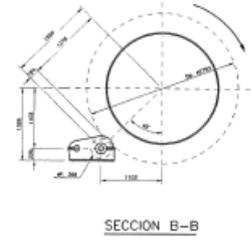
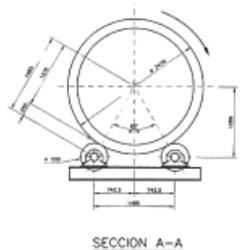
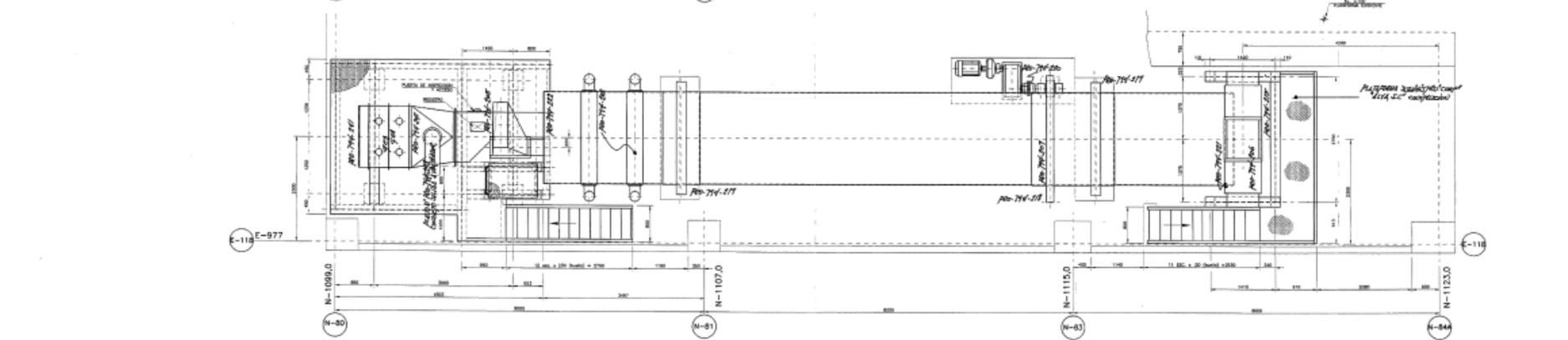
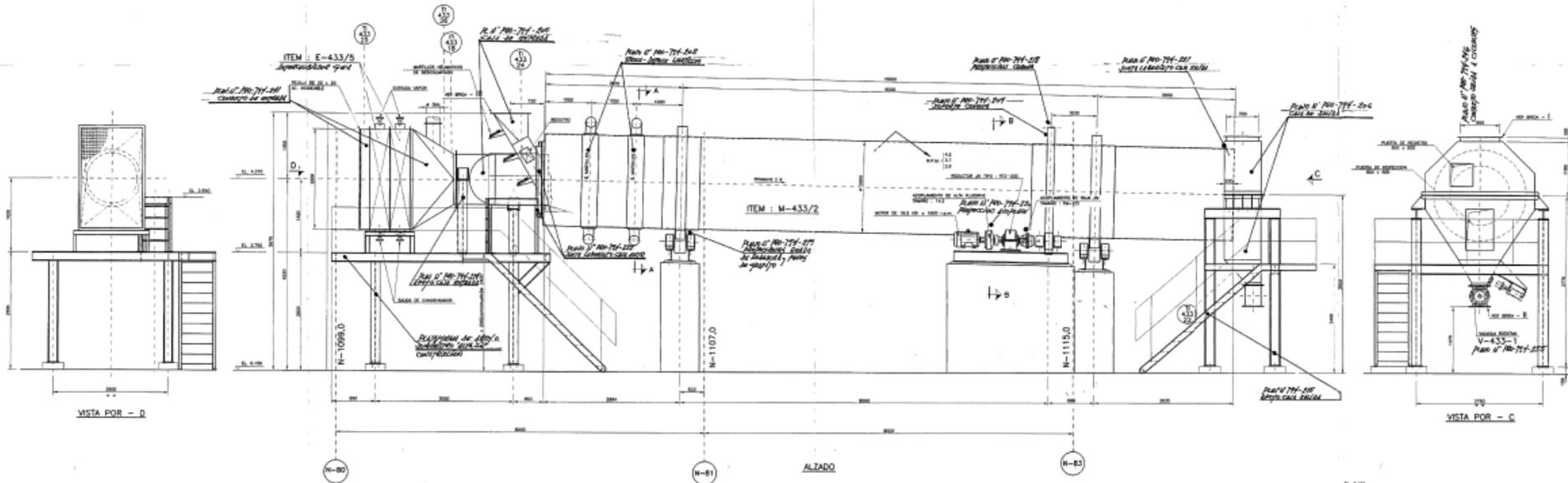
**PIÑON**

DIENTES = 23  
 MODULO = 16  
 MATERIAL = ACERO FORJADO  
 DALEDA = 42 CD 4 Rv = 93/108 kg/m<sup>2</sup>  
 DUREZA = 285/310 HB  
 PESO = 140 Kg.  
 CLASE TALLADO = ISO 10



PROYECTADO  
 UNIDAD DE CRISTALIZACIÓN DE  
 "AMRSUL" U-433  
**PLANO FINAL**

<b>PROYECTO:</b>		
TAMBOR SECADOR		
<b>PLANO:</b>		
CORONA PIÑON		
<b>AUTOR:</b>		
HÉCTOR PINO FALOMIR		
<b>ESCALA:</b>	<b>FECHA:</b>	<b>Nº</b>
1:10 1:3	21/1/2017	1



<b>PROYECTO:</b>			
TAMBOR SECADOR			
<b>PLANO:</b>			
CONJUNTO			
<b>AUTOR:</b>		<b>ESCALA:</b>	<b>FECHA:</b>
HÉCTOR PINO FALOMIR		1:30	21/1/2017
			<b>Nº</b>
			2

