



UNIVERSITAT JAUME I

**ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA I CIÈNCIES EXPERIMENTALS
ENGINYERIA MECÀNICA**

REDISEÑO DE UN AUTOALIMENTADOR PARA LA DOSIFICACIÓN DE CATALIZADOR EN UNA LINEA DE PRODUCCIÓN DE HEXANODIOL

PROYECTO FINAL DE CARRERA

AUTOR

Alfredo García-Espantaleón Jurado

DIRECTOR

Julio Serrano Mira

Castellón, Febrero de 2016

*A mi familia y amigos, por su apoyo incondicional.
Al departamento de Fiabilidad, por su paciencia y dedicación.*

ÍNDICE GENERAL

MEMORIA.....	11
ANEXOS A LA MEMORIA	77
ANEXO I: ESTIMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CATALIZADOR.....	81
ANEXO II: CÁLCULOS.....	93
ANEXO III: ESTUDIO DEL NUEVO SISTEMA DE MEZCLA	131
ANEXO IV: MONTAJE E INSTALACIÓN DE LA LÍNEA DE NITRÓGENO	163
ANEXO V: ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	177
ANEXO VI: ESTUDIO ECONÓMICO	189
PLIEGO DE CONDICIONES	199
MEDICIONES Y PRESUPUESTO	223
PLANOS	233

ÍNDICE DE FIGURAS

Imagen 1: Situación de la planta de UBE.....	16
Imagen 2: Superficie ocupada por la planta de UBE y plano catastral.....	17
Imagen 3: Diagrama explicativo del proceso de obtención de HDL.....	23
Imagen 4: esquema del proceso de hidrogenación.	25
Imagen 6: sistema de elevación de catalizador	29
Imagen 7: esquema de funcionamiento de una bomba de vacío de anillo líquido..	29
Imagen 8: Detalle de las entradas y salidas del depósito de mezcla.....	31
Imagen 9: Válvula Keystone que actualmente se encuentra instalada.....	35
Imagen 10: Modelo de reductora incorporado a la válvula.	36
Imagen 11: Conjunto válvula-reductora instalados en el depósito.	36
Imagen 12: Esquema del funcionamiento de la válvula.	37
Imagen 13: Representación en 3D del fallo de cierre de la válvula.	37
Imagen 14: Válvula triple excéntrica.....	38
Tabla 1: Valoración de los atributos de cada alternativa.	40
Tabla 2: Niveles de importancia estandarizados.	41
Tabla 3: Nivel de importancia entre los atributos seleccionados.	41
Tabla 4: Valoración de los atributos con valores entre cero y uno.	42
Imagen 15: Interior del alimentador.....	44
Imagen 16: Serpentín típico de transmisión de calor.....	45
Imagen 17: Chapa de calorifugado aplicada a una tubería.	47
Imagen 18: Sistema de palas actual	49
Imagen 19: Vista explosionada del sistema de palas mejorado.	50
Tabla 5: Valoración de los atributos de cada alternativa	52
Tabla 6: Valoración de los atributos con valores entre cero y uno.	52
Imagen 20: cuerpo de la mirilla actual con las entradas de nitrógeno previstas.	53
Imagen 21: Modelo en 3D del alojamiento del tubo de descarga de éster.	54
Imagen 22: Situación de la instalación mejorada.	56
Imagen 23: Oferta emitida por Pentair.	58

Imagen 24: Concepto del nuevo sistema con doble hélice.....	60
Imagen 25: Situación de la nueva línea de Nitrógeno.....	61
Imagen 26: Situación de la nueva línea desatascante.....	64
Imagen 27: Diagrama de Gantt del proyecto.....	68
Imagen 28: Diagrama de recursos.	69
Imagen 29: Diagrama PERT.	70
Imagen 30: Estudio de las propiedades del catalizador.	86
Imagen 31: Ángulo de talud natural.	87
Imagen 32: Bidón contenedor de catalizador.....	87
Imagen 33: Catalizador cayendo sobre la tapadera del bidón.....	88
Imagen 34: Catalizador acumulado.....	89
Imagen 35: Geometría aproximada extraída de la fotografía.	89
Imagen 36: Densidad del carbón en polvo.	90
Imagen 37: Ángulo de talud natural del carbón en polvo.	90
Tabla 8: Comparativa de ambos materiales.	91
Imagen 38: Esquema general de la geometría de un silo.	99
Tabla 9: Extracto de la tabla del anexo E de la norma citada.	100
Gráfica 1: Figura 6.1 de la norma para la obtención del parámetro μ_h.....	101
Tabla 10: Clasificación del tipo de pared del depósito.	104
Tabla 11: Descripción de la clase de evaluación.	109
Imagen 39: Comparativa de la ley de presiones con el depósito.....	111
Imagen 40: Esquema de la sección diferencial del método de Janssen.	113
Imagen 41: Comparativa de la ley de presiones de Janssen con el depósito.	114
Imagen 42: Comparativa de las gráficas de ambos métodos.	115
Imagen 43: Situación final de la línea desatascante.	118
Gráfica 2: Representación del diámetro respecto de la velocidad.	121
Imagen 44: Tabla de propiedades del éster.	122
Tabla 12: Rugosidad absoluta para diferentes materiales.	124
Gráfica 4: Ábaco de Moody.	125
Gráfica 5: Representación de las pérdidas en función del diámetro.	126

Tabla 13: Valor del coeficiente K respecto para cada elemento singular.....	127
Tabla 14: Características finales de la tubería.	129
Imagen 45: Hélice de 3 aspas.....	137
Imagen 46: Representación de las condiciones de contorno.	139
Imagen 47: Representación de la distribución de las tensiones de Von Mises.	140
Imagen 48: Representación de los desplazamientos en la pieza.	140
Imagen 49: Representación de las restricciones aplicadas.....	141
Imagen 50: Representación de la distribución de tensiones de Von Mises.....	142
Imagen 51: Representación de los desplazamientos en la pieza.	142
Imagen 52: Hélice de dos aspas.	144
Imagen 53: Geometría del tocho de partida.	144
Imagen 54: Representación de las restricciones aplicadas.....	146
Imagen 55: Resultados de la distribución de las tensiones de Von Mises.....	147
Imagen 56: Resultados de las deformaciones de la pieza.	147
Imagen 57: Representación de las coacciones aplicadas a la pieza.	148
Imagen 58: Representación de la distribución de tensiones de Von Mises.....	149
Imagen 59: Representación de los desplazamientos de la pieza.	149
Tabla 15: Aspectos analizados para cada solución.	151
Tabla 16: Valor de importancia entre los atributos.	153
Tabla 17: Peso de cada atributo.	153
Tabla 18: Valoración de las dos alternativas.	153
Imagen 60: Comparativa del eje mejorado con el eje actual.....	154
Imagen 61: Representación de la distribución de tensiones en el eje de giro.....	156
Tabla 19: Plan de procesos para el eje.	157
Imagen 62: Leyenda de superficies a mecanizar.....	157
Imagen 63: Geometría del casquillo de soporte.	158
Tabla 20: plan de procesos para el casquillo de soporte.....	159
Imagen 64: Plato inferior modificado.	160
Imagen 65: Accesorio en T del tipo socket weld.....	170
Imagen 66: Cuerpo de la mirilla con entradas de Nitrógeno.	173

Imagen 67: Rosca macho-hembra.....	174
Imagen 68: Ejemplo de fibroscopio para inspección interna de líneas.	182
Imagen 69: Fases del ensayo de líquidos penetrantes.	183
Imagen 70: Fisura revelada en soldadura por ensayo de líquidos penetrantes.	184
Tabla 21: Resumen de costes de personal.....	194
Tabla 22: Resumen de costes de preventivo.	194
Tabla 23: Resumen de costes de potencia.....	195
Gráfica 6: Energía consumida en KWh.	195
Tabla 24: Resumen de costes término consumo de energía.	196
Tabla 25: Resumen de costes de vapor consumido.	196
Tabla 26: Resumen de costes de ciclohexano consumido.	196
Gráfica 7: Consumo de gas natural en KWh.	196
Tabla 27: Resumen de costes de gas natural consumido.	197
Tabla 28: Resumen de costes por paradas imprevistas.....	197
Gráfica 8: Porcentaje de cada variable sobre el coste de producción total.....	197
Tabla 29: Resumen de ganancias previstas.	198

MEMORIA

ÍNDICE MEMORIA

1.	OBJETIVO	15
2.	UBICACIÓN.....	16
3.	ALCANCE	18
4.	ANTECEDENTES	19
5.	NORMATIVA Y REFERENCIAS	20
5.1.	Normativa española.....	20
5.2.	Software utilizado.....	20
5.3.	Otras referencias de consulta	20
5.4.	Definiciones y abreviaturas	21
6.	LA PRODUCCIÓN DE HEXANODIOL.....	23
7.	LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE HDL.....	25
7.1.	Descripción de la unidad	25
7.2.	Elementos que intervienen en el proceso	27
7.3.	La adición de catalizador	28
7.3.1.	Carga de catalizador	29
7.3.2.	Dosificación de catalizador al depósito de mezcla.....	30
8.	REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO	33
9.	PROPUESTA Y ANÁLISIS DE SOLUCIONES.....	35
9.1.	Estanqueidad del equipo.....	35
9.1.1.	La problemática.....	35
9.1.2.	Propuesta de soluciones	38
9.1.2.1.	Sustitución del sistema por una válvula de triple excentricidad.	38
9.1.2.2.	Sustitución de reductora por automatismo	39
9.1.3.	Adopción de la solución final	40
9.2.	Apelmazamiento del producto	44
9.2.1.	La problemática.....	44
9.2.2.	Propuesta de soluciones	45
9.2.2.1.	Serpentín calentador	45

9.2.2.2.	Chapa de calorifugado.....	47
9.2.2.3.	Rediseño en las palas.....	49
9.2.3.	Adopción de la solución final	52
9.3.	Mejoras complementarias.....	53
9.3.1.	Aporte de nitrógeno	53
9.3.2.	Ducha desatascante	54
10.	RESULTADOS FINALES.....	56
10.1.	Nuevo método de funcionamiento de la línea	57
10.2.	Descripción de la nueva instalación.....	58
10.2.1.	Automatismo.....	58
10.2.2.	Nueva hélice	60
10.2.3.	Línea de nitrógeno	61
10.2.4.	Línea desatascante	63
11.	PLANIFICACIÓN	65
11.1.	Tareas de oficina técnica.....	65
11.2.	Tareas de fabricación en taller	66
11.3.	Tareas de compras.....	67
11.4.	Tareas de montaje de obra	67
12.	MANTENIMIENTO Y EXPLOTACIÓN	71
12.1.	Condiciones generales	71
12.2.	Definición de actividades	72
12.2.1.	Encargado de turno	72
12.2.2.	Operador de planta	73
13.	ESTUDIO ECONÓMICO	74
14.	CONCLUSIONES	75

1. OBJETIVO

El objetivo del presente proyecto es el rediseño de un sistema de alimentación de catalizador en polvo para la industria química, que se encuentra instalado en la planta de UBE en Castellón, y que forma parte de su lista de equipos críticos debido a su alto índice de fallos y la gravedad de sus consecuencias.

Este proyecto se ha realizado a partir de una solicitud real del grupo UBE Chemical Europe, donde el alumno ha realizado también la estancia en prácticas externas curriculares por la Universidad Jaime I.

2. UBICACIÓN

La instalación rediseñada estará ubicada en la planta de UBE, situada en el polígono industrial El Serrallo S/N, en la provincia de Castellón de la Plana.



Imagen 1: Situación de la planta de UBE.

Dicha planta se encuentra a una distancia de unos 5,6 kilómetros del Grao de Castellón, y a unos 8,6 kilómetros del centro de Castellón de la Plana. Cuenta con acceso terrestre por la carretera CS-22 de acceso al puerto, y con acceso marítimo por el puerto del Grao de Castellón, lo que facilita sus comunicaciones de manera notable.

Su referencia catastral es la 064, y cuenta con una superficie útil de unos 300000 m², y unos 40000 m² extra en la zona del puerto, tal y como se puede observar en la imagen 2.



Imagen 2: Superficie ocupada por la planta de UBE y plano catastral.

En el documento “planos” se muestra mucho más detalladamente la ubicación exacta del equipo objeto de este proyecto.

3. ALCANCE

La justificación de la mejora que la empresa desea realizar reside en la importancia de mantener la continuidad del proceso, y el valor económico que esto reporta. Es indispensable para ello, garantizar la máxima disponibilidad del equipo, así como reducir en la medida de lo posible el número de paradas ocasionadas por el fallo repentino de la máquina, siempre actuando dentro de unos límites legales y siendo respetuoso con el medio ambiente.

Otra de las premisas a tener en cuenta es el incremento de la seguridad, puesto que los fallos del equipo en alguna ocasión podrían causar accidentes en personas. No es muy habitual que se produzcan accidentes debidos a esta causa, pero en alguna ocasión se han detectado pequeñas explosiones derivadas de errores de operación, y este aspecto es algo que de lo que el cliente se preocupa.

Se estudiará la aplicación de diversas soluciones según viabilidad técnica y económica.

Por un lado, la línea de producción necesita de un aporte de catalizador continuo durante 24 horas al día, por lo que se actuará en el sistema de dosificación para evitar posibles paradas por apelmazamiento de producto. Se dotará al equipo de un sistema capaz de evitar humedades, así como de un sistema que favorezca el flujo del producto a través del aparato.

Por otro lado se precisa que la línea sea estanca, debido a requerimientos técnicos del proceso de carga de catalizador. Por tanto, también se estudiará una solución para asegurar la estanqueidad del equipo en la línea de producción.

4. ANTECEDENTES

Actualmente, la compañía UBE Chemical Europe SA se encuentra en crecimiento económico, lo que le está permitiendo realizar inversiones en vista a aumentar su producción, así como la calidad de su producto. Está ampliando su horizonte de ventas, y su número de clientes continúa subiendo. La satisfacción de sus clientes es uno de los objetivos que cualquier compañía quiere mantener. Tratándose de una industria química, la única manera de obtener esa satisfacción es la de generar producto de buena calidad y a un precio competitivo.

Es por estos motivos que el cliente estime la necesidad de mejorar una de sus líneas de producción, en concreto, el equipo objeto de este proyecto, ya que se encuentra en la lista de los equipos críticos de planta y su fallo supone una parada en la línea de producción en cuestión, y por lo tanto, pérdidas económicas no solo de producción, sino de mantenimiento correctivo y reparaciones.

5. NORMATIVA Y REFERENCIAS

5.1. Normativa española

- **Norma UNE-EN 1991-4:** Eurocódigo 1: acciones en estructuras, parte 4: silos y depósitos, Diciembre de 2011.
- **Norma UNE 157001:** Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico, Junio 2014.
- **Norma UNE-EN ISO 5455** para la aplicación de escalas en los planos.
- **Norma UNE-EN ISO 5457** para el formato de elementos en un plano.
- **Norma UNE 1027** para plegado de planos.
- **Norma UNE 1032** para principios de representación.
- **Norma UNE 82100** sobre magnitudes y unidades de medida.

5.2. Software utilizado

- **Paquete de Microsoft Office:** Word, Excel y Powerpoint
- **Autodesk:** Autocad 2015
- **Dassault Systèmes:** Solidworks 2014
- **Prezi**
- **GanttProject 2.6.1** Brno

5.3. Otras referencias de consulta

- **SILOS:** <http://expertoensilos.blogspot.com.es/2007/10/quinta-entrega.html>
- **VÁLVULA TRIPLE EXCÉNTRICA:** <http://www.bvalve.es/productos/valvulas-de-mariposa-de-triple-excentricidad/>
- **NORMAS EUROPEAS:** <http://www.acerosurssa.es/equivalencia-entre-normas.html> (materiales)
- **BOMBA DE VACÍO:** <http://www.gdnash.com.br/esp/funciona.html>
- **ATEX:** <http://www.atmosferasexplosivas.com/index.php/normativaatex>
- **NORMA UNE-EN-1991-4:** Archivo de normas de la biblioteca de la universidad Jaume I.

- **NORMA UNE 157001:** Archivo de normas de la biblioteca de la universidad Jaume I.

5.4. Definiciones y abreviaturas

- **#:** Hace referencia a la nomenclatura que se utiliza para el libraje de una brida.
- **1,6-Hexanodiol:** alcohol producido en UBE utilizado para la fabricación de plásticos.
- **Brine:** Término en inglés que significa salmuera, pero que se utiliza para designar a la solución amoniaca (amoniaco + agua) que actúa como líquido refrigerante.
- **Catalizador:** sustancia que acelera o retarda una reacción química sin participar en ella.
- **Catalyst:** Término en inglés que significa catalizador.
- **Ciclohexano:** una de las materias primas para la producción de HDL.
- **Ciclohexanol:** producto de la ONA utilizado para producir lactama.
- **Ciclohexanona:** producto derivado del CX.
- **Cooling water:** término en inglés que significa agua de refrigeración, utilizado para referirse al fluido de refrigeración utilizado.
- **CX:** abreviatura de ciclohexano.
- **Equipo crítico:** clasificación que se hace a la maquinaria que posee altos índices de fallo y gravedad de sus consecuencias.
- **Éster:** Compuesto formado por la sustitución del hidrógeno de un ácido orgánico por un radical alcohólico.
- **Esterificación:** proceso mediante el cual se sintetiza un éster.
- **HDL:** abreviatura de 1,6-hexanodiol.
- **Hidrogenación/deshidrogenación:** Reacción química mediante la cual se añade/quita hidrógeno en un compuesto.
- **Inertizar:** Acción de introducir un gas en un tanque o depósito para diversas finalidades.

- **Lactama:** materia prima utilizada para la fabricación del nylon.
- **OL:** abreviatura de ciclohexanol.
- **ONA:** abreviatura de ciclohexanona.
- **Oxidación:** Reacción mediante la cual se hace aumentar el contenido en oxígeno de un compuesto.
- **Policarbonatodiol:** alcohol que se produce en UBE utilizado en la industria farmacéutica.
- **Poliéster:** resina plástica que se obtiene mediante una reacción química y que es muy resistente a la humedad y a los productos químicos.
- **Polímero:** sustancia química que resulta de un proceso de polimerización.
- **Pulverulento:** referido a lo que se presenta en polvo.
- **Reductor epicicloidal:** Tren caracterizado por la presencia de ruedas dentadas cilíndricas o cónicas cuyos ejes, en lugar de ser fijos como en el caso de los mecanismos ordinarios, son móviles en el espacio.
- **Silo:** Lugar que carece (o debería carecer) de humedad para el almacenamiento de materiales pulverulentos.
- **Tolva:** Recipiente en forma de pirámide o cono invertido, con una abertura en su parte inferior, que sirve para hacer que su contenido pase poco a poco a otro lugar o recipiente de boca más estrecha.
- **Venteo:** conducto que tiene un depósito utilizado para expulsar gases producidos en su interior a la atmósfera.

6. LA PRODUCCIÓN DE HEXANODIOL

La línea a la que pertenece el equipo objeto de este proyecto es una línea de producción de 1,6-hexanodiol (HDL de aquí en adelante). El HDL es un componente químico intermedio (procedente de otro compuesto químico llamado ciclohexano), que se emplea en diversas industrias para obtener Policarbonatodiol, así como una gran variedad de polímeros y poliésteres, que podemos encontrar en tintas, suelas de calzado deportivo, pinturas y ruedas de patines entre otros muchos.

Como se ha mencionado anteriormente, el HDL se obtiene a partir de la ciclohexanona (ONA de aquí en adelante), que deriva del ciclohexano (CX de aquí en adelante), producto químico que se compra a terceros. Para entender un poco mejor el proceso, se adjunta un esquema explicativo.

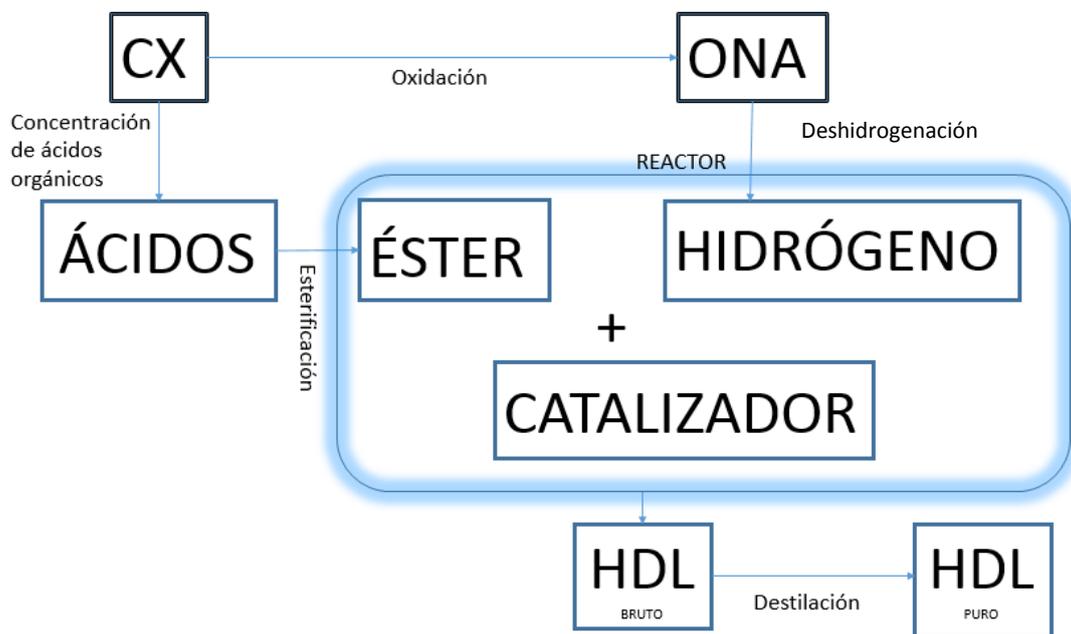


Imagen 3: Diagrama explicativo del proceso de obtención de HDL

El proceso comienza con el CX como materia prima. El CX se somete a una reacción de oxidación en un reactor, utilizándose oxígeno procedente de un compresor como agente oxidante. De esta reacción de oxidación se obtiene ONA en estado gaseoso y ciclohexanol (OL de aquí en adelante). De esta reacción, interesa la ONA, ya que el OL se utiliza para otro proceso que no es objeto de este proyecto (producción de lactama). A través de una reacción de deshidrogenación, se consigue separar el hidrógeno de la ONA no condensada. Este hidrógeno se envía directamente al reactor del cual se obtiene HDL.

Por otra parte, se tiene una extracción selectiva con agua de ácidos orgánicos procedentes del producto de oxidación del CX, obteniéndose una mezcla acuosa de ácidos orgánicos. A continuación, se somete a esta disolución a un proceso de concentración, donde lo que se pretende es alcanzar un contenido en agua del 2% como máximo. En este paso, los ácidos valiosos contenidos en la corriente de ácidos concentrados procedente del proceso anterior, son esterificados por medio de la adición de parte de la corriente de HDL bruto que se obtiene del reactor de hidrogenación.

En este punto del proceso se tiene: hidrógeno procedente de la deshidrogenación de la ONA y éster procedente de la esterificación anterior. Se mezclan estos dos componentes en un reactor, que en presencia de un catalizador en base a cobre y zinc (objeto de este proyecto), se consigue la reacción necesaria para obtener HDL bruto. Este proceso tiene dos salidas: una es recirculación de HDL bruto para la creación de éster (mencionado anteriormente), y otra se envía a una torre de destilación, obteniéndose HDL puro como producto final.

7. LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE HDL

El equipo objeto de este proyecto se encuentra situado en la unidad de hidrogenación descrita anteriormente, punto del proceso donde se hace reaccionar el éster con el hidrógeno, en presencia del catalizador en base a cobre y zinc.

7.1. Descripción de la unidad

A continuación, se va a explicar en qué consiste y cómo trabaja la línea de hidrogenación. En primer lugar se mostrará una imagen de los equipos que conforman dicha línea:

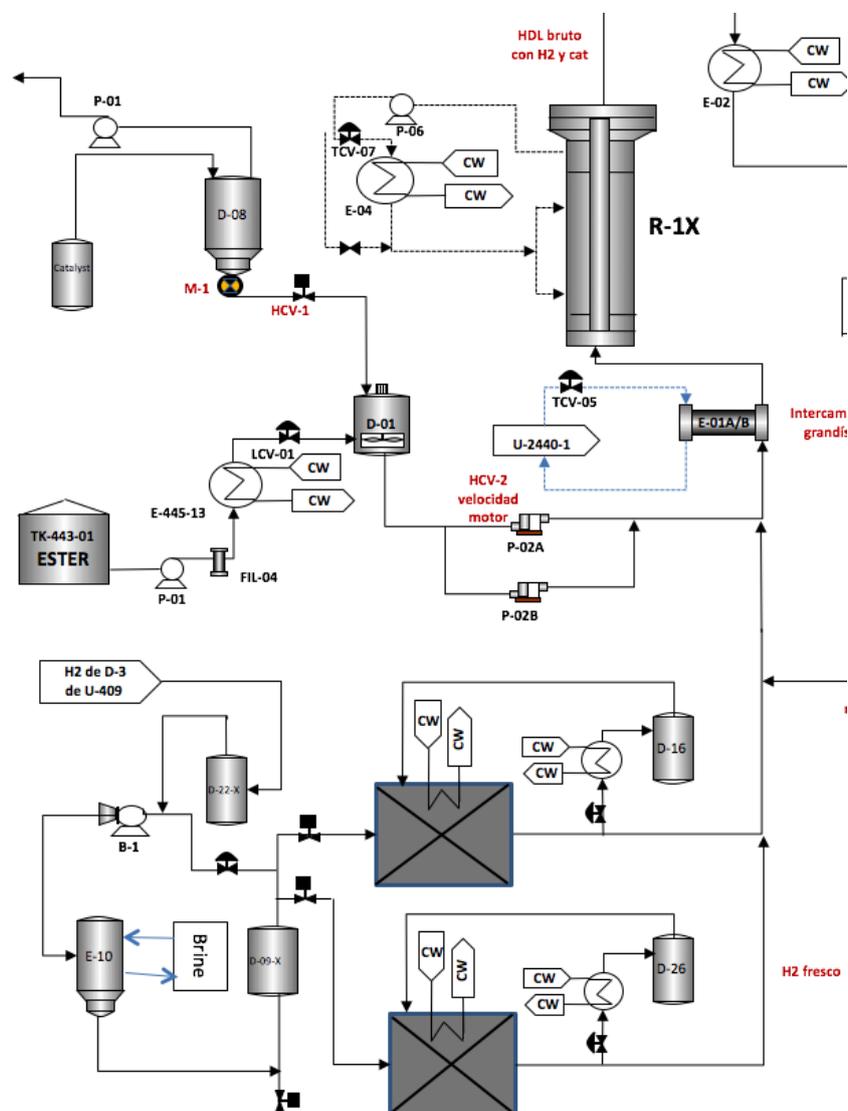


Imagen 4: esquema del proceso de hidrogenación.

Por un lado se tiene el tanque TK-443-01 donde se almacenan los ésteres procedentes de la línea de esterificación de ácidos orgánicos. Estos son bombeados con la bomba P-01 hacia el D-01 (el cual cuenta con un agitador de palas para conseguir una mezcla homogénea), pasando previamente por el intercambiador de calor de *cooling water* E-445-13, que utiliza el circuito de refrigeración interno para enfriar el producto.

Por otro lado se tiene el catalizador objeto de este proyecto (contenido en el bidón *catalyst*), que entra al depósito D-08 mediante la creación de vacío en él. La bomba P-1 es la que se encarga de hacerlo, venteando el gas extraído a la atmósfera. Este depósito cuenta con el alimentador M-1 en el fondo (objeto de este proyecto), formado por una tolva tronco-cónica y un conjunto de palas-disco que se encargan de dosificar el catalizador de manera uniforme al depósito D-01 anteriormente descrito.

En último lugar, se tiene el aporte de hidrógeno procedente de la unidad de deshidrogenación de la ONA. Este hidrógeno se almacena en el depósito D-22-X, y tras separar posibles arrastres de líquido, la soplante B-1 se encarga de presurizarlo ligeramente, para posteriormente enfriarlo en el intercambiador de *brine* E-10. Una vez enfriado, se envía al depósito D-9X, donde se eliminan posibles condensados, y se envía directamente a la unidad de compresores que trabaja en paralelo.

En este punto del proceso se tiene: el hidrógeno comprimido a la presión de trabajo del reactor R-1X, y la mezcla de ésteres y catalizador contenida en el depósito D-01. La mezcla de ésteres y catalizador es enviada por medio de la bomba P-02-A (dicha bomba cuenta con una bomba de *backup*, la P-02-B) hasta el intercambiador de aceite térmico E-01-A/B, donde se junta con la corriente de hidrógeno comprimido procedente de la unidad de compresores, y se calienta hasta la temperatura de trabajo del reactor R-1X. La mezcla de hidrógeno, ésteres y catalizador entra en el reactor R-1X, reactor del tipo torre de burbujas en suspensión, donde se produce la reacción por la que se obtiene el HDL bruto. A partir de este punto, se envía el HDL bruto a otra línea del proceso, donde se destila para obtener HDL puro.

7.2. Elementos que intervienen en el proceso

En este apartado se va a explicar todos los equipos mencionados anteriormente (todas las nomenclaturas hacen referencia a la imagen 4).

- **TK-443-01:** Tanque de almacenamiento de producto esterificado.
- **P-01:** Alimentación de éster.
- **D-01:** Depósito de mezclado de catalizador y éster.
- **E-445-13:** Intercambiador de calor de *cooling water* para llevar al éster a la temperatura de reacción necesaria en la entrada del D-1.
- **D-08:** Depósito de almacenamiento de catalizador.
- **P-1:** Bomba de vacío del D-08
- **M-1:** Dosificador de catalizador (objeto de este proyecto).
- **D-22X:** Separación de drenajes en la aspiración del B-1.
- **B-1:** Soplante en aspiración de la unidad de compresores.
- **E-10:** Enfriador carcasa-tubos de hidrógeno a la unidad de compresores.
- **D-9X:** Separador de drenajes en aspiración de la unidad de compresores.
- **R-1X:** Reactor de hidrogenación del tipo torre de burbujas en suspensión.
- **P-02-A/B:** Bombas de alimentación al reactor de hidrogenación.
- **E-01-A/B:** Intercambiador de alimentación carcasa-tubos al reactor de hidrogenación.

7.3. La adición de catalizador

En este apartado, se pretende explicar el funcionamiento del proceso de adición de catalizador al depósito de mezcla de catalizador y éster. En primer lugar, para saber que equipos están involucrados en este proceso, se muestra la siguiente imagen:

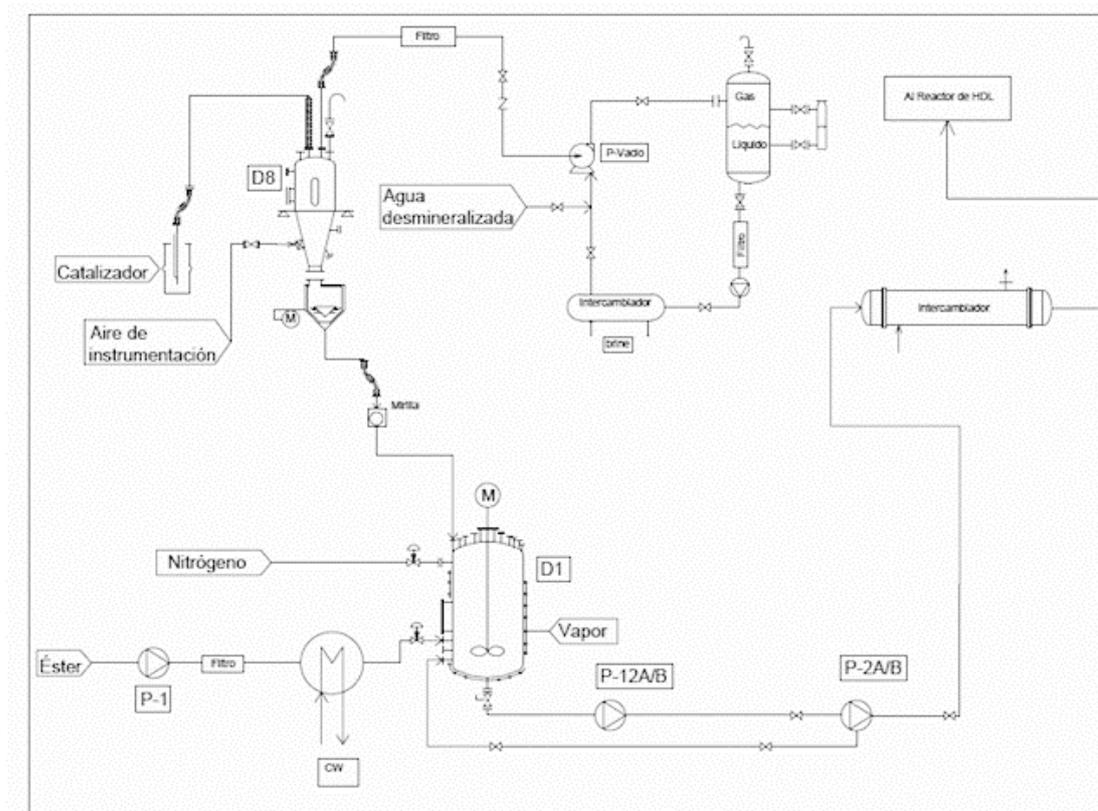


Imagen 5: Diagrama P&I del proceso actual.

Este proceso consta fundamentalmente de dos procedimientos:

- Carga de catalizador al depósito de almacenaje (D8).
- Dosificación de catalizador al depósito de mezcla (D1).

La dosificación de catalizador se lleva a cabo mediante un proceso continuo 24 horas al día, mientras que la maniobra de carga del mismo se realiza una vez al día. Esta carga de catalizador se debe realizar con la mayor brevedad posible, debido a que la cantidad de producto que se encuentra dentro del alimentador no debería agotarse antes de que finalice la carga al depósito de almacenaje.

7.3.1. Carga de catalizador

En primer lugar, el operador introduce una caña o lanza en el interior de los bidones contenedores de catalizador situados en la zona de descarga, en la planta baja de la unidad.



Imagen 6: sistema de elevación de catalizador

Esta línea va desde el propio bidón hasta la cabeza del depósito de almacenaje situado en la segunda planta. Para realizar la carga del catalizador y conseguir la altura necesaria para hacer llegar el mismo hasta el depósito, se utiliza una bomba de vacío. Se trata de una bomba de vacío de anillo líquido, cuyo esquema de funcionamiento es el siguiente:

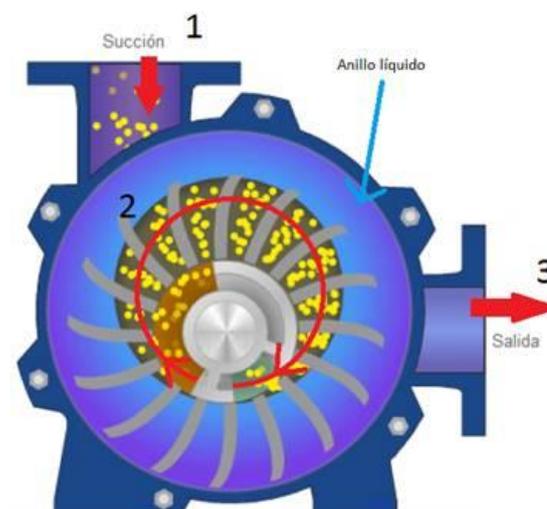


Imagen 7: esquema de funcionamiento de una bomba de vacío de anillo líquido.

La aspiración de la bomba se encuentra conectada directamente al depósito de almacenaje, con un filtro intermedio que se encarga de evitar que entre catalizador a la bomba. La bomba cuenta con un depósito de agua desmineralizada con doble función: la primera es la de recibir el gas aspirado del depósito de almacenaje, el cual es enviado a la atmósfera, y la segunda es la de recircular el agua a la bomba para que se produzca el anillo líquido encargado de succionar el gas. De esta manera, la aspiración succiona el aire contenido en el depósito de almacenaje, y a través del anillo líquido, es expulsado a la atmósfera. Es de esta manera como se consigue hacer el vacío necesario para poder subir catalizador desde la planta baja.

Una de las partes más críticas de este proceso es garantizar la estanqueidad en el depósito de almacenaje, y de este modo no interferir a la hora de conseguir el vacío necesario. En este punto es donde interviene la válvula de mariposa situada entre el depósito de almacenaje y el alimentador. Actualmente, este es uno de los puntos que presenta fallo y susceptible de poder realizar una mejora, ya que si no se asegura la hermeticidad del depósito, es muy probable que al realizar vacío se absorban vapores de éster del depósito de mezcla que se encuentra aguas abajo. Esto produce que el catalizador se humedezca, con el correspondiente apelmazamiento y obstrucción del alimentador, lo que supondría importantes pérdidas económicas de producción (ya que el proceso de la unidad se vería detenido), además de fallos mecánicos en las distintas partes del dosificador, derivando en costes de mantenimiento.

7.3.2. Dosificación de catalizador al depósito de mezcla

Como se ha comentado en el apartado anterior, este proceso se realiza de manera continua y sin interrupciones. El catalizador cae desde el depósito de almacenaje hasta el depósito de mezcla, a través del dosificador objeto de este proyecto. Dicho dosificador cuenta con un disco medidor regulable, que es el elemento que se encarga de regular la cantidad de catalizador que pasa al depósito de mezcla. Además, el depósito de almacenaje cuenta con unas células de pesaje, cuya misión es conocer el flujo de material a través del dosificador por diferencia de pesos. Este dispositivo permite al encargado de la sala de control determinar la apertura del disco regulador en función de la necesidad del proceso.

Antes de llegar el producto al depósito de mezcla, pasa a través de una mirilla, la cual permite observar el correcto flujo del material. Después de pasar por la mirilla, termina cayendo al depósito de mezcla, que tiene las siguientes características:

- Una entrada de éster procedente de un proceso de extracción (1).
- Una entrada de nitrógeno utilizado para realizar pruebas de estanqueidad en las puestas en marcha del proceso, y para realizar inertizados al equipo (2).
- Una entrada de catalizador procedente del depósito de almacenaje aguas arriba (3).
- Una válvula de seguridad que protege al equipo.
- Un agitador (5).
- Serpentín de vapor alrededor de depósito (6).
- Una salida de éster reaccionado con el catalizador (7).
- Una recirculación de éster procedente de las bombas que aspiran de este depósito, cuyo objetivo es proteger a las bombas y además ayudar a que no se produzcan obstrucciones en el fondo del mismo (8).
- Un venteo que expulsa los gases de evaporación de la mezcla a la atmósfera.

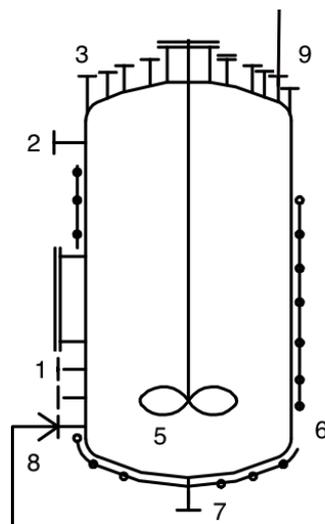


Imagen 8: Detalle de las entradas y salidas del depósito de mezcla

Este último punto del proceso (línea de venteo de gases) también es crítico, ya que afecta de manera considerable al funcionamiento del dosificador, debido a que, en ocasiones, el venteo se obstruye por la condensación de los propios vapores de éster y catalizador en la boquilla de venteo, creando un tapón de mezcla que evita la correcta expulsión de vapores. Como consecuencia, al no disponer de venteo, la salida más cercana que encuentran los vapores es la entrada de catalizador, originando obstrucciones en la mirilla, dosificador, etc. y, por consiguiente, los apelmazamientos y pérdidas económicas comentados anteriormente.

8. REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO

Para la elaboración del presente proyecto, existen una serie de requisitos generales que afectan a todos los elementos integrantes de la línea a mejorar. Se puede destacar los siguientes:

- **Requisitos de producción:** se requiere satisfacer la necesidad de mantener la continuidad en el proceso de producción. Para ello, es estrictamente necesario actuar en los puntos críticos de la línea que son los causantes de los fallos y las paradas en producción, con la consecuente pérdida económica tanto en ventas como en mantenimiento.
- **Requisitos de seguridad y medio ambiente:** se deben respetar todas las condiciones de seguridad y salud dictados por la compañía a la hora de realizar los trabajos de mejora.
- **Requisitos técnicos:** la instalación requiere que las mejoras a aplicar no modifiquen la situación de la línea, es decir, se debe respetar la posición original de todos los elementos existentes en la línea de producción. Esto es debido a que, como se ha comentado anteriormente, el depósito de almacenaje cuenta con unos sensores de peso para regular el flujo, los cuales pueden falsear la medida si se modifica la posición original de los elementos.
- **Requisitos económicos:** por parte del cliente, se requiere que la solución adoptada para la mejora tenga un periodo de amortización menor o igual a 2 años.
- **Requisitos de mantenimiento y fiabilidad:** se requiere en este aspecto que, todas las mejoras aplicadas supongan una reducción en el número de intervenciones de mantenimiento o, dicho de otra manera, aumentar la fiabilidad del equipo, minimizando así los costes de reparación.
- **Requisitos legales:** la instalación a mejorar se localiza en el primer y en el segundo piso de la unidad de producción de HDL, tratándose de una zona de planta clasificada como zona átex. Por este motivo, las mejoras a realizar deben cumplir con todos los requisitos que marca el 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.

- **Requisitos específicos:** Como se ha comentado en apartados anteriores, se debe poner solución al problema de estanqueidad y al problema de apelmazamiento del catalizador.

9. PROPUESTA Y ANÁLISIS DE SOLUCIONES

En este apartado se pretende explicar el conjunto de soluciones propuestas encaminadas a mejorar la línea. Se clasificaran en dos grandes grupos (los cuales hacen referencia a la problemática) y se explicará cada una de ellas con detalle, analizando pros y contras. Para realizar la selección óptima, se utilizará el método matricial multi-criterio.

9.1. Estanqueidad del equipo

9.1.1. La problemática

Como se ha comentado en el punto 7.3, la hermeticidad es uno de los puntos críticos de la línea, ya que se debe asegurar al 100% para poder hacer vacío. Para asegurar la estanqueidad, el depósito de almacenaje cuenta con una válvula de mariposa modelo *Keystone* con un DN200.



Imagen 9: Válvula Keystone que actualmente se encuentra instalada.

Como la presión que debe soportar es relativamente elevada, se decidió incorporarle una pequeña reductora con un volante, que facilitase al operador de planta la tarea de abrir y cerrar la válvula, acción que se lleva a cabo una vez al día, todos los días del año. El

fabricante *Keystone* ofrecía la posibilidad de incorporarle una reductora fabricada por ellos mismos, como la que se presenta en la siguiente imagen.

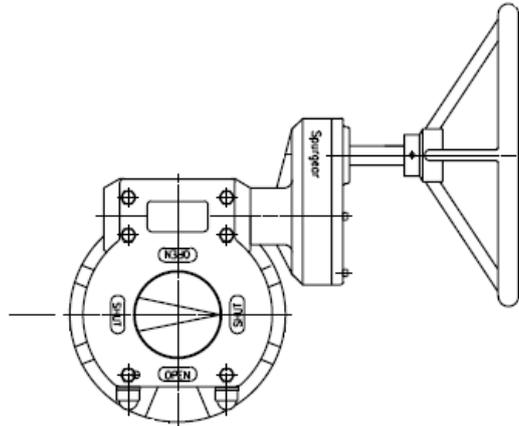


Imagen 10: Modelo de reductora incorporado a la válvula.

Como se puede observar en la imagen anterior, la reductora cuenta con un indicador de cuándo la válvula está totalmente abierta o totalmente cerrada. En la siguiente imagen se puede ver cómo queda el conjunto montado.



Imagen 11: Conjunto válvula-reductora instalados en el depósito.

El problema aparece en la forma de operar la válvula. Para que la válvula esté totalmente cerrada y se asegure el vacío, la flecha indicadora de la reductora debe estar totalmente alineada con la marca de “cerrado”. Esta operación la lleva a cabo una persona, y como el volante parece estar un poco pasado de vueltas, muchas veces se queda abierta porque se sobrepasa la marca.

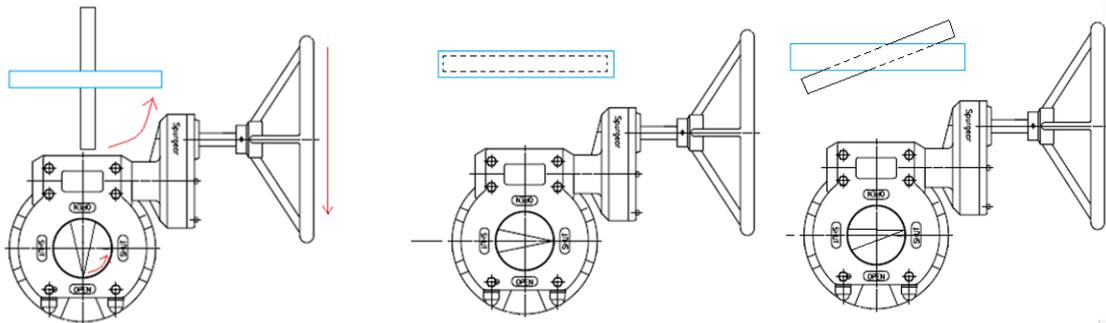


Imagen 12: Esquema del funcionamiento de la válvula.

Como se puede observar en la imagen anterior, si el volante se pasa de vueltas y el indicador no marca cerrado, aunque el volante no tenga más recorrido y parezca que está cerrado, no lo estará, y por tanto no se asegurará el vacío.



Imagen 13: Representación en 3D del fallo de cierre de la válvula.

9.1.2. Propuesta de soluciones

9.1.2.1. Sustitución del sistema por una válvula de triple excentricidad.

Las válvulas de triple excentricidad son un tipo de válvulas de mariposa diseñadas para asegurar 100% el cierre hermético gracias al cierre metal-metal. Su principio de funcionamiento se muestra en la imagen siguiente.

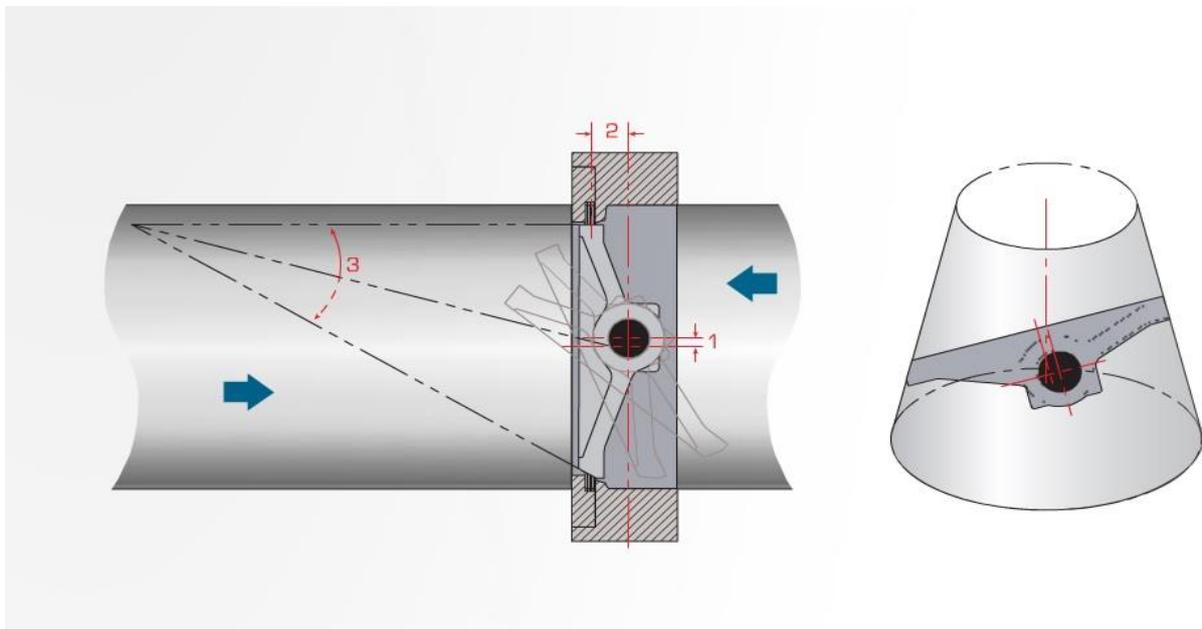


Imagen 14: Válvula triple excéntrica.

Como se puede ver, el eje de giro de la lenteja presenta dos excentricidades, y la zona de contacto que asegura el cierre, una tercera. Las principales ventajas de este tipo de válvulas son las siguientes:

- La especial geometría provoca que no se produzca desgaste alguno.
- El eje construido en una sola pieza gira sobre 3 rodamientos, lo que asegura una larga vida de funcionalidad de la empaquetadura. Esta característica es muy importante en aplicaciones donde se realicen un altísimo número de operaciones de apertura y cierre.
- Total estanqueidad por su cierre metal-metal, y muy bajo par de operación. Puede reducir el número de intervenciones en la línea debido a fallos de estanqueidad.

Este tipo de válvulas también presenta una serie de inconvenientes, que son:

- Mayor dificultad de reparación debido a su singular geometría. Por lo tanto, en caso de parada, es probable que el tiempo de reparación de esta válvula sea mucho mayor.
- Puede incumplir el requisito técnico de mantener la línea completa en su posición original.
- Se ha pedido presupuesto a un fabricante de este tipo de válvulas, y se tiene un precio que ronda los 6.000 €.

A priori, se descarta esta solución debido a su elevado coste.

9.1.2.2. Sustitución de reductora por automatismo

Se ha obtenido el catálogo del fabricante de la válvula que se encuentra actualmente instalada. Se ha podido observar que ofrece la posibilidad de instalar actuadores automáticos en sus válvulas. Después de algún intercambio de información, se ha llegado a la conclusión de que se cumplen todos los requisitos para la instalación de un automatismo, por lo tanto, a priori es viable la adopción de esta solución.

Sus ventajas son las siguientes:

- Cumple con el requisito técnico de mantener la línea en su posición original.
- Dispone de actuador manual que permita accionar la válvula en caso de avería.
- Dispone de botonera, lo que elimina la necesidad de tener que cablear el sistema con la sala de control.
- Su precio ronda los 1.000 €, precio asumible para cumplir el requisito económico de amortización.

Como inconvenientes, se tiene que:

- Cabe la posibilidad de que sea necesario contar con un repuesto en stock para cubrir una posible avería, la cual no puede ser reparada en taller, por lo tanto podría ser necesario adquirir dos unidades. Aun así, el precio seguiría por debajo de los 6.000 € de la válvula triple excéntrica.

9.1.3. Adopción de la solución final

Para seleccionar la solución final, se ha decidido utilizar el método multi-criterio. En primer lugar se han seleccionado cuatro atributos o características exigibles que, ordenadas de mayor a menor importancia, son:

- **Atributo 1:** El sistema asegura la estanqueidad.
- **Atributo 2:** Precio del sistema.
- **Atributo 3:** Sistema de fácil instalación y mantenimiento.
- **Atributo 4:** Se respeta la posición original de los elementos.

A continuación, en la siguiente tabla se muestra el conjunto de soluciones propuestas, y se presenta una valoración de cada uno de los atributos mencionados anteriormente.

Alternativa	Atributo 1	Atributo 2	Atributo 3	Atributo 4
Válvula triple excéntrica	100%	6.000 €	70%	60%
Automatismo	85%	1.000 €	100%	100%

Tabla 1: Valoración de los atributos de cada alternativa.

Ahora, se debe calcular el peso unitario de cada atributo, para poder realizar una media ponderada. Para ello, se debe estudiar el nivel de importancia de cada atributo respecto del resto, estableciéndolo de manera numérica según el decisor, y aplicando 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 2: 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	2
Atributo 2	1/3	1	7	5
Atributo 3	1/4	1/7	1	6
Atributo 4	1/2	1/5	1/6	1

Tabla 3: Nivel de importancia entre los atributos seleccionados.

Con una sencilla operación matemática, se puede calcular el peso unitario de cada uno de los atributos. La ecuación es la siguiente:

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

donde:

W_n es el peso de la característica seleccionada.

a_{nn} valor del nivel de importancia.

x es la cantidad de atributos.

De esta manera, ya se puede calcular el peso unitario de cada atributo, utilizando la expresión (1):

$$W_1 = (1 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 2)^{1/4} = 2,2134$$

$$W_2 = \left(\frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 7 \cdot 5\right)^{1/4} = 1,8481$$

$$W_3 = \left(\frac{1}{4} \cdot \frac{1}{7} \cdot 1 \cdot 6\right)^{1/4} = 0,6804$$

$$W_4 = \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{6} \cdot 1\right)^{1/4} = 0,3593$$

$$W_{total} = \sum W_n = 2,2134 + 1,8481 + 0,6804 + 0,3593 = 5,1012$$

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

$$W_1 = \frac{2,2134}{5,1012} = 0,4339$$

$$W_2 = \frac{1,8481}{5,1012} = 0,3623$$

$$W_3 = \frac{0,6804}{5,1012} = 0,1334$$

$$W_4 = \frac{0,3593}{5,1012} = 0,0704$$

Ahora, se procederá a valorar los atributos de cada solución con valores entre cero y uno:

Alternativa	Atributo 1	Atributo 2	Atributo 3	Atributo 4
Válvula triple excéntrica	1	0,25	0,5	0,5
Automatismo	0,75	0,75	1	1

Tabla 4: Valoración de los atributos con valores entre cero y uno.

Por último, se calcula el valor que obtiene cada una de las soluciones propuestas, para acometer con la selección de la óptima:

$$S_1 = 1 \cdot 0,4339 + 0,25 \cdot 0,3623 + 0,5 \cdot 0,1334 + 0,5 \cdot 0,0704 = \mathbf{0,626}$$

$$S_2 = 0,75 \cdot 0,4339 + 0,75 \cdot 0,3623 + 1 \cdot 0,1334 + 1 \cdot 0,0704 = \mathbf{0,801}$$

De esta manera, se puede concluir con que la solución 2 es la solución óptima, por lo que finalmente, se decide adoptar dicha solución, que es la de la instalación de un automatismo que accione la válvula.

9.2. Apelmazamiento del producto

9.2.1. La problemática

Como se ha comentado en el apartado 7.3, otro de los problemas presentes es el apelmazamiento del producto debido a la emisión de vapores procedente del depósito de mezcla aguas abajo del dosificador. Es indispensable asegurar que los vapores no interfieran en ningún punto de la línea, y que el proceso de dosificación se realice correctamente, asegurando el flujo de material hacia abajo. Actualmente, el dosificador es de la siguiente forma.



Imagen 15: Interior del alimentador.

En la imagen anterior se pueden ver las palas, las cuales se encargan de agitar o mover el producto, y los tres orificios inferiores, por los cuales cae el producto hacia la mirilla y el depósito de mezcla. Si el vapor emitido por el depósito de mezcla llega a esta zona, se produce el apelmazamiento del catalizador, con la consecuente obstrucción del dosificador y parada de reparación.

9.2.2. Propuesta de soluciones

9.2.2.1. Serpentín calentador

Un serpentín calentador es un dispositivo en forma de tubería, que envuelve cualquier tipo de recipiente contenedor y le transmite el calor necesario para un fin en concreto. Los serpentines de calor tienen la siguiente forma.



Imagen 16: Serpentín típico de transmisión de calor.

El tubo interior puede ser de cobre, acero inoxidable, o cualquier tipo de material con buena conductividad térmica. Por el interior del tubo circula el fluido encargado de calentar el producto contenido en el depósito.

En un principio, se pensó en aplicar esta solución para eliminar la posible humedad que pudiese aparecer en el interior del dosificador, debido a las siguientes ventajas:

- Coste relativamente bajo de instalación
- Muchos de los equipos de planta cuentan con un serpentín, y se tiene conocimiento de su eficacia.
- Tiempo de instalación muy corto, lo que supone una mejora casi instantánea.
- Nivel de mantenimiento casi nulo.

Los inconvenientes que presenta son los siguientes:

- Puede provocar más problemática de obstrucción, ya que la separación entre las paredes del alimentador y el tubo es bastante baja.
- Un aumento de la temperatura en el catalizador puede influir en sus propiedades, interfiriendo en la reacción química y, como consecuencia, en el producto final.

9.2.2.2. Chapa de calorifugado

Una chapa de calorifugado es una envoltura que se aplica a un elemento para evitar que baje su temperatura interna y aislarlo del exterior. Está formado por una capa de material aislante de textura fibrosa, y por una chapa metálica que envuelve todo. En la siguiente imagen se muestra una chapa típica de calorifugado.



Imagen 17: Chapa de calorifugado aplicada a una tubería.

En un principio, se barajó la opción de aplicar un calorifugado a la tolva del dosificador, puesto que se pensaba que la humedad procedía de las bajas temperaturas del exterior, y esto era lo que provocaba el apelmazamiento del catalizador. Las ventajas que presenta esta solución son las siguientes:

- Coste muy bajo de instalación
- Ausencia de la necesidad de parar el proceso para su instalación.
- La mayoría de equipos estáticos de planta cuentan con una chapa de este tipo, y se conoce su eficacia.

Como inconvenientes, presenta los siguientes:

- No garantiza al 100% la no aparición de humedad.
- Puede interferir con el requisito técnico de invariabilidad de la posición original de los elementos de la línea.

Después de investigar un poco más sobre el proceso, se detectó que la humedad era causada por los vapores procedentes del depósito de mezcla, y no por la humedad ambiente, por lo que la solución queda descartada a priori.

9.2.2.3. Rediseño en las palas

Actualmente, el alimentador cuenta con unas palas dosificadoras que son como se muestra en la siguiente imagen (véase también la imagen 15):

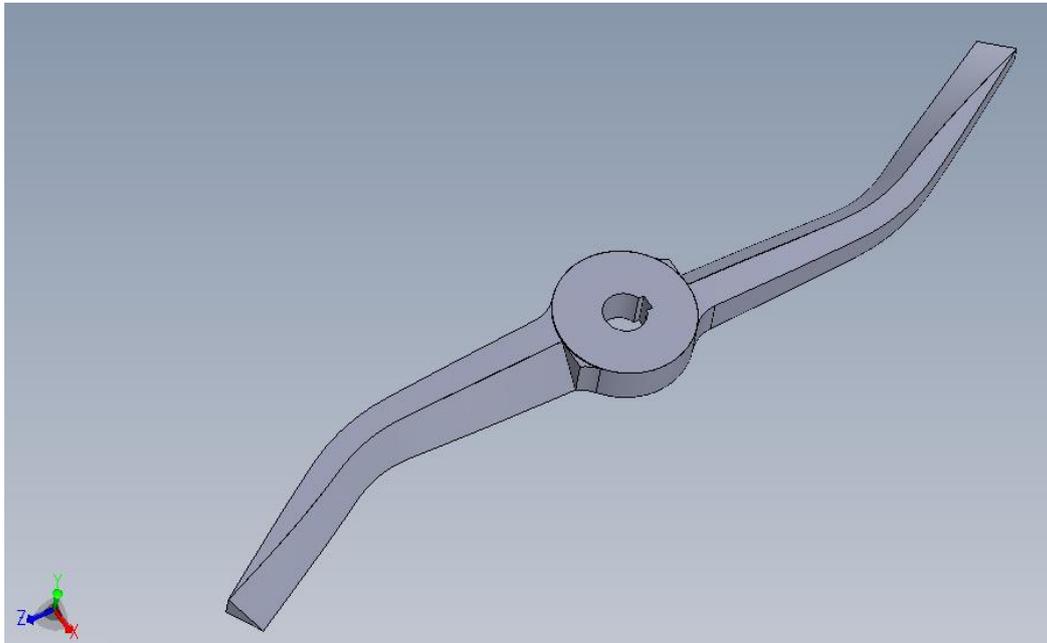


Imagen 18: Sistema de palas actual

Como se puede observar, se trata de un sistema de dosificación bastante sencillo, que cuenta solamente con dos palas, las cuales se encuentran a ras del fondo del alimentador, y a un solo nivel de profundidad. La mejora que se propone, pasa por añadir otro conjunto de palas a un nivel superior para mejorar el sistema de agitación, manteniendo el sistema actual casi intacto, para que pueda ser puesto a prueba y descartarlo si fuera conveniente. Adicionalmente, se propone incrementar el diámetro de los orificios por los que fluye el producto (véase imagen 15) para favorecer la caída del mismo al nivel inferior. La mejora propuesta quedaría de la siguiente manera:



Imagen 19: Vista explosionada del sistema de palas mejorado.

Las principales ventajas que ofrece esta mejora son las siguientes:

- Mejora la eficacia del sistema de dosificación.
- El sistema actual queda casi intacto (solo hay que modificar el eje de giro).

Los inconvenientes que presenta son:

- El añadir más piezas puede dificultar cualquier posible operación de mantenimiento.
- Puede tener un coste relativamente elevado de fabricación.

9.2.3. Adopción de la solución final

De la misma manera que en el apartado anterior, para la adopción de la solución final se va a utilizar el método de selección multi-criterio, manteniendo los mismos atributos. De esta manera, se tiene:

Alternativa	Atributo 1	Atributo 2	Atributo 3	Atributo 4
Serpentín	50%	Muy barato	90%	70%
Calorifugado	50%	Muy barato	70%	60%
Rediseño palas	80%	caro	90%	100%

Tabla 5: Valoración de los atributos de cada alternativa

El cálculo de pesos de cada alternativa es el mismo que en el caso anterior, por lo tanto, solo queda realizar la valoración de cada atributo:

Alternativa	Atributo 1	Atributo 2	Atributo 3	Atributo 4
Serpentín	0,5	0,75	0,9	0,7
Calorifugado	0,5	0,75	0,7	0,6
Rediseño palas	0,8	0,5	0,9	1

Tabla 6: Valoración de los atributos con valores entre cero y uno.

Por último, solo queda calcular el valor que se obtiene para cada solución, para seleccionar la óptima.

$$S_1 = 0,5 \cdot 0,4339 + 0,75 \cdot 0,3623 + 0,9 \cdot 0,1334 + 0,7 \cdot 0,0704 = \mathbf{0,658}$$

$$S_2 = 0,5 \cdot 0,4339 + 0,75 \cdot 0,3623 + 0,7 \cdot 0,1334 + 0,6 \cdot 0,0704 = \mathbf{0,624}$$

$$S_3 = 0,8 \cdot 0,4339 + 0,5 \cdot 0,3623 + 0,9 \cdot 0,1334 + 1 \cdot 0,0704 = \mathbf{0,719}$$

Como puede verse, la solución 3 es la óptima, por lo tanto, se optará por ella. Para la aplicación de esta solución, se realizará un estudio meticuloso de diferentes diseños, de manera que se optimice el coste en función de la eficacia del diseño. Este estudio se detalla en el anexo III.

9.3. Mejoras complementarias

Adicionalmente, se decide introducir dos mejoras extra que aumenten la fiabilidad de las soluciones comentadas anteriormente, y que garanticen la continuidad del proceso. Estas mejoras se localizan en el depósito de mezcla, que es el emisor de los vapores que humedecen y apelmazan el producto que se encuentre aguas arriba.

9.3.1. Aporte de nitrógeno

Como se ha comentado en apartados anteriores, la conexión entre el depósito de almacenamiento y el depósito de mezcla cuenta con una mirilla que permite comprobar que el flujo de material se está produciendo de manera adecuada. Al tratarse de un elemento fácilmente modificable, se decide incorporar dos entradas de nitrógeno (una a cada lado del cuerpo de la mirilla) según se muestra en la siguiente imagen.

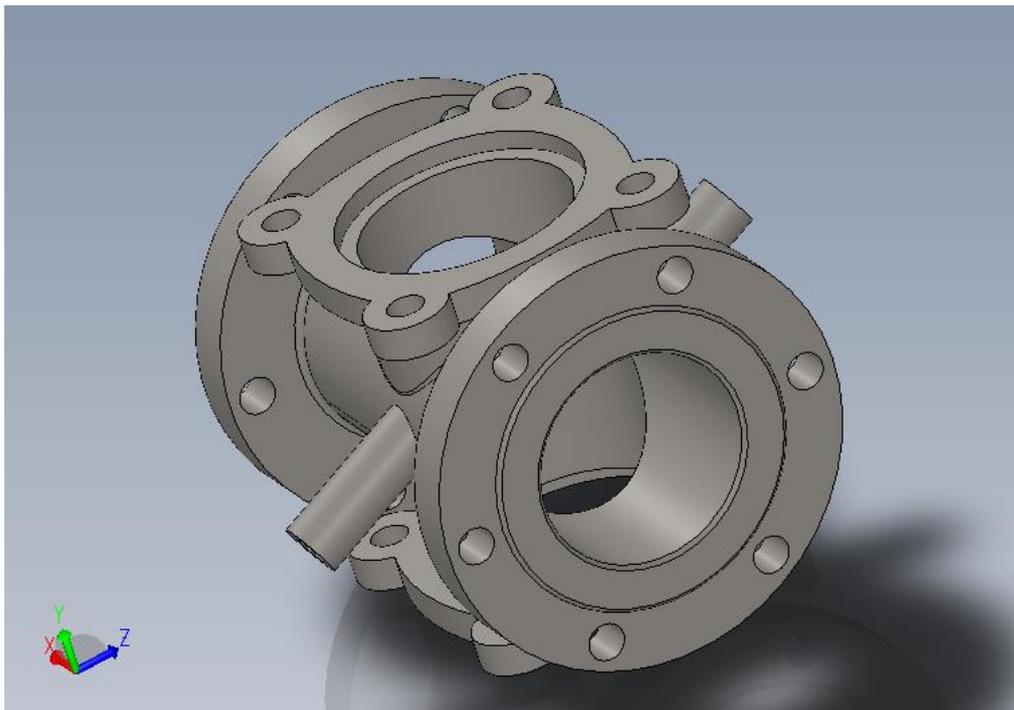


Imagen 20: cuerpo de la mirilla actual con las entradas de nitrógeno previstas.

La función que tienen estas entradas es la de aplicar una presión positiva, cosa que garantiza que los posibles vapores de mezcla que puedan subir al depósito superior no lo hagan y, además, su posición inclinada puede originar un pequeño remolino que puede favorecer la caída de producto. Ambas entradas serán *tubings* de acero inoxidable con final

roscado, de manera que se pueda insertar un latiguillo también de inoxidable. Estos latiguillos se encontrarán en “T”, y se unirán a una tubería de acero al carbono añadida, que será insertada mediante un picaje a la línea de aporte de nitrógeno con la que cuenta actualmente el depósito de mezcla (el que, como se ha comentado anteriormente, se utiliza para pruebas de estanqueidad en el arranque e inertizados del equipo).

Se decide utilizar nitrógeno ya que es un gas inerte y, como se ha comentado antes, el propio depósito de mezcla ya cuenta con una entrada de nitrógeno, que se encuentra cerca de la mirilla y facilita su montaje e instalación. En el documento “planos” se puede ver de forma detallada la geometría de la mirilla.

9.3.2. Ducha desatascante

Anteriormente se ha comentado que el venteo del depósito de mezcla puede sufrir obstrucciones, derivando el vapor de éster hacia la mirilla y el dosificador. La solución que se propone es la de derivar parte del éster procedente de un proceso de extracción hacia el propio venteo del depósito de mezcla, en forma de ducha pulverizada. Este aporte continuo de producto garantiza que los vapores circularán por el venteo y no se producirán atascos ni obstrucciones. A continuación se puede ver una imagen del sistema propuesto:

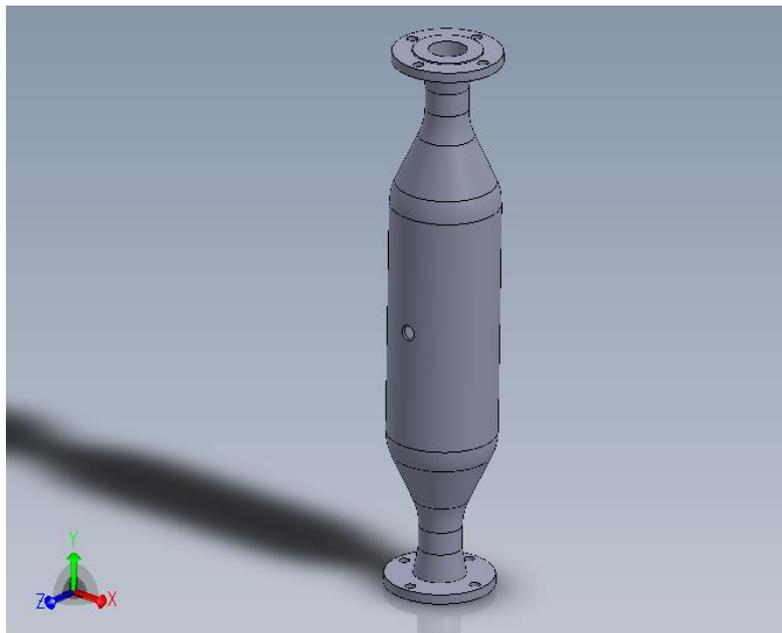


Imagen 21: Modelo en 3D del alojamiento del tubo de descarga de éster.

Como se puede observar, el sistema contará con un ensanchamiento dentro del cual se introducirá la línea de aporte de éster derivado de la entrada del depósito de mezcla. En el documento “planos” se puede observar la geometría exacta con las líneas de soldadura necesarias.

10. RESULTADOS FINALES

En este apartado se pretende explicar las características definitorias, así como el funcionamiento del producto final, con todas las mejoras aplicadas y la previsión de mejora en el proceso productivo. En primer lugar, se muestra cómo va a quedar la instalación final:

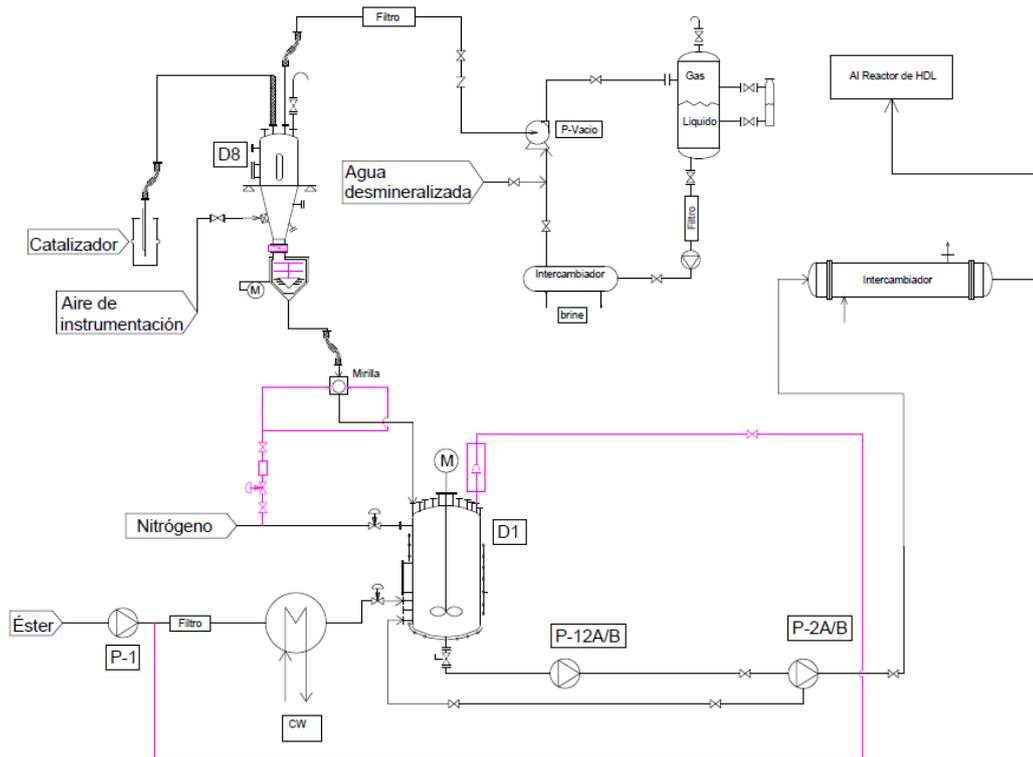


Imagen 22: Situación de la instalación mejorada.

Todos los elementos con líneas rosadas constituyen las mejoras que se van a introducir, las cuales se explicarán una a una a continuación. En el documento “planos”, se puede ver detalladamente cada una de las mejoras.

10.1. Nuevo método de funcionamiento de la línea

El principio de funcionamiento de la instalación mejorada es el mismo que el de la instalación actual, teniéndose dos procedimientos diferenciados: La carga de catalizador y la dosificación hasta el depósito de mezcla.

La carga de catalizador se realizará mediante el mismo procedimiento que se tiene actualmente (véase apartado 7.3.1.). Para la creación del vacío, se tendrá ahora el sistema automático que cerrará la válvula de mariposa actual, eliminando el posible error humano y asegurando que se tendrá la estanqueidad deseada.

Una vez realizada la carga, comienza el proceso de dosificación. La mejora que se introducirá en la palas, asegurará que la tarea de agitación y dosificación será más eficiente. Actualmente la cantidad de catalizador que se requiere para el proceso viene regulada por un disco medidor, el cual se mantiene intacto, por lo tanto, este punto del proceso permanecerá igual que en la actualidad. En el documento “planos, se puede ver de manera detallada esta solución.

A la salida del dosificador, se tendrá la presión positiva ejercida en la mirilla que, como se ha comentado con anterioridad, asegurará que no subirán vapores del depósito inferior, y además puede ayudar al catalizador a caer más fácilmente. De la misma manera que en las otras mejoras, la mirilla ha permanecido intacta (salvo por los orificios que se le han practicado), de modo que el proceso permanecerá invariable. En el documento “planos”, se puede ver detalladamente esta solución.

Por último, se tiene que el catalizador ha entrado en el depósito de mezcla. En este punto del proceso, se produce una reacción química, que emite una serie de vapores que se pueden ventear a la atmósfera. Con la mejora que se va a introducir en este punto (ducha desatascante), se conseguirá tener libre el venteo del depósito, garantizando que los vapores se van a emitir a la atmósfera, y no subirán por el conducto de dosificación de catalizador. Una vez más, esta mejora mantiene invariable al proceso actual. En el documento “planos” se puede ver detalladamente esta solución.

10.2. Descripción de la nueva instalación

En este apartado se pretende explicar las características definitorias de cada una de las soluciones adoptadas.

10.2.1. Automatismo

Para la emisión de la oferta, el fabricante ha solicitado algunos datos de operación, como la presión a la que se encuentra sometida la válvula (en el anexo II “cálculos” se muestra el procedimiento de obtención de la presión). También ha solicitado datos como la temperatura de operación y el número de aperturas/cierres que se producen al año, datos que ya se conocen de antemano. Una vez ha dispuesto de estos datos, *Pentair* ha emitido la siguiente oferta:



KEYSTONE EPI-2 - ACTUADOR ELÉCTRICO DE CUARTO DE VUELTA

Una avanzada gama de actuadores eléctricos de cuarto de vuelta desde
63 a 2000 Nm



Imagen 23: Oferta emitida por Pentair.

Las características que ofrece este dispositivo son las siguientes:

- Alimentación eléctrica universal para adaptarse a cualquier voltaje.
- Múltiples tiempos de carrera ajustables para adaptarse a la aplicación necesaria.
- Placa base con taladros múltiples que aseguran conexión mecánica con el eje flexible y fiable.
- Modelo de par ajustable, que cubre una gama de 25 a 2000 Nm.
- Una CPU que controla las temperaturas del motor e interna para proteger el equipo.
- Indicador mecánico de posición.
- Botonera para accionamiento manual.
- Volante auxiliar para poder operar en caso de corte de suministro de corriente.
- Reductor epicicloidal que asegura una operación suave y fiable.

El automatismo ofrece una operación automática de apertura/cierre de la válvula, por lo que se elimina el error humano. Dispone de un volante y una reductora auxiliares para poder realizar la operación en caso de fallo. Por último, no requiere de ningún tipo de obra auxiliar, ya que se puede añadir a lo que actualmente hay instalado. Lo único que se tiene que hacer es retirar la reductora con la que cuenta la válvula aflojando las cuatro tuercas que tiene, y sustituirlo por el sistema del automatismo, que cuenta con el mismo tipo de unión, y realizar las acometidas correspondientes de electricidad.

10.2.2. Nueva hélice

Como se ha comentado en apartados anteriores, el nuevo sistema de mezcla cuenta con una hélice extra a media altura, de manera que se optimiza la operación de agitación o mezcla del catalizador a su salida del depósito de mezcla. El nuevo sistema es de la siguiente forma (en el anexo III se puede ver un estudio detallado elaborado para la selección de una solución):

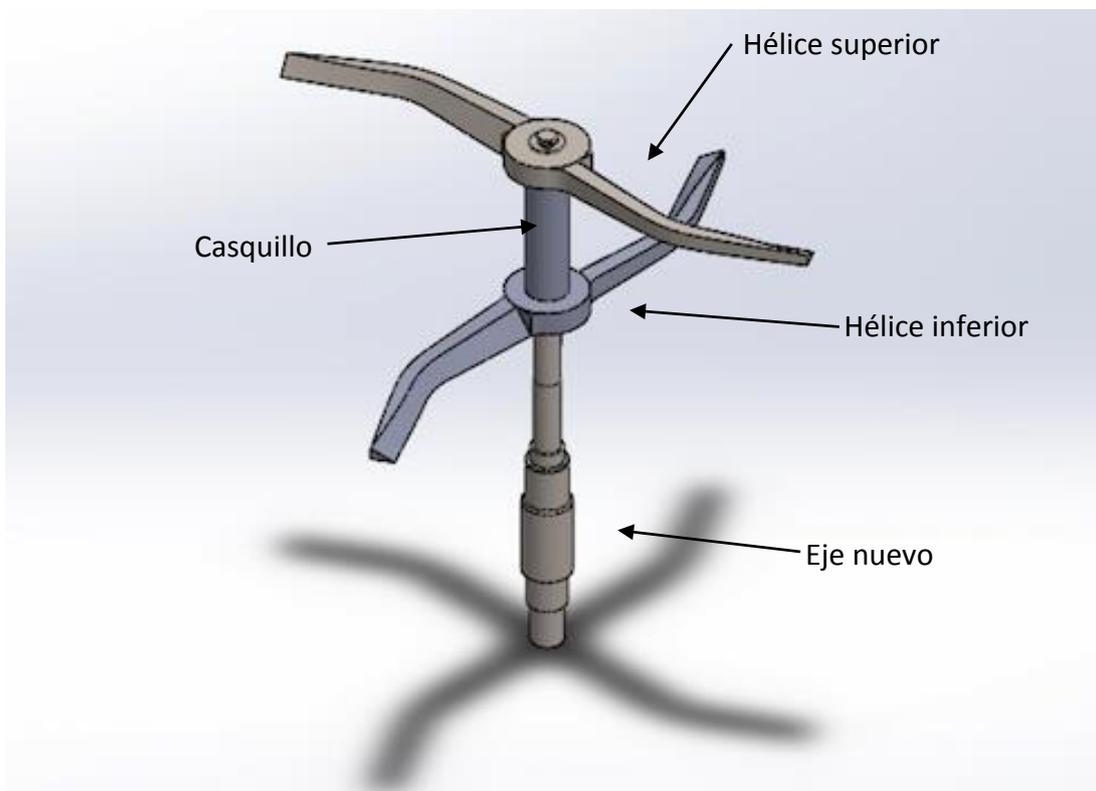


Imagen 24: Concepto del nuevo sistema con doble hélice.

Las ventajas que ofrece este nuevo sistema son las siguientes:

- Optimiza la dosificación y mezcla del catalizador en el interior de la tolva.
- El sistema actual solamente requiere una modificación en el eje (sería necesario mecanizar uno nuevo), quedando el resto del sistema actual intacto, la cual cosa permite contar con los mismos repuestos que con anterioridad.

El nuevo sistema cuenta con un eje más largo, en el cual se insertará la hélice actual. A continuación, se insertará un casquillo, que actuará de asiento para la hélice nueva. Por último, se coloca la nueva hélice encima del casquillo, y se asegurará su posición atornillándola con un perno y arandela, de la misma manera que está hecho actualmente. Adicionalmente, el plato inferior contará con unos orificios más grandes para favorecer la caída del producto hacia abajo. Como la regulación del flujo no depende de ellos, ya que simplemente el plato actúa de barrera, se puede realizar esta mejora.

10.2.3. Línea de nitrógeno

Como se ha comentado en apartados anteriores, la misión de la línea de nitrógeno es crear una presión positiva que evite que los posibles vapores que suben del depósito de mezcla lo hagan. La línea de aporte de nitrógeno quedará de la siguiente forma:

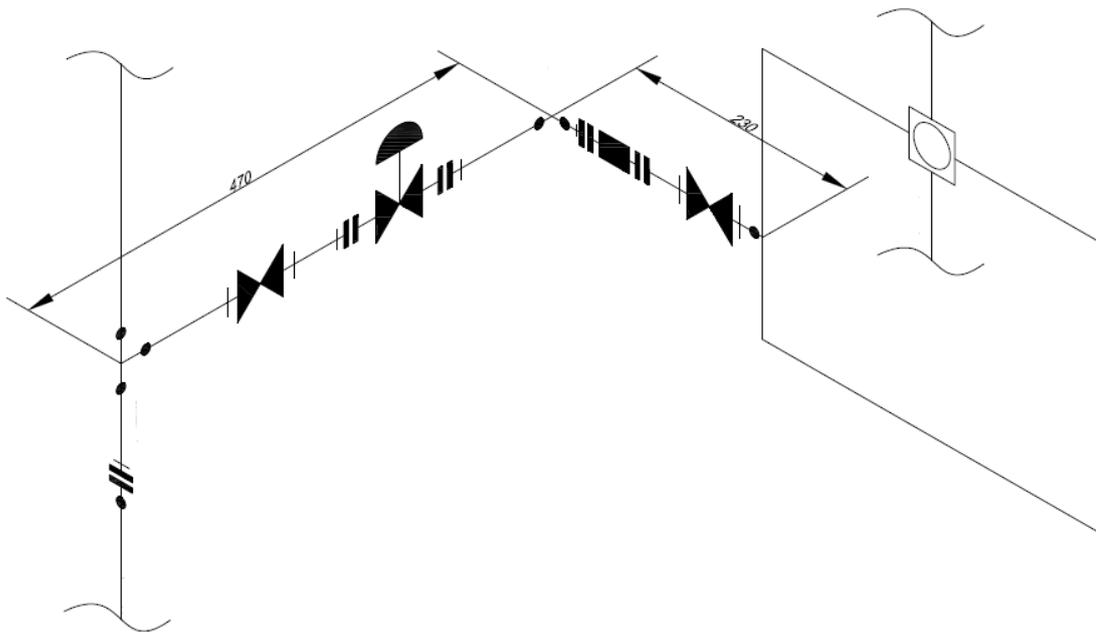


Imagen 25: Situación de la nueva línea de Nitrógeno.

La nueva línea cuenta con los siguientes elementos:

- 5 juegos de bridas de $\frac{1}{2}$ ", 150#.
- Una válvula reguladora PCV de $\frac{1}{2}$ " tipo embridada con un indicador PI de presión roscado.
- Un caudalímetro FI de $\frac{1}{2}$ " del tipo embridado.

- Accesorio en T de ½" del tipo *socket weld*.
- Un codo de 90° de ½" del tipo *socket weld*.
- 2 válvulas de globo manuales de ½" del tipo *socket weld*.
- Accesorio en T con entrada de ½" tipo *socket weld* y salidas de ¼" del tipo unión roscada.
- *Tubing* de acero inoxidable de ¼" de unión roscada.
- Línea de ½" para la unión de todos los componentes.
- Una mirilla modificada para albergar las entradas de nitrógeno.
- 2 roscas macho-hembra.

En el anexo IV se explica el proceso a seguir para la construcción y montaje de la línea.

10.2.4. Línea desatascante

Como se ha comentado en apartados anteriores, el objetivo de la línea anti-obstrucciones es evitar que se produzca un “tapón” en el venteo, el cual permite la liberación de vapores del depósito de mezcla. En el anexo II “cálculos”, se puede encontrar el proceso de dimensionado de la línea. Finalmente, se ha determinado que la línea será de ½” con Schedule 10 S. El material a utilizar para todas las piezas será acero inoxidable 316. Las características de la línea desde el picaje hasta la descarga es la siguiente:

- Línea de 550mm con válvula de globo *socket weld* de ½”.
- Accesorio en T *socket weld*.
- Línea de purga con válvula de globo *socket weld* de ½” con tapón rosacado (según estándares de la empresa).
- Línea de 2100mm con válvula de globo *socket weld* de ½”.
- Codo de 90° de radio corto *socket weld*.
- Soporte con cuna de inoxidable.
- Línea de 3300mm de ½”.
- Codo de 90° de radio corto *socket weld*, con soporte soldado tipo “*trunnion*”.
- Línea de 3100mm de ½”.
- Soporte con cuna de inoxidable.
- Codo de 90° de radio corto *socket weld*.
- Línea de 1800mm de ½”.
- Codo de 90° de radio corto *socket weld*.
- Línea de 410mm de ½”.
- Juego de bridas de ½” 150# tipo *welding neck* de 4 espárragos y junta espirografito.
- Línea de 500mm de ½” con curvatura hacia abajo de radio 200mm para descarga.
- Alojamiento de 1150mm de longitud y 220mm de diámetro para introducir el tubo de descarga.

La situación de la línea desatascante queda de la siguiente manera:

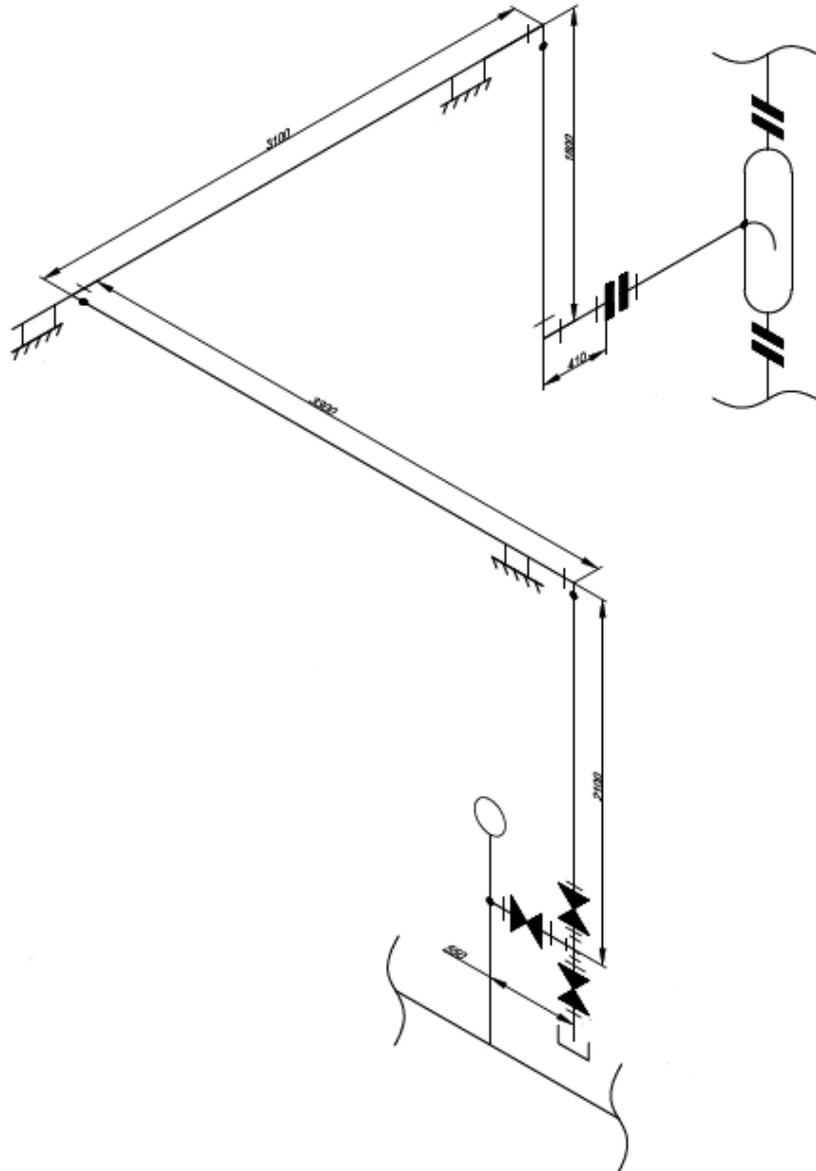


Imagen 26: Situación de la nueva línea desatascante.

En el documento “planos” se puede ver de manera detallada las características de la línea completa.

11. PLANIFICACIÓN

La planificación del presente proyecto se puede dividir en cuatro partes claramente diferenciadas:

- Elaboración conceptual de la instalación y toma de decisiones, en la cual se realizarán todos los diseños, cálculos y planos para la posterior fabricación y montaje en obra. También se decide si es necesaria la compra de algún elemento existente en el mercado (Tareas de oficina técnica).
- Etapa de fabricación en el taller de todas y cada una de las partes que componen la instalación (Tareas de fabricación en taller).
- Etapa de compras de los elementos prefabricados externamente, donde el departamento pertinente se pone en contacto con el fabricante para la obtención de un producto o servicio. Esta tarea puede ser simultánea a la anterior (Tareas de compras).
- Etapa de montaje en obra e instalación de los elementos diseñados y comprados, que conforman la instalación (Tareas de montaje de obra).

11.1. Tareas de oficina técnica

Las tareas de oficina técnica comprenden las operaciones que se exponen a continuación:

- Estudio y análisis de la problemática y la situación actual.
- Evaluación de las posibles alternativas o soluciones a adoptar.
- Elaboración del anteproyecto y el proyecto.
 - **Fase de cálculos:** En esta etapa se realizarán todos los cálculos necesarios para el diseño de elementos y la adopción de la solución final, en este caso, los relativos a la válvula.
 - **Fase de diseño:** Se estudiarán todos los elementos que requieran ser ideados por el proyectista, en este caso, el diseño de las palas y de las líneas de nitrógeno y producto.

- **Elaboración de planos:** Se realizarán todos los documentos gráficos necesarios que definan de manera unívoca los elementos mencionados anteriormente, encaminados a mejorar la instalación.
- **Fase de selección** de elementos o materiales a comprar, donde se escogerán los elementos que se deban obtener de fabricantes externos, como en este caso, el automatismo que accionará la válvula.
- **Estudio económico:** Se realizará un presupuesto del coste total de elaboración del proyecto.

Las actividades mencionadas anteriormente serán correlativas en el tiempo, es decir, no se puede ejecutar una hasta que no se haya realizado la anterior.

11.2. Tareas de fabricación en taller

La etapa de fabricación tiene como objetivo materializar los elementos que el proyectista ha diseñado, ejecutando los planos elaborados. Se pueden diferenciar las siguientes fases:

- Fase de fabricación de palas, que será ejecutada por el taller interno de la empresa.
- Fase de elaboración del *piping* de nitrógeno y aporte de material al venteo, que será llevada a cabo por una subcontrata.
- Fase de pruebas de los elementos diseñados.

Estas actividades son independientes en el tiempo, pero solo se podrán ejecutar una vez hayan finalizado las tareas de oficina técnica. Así mismo, se dará por concluida esta etapa cuando finalice cualquiera de las fases mencionadas anteriormente.

11.3. Tareas de compras

El cometido de esta etapa es la de obtener todos los elementos externos fabricados en empresas externas. En este caso, el departamento de compras tiene la tarea de valorar la oferta propuesta por el proyectista y ponerse en contacto con el fabricante para obtener el bien o servicio deseado.

Esta tarea es independiente de las tareas del taller, de manera que ambas se pueden realizar simultáneamente.

11.4. Tareas de montaje de obra

Las tareas de montaje en obra serán las que darán lugar a la finalización de la obra en la empresa promotora. Las principales actividades que se llevarán a cabo son:

- Transporte de todos los elementos a la ubicación exacta de la instalación.
- Verificación de las medidas de seguridad
- Montaje de los elementos en su lugar correspondiente, siguiendo las indicaciones de este proyecto.
- Verificación del montaje (puesta en marcha).

Las tareas de montaje en obra son dependientes entre sí, es decir, deben ejecutarse en el orden mencionado y solo se podrá hacer una vez terminadas el resto de tareas.

Gracias al software “GanttProject”, se ha podido obtener el diagrama PERT y los diagramas Gantt y de recursos. A continuación, se muestra el diagrama de Gantt:

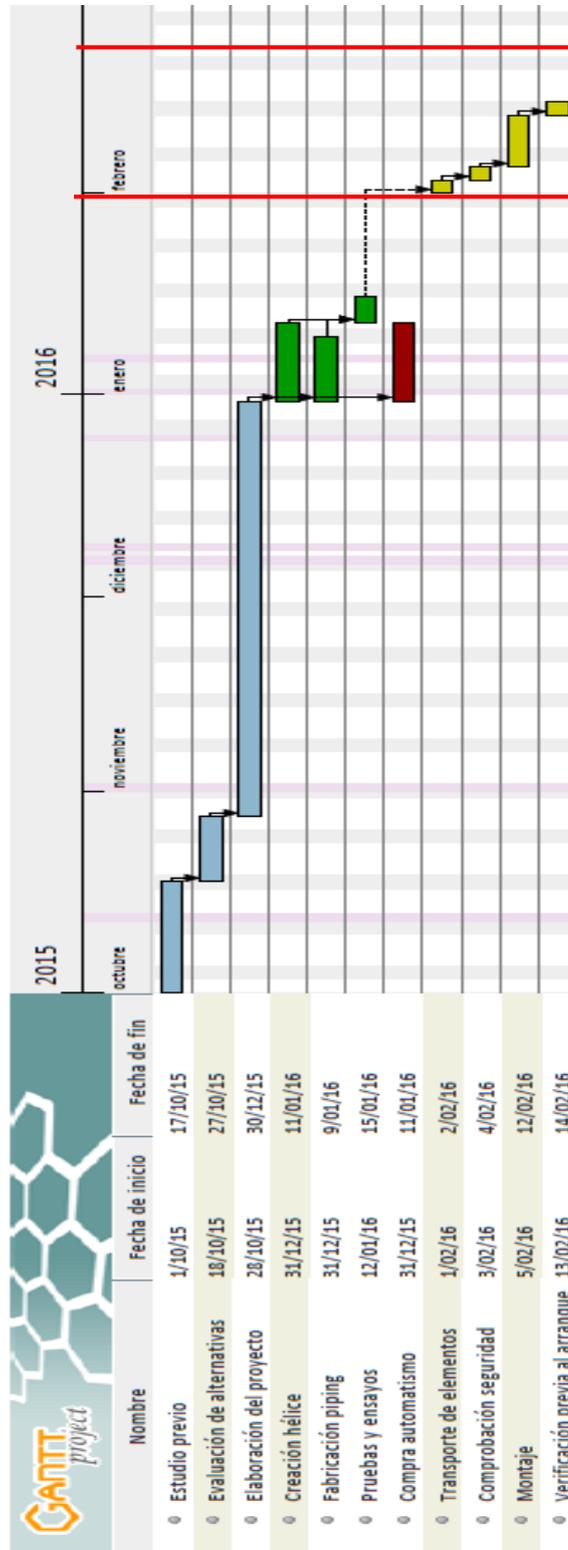


Imagen 27: Diagrama de Gantt del proyecto.

En el siguiente diagrama de recursos, las líneas verticales sombreadas en gris indican los fines de semana, en los cuales no se trabaja (excepto los operadores, que trabajan a turnos rotativos), y las líneas verticales sombreadas en rosa indican los días de fiesta nacional. Nótese también la holgura existente (la que comienza en el mes de Febrero y se indica con líneas rojas en la imagen 27) debida a la parada programada de mantenimiento periódica de 15 días.

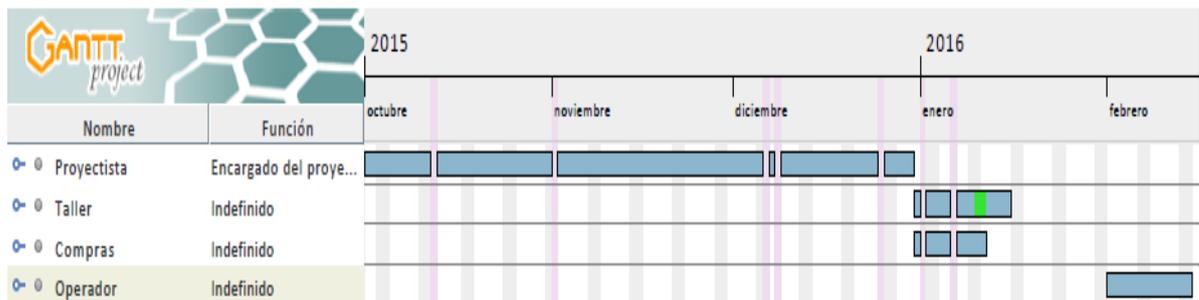


Imagen 28: Diagrama de recursos.

En la página siguiente, se muestra el diagrama PERT:

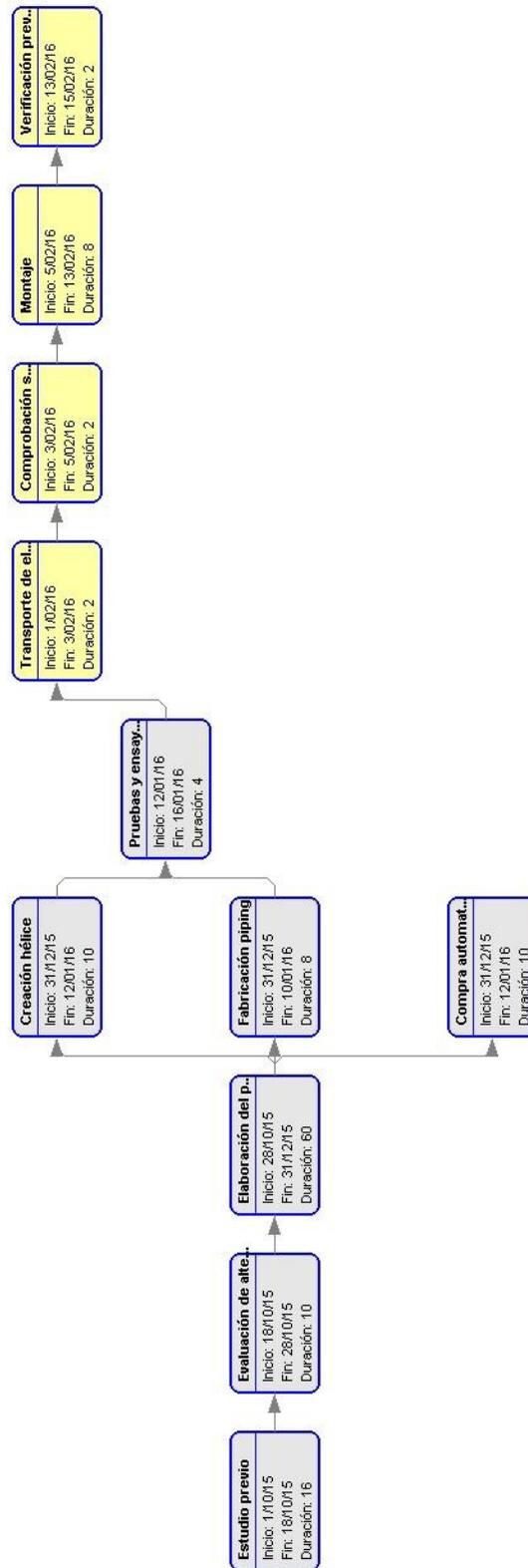


Imagen 29: Diagrama PERT.

12. MANTENIMIENTO Y EXPLOTACIÓN

12.1. Condiciones generales

En la nueva instalación se debe conseguir un ratio de producción como mínimo, igual que el actual. Además, se debe respetar en todo momento la legislación relativa a seguridad e higiene en el trabajo y medio ambiente. La consecución de este objetivo dependerá de la correcta realización de tres actividades complementarias entre sí:

- Mantenimiento y conservación de equipos e instalaciones tanto electromecánicas, de obra civil y de servicios complementarios.
- Explotación de equipos e instalaciones, seguimiento del proceso y análisis del rendimiento de la fase de adición de catalizador.
- Control y seguimiento de la marcha técnica, económica, administrativa, y del resto de los aspectos generales de la línea completa de producción de HDL.

Al comienzo de la Explotación y Mantenimiento se realizará un control de la instalación y un primer informe, en el que se llevarán a cabo los siguientes pasos:

- **Inventario:** Se realizará inventario tanto de equipo como de material en stock, y a la vez se codificarán todos los elementos del equipo.
- **Recambios:** A la vez que se realiza el inventario y la comprobación de la instalación, se observarán los puntos críticos que puedan existir, así como los elementos básicos e imprescindibles, con el fin de establecer un stock de emergencia que conste de todos los elementos necesarios para el correcto mantenimiento de la línea. En el caso que sea aconsejable el cambio de algún elemento, este se llevará a cabo siempre con la autorización de la persona responsable que asigne el organismo competente.
- **Comprobación de la instalación:** Se comprobarán ratios de producción, estado de los elementos electromecánicos, estado general de todos los elementos, documentación existente, registros anteriores, etc.

12.2. Definición de actividades

12.2.1. Encargado de turno

El Encargado de turno tendrá como objetivo asegurar el funcionamiento normal de las instalaciones de forma ininterrumpida mediante la distribución racional de los recursos técnicos y humanos. Será responsable de:

- En cuanto a explotación:
 - Establecer las bases operativas de los servicios de Explotación, Mantenimiento y Conservación.
 - Definir, medir y controlar los parámetros que definen el proceso, elaborando una guía de actuaciones para corregir las desviaciones más comunes. Del mismo modo establecerá los límites operacionales y las medidas correctoras en caso de situaciones especiales que lo requieran.
 - Definir e instalar el plan de control analítico básico y necesario para el control de la explotación, de acuerdo con la normativa vigente y los métodos estándar. Además, desarrollará una campaña analítica adecuada para efectuar un seguimiento adecuado a situaciones puntuales y especiales, encargándose de gestionar la base de datos de parámetros obtenidos, así como de informes diarios, semanales y mensuales de laboratorio, si es preciso.
 - Elaborar un calendario anual de personal y atender los cambios por bajas, asegurando en todo momento los servicios mínimos. Comunicar a las oficinas centrales las altas y bajas de personal a su cargo.
 - Distribuir las tareas operativas diariamente o por visita y controlar las operaciones ejecutadas.
 - Hacer cumplir la normativa de Seguridad e Higiene.
- En cuanto al mantenimiento:
 - Establecer el equilibrio entre el Mantenimiento Preventivo y el Mantenimiento Correctivo.

- Elaborar el plan de Actividades Semanal, Mensual y Anual, en base a las necesidades demandadas por los fabricantes y a las propias que se deriven de la explotación.

12.2.2. Operador de planta

Las tareas generales que se encomendarán serán las siguientes:

- Realizar las modificaciones al proceso siguiendo las instrucciones del Encargado de turno o de sala de control
- Realizar tareas de limpieza y barridos de las instalaciones cuando sea necesario.
- Elaboración de un parte diario o por visita de las operaciones realizadas en el que se incluirán las lecturas de los elementos de control de la planta y las incidencias ocurridas.
- Avisar al Jefe de Planta de cualquier anomalía que se detecte, así como cuando se observe algún nivel incorrecto.
- Respetar cuidadosamente toda la normativa relativa a la seguridad, higiene y salud en el lugar de trabajo.

13. ESTUDIO ECONÓMICO

En este apartado, se explicará de manera superficial el impacto económico que se prevé tendrá el presente proyecto sobre la empresa. Para más información sobre los cálculos realizados, véase el anexo VI “estudio económico” y el documento “mediciones y presupuesto”.

El presupuesto total que supone el proyecto, asciende a la suma de 15.765,68 €.

El beneficio previsto provocado por la reducción de paradas imprevistas por fallos del equipo es de unos 24.000,00 €, por lo tanto, el proyecto quedaría amortizado antes del primer año.

14. CONCLUSIONES

Tras realizar el estudio y dimensionamiento de todas y cada una de las soluciones propuestas para mejorar el funcionamiento del dosificador de catalizador, se da por concluido el presente proyecto.

Se puede determinar que las soluciones propuestas y analizadas cumplen con todos los requisitos establecidos tanto por el promotor como por el proyectista, haciéndolo dentro de los límites legales, técnicos y económicos.

ANEXOS A LA MEMORIA

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I: ESTIMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CATALIZADOR	81
ANEXO II: CÁLCULOS	93
ANEXO III: ESTUDIO DEL NUEVO SISTEMA DE MEZCLA.....	131
ANEXO IV: MONTAJE E INSTALACIÓN DE LA LÍNEA DE NITRÓGENO	163
ANEXO V: ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	177
ANEXO VI: ESTUDIO ECONÓMICO	189

ANEXO I: ESTIMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CATALIZADOR

ÍNDICE ANEXO I

1.	EL CATALIZADOR	85
1.1.	Densidad	85
1.2.	Ángulo de talud	87
1.3.	Conclusión	90

1. EL CATALIZADOR

El material a dosificar es catalizador basado en óxido de cobre y óxido de zinc, con un ratio de mezcla de aproximadamente el 50%. Para el cálculo de la presión que se ejerce en el fondo del depósito de almacenaje, es necesario conocer algunas características intrínsecas del material en cuestión. Estas características son:

- Densidad.
- Ángulo de talud natural, que es el ángulo que forma la montaña de material acumulado con la horizontal.

La norma que se ha seguido para el cálculo de la presión, ofrece una tabla de materiales pulverulentos típicos o frecuentes de manera que, si se conocen las características anteriormente mencionadas, se puede realizar una estimación de las características pulverulentas del material que se tiene a las de un material estándar de parámetros similares.

1.1. Densidad

Este parámetro es relativamente fácil de conocer. El fabricante del catalizador es *JGC catalyst and chemicals*, y la empresa UBE dispone de un estudio bastante reciente de las características del catalizador, elaborado por el propio fabricante. Un extracto del estudio es el que se muestra en la página siguiente:

Mar.9.2015

Commodity		E44W-3 Catalyst		
Lot No.		294	295	296
Quantity (kg)		875	4000	5000
Apparent Bulk Density	(kg/L)	0.76	0.76	0.79
Particle Size				
Median	(μ m)	22.9	22.0	20.2
$\leq 3 \mu$ m	(%)	0	0	0
$\geq 150 \mu$ m	(%)	0	0	0
Specific Surface Area	(m^2/g)	76	78	78
Composition				
Cu	(%)	39.1	39.1	38.5
Zn	(%)	38.0	38.1	39.2
S	(%)	0.03	0.03	0.04
L.O.I.	(%)	4.5	5.7	4.5
Reduction Temp.	($^{\circ}$ C)	118	118	120
Color		BLACK	BLACK	BLACK
Specific Activity		171	173	173

JGC Catalysts and Chemicals Ltd.

Imagen 30: Estudio de las propiedades del catalizador.

En él se puede observar que se han realizado tres mediciones para diferentes cantidades y obtener resultados más precisos. El dato que interesa del informe es la densidad, teniéndose un valor aproximado de unos **0,8 kg/L**.

1.2. Ángulo de talud

Como se ha explicado anteriormente, el ángulo de talud natural es el ángulo que forma la montaña de material acumulado con la horizontal. Para entenderlo mejor, se muestra la siguiente imagen:

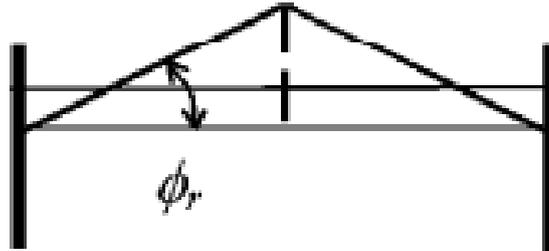


Imagen 31: Ángulo de talud natural.

Al tener acceso al catalizador en cuestión, se ha realizado un ensayo para determinar de manera aproximada dicho ángulo. El ensayo ha seguido un procedimiento que se describe a continuación.

En primer lugar, respetando todas las medidas de seguridad que requieren acceder a planta y trabajar con materiales químicos pulverulentos, se ha accedido a uno de los bidones de catalizador que cada día se cargan al depósito de almacenaje.



Imagen 32: Bidón contenedor de catalizador.

En segundo lugar, se ha cogido un recipiente previamente secado y se ha tomado una muestra del producto en cuestión, dejándose caer de manera natural, y permitiendo que se acumule encima de la tapadera del propio barril.



Imagen 33: Catalizador cayendo sobre la tapadera del bidón.

Por último, se ha realizado una fotografía desde la horizontal, para poder obtener una medida aproximada del ángulo de talud.



Imagen 34: Catalizador acumulado.

Tomando medidas sobre la imagen impresa en papel, se obtiene la siguiente geometría aproximada:

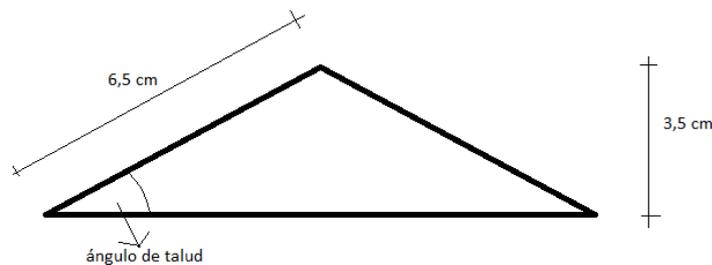


Imagen 35: Geometría aproximada extraída de la fotografía.

Realizando un cálculo trigonométrico sencillo, se puede obtener el ángulo de talud.

$$\sin \phi_R = \frac{3,5}{6,5}$$

$$[\phi_R \approx 32,6^\circ]$$

1.3. Conclusión

Acudiendo a una tabla de densidades típicas de materiales pulverulentos, se tiene lo siguiente:

PRODUCTO A MANIPULAR	DENSIDAD (TM/M ³)
Plomo mineral	3,00
Plomo óxido de	0,95-2,4
Plomo silicato de	3,70
Plomo sulfato de	2,95
Policloruro de aluminio	1,80
Poliéster (trozos)	0,15
Polietileno (polvo)	0,67
Polietileno granulado	0,5-0,72
Polipropileno (polvo)	0,54
Polvo calizo	0,88-1,04
Polvo convertidor	2,70
Polvo de cara	0,4-0,5
Polvo de carbón	0,70
Polvo de cemento	1,30
Polvo de fundición	0,9-1,0

Imagen 36: Densidad del carbón en polvo.

Se tiene una densidad para el carbón en polvo de 0,7 Ton/m³; ó **0,7 kg/L**.

Acudiendo a una tabla de la norma, también podemos obtener el ángulo de talud para el carbón en polvo es de **34°**:

Tipo de sólido disgregado ^{d,e}	Peso específico ^b		Ángulo de talud natural ϕ_r
	γ		ϕ_r
	γ_i	γ_s	ϕ_r
	Inferior	Superior	
	kN/m ³	kN/m ³	grados
Material por defecto ³	6,0	22,0	40
Áridos	17,0	18,0	36
Aluminio	10,0	12,0	36
Mezcla de piensos	5,0	6,0	39
Piensos en pellets	6,5	8,0	37
Cebada ☼	7,0	8,0	31
Cemento	13,0	16,0	36
Clinker de cemento \ddagger	15,0	18,0	47
Carbón ☼	7,0	10,0	36
Carbón en polvo ☼	6,0	8,0	34

Imagen 37: Ángulo de talud natural del carbón en polvo.

Realizando una comparativa del catalizador con el carbón en polvo, se tiene que:

	Carbón en polvo	Catalizador
Densidad	0,7	0,8
ángulo de talud	34	33

Tabla 8: Comparativa de ambos materiales.

Como se puede observar en la tabla anterior, se tienen características muy similares para ambos materiales, por lo tanto, se decide finalmente adoptar el **carbón en polvo** como material para el cálculo de las presiones.

ANEXO II: CÁLCULOS

ÍNDICE ANEXO II

1.	CÁLCULO DE LA VÁLVULA	97
1.1.	Introducción	97
1.2.	Obtención de la presión vertical p_v.....	97
1.2.1.	Determinación del tipo de tolva.....	98
1.2.2.	Determinación de la esbeltez del silo	102
1.2.3.	Obtención de la tensión vertical en la zona de transición (p_{vt}).....	103
1.2.3.1.	Coefficiente de rozamiento efectivo	103
1.2.3.2.	Profundidad característica de Janssen	104
1.2.3.3.	Profundidad bajo la superficie equivalente.....	106
1.2.3.4.	Potencia en el cálculo de presiones	106
1.2.3.5.	Profundidad para la evaluación de la tensión en silos de esbeltez media	107
1.2.3.6.	Cálculo de la tensión vertical en zona de transición	108
1.2.4.	Obtención de la presión vertical p_v por el método de la norma.....	110
1.2.5.	Obtención de la presión vertical p_v por el método de <i>Janssen</i>	113
1.2.6.	Comparativa método de la norma vs método <i>Janssen</i>	115
1.3.	Conclusión	117
2.	DIMENSIONADO DE LA LÍNEA DE RECIRCULACIÓN DE ÉSTER	118
2.1.	Introducción	118
2.2.	Situación de la línea	118
2.3.	Dimensionado de la línea	119
2.3.1.	Velocidad de circulación de éster	119
2.3.2.	Presión final de descarga	120
2.3.3.	Cálculo de diámetros máximo y mínimo.....	120
2.3.4.	Cálculo de las pérdidas de carga por fricción.....	121
2.3.5.	Cálculo de las pérdidas de carga por elementos particulares	127
2.4.	Conclusión	129

1. CÁLCULO DE LA VÁLVULA

1.1. Introducción

Una de las soluciones adoptadas consiste en la instalación de un automatismo accionante de la válvula que sea capaz de asegurar su cierre completo para crear vacío en el interior del depósito aguas arriba del alimentador. De esta manera, se consigue reducir notablemente la probabilidad de aparición del error humano. Para su selección, es necesario determinar a qué presión se va a encontrar sometida dicha válvula (dato que el fabricante del automatismo ha solicitado). En los apartados siguientes se mostrarán los cálculos realizados para obtener este parámetro.

1.2. Obtención de la presión vertical p_v

Para obtener este valor de presión, al no tratarse de un fluido en estado líquido, ni de un depósito de almacenaje convencional, se ha recurrido a la norma UNE-EN 1991-4, que corresponde al Eurocódigo 1, parte 4: acciones estructurales en silos y depósitos. Para la aplicación de esta norma, ha sido necesario comprobar que se cumpliesen unos requisitos dimensionales, que son los siguientes:

- La relación de altura h_b (véase imagen 38) y el diámetro debe ser menor que 10 (para este caso, es $2060/800$ dando un resultado de 2,575, menor que 10).
- La altura total del depósito no debe exceder los 100 metros (para el depósito tampoco lo hace, ya que tiene 2,06 metros de altura).
- El diámetro del depósito debe ser inferior a 60 metros (también se cumple este requisito, ya que el depósito tiene 0,8 metros de diámetro).

Todos los requisitos mencionados anteriormente se cumplen, por lo tanto, la norma es de aplicación.

Aclaración: para los cálculos elaborados se ha realizado una aproximación, y se ha tomado el carbón en polvo, por sus similares características al catalizador (véase anexo I para la justificación). También se ha trabajado en el supuesto de que el depósito trabaja en lleno total, aunque actualmente no se sobrepasan más de dos tercios de su altura. Esto se hace para facilitar los cálculos y para ponerse del lado de la seguridad, ya que no se sabe a

ciencia cierta si el proceso va a sufrir alguna modificación en el futuro y puede utilizarse el depósito en su capacidad máxima.

1.2.1. Determinación del tipo de tolva

En primer lugar, se debe determinar el tipo de tolva del silo de la instalación, ya que la norma ofrece diferentes métodos de cálculo para los distintos tipos de tolvas. Las tolvas pueden ser:

- Fondo plano: aquel cuya inclinación respecto a la horizontal debe ser menor de 5°
- Tolvas agudas: Son todas aquellas que satisfacen el siguiente criterio:

$$\tan \beta < \frac{1 - K}{2\mu_h} \quad (1)$$

donde:

K es el valor característico del coeficiente de presiones laterales en paredes verticales (obtenido de la tabla E1 del anexo E de la norma citada).

β es el semi-ángulo del vértice de la tolva (obtenido del plano de la instalación).

μ_h es el valor característico inferior del coeficiente de rozamiento con la pared de la tolva (obtenido de la figura 6.1 de la norma).

- Tolvas aplanadas: Son aquellas que no pueden clasificarse en ninguno de los dos grupos anteriores.

Para el caso de la instalación objeto de este proyecto, se tiene la siguiente geometría del depósito:

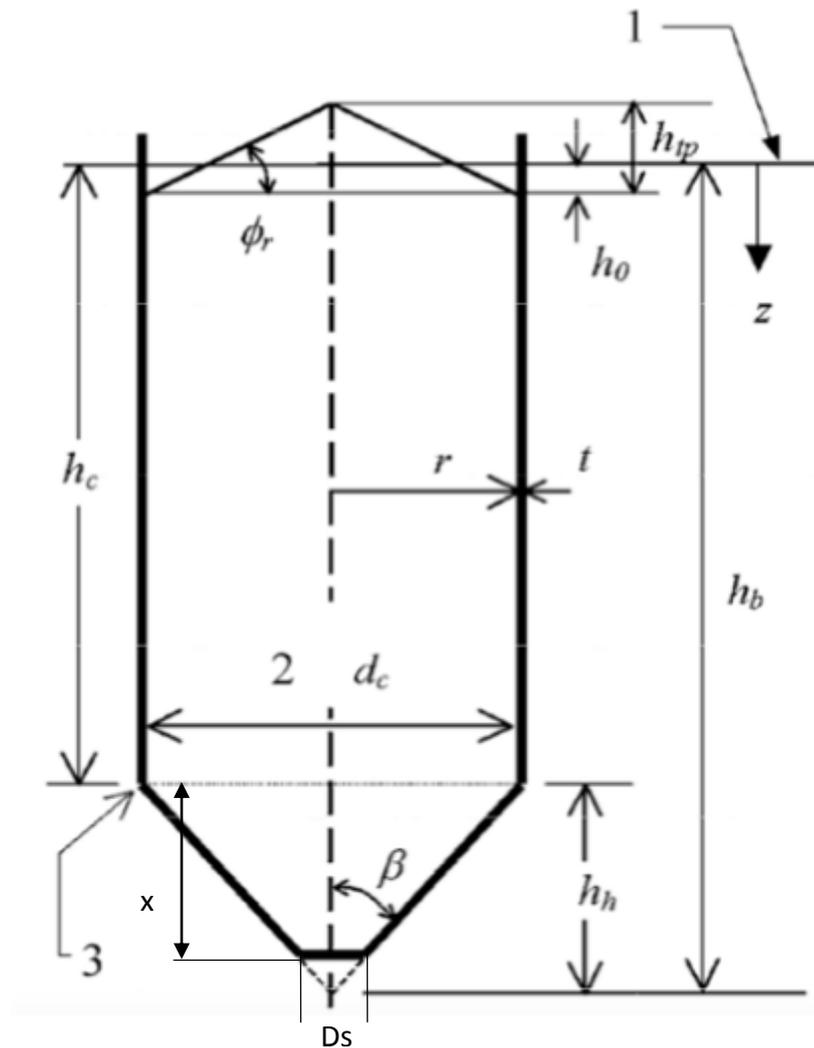


Imagen 38: Esquema general de la geometría de un silo.

Se desconoce el ángulo β de inclinación de la tolva, pero se conocen otros datos (extraídos del plano adjunto del equipo) que, por trigonometría, permiten obtener este ángulo de inclinación. Los datos que se conocen son:

- d_c : diámetro del depósito (800 mm en nuestro caso).
- x : distancia entre la zona de transición (indicada con el número 3), y la boca de salida del depósito (que en este caso es 860 mm).
- D_s : diámetro de la boca de salida del depósito (que en nuestro caso es 324,9 mm).
- Zona 3: Línea de transición. Separa la zona cilíndrica de la zona cónica de la tolva.

Con estos datos, ya se puede obtener el ángulo de inclinación:

$$\beta = \arctan\left(\frac{\frac{d_c - D_s}{2}}{x}\right);$$

$$\beta = \arctan\left(\frac{\frac{800 - 324,9}{2}}{860}\right);$$

$$[\beta = 15,44^\circ]$$

Para obtener el parámetro K, acudimos a la tabla de la norma:

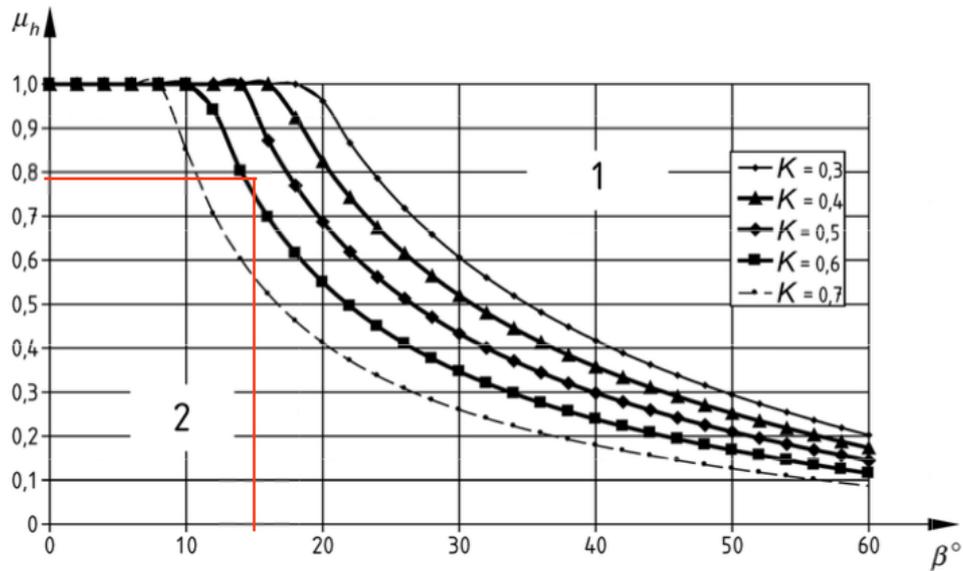
1

Tipo de sólido disgregado ^{a,c}	Peso específico ^b		Ángulo de talud natural ^d		Ángulo de rozamiento interno ^e			Coeficiente de presiones laterales ^f		Coeficiente de rozamiento con la pared ^g				Coeficiente de referencia del sólido para cargas concentradas ^h
	γ		ϕ		ϕ			K		μ ($\mu = \tan\phi_s$)				
	Inferior	Superior	Medio		Medio	Medio	Medio	Tipo de pared D1	Tipo de pared D2	Tipo de pared D3	Medio			
	kN/m ³	kN/m ³	grados	grados	Coeficiente	Coeficiente	Coeficiente	Coeficiente	Coeficiente	Coeficiente	Coeficiente	Coeficiente		
Material por defecto ^a	6,0	22,0	40	35	1,3	0,50	1,5	0,32	0,39	0,50	1,40	1,0		
Áridos	17,0	18,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,39	0,49	0,59	1,12	0,4		
Aluminio	10,0	12,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,46	0,51	1,07	0,5		
Mezcla de piensos	5,0	6,0	39	36	1,08	0,45	1,10	0,22	0,30	0,43	1,28	1,0		
Piensos en pellets	6,5	8,0	37	35	1,06	0,47	1,07	0,23	0,28	0,37	1,20	0,7		
Cebada ^g	7,0	8,0	31	28	1,14	0,59	1,11	0,24	0,33	0,48	1,16	0,5		
Cemento	13,0	16,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,46	0,51	1,07	0,5		
Clinker de cemento ^h	15,0	18,0	47	40	1,20	0,38	1,31	0,46	0,56	0,62	1,07	0,7		
Carbón ^g	7,0	10,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,44	0,49	0,59	1,12	0,6		
Carbón en polvo ^g	6,0	8,0	34	27	1,26	0,58	1,20	0,41	0,51	0,56	1,07	0,5		
Coque	6,5	8,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,49	0,54	0,59	1,12	0,6		

Tabla 9: Extracto de la tabla del anexo E de la norma citada.

De ella se extrae que el parámetro K, para el carbón en polvo, es K=0,58.

Con los valores de K y β ya obtenidos, podemos acudir a la siguiente gráfica que aparece en la norma para la obtención del parámetro μ_h .



Gráfica 1: Figura 6.1 de la norma para la obtención del parámetro μ_h .

Se ha tomado un valor aproximado de $\mu_h \approx 0,78$.

Una vez obtenido el valor de los tres parámetros, es cuestión de acudir a la expresión (1) y sustituir:

$$\tan 15,44 < \frac{1 - 0,58}{2 \cdot 0,78};$$

$$\text{¿} 0,2762 < 0,2692? \text{ NO}$$

Como no se cumple la igualdad anterior, ya se sabe que no se tiene tolva aguda. Además, se sabe de antemano que no se tiene tolva plana, ya que el ángulo de inclinación de la tolva respecto de la horizontal no es menor a 5° , por lo tanto, se tiene una **tolva aplanada**.

1.2.2. Determinación de la esbeltez del silo

Para el cálculo de la presión vertical, también se necesita conocer cuál es el tipo de silo, ya que para los distintos tipos, existen diferentes métodos de cálculo. Según la norma, los silos pueden ser de estos tipos:

- Silos esbeltos, en los que $2,0 < h_c/d_c$.
- Silos de esbeltez media, en los que $1,0 < h_c/d_c < 2,0$.
- Silos poco esbeltos, en los que $0,4 < h_c/d_c < 1,0$.
- Silos granero, en los que el fondo es plano y $h_c/d_c < 0,4$.

Donde h_c es la altura desde la línea de transición hasta la superficie equivalente (véase imagen 38), y d_c es el diámetro del depósito.

Para este proyecto, se han obtenido estas dimensiones del plano adjunto del equipo, y se tiene que:

$$\frac{h_c}{d_c} = \frac{850}{800} = 1,0625;$$

$$1 < \frac{h_c}{d_c} < 2;$$

Según la clasificación que hace la norma, se tiene que el depósito objeto de este proyecto es un **silo de esbeltez media**.

1.2.3. Obtención de la tensión vertical en la zona de transición (p_{vt})

1.2.3.1. Coeficiente de rozamiento efectivo

En primer lugar, se debe calcular el coeficiente de rozamiento. Según la norma, para una tolva aplanada, se tiene que el rozamiento con la pared no está totalmente movilizado. Debería determinarse el coeficiente de rozamiento con la pared efectivo según la siguiente expresión:

$$\mu_{heff} = \frac{(1 - K)}{2 \tan \beta} \quad (2)$$

donde

K es el valor característico inferior del coeficiente de presiones obtenido en el epígrafe anterior.

β es el semi-ángulo del vértice de la tolva.

Acudiendo a la expresión (2), se tiene:

$$\mu_{heff} = \frac{(1 - 0,58)}{2 \tan 15,44}$$
$$[\mu_{heff} = 0,7603]$$

1.2.3.2. Profundidad característica de Janssen

Para el cálculo de la profundidad característica de Janssen, la norma ofrece la siguiente expresión:

$$z_0 = \frac{1}{K \mu} \frac{A}{U} \quad (3)$$

donde:

- K** es el valor característico inferior del coeficiente de presiones laterales, extraído anteriormente de la tabla X de la norma y cuyo valor es 0,58.
- μ** es el valor característico del coeficiente de rozamiento con la pared del silo para una pared vertical (este valor se extrae de la tabla X anteriormente citada).
- A** es el área de la sección transversal del silo.
- U** es el perímetro interior del silo.

De la expresión (3), se conoce el valor de K, que es 0,58. Para la obtención del parámetro μ , la tabla X de la norma nos redirige a otra tabla donde se hace una clasificación del tipo de pared del depósito. La tabla es la que sigue:

Categoría	Título descriptivo	Materiales de la pared típicos
D1	Rozamiento bajo clasificado como "Deslizante"	Acero inoxidable laminado en frío Acero inoxidable pulido Superficie con un revestimiento para bajo rozamiento Aluminio pulido Polietileno de peso molecular ultraelevado ^a
D2	Rozamiento moderado clasificado como "Liso"	Acero dulce liso (construcción soldada o atomillada) Acero inoxidable terminado con fresa Acero al carbono galvanizado Aluminio oxidado Superficie con un revestimiento para resistencia frente a la corrosión o el desgaste abrasivo
D3	Rozamiento elevado clasificado como "Rugoso"	Hormigón encofrado, hormigón enfoscado u hormigón envejecido Acero al carbono envejecido (oxidado) Acero resistente a la abrasión Piezas cerámicas
D4	Irregular	Paredes onduladas horizontalmente Chapa nervada con nervios horizontales Paredes especiales con grandes anomalías
<small>NOTA Los títulos descriptivos de esta tabla se dan en términos de rozamiento más que de rugosidad porque hay una mala correlación entre las medidas de la rugosidad y la medida del rozamiento con la pared entre un sólido granular deslizante y la superficie.</small>		
<small>^a Se debería considerar cuidadosamente en estos casos el efecto de la rugosidad de las partículas que se incrustan dentro de la superficie.</small>		

Tabla 10: Clasificación del tipo de pared del depósito.

De los datos del fabricante, se sabe que el material del depósito es acero al carbono. Dado su estado de oxidación, se decide clasificar al depósito en la categoría D3 de la tabla

anterior. De esta manera, se puede volver a acudir a la tabla X, y se obtiene que el coeficiente μ tiene un valor de 0,56.

Del plano del equipo, se conoce el diámetro del depósito (850 mm) y su espesor (6 mm), por lo que no resulta difícil obtener ambos parámetros:

$$A = \frac{\pi D_{ext}^2}{4} = \frac{\pi 850^2}{4};$$

$$[A = 567450,1731 \text{ mm}^2]$$

$$U = \pi d_{int} = \pi 838;$$

$$[U = 2632,6546 \text{ mm}]$$

Acudiendo a la expresión (3), se tiene:

$$z_0 = \frac{1}{K \mu} \frac{A}{U} = \frac{1}{0,58 \cdot 0,56} \frac{567450,1731}{2632,6546};$$

$$[z_0 = 663,6170 \text{ mm}]$$

1.2.3.3. Profundidad bajo la superficie equivalente

Este parámetro expresa la profundidad del punto más bajo de la pared que no está en contacto con el sólido almacenado (véase imagen 38). La norma dicta que para un silo de sección circular de radio r , llenado simétricamente (significa que la entrada de material está situada de tal forma que este, al caer dentro del depósito, forma un montículo cónico centrado en el depósito), debe calcularse como:

$$h_0 = \frac{r}{3} \tan \phi_r \quad (4)$$

donde:

r es el radio del depósito

ϕ_r es el ángulo de talud natural del sólido, que se puede extraer de la tabla X que se adjunta anteriormente.

Acudiendo a la expresión (4), se tiene:

$$h_0 = \frac{800/2}{3} \tan 34 ;$$

$$[h_0 = 89,9345 \text{ mm}]$$

1.2.3.4. Potencia en el cálculo de presiones

Este término viene designado en la norma por la letra "n". Se tiene que destacar que este término es genérico, y no tiene una expresión única, cada procedimiento de cálculo de cada tipo de silo utiliza una expresión diferente de este coeficiente. Para este proyecto, se van a utilizar dos expresiones diferentes de este parámetro. En este apartado en concreto, la expresión de este término viene dado por la siguiente ecuación:

$$n = -(1 + \tan \phi_r) \left(1 - \frac{h_0}{z_0} \right) \quad (5)$$

De esta expresión ya se conocen todos los términos, por lo tanto, se puede sustituir para obtener el parámetro "n":

$$n = -(1 + \tan 34) \left(1 - \frac{89,9345}{663,6170}\right);$$

$$[n = -1,447]$$

1.2.3.5. Profundidad para la evaluación de la tensión en silos de esbeltez media

Este término se utiliza para la evaluación de la tensión vertical que genera el sólido en el interior del silo. Viene dado, según la norma, por la siguiente expresión:

$$z_v = h_0 - \frac{1}{(n + 1)} \left(z_0 - h_0 - \frac{(h_c + z_0 - 2 h_0)^{n+1}}{(z_0 - h_0)^n} \right) \quad (6)$$

De la expresión anterior, se conocen todos los términos, ya que se han calculado en los apartados anteriores, por lo tanto, solo queda sustituirlos en la expresión 6.

$$z_v = 89,93 - \frac{1}{(-1,4476 + 1)} \left(663,617 - 89,93 - \frac{(850 + 663,716 - 2 \cdot 89,93)^{-1,4476+1}}{(663,716 - 89,93)^{-1,4476}} \right)$$

$$[z_v = 495,79 \text{ mm}]$$

1.2.3.6. Cálculo de la tensión vertical en zona de transición

Para obtener el término que interesa, primero se debe calcular la tensión vertical después del llenado (p_{vf}). Según la norma, la expresión a utilizar es la siguiente:

$$p_{vf} = \gamma z_v \quad (7)$$

donde:

- γ es el valor característico superior del peso específico del sólido disgregado.
- z_v es la altura calculada en el epígrafe 1.2.3.5.

Como ya se conocen todos los valores, solo queda sustituirlos en la expresión 7.

$$p_{vf} = 8 \cdot 0,4958;$$

$$\left[p_{vf} = 3,9664 \text{ KN/m}^2 \right]$$

Conociendo el valor de p_{vf} , ya solo queda obtener el valor de p_{vft} . Para ello, se recurre a la siguiente ecuación de la norma:

$$p_{vft} = C_b p_{vf} \quad (8)$$

donde:

- p_{vf} es el término calculado en el paso anterior.
- C_b es un coeficiente de mayoración a determinar según la norma.

La elección del coeficiente de mayoración depende de la clase de evaluación de la acción (que se recoge en una tabla de la norma), y de la susceptibilidad a bloqueo mecánico del sólido disgregado. Para el caso de este proyecto, unos de los fallos que se pretende solucionar es el bloqueo mecánico o apelmazamiento del producto, por lo tanto, se determina que el catalizador es susceptible de bloqueo mecánico. Solo queda comprobar la clase de evaluación. Para ello, acudimos a la siguiente tabla ofrecida por la norma:

Clase de evaluación de acción	Descripción
Clase de evaluación de acción 3	Silos de capacidad mayor de 10 000 toneladas Silos de capacidad mayor de 1 000 toneladas en las que puede producirse cualquiera de las siguientes situaciones de cálculo: a) descarga excéntrica con $e_0/d_c > 0,25$ [véase la figura 1.1 b)] b) silo poco esbelto con excentricidad en la superficie superior $e/d_c > 0,25$
Clase de evaluación de acción 2	Todos los silos cubiertos por esta norma y que no tengan ubicación en otra clase
Clase de evaluación de acción 1	Silos con capacidad menor de 100 toneladas

Tabla 11: Descripción de la clase de evaluación.

Como se puede ver en la tabla anterior, estamos ante una clase de evaluación de acción 1, ya que el depósito tiene una capacidad mucho menor de 100 toneladas.

Según la norma, si se tiene susceptibilidad a bloqueo mecánico, y se está en una clase de evaluación de acción 1, el valor que adopta el coeficiente de mayoración es $C_b=1,6$.

Ya solo queda acudir a la expresión 8 para determinar la tensión vertical en la zona de transición p_{vft} .

$$p_{vft} = 1,6 \cdot 3,9664;$$

$$\left[p_{vft} = 6,34 \text{ KN/m}^2 \right]$$

1.2.4. Obtención de la presión vertical p_v por el método de la norma

La ley de presiones verticales es una ecuación que dicta la norma, donde se puede obtener la presión vertical que se tiene en función de la altura del sólido. La ecuación tiene la siguiente forma:

$$p_v = \left(\frac{\gamma h_h}{n-1} \right) \left\{ \left(\frac{x}{h_h} \right) - \left(\frac{x}{h_h} \right)^n \right\} + p_{vft} \left(\frac{x}{h_h} \right)^n \quad (9)$$

siendo:

$$n = S (1 - b) \mu_h \cot(\beta) \quad (10)$$

donde:

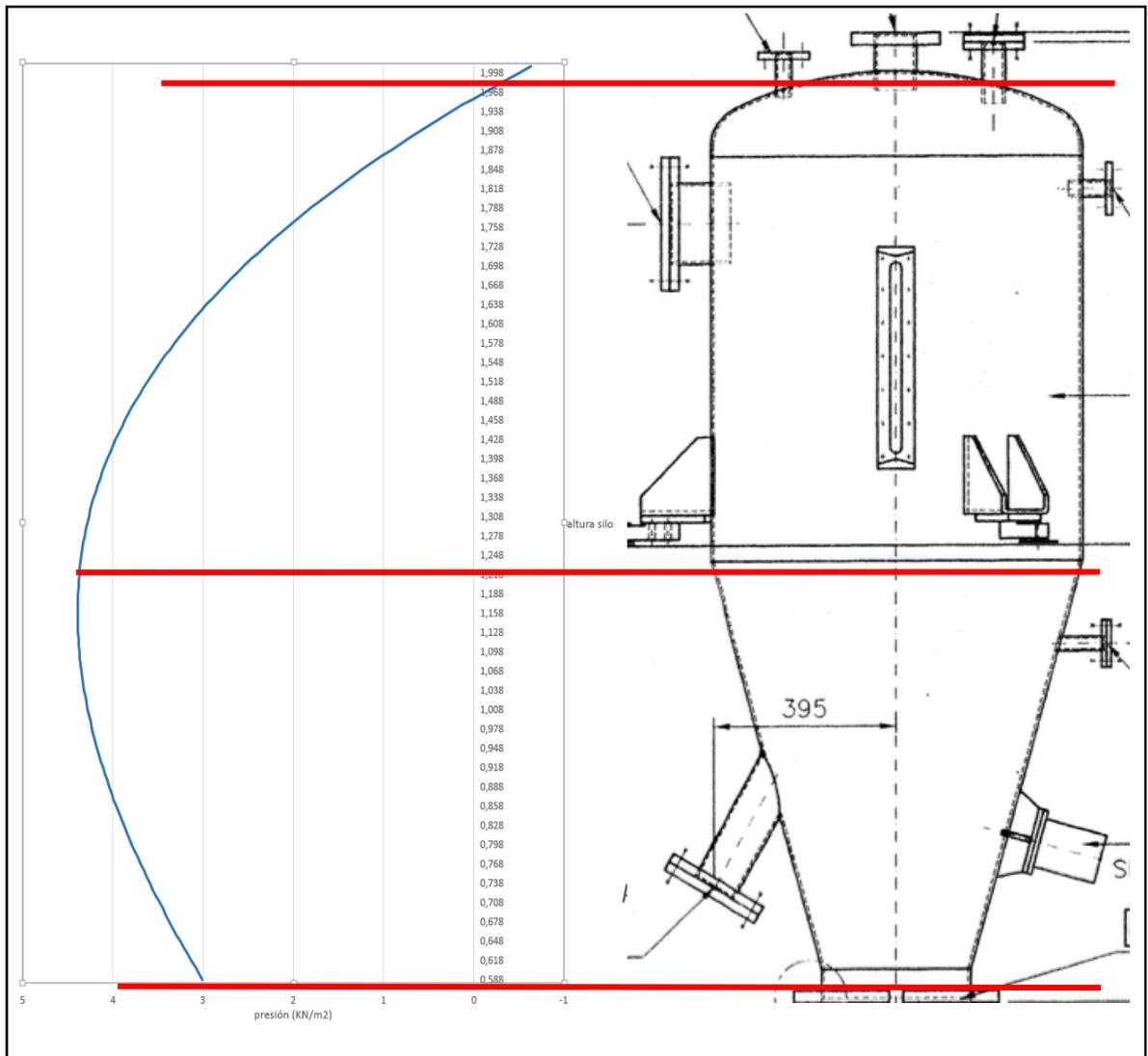
- γ es el valor característico superior del peso específico obtenido en apartados anteriores.
- h_h es la altura desde el vértice de la tolva hasta la zona de transición (véase imagen 38).
- x es la coordenada vertical por encima del vértice de la tolva (véase imagen 38).
- S Término que toma el valor de $S=2$ para tolvas cónicas según la norma.
- b Coeficiente empírico que según la norma, adopta un valor de $b=0,2$.
- μ_h es el valor característico inferior del coeficiente de rozamiento con la pared de la tolva (obtenido en apartados anteriores).
- β es el semi-ángulo que forma la tolva con la vertical (véase imagen X).

Se conocen todos los valores, por lo tanto, acudimos en primer lugar a la expresión 10:

$$n = 2 (1 - 0,2) 0,56 \frac{1}{\tan(15,44)};$$

$$[n = 3,244]$$

Ya se tiene todo para sustituir en la expresión 9. Como es una ecuación variable respecto de x , se ha decidido introducir los datos en una hoja de Excel para graficarlos. El resultado es el que sigue:



En el gráfico anterior se puede observar que el comportamiento de la presión en función de la altura es lógico: la presión en la zona de transición es máxima, ya que también lo es su área. En la boca de descarga, se tiene una presión relativamente cercana a la máxima, y a medida que se va aumentando la altura, la presión se va haciendo cero, ya que comienza a haber menos columna de sólido disgregado. Obviamente, a partir de la altura máxima de llenado, que se estimó en unos 1,5 metros desde la boca de descarga, la presión comienza a ser negativa, puesto que la ecuación de la ley de presiones tiene es válida para cualquier altura.

De esta manera, se puede concluir que la presión en el fondo del silo adopta un valor de **$P=3 \text{ KN/m}^2$** .

Para respaldar estos cálculos, se ha decidido aplicar el método de *Janssen*, que se explicará en el siguiente apartado.

1.2.5. Obtención de la presión vertical p_v por el método de Janssen

Fue el primer método para el cálculo de silos en ser desarrollado. En 1895, *H. A. Janssen* estudió las presiones estáticas debido al material almacenado en silos. Su teoría se basa en el equilibrio de una sección diferencial del silo con el material en reposo. Con este análisis consiguió derivar la expresión para la presión vertical del material, la presión lateral y la fuerza de fricción en la pared del silo. Su método es fácil de llevar a cabo, no es preciso el uso de ordenador para determinar estas fuerzas. Es también uno de los métodos más empleados para el análisis de estas fuerzas y está recomendado por la mayoría de las normativas vigentes para el cálculo de silos.

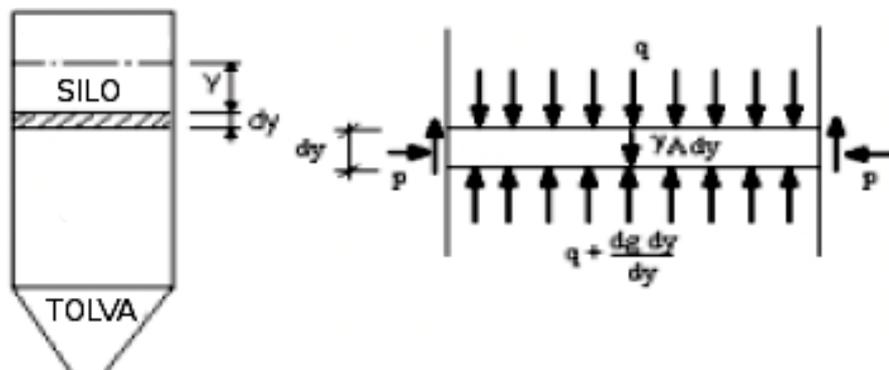


Imagen 40: Esquema de la sección diferencial del método de Janssen.

Las expresiones a las que llegó Janssen son las siguientes:

$$q = \gamma Y_0 \left(1 - e^{-\frac{y}{Y_0}} \right) \quad (11)$$

siendo:

$$Y_0 = \frac{D}{4 \mu' K} \quad (12)$$

donde:

- γ es la densidad aparente, obtenida en el método anterior.
- y es la profundidad medida desde la superficie del material almacenado (nótese que en el método anterior, la coordenada se mide desde el fondo del depósito, y no desde la superficie).
- D es el diámetro del silo.
- μ' es el coeficiente de rozamiento con las paredes de la tolva.

K es el valor característico inferior del coeficiente de presiones laterales, obtenido de la norma.

Se conocen todos los datos, ya que se han obtenido en el método anterior. Se sustituye la expresión 12 en la 11, quedando de la siguiente manera:

$$q = \frac{\gamma D}{4 \mu' K} \left(1 - e^{-\frac{4 \gamma \mu' K}{D} y} \right)$$

Como es una expresión que varía en función de y , se decide introducirla en una hoja Excel, para así poder graficarla. Este es el resultado:

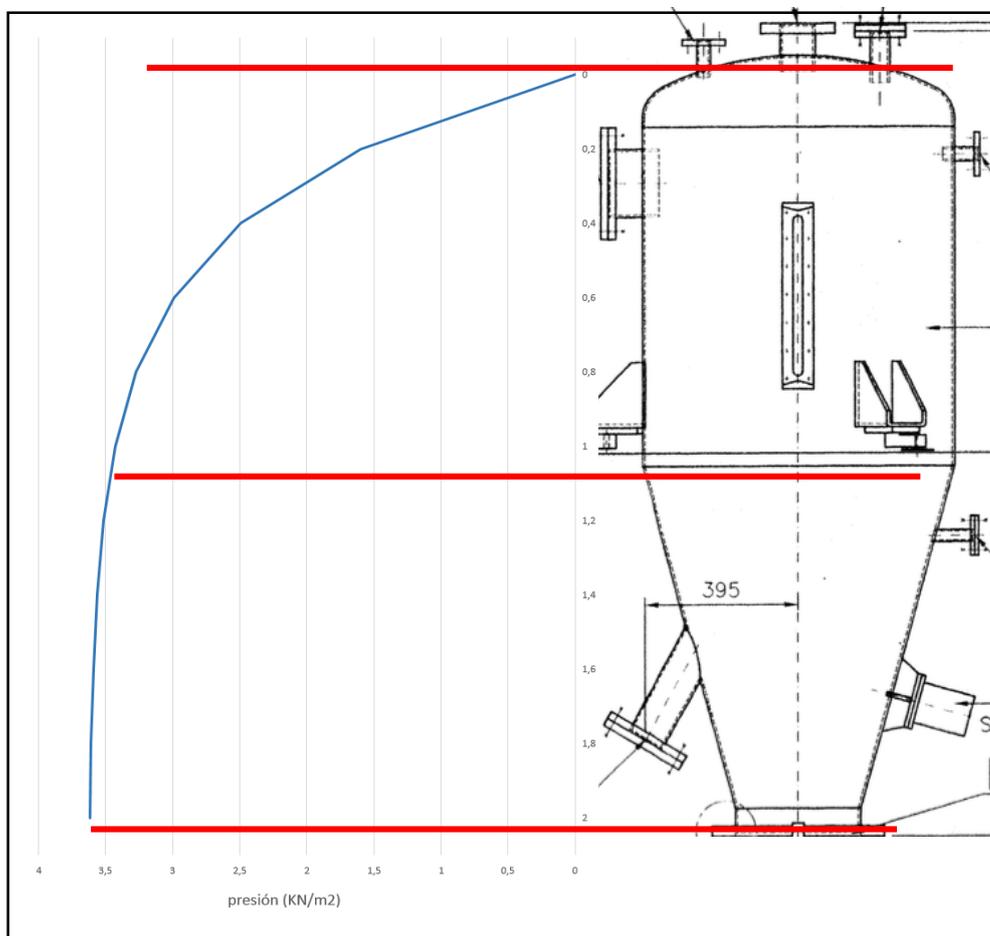


Imagen 41: Comparativa de la ley de presiones de Janssen con el depósito.

En el gráfico anterior se puede observar que el comportamiento de la presión en función de la altura es muy similar al comportamiento de la presión que ofrece la ecuación de la norma. Del gráfico se obtiene que la presión en el fondo del depósito adopta un valor de $P=3,62 \text{ KN/m}^2$.

1.2.6. Comparativa método de la norma vs método Janssen

En primer lugar, se mostrarán ambos gráficos.

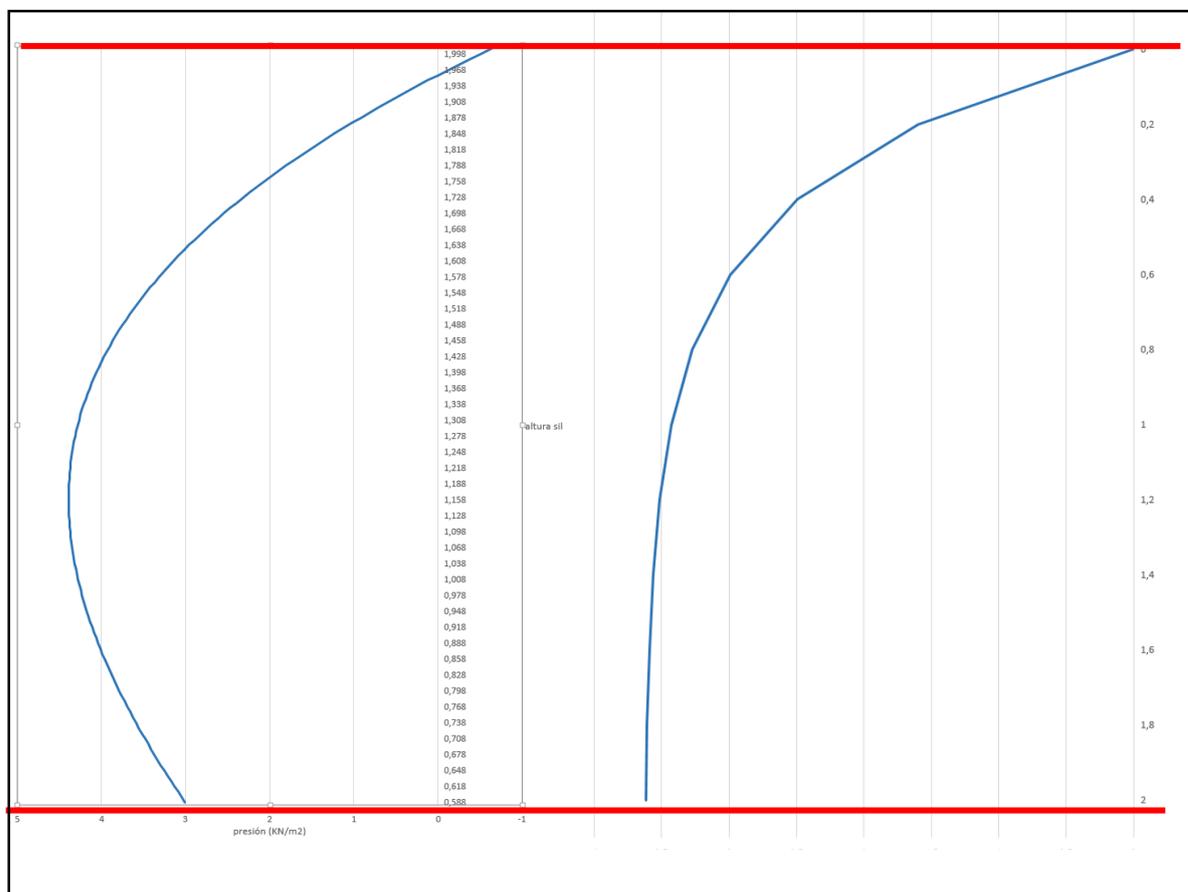


Imagen 42: Comparativa de las gráficas de ambos métodos.

Como se puede observar en la ilustración anterior, el comportamiento de ambas curvas es muy parecido. En la de la izquierda, que es la del método *Janssen*, se puede ver que no se tiene en cuenta la variación de presión que aparece en la zona de transición, y la presión que se obtiene en el fondo del depósito es ligeramente mayor que el método de la norma, por lo tanto, es más conservador. Esto puede deberse a la antigüedad de este método y al desconocimiento de la ciencia que envuelve a los materiales pulverulentos.

Por otro lado, en el método de la norma, sí que se observa la variación de presión que aparece en la zona de transición, aunque la presión que se obtiene en el fondo es ligeramente menor que en el método de *Janssen*.

Nótese que la escala del eje de coordenadas es diferente en ambos métodos ya que cada uno de ellos utiliza una referencia distinta para el cálculo de presiones. Esto no afecta para nada en el cálculo, de hecho, se obtienen valores muy similares.

1.3. Conclusión

Para estar del lado de la seguridad, como valor final de la p_v para la elección del automatismo, se adoptará el valor final obtenido con el método de *Janssen*, que varía poco del método de la norma y permite ser más conservador.

$$p_v=3,62 \text{ KN/m}^2$$

Esta es la presión positiva que el material produce sobre la válvula, pero no es la única a la que se encuentra sometida. También se debe conocer la presión negativa o de vacío que sufre durante la carga de los bidones. Según los datos de fabricante de la bomba de vacío, la presión de aspiración es de 600 mmHg, o lo que es lo mismo, unos 80 KN/m². Esto supone que la válvula estará sometida a un diferencial de presión máxima de 83,62 KN/m², o lo que es lo mismo, 0,8362 bares (unidades que solicita el fabricante de válvulas).

Por lo tanto, como conclusión final, se tomará **1 bar** como valor de presión, valor del que se informará al fabricante para que pueda proponer la oferta del automatismo.

2. DIMENSIONADO DE LA LÍNEA DE RECIRCULACIÓN DE ÉSTER

2.1. Introducción

En este apartado se pretende realizar el dimensionamiento de la línea de recirculación de éster hacia el venteo, seleccionando sus diámetros comerciales. Se utilizará el clásico método de las ecuaciones de *Colebrock-White*, y el ábaco de *Moody*. Se establecerá un rango de diámetros dentro del cual se pueda seleccionar uno que asegure una presión suficiente a la entrada del venteo.

2.2. Situación de la línea

En primer lugar, se ha procedido a establecer la situación de la línea de recirculación. Para ello, se ha acudido a planta para ver la posición de los elementos que existen actualmente, para elegir una distribución adecuada. Conociendo la posición donde se realizará el picaje (donde se tiene una presión de 4 kg/cm²) y la posición donde se descargará el material, se puede dibujar un diagrama isométrico de la posición final, el cual se puede ver a continuación:

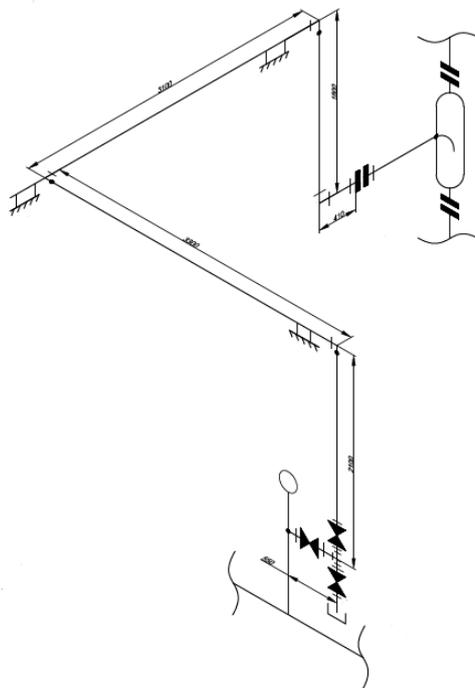


Imagen 43: Situación final de la línea desatascante.

En el documento “planos” se puede ver de manera detallada las características de la línea.

2.3. Dimensionado de la línea

El siguiente de los pasos es conocer los parámetros de operación y diseño necesarios para la nueva línea, así como la presión que se necesita en el punto final de la línea. Los datos que se van a necesitar son:

- Velocidad de circulación de éster.
- Caudal requerido en el final de la línea.
- Presión de descarga final.

2.3.1. Velocidad de circulación de éster

Con la instalación de aporte de éster al depósito de mezcla que se tiene actualmente, se puede calcular un rango de velocidades para tomar como estándar. Para ello, se va a utilizar la ecuación clásica del caudal:

$$Q = v A \quad (1)$$

donde:

- v** Velocidad del fluido.
- A** Sección de paso del fluido.
- Q** Es el caudal circulante.

Se conoce que el flujo de material que fluye a través de la tubería es de 2000 Kg/h, o lo que es lo mismo, 2,028 m³/h. También se sabe que la tubería es de 2 ¼”, que son 57,15mm. El espesor de la misma es de 3,45mm, por lo que se tiene un diámetro interno de aproximadamente 50mm. Con estos datos, se puede acudir a la expresión (1) y obtener la velocidad de paso del fluido:

$$\left[v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi \frac{\phi^2}{4}} = \frac{2,028}{\pi \frac{0,05^2}{4}} = 0,287 \text{ m/s} \right]$$

Con la velocidad determinada, se establece finalmente un rango de velocidades de trabajo comprendido entre **0,2 m/s y 0,5 m/s**. Este rango de velocidades se tomará de aquí en adelante como rango estándar de circulación de éster por una tubería.

2.3.2. Presión final de descarga

Como se trata de una línea desatascante en el venteo de un depósito, simplemente se necesita tener una presión positiva mayor que la atmosférica.

2.3.3. Cálculo de diámetros máximo y mínimo

Anteriormente se ha comentado que la entrada de material al depósito de mezcla es de 2000 Kg/h, por lo tanto, esta es la necesidad de material en todo momento. Para determinar el diámetro de las nuevas líneas, se necesita conocer el caudal circulante por las mismas. Para ello, se requiere conocer cuanta cantidad de producto se va a recircular por unidad de tiempo. Es necesario mantener la entrada total de éster constante, es decir, que tanto por la zona de alimentación como por la boca desatascadora que se desea instalar, deben suministrarse 2000 Kg/h. Por lo tanto, finalmente se decide derivar 50 kg/h para la zona desatascante, y mantener 1950 Kg/h por la zona de alimentación, de manera que la entrada final de producto es de 2000 Kg/h, y el flujo de alimentación principal se mantiene prácticamente invariable. Si transformamos esos 50 Kg/h a m³/s, se tiene:

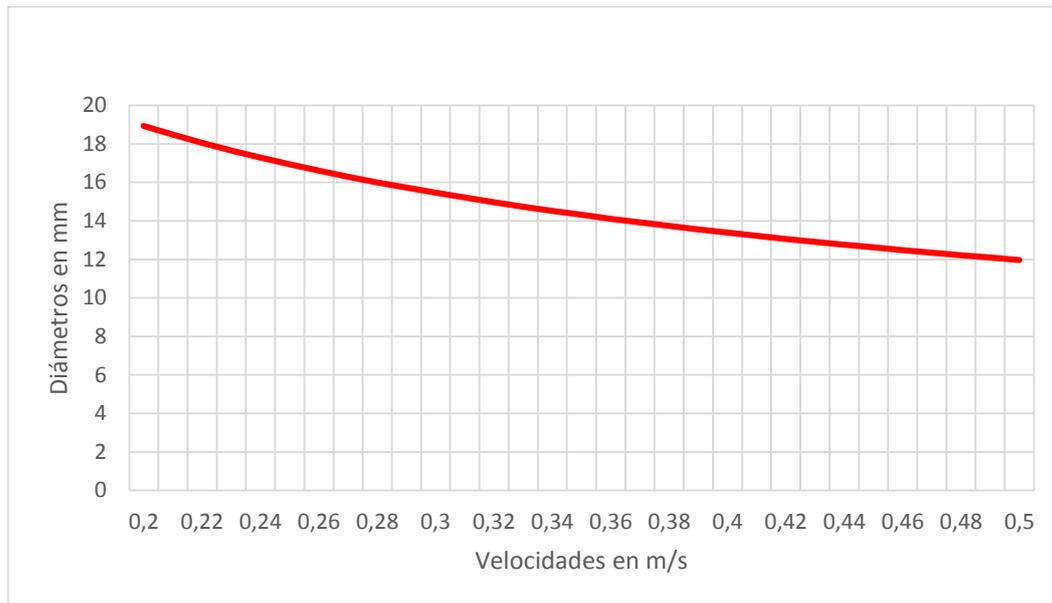
$$200 \left(\frac{Kg}{h} \right) \cdot \frac{1000(g)}{1 (Kg)} \cdot \frac{1 (cm^3)}{0,986 (g)} \cdot \frac{1 (m^3)}{10^6 (cm^3)} \cdot \frac{1 (h)}{3600 (s)} = 5,63 \cdot 10^{-5} m^3/s$$

Donde el número 0,986 (g) indica la densidad del éster, la cual se ha obtenido de la ficha de seguridad el producto obtenida de la base de datos de la empresa.

Conociendo el flujo de material que se requiere, así como el rango de velocidades de trabajo estándar calculados anteriormente, se puede calcular un rango de diámetros máximo y mínimo utilizando la expresión (1), que son:

$$v_{m\acute{a}x}: 0,5 = \frac{5,63 \cdot 10^{-5}}{\pi \cdot R^2} ; R_{min} = 5,987 \cdot 10^{-3}m$$

$$v_{m\acute{i}n}: 0,2 = \frac{5,63 \cdot 10^{-5}}{\pi \cdot R^2} ; R_{m\acute{a}x} = 9,466 \cdot 10^{-3}m$$



Gráfica 2: Representación del diámetro respecto de la velocidad.

Finalmente, se determina un valor de **18,94mm** para el diámetro máximo, y un valor de **11,97mm** para el diámetro mínimo.

2.3.4. Cálculo de las pérdidas de carga por fricción

Para el cálculo de las pérdidas de presión por fricción, se va a utilizar del ábaco de Moody, el cual permite determinar el factor de fricción en función del número de Reynolds y la rugosidad de la tubería. Una vez obtenido este factor, se calcularán las pérdidas mediante la fórmula de Darcy-Weisbach, cuya expresión es la siguiente:

$$\Delta P = f \frac{L_t v^2}{D 2 g} = \frac{8 f L_t}{\pi^2 g D^5} Q^2 \quad (2)$$

donde:

- f** Es el factor de fricción de la tubería.
- L_t** Es la longitud total de la línea.
- v** Es la velocidad de circulación del fluido.
- D** Es el diámetro interno de la tubería.
- g** Es la aceleración de la gravedad
- Q** Es el caudal circulante.

En primer lugar, determinamos la longitud total, sumando la longitud establecida para cada una de las líneas (véase imagen 43). De esta manera, se tiene:

$$L_t = 550 + 2100 + 3300 + 3100 + 1800 + 410 + 450;$$

$$[L_t = 10,71 \text{ m}]$$

En segundo lugar, se precisa obtener el factor de fricción. Para ello, se debe calcular el número de *Reynolds* con la siguiente expresión:

$$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} \quad (3)$$

donde:

- D** Es el diámetro interno de la tubería.
- v** Es la velocidad del líquido circulante.
- ρ** Es la densidad del fluido.
- μ** Es la viscosidad dinámica.

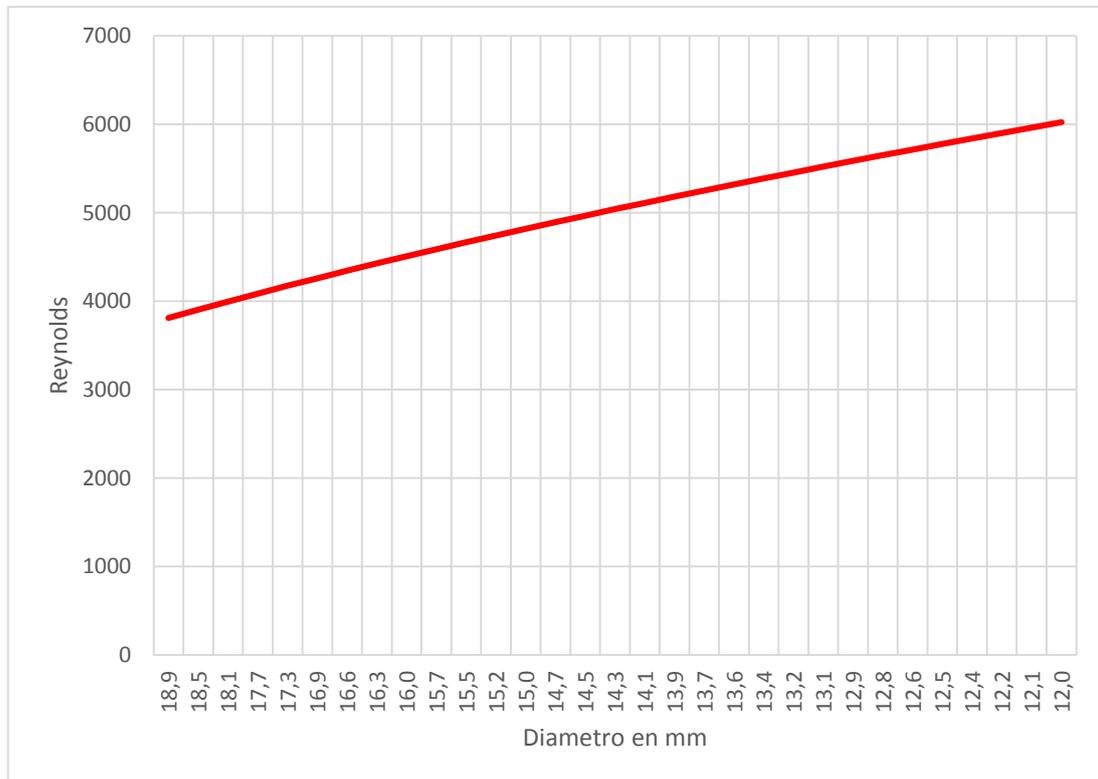
Acudiendo a la ficha de seguridad de la empresa, podemos obtener algunas características del fluido.

9 Propiedades físicas y químicas	
· Datos generales	
Forma:	Líquido
Color:	Amarillento
Olor:	Aromático
· Cambio de estado	
Punto de fusión /campo de fusión:	<-3°C
Punto de ebullición /campo de ebullición:	260°C
Punto de solidificación:	<-3°C
· Punto de inflamación:	142°C
· Peligro de explosión:	El producto no es explosivo.
· Presión de vapor a 250°C:	0,248 Kg/cm ²
· Densidad a 105°C:	0,986 (H ₂ O=1) g/cm ³
· Solubilidad en / miscibilidad con agua:	Poco soluble.
· Viscosidad:	
Dinámica a 250°C:	9,8 cp

Imagen 44: Tabla de propiedades del éster.

En la anterior imagen, se puede observar que la densidad del fluido a la temperatura indicada (que es la temperatura de trabajo) es de 0,986 g/cm³, y que la viscosidad dinámica

es de 9,8 cp (centipoise), o lo que es lo mismo, 0,098 g/cm·s. De esta manera, conociendo los diámetros máximo y mínimo, se puede establecer un rango de valores del número de *Reynolds* sustituyendo en la expresión (3), de manera que se tiene:



Gráfica 3: Representación del número de *Reynolds* en función del diámetro del tubo.

La gráfica anterior nos permite determinar si se tiene flujo en régimen laminar o turbulento. Si el número de *Reynolds* se encuentra limitado entre 2100 y 10000 (como es el caso), se tiene flujo en régimen de transición. Cuanto más cerca del límite inferior se esté, menor probabilidad hay de aparición de flujo turbulento, el cual puede reducir la vida de la línea. De esta manera, el rango de diámetros se reduce a un intervalo entre **16mm y 19mm**.

Con el número de *Reynolds* calculado solo queda obtener el valor de la rugosidad del acero inoxidable, que es el que se va a utilizar para las líneas. Para ello, se recurre a la siguiente tabla:

RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES				
Material	ε (mm)		Material	ε (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015		Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01		Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024		Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015		Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024		Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024		Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003		Hormigón	0,3-3,0

Tabla 12: Rugosidad absoluta para diferentes materiales.

De la anterior tabla se puede extraer que la rugosidad del acero está entre 0,03mm y 0,09mm. Así pues, se tomará el valor de 0,09, tratándose del más desfavorable. Con este valor de rugosidad, se calcula la rugosidad relativa de la tubería de la siguiente manera:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{D} \quad (4)$$

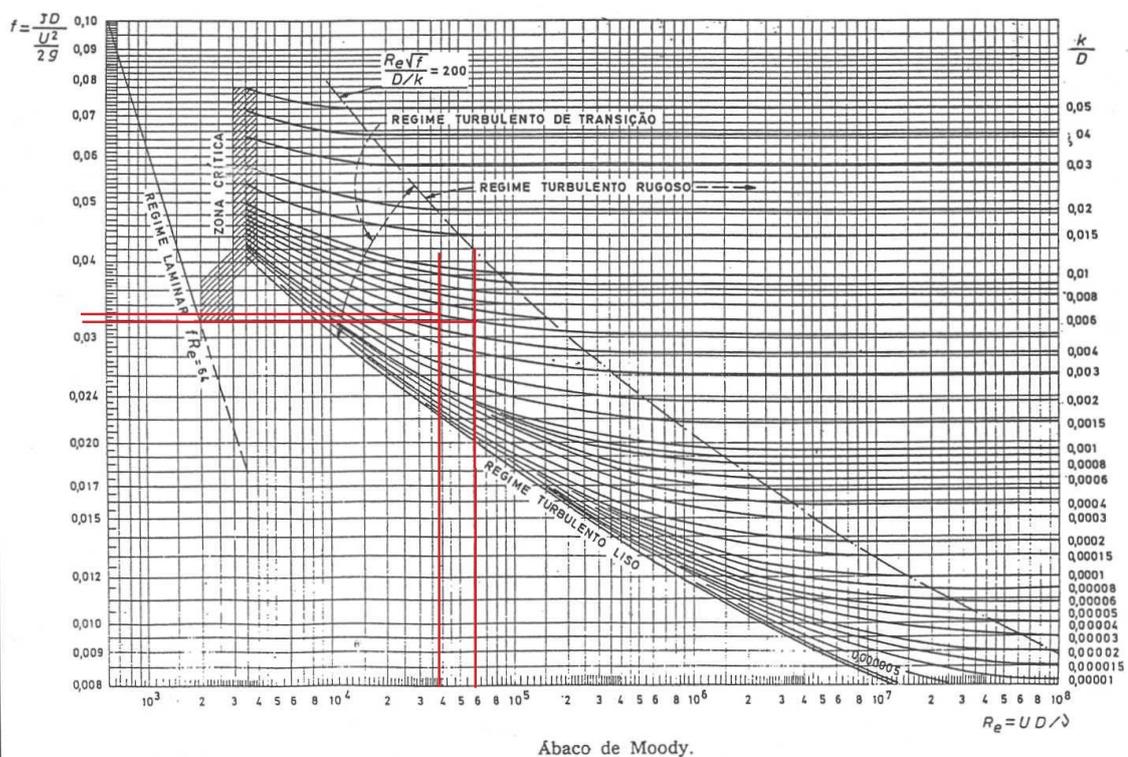
donde:

- ε Es la rugosidad absoluta obtenida de la tabla 4.
- D Es el diámetro de la tubería.

Como ya se conocen todos los datos, podemos acudir a la expresión (4). Para el diámetro, se utilizará el menor de todos los posibles, de manera que estemos en el caso más desfavorable. Así pues, se obtiene:

$$\left[\varepsilon_r = \frac{0,09}{17} = 0,0053 \right]$$

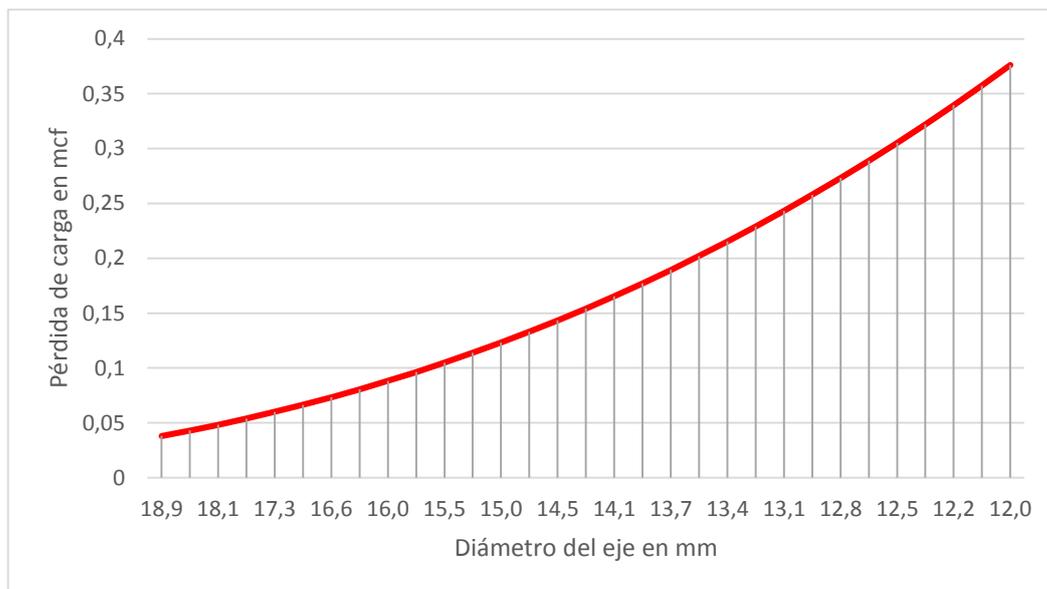
Llegados a este punto, se conocen todos los parámetros necesarios para obtener el factor de fricción. Dicho factor puede obtenerse de varias maneras. Una de ellas es utilizar el ábaco de *Moody*, que se trata de un método gráfico desarrollado a través de las ecuaciones de *Colebrock-White*, que era un método de cálculo complejo debido a la aparición de gran cantidad de términos y a la necesidad de realizar iteraciones, cosa que resta precisión. De esta manera, *Moody* desarrolló una gráfica de forma que se puede obtener el factor de fricción simplemente acudiendo a ella.



Gráfica 4: Ábaco de Moody.

Como se puede observar en la gráfica anterior, se tiene un rango de valores variable con el número de *Reynolds*. Para el dimensionado se tendrá en cuenta el valor mayor, que es más desfavorable. De esta manera, se adopta un valor para el factor de fricción de **f=0,033**.

Ya se conocen todos los valores para el cálculo de las pérdidas. Solo queda acudir a la expresión (2) y sustituir. Se realiza el cálculo en una hoja Excel para obtener las pérdidas en función de la velocidad del fluido y del diámetro del tubo (ya que se ha establecido anteriormente un rango de velocidades entre 0,2 y 0,5 m/s). La gráfica queda de la siguiente manera:



Gráfica 5: Representación de las pérdidas en función del diámetro.

De la gráfica anterior se puede extraer que las pérdidas máximas que se pueden dar tendrán un valor de **0,376 mcf**, para un diámetro mínimo de 19mm y una velocidad máxima de 0,5m/s.

2.3.5. Cálculo de las pérdidas de carga por elementos particulares

En último lugar, queda calcular las pérdidas de carga asociadas a los elementos particulares. Para ello, se recurre a la siguiente expresión:

$$\Delta P = K \frac{v^2}{2g} \quad (5)$$

donde:

- K Es el coeficiente de pérdidas asociado a un “accidente” determinado.
- v Es la velocidad del fluido.
- g Es la constante de gravitación universal.

Para el valor de la velocidad, se utilizará el valor más crítico, que es 0,5m/s (determinado en apartados anteriores). Para la obtención del valor de K, se recurre a la siguiente tabla:

VALORES DEL COEFICIENTE K EN PÉRDIDAS SINGULARES		
Accidente	K	L/D
Válvula esférica (totalmente abierta)	10	350
Válvula en ángulo recto (totalmente abierta)	5	175
Válvula de seguridad (totalmente abierta)	2,5	-
Válvula de retención (totalmente abierta)	2	135
Válvula de compuerta (totalmente abierta)	0,2	13
Válvula de compuerta (abierta 3/4)	1,15	35
Válvula de compuerta (abierta 1/2)	5,6	160
Válvula de compuerta (abierta 1/4)	24	900
Válvula de mariposa (totalmente abierta)	-	40
T por salida lateral	1,80	67
Codo a 90° de radio corto (con bridas)	0,90	32
Codo a 90° de radio normal (con bridas)	0,75	27
Codo a 90° de radio grande (con bridas)	0,60	20
Codo a 45° de radio corto (con bridas)	0,45	-
Codo a 45° de radio normal (con bridas)	0,40	-
Codo a 45° de radio grande (con bridas)	0,35	-

Tabla 13: Valor del coeficiente K respecto para cada elemento singular.

En la instalación diseñada (véase la imagen 43 de este capítulo o el anexo “planos”) se tiene:

- 2 válvulas de globo ($K=10$).
- 4 codos de 90° de radio corto ($K=0,9$).
- 1 T por salida lateral ($K=1,8$).

Con estos datos, solo queda acudir a la expresión (5) y sustituir los valores:

$$\Delta P = (2 \cdot 10 + 1 \cdot 1,8 + 4 \cdot 0,9) \frac{0,5^2}{2 \cdot 9,81} = 0,324 \text{ mcf}$$

De esta manera, ya se tienen las pérdidas asociadas a los diferentes elementos que conforman la línea, y adoptan un valor de **0,324mcf**.

2.4. Conclusión

En los apartados anteriores se han calculado las pérdidas de carga de la instalación. En el punto donde se pretende insertar la línea se tiene una presión positiva de 4kg/cm^2 , que equivale a 3,92 bares. Las pérdidas de carga totales vienen de la suma de las pérdidas por fricción y las pérdidas por elementos singulares, teniéndose un valor total de 0,7 mcf, o lo que es lo mismo, 0,07 bares. Por lo tanto, la presión que vendrá dada en la zona desatascante adopta un valor de:

$$P = 3,92 - 0,07;$$

$$[P = 3,85 \text{ bares}]$$

Como se puede observar, la presión permanece prácticamente invariable entre los dos puntos, por lo que se tomará un diámetro de 17mm. Esto implica que como solución final, se adoptará una **tubería de acero de ½" con Schedule 10 S**, cuyo diámetro exterior es de 21,3mm y su espesor es de 2,11mm, teniéndose así un diámetro interior de 17,08mm. El número de Reynolds para este diámetro está alrededor de 4000, cercano a 2100, lo que reduce la probabilidad de aparición de flujo turbulento. En la siguiente tabla se muestran los parámetros de trabajo que se tendrán.

Velocidad (m/s)	Diámetro interior (mm)	Pérdidas de carga (mcf)	espesor (mm)	DN (Pulgadas)	Material
0,24	17,08	0,06	2,11	½"	Acero 316

Tabla 14: Características finales de la tubería.

ANEXO III: ESTUDIO DEL NUEVO SISTEMA DE MEZCLA

ÍNDICE ANEXO III

1. OBJETIVO	135
2. GENERALIDADES	135
3. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS.....	136
3.1. Hélice de 3 aspas.....	137
3.1.1. Material de partida.....	137
3.1.2. Tecnología necesaria	138
3.1.3. Coste estimado de fabricación	138
3.1.4. Análisis de esfuerzos y desplazamientos	138
3.1.4.1. Análisis 1.....	139
3.1.4.2. Análisis 2.....	141
3.1.5. Ventajas e inconvenientes	143
3.2. Hélice de 2 aspas.....	144
3.2.1. Material de partida.....	144
3.2.2. Tecnología necesaria	145
3.2.3. Coste estimado de fabricación	145
3.2.4. Análisis de esfuerzos y desplazamientos	146
3.2.4.1. Análisis 1.....	146
3.2.4.2. Análisis 2.....	148
3.2.5. Ventajas e inconvenientes	150
4. COMPARATIVA ENTRE AMBAS SOLUCIONES	151
5. EJECUCIÓN DEL EJE	154
5.1. Introducción	154
5.2. Fabricación	155
5.2.1. Material de partida.....	155
5.2.2. Tecnología necesaria	155
5.2.3. Coste estimado de fabricación	155
5.2.4. Análisis de tensiones soportadas.	155
5.2.5. Planificación del proceso de fabricación.....	156

6.	CASQUILLO SEPARADOR.....	158
6.1.	Introducción	158
6.2.	Fabricación	159
7.	ORIFICIOS EN EL PLATO INFERIOR	160
7.1.	Introducción	160
7.2.	Fabricación	161

1. OBJETIVO

En el siguiente anexo se pretende explicar de manera detallada la selección y el proceso de fabricación del nuevo sistema de mezclado. En el estudio se analizarán varias alternativas, eligiendo la mejor o más óptima de ellas, en base a criterios de viabilidad técnica y económica.

2. GENERALIDADES

Como se ha comentado en la memoria del presente proyecto, la solución adoptada cuenta con una nueva hélice a media altura cuyo objetivo es optimizar el proceso de dosificación y mezcla del catalizador. Además, de manera complementaria, se decide ensanchar los orificios del plato inferior que queda por debajo de la hélice para dificultar el atasco de material, ya que el flujo de materia no depende de este elemento, y por lo tanto se puede modificar.

Para el nuevo sistema se proponen dos alternativas, las cuales cuentan con un nuevo eje más largo, un casquillo de apoyo y una hélice a media altura. El nuevo eje y el casquillo son genéricos para las tres alternativas, por lo que se explicará el proceso de obtención más adelante. La nueva geometría de la hélice solo es posible obtenerla en una máquina de control numérico o CNC, la cual no se encuentra disponible en el propio taller. Se decide contactar con un taller externo de confianza con el cual se ha trabajado más veces, para la elaboración de las geometrías más complejas.

Las diferentes alternativas difieren en la geometría de la nueva hélice, las cuales se explican a continuación.

3. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

Para la creación de la nueva hélice, se proponen dos alternativas, que son las siguientes:

- Hélice a media altura con 3 aspas.
- Hélice a media altura con 2 aspas (con la misma geometría con la que cuenta la actual).

Para cada una de las alternativas, se estudiarán aspectos como su comportamiento ante los posibles esfuerzos actuantes, el coste de fabricación y el volumen de material necesario y desperdiciado.

La simulación del comportamiento del elemento se ha realizado con el software de diseño y cálculo *Solidworks*. Para ello, se han realizado dos análisis estáticos para cada una de las alternativas, tomando diferentes condiciones de contorno en cada uno para tratar de imitar en la medida de lo posible el comportamiento real de la pieza. En realidad la pieza solamente va a estar sometida a los máximos esfuerzos en el momento de arranque del equipo (momento que se pasa de régimen estático a régimen dinámico), por ello se ha decidido ejecutar los análisis en régimen estático, para permanecer del lado de la seguridad.

Para el coste de fabricación, se ha contactado con varios talleres próximos al polígono El Serrallo, con los que se ha trabajado con anterioridad, y que cuentan con la tecnología necesaria para ejecutar la hélice. Se ha solicitado un presupuesto aproximado para realizar la comparación entre ambos sistemas.

3.1. Hélice de 3 aspas

El elemento tendría la siguiente forma:

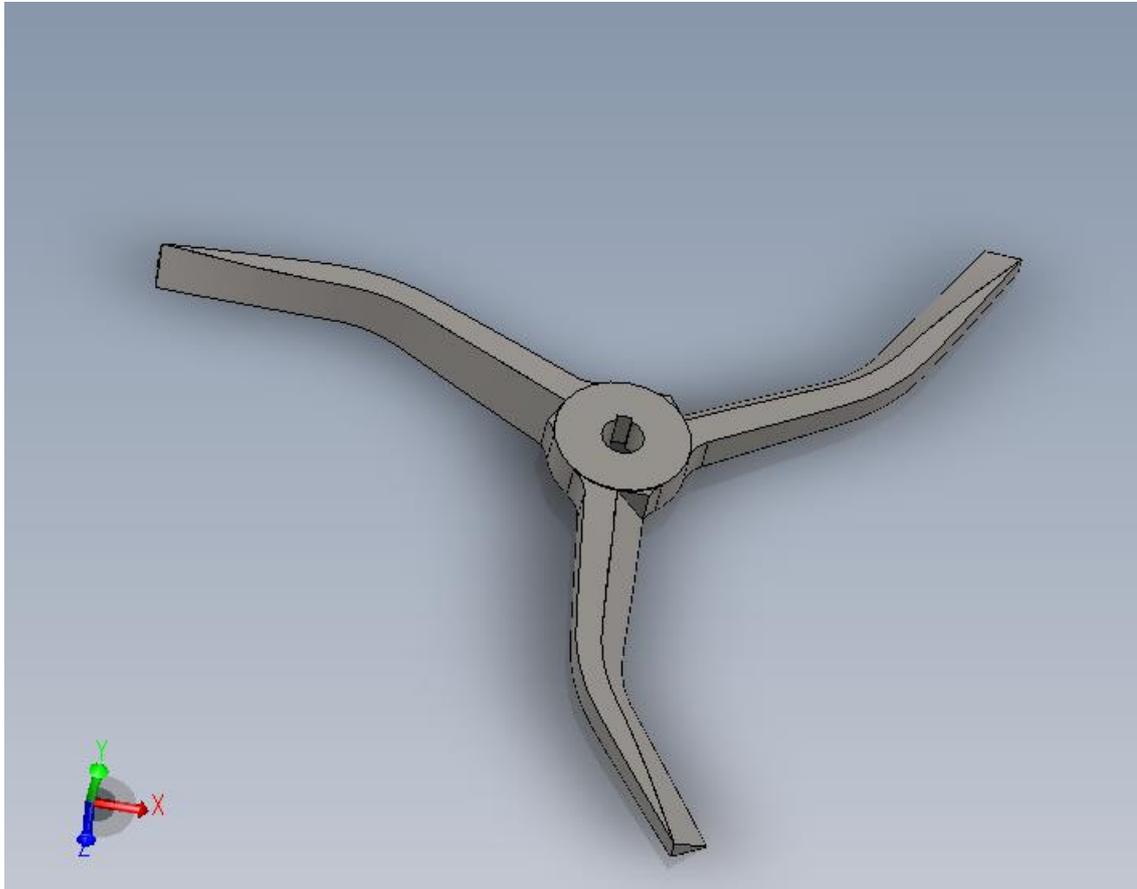


Imagen 45: Hélice de 3 aspas.

3.1.1. Material de partida

Para la fabricación de este elemento, sería necesario un tocho cilíndrico de partida con la siguiente geometría:

- D=480mm.
- e=24mm.

Con un cálculo sencillo, se puede obtener el volumen de material necesario:

$$V = \pi \frac{D^2}{4} e$$
$$V = \pi \frac{480^2}{4} 24$$

$$[V_{material} = 4,34 \text{ dm}^3]$$

El material a emplear debe ser acero 316 inoxidable por sus características frente al producto con el que va a estar en contacto (como bien se indica en el pliego de condiciones).

Con el programa de diseño *SolidWorks* se ha obtenido el volumen de la pieza, por lo tanto, resulta fácil calcular cuánto material se desperdiciaría.

$$V_{pieza} = 0,31 \text{ dm}^3$$

$$[V_{desperdiciado} = 4,34 - 0,31 = 4,03 \text{ dm}^3]$$

Este volumen desperdiciado supone un desperdicio del 92,95%, porcentaje muy elevado de malgasto.

Sabiendo que la densidad del acero inoxidable 316 es $\rho=7,96 \text{ g/cm}^3$, también se puede calcular el peso de la pieza.

$$[m = \rho V = 7,96 \cdot 310,1 = 2468,4g]$$

3.1.2. Tecnología necesaria

Para la obtención de la hélice de 3 aspas, serían necesarias operaciones de arranque de viruta de todos los tipos, como torneado, fresado, taladrado o brochado. Dada la dificultad de la geometría de la pieza, se hace necesaria una máquina por control numérico o CNC. La fabricación artesanal queda descartada ya que la dificultad que conlleva realizar la pieza es muy elevada, y de esta manera, se evita tener que realizarla en el taller propio, puesto que llevaría semanas terminarla.

3.1.3. Coste estimado de fabricación

Para la hélice de tres aspas, se ha conseguido un coste aproximado de unos 2.000 €.

3.1.4. Análisis de esfuerzos y desplazamientos

Como se ha comentado anteriormente, se han realizado dos análisis con diferentes condiciones de contorno, los cuales se muestran a continuación:

3.1.4.1. Análisis 1

Para este análisis se han aplicado las siguientes condiciones de contorno:

- Rodillo deslizante en la cara inferior del elemento, el clásico “carrito”, que restringe el desplazamiento en el eje vertical y el giro.
- Sujeción avanzada para caras cilíndricas, que simula el comportamiento del eje, y restringe los desplazamientos en el plano horizontal.
- Geometría fija en los extremos de cada aspa, el clásico empotramiento, el cual simula la restricción de movimiento que se genera en las aspas en el momento del arranque.
- Momento torsor en la parte cilíndrica de la pieza, que pretende simular el par transmitido desde el motor eléctrico hasta la pieza.

Las restricciones quedan de la siguiente manera:

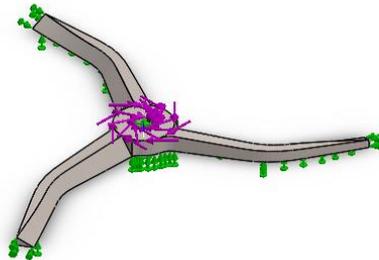


Imagen 46: Representación de las condiciones de contorno.

Con las condiciones de contorno ya definidas, solo queda crear el mallado para el cálculo, y ejecutar el análisis (cuanto más fino el mallado, más elementos se tienen y más precisión se consigue). Una vez ejecutado el análisis, se obtienen los siguientes resultados:

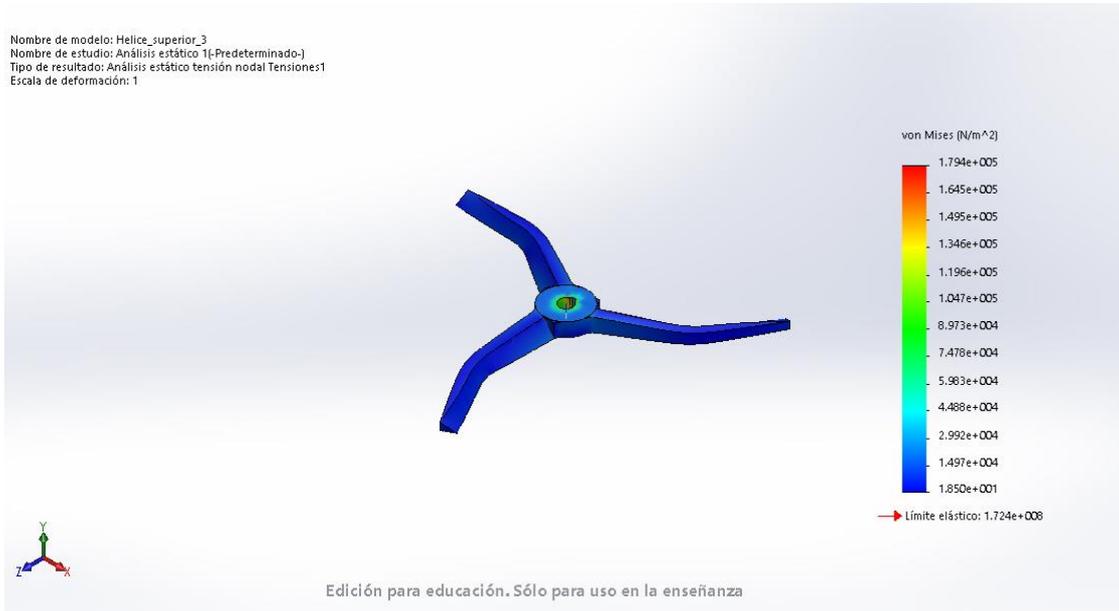


Imagen 47: Representación de la distribución de las tensiones de Von Mises.

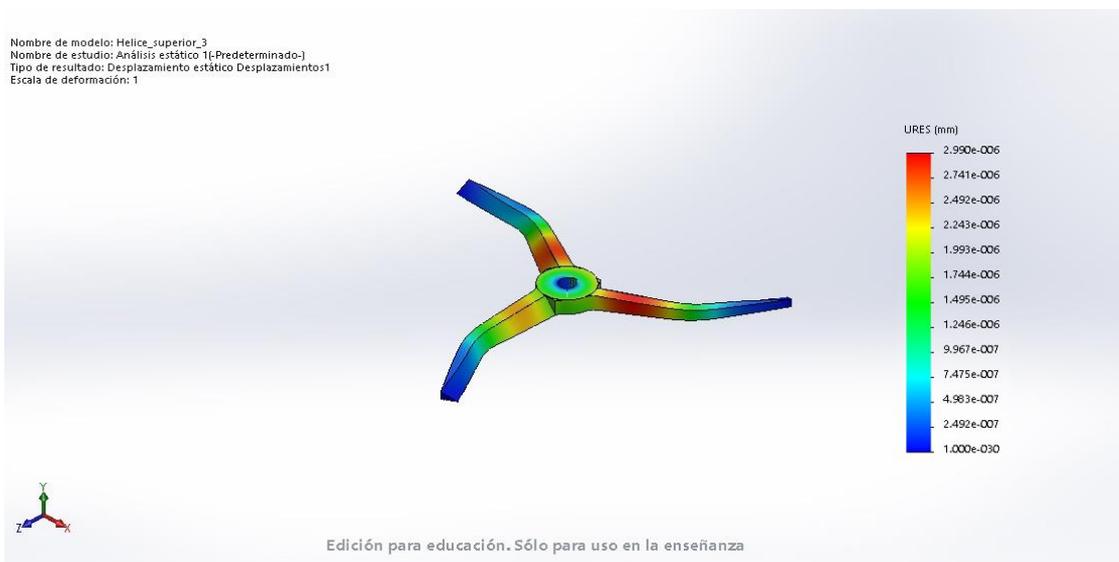


Imagen 48: Representación de los desplazamientos en la pieza.

En las imágenes anteriores se puede observar que la máxima tensión se producirá en la zona del chavetero, y que nunca se va a superar el límite elástico de la pieza. En cuanto a los desplazamientos, los máximos se tienen en la parte inicial de las palas.

3.1.4.2. Análisis 2

Para este segundo análisis, se han aplicado las siguientes condiciones de contorno:

- Rodillo deslizante en la cara inferior del elemento, el clásico “carrito”, que restringe el desplazamiento en el eje vertical y el giro.
- Sujeción avanzada para caras cilíndricas, que simula el comportamiento del eje, y restringe los desplazamientos en el plano horizontal.
- Geometría fija en la zona inclinada de cada aspa, donde se pretende simular la restricción de movimiento que se genera en las aspas en el momento del arranque.
- Momento torsor en la parte cilíndrica de la pieza, que pretende simular el par transmitido desde el motor eléctrico hasta la pieza.

Las restricciones quedan de la siguiente manera:

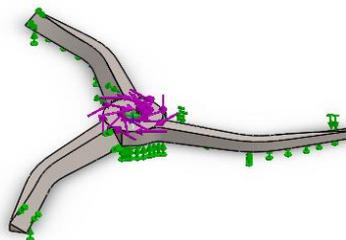


Imagen 49: Representación de las restricciones aplicadas.

De la misma manera que en el análisis 1, se procede a crear el mallado para el cálculo y a ejecutar el estudio, obteniéndose los siguientes resultados:

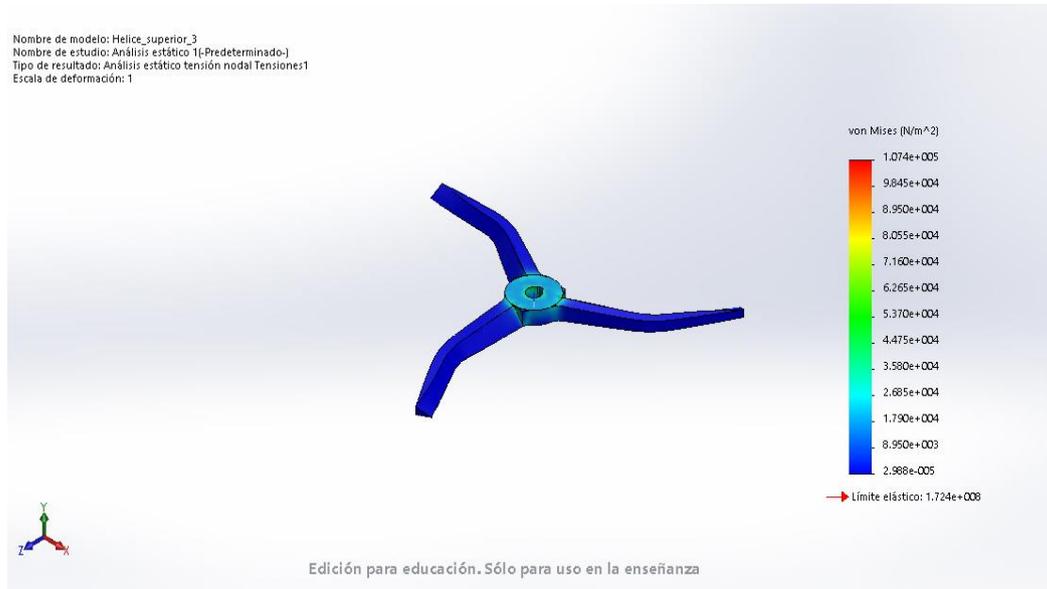


Imagen 50: Representación de la distribución de tensiones de Von Mises.

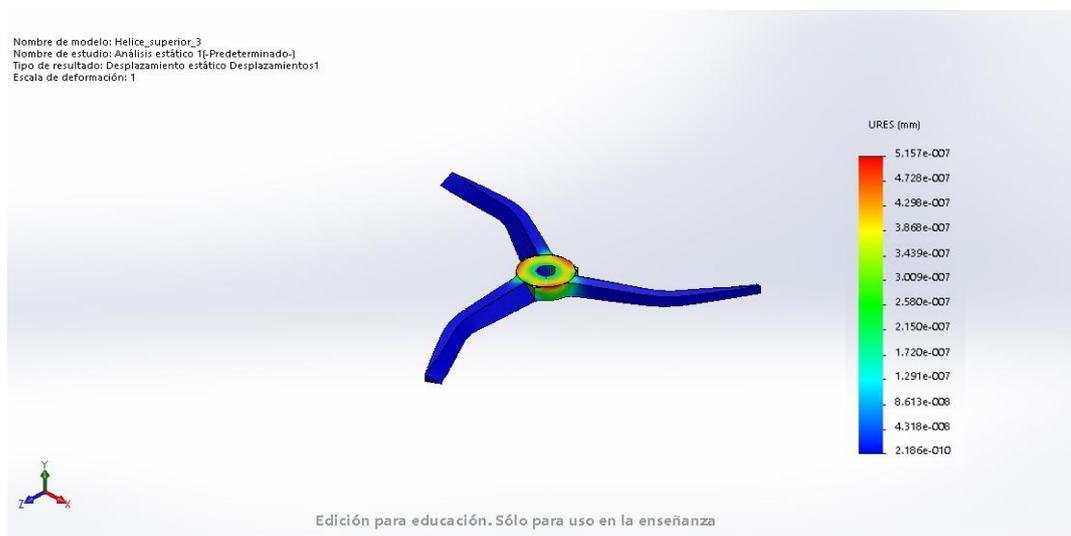


Imagen 51: Representación de los desplazamientos en la pieza.

Se puede observar que los valores obtenidos difieren de los obtenidos en el análisis 1, debido a la aplicación de diferentes condiciones de contorno. El comportamiento real de la pieza se encontrará en un término medio entre ambos análisis.

3.1.5. Ventajas e inconvenientes

Como principal ventaja, se tiene que la geometría con 3 aspas asegura que el proceso de agitación y dosificación será más óptimo que con una geometría de 2 aspas, y las aspas tendrían que soportar menos esfuerzo, ya que contarían con menos capa de material por delante en el momento del giro. En cuanto a inconvenientes, aparecen unos cuantos, como pueden ser:

- Coste elevado de fabricación, ya que se hace necesaria la petición a un taller externo que cuente con la tecnología necesaria comentada anteriormente.
- Se desperdicia demasiado material.
- Es probable que aumente el par necesario para mover la hélice de manera considerable, debido al aumento de peso.

3.2. Hélice de 2 aspas

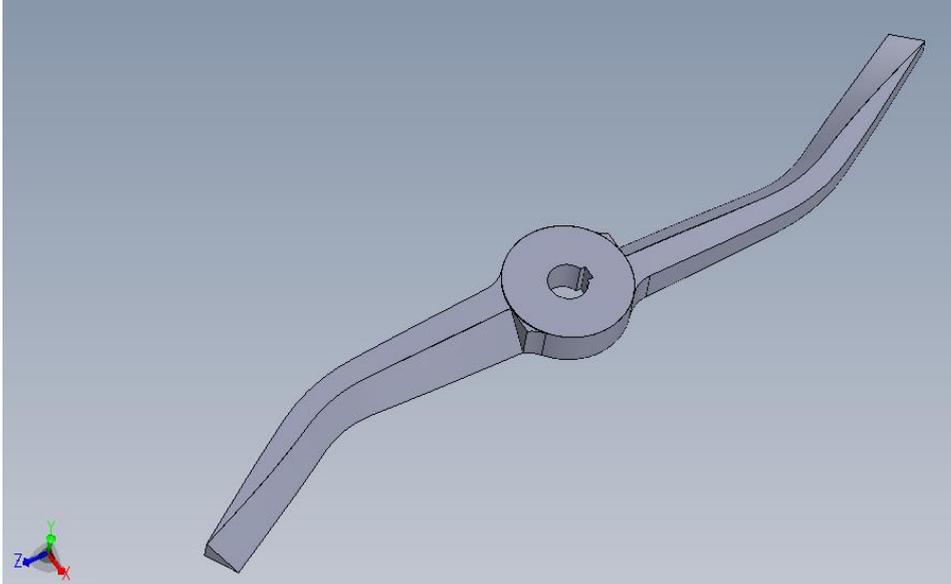


Imagen 52: Hélice de dos aspas.

3.2.1. Material de partida

En este caso se tiene un tocho prismático de dimensiones:

- $b=480\text{mm}$.
- $h=75\text{mm}$.
- $e=24\text{mm}$.

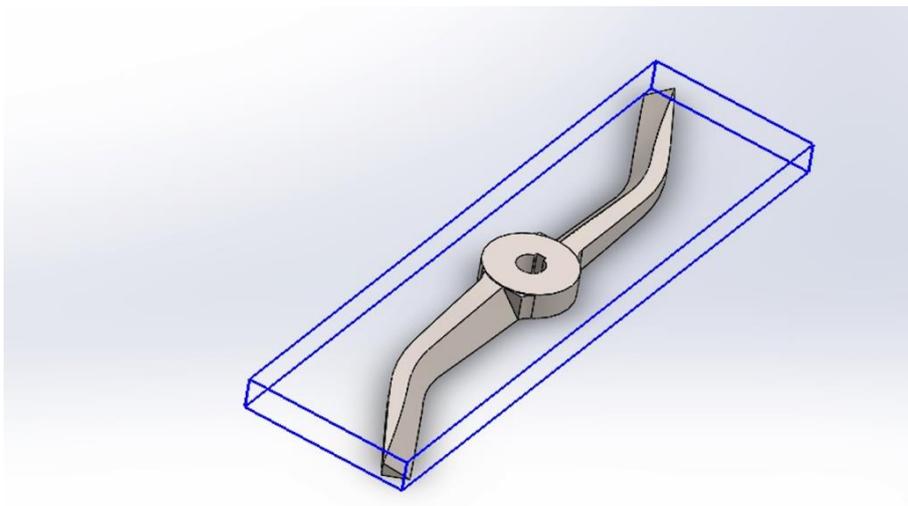


Imagen 53: Geometría del tocho de partida.

El volumen total de material en este caso será:

$$V = b \cdot h \cdot e$$

$$V = 480 \cdot 75 \cdot 24$$

$$[V_{material} = 0,86 \text{ dm}^3]$$

Para este caso también se va a utilizar acero inoxidable 316, por el mismo motivo que se ha comentado en el caso anterior. De la misma manera, se puede calcular el volumen de material desperdiciado y el peso de la pieza.

$$V_{pieza} = 0,23 \text{ dm}^3$$

$$[V_{desperdiciado} = 0,86 - 0,23 = 0,63 \text{ dm}^3]$$

Esto supone un volumen de desperdicio del 73,26%, que sigue siendo un volumen alto, pero ligeramente inferior que en el caso anterior.

También se puede calcular el peso de la misma manera que para el caso anterior:

$$[m = \rho V = 7,96 \cdot 230,1 = 1831,6 \text{ g}]$$

3.2.2. Tecnología necesaria

De la misma manera que en el caso anterior, se necesita una máquina CNC para poder ejecutar la pieza, con la diferencia de que solo se tienen 2 aspas.

3.2.3. Coste estimado de fabricación

De la misma manera que para la hélice de tres aspas, se ha conseguido de los talleres conocidos un presupuesto aproximado de unos 1.700 €.

3.2.4. Análisis de esfuerzos y desplazamientos

De la misma manera que para la hélice de tres aspas, se han realizado dos análisis en régimen estático, los cuales se muestran a continuación.

3.2.4.1. Análisis 1

Para este análisis se han aplicado las siguientes condiciones de contorno:

- Rodillo deslizante en la cara inferior del elemento, el clásico “carrito”, que restringe el desplazamiento en el eje vertical y el giro.
- Sujeción avanzada para caras cilíndricas, que simula el comportamiento del eje, y restringe los desplazamientos en el plano horizontal.
- Geometría fija en los extremos de cada aspa, el clásico empotramiento, el cual simula la restricción de movimiento que se genera en las aspas en el momento del arranque.
- Momento torsor en la parte cilíndrica de la pieza, que pretende simular el par transmitido desde el motor eléctrico hasta la pieza.

Las restricciones quedan de la siguiente manera:

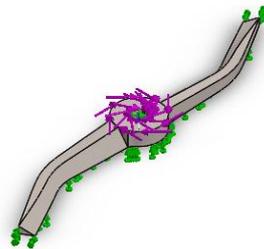


Imagen 54: Representación de las restricciones aplicadas.

Con el mallado realizado, se procede a realizar el estudio, obteniéndose los siguientes resultados:

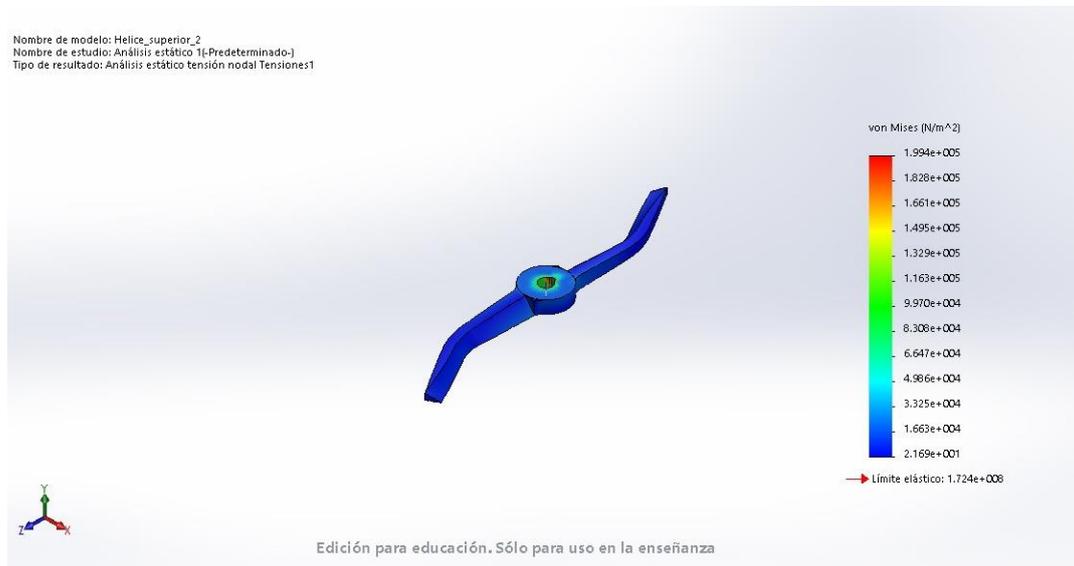


Imagen 55: Resultados de la distribución de las tensiones de Von Mises.

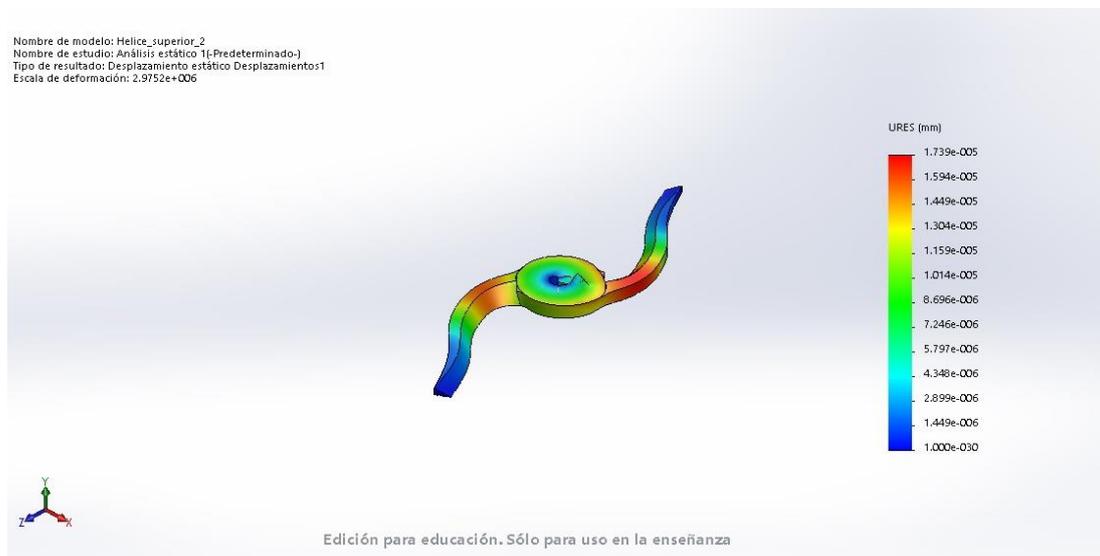


Imagen 56: Resultados de las deformaciones de la pieza.

Se puede observar en las imágenes que los valores obtenidos son bastante más altos que para el mismo análisis en la hélice de tres aspas. Esto se debe a que al contar con menos aspas, la cantidad de material que debe empujar cada una es mayor, y por este motivo se producen tensiones y deformaciones más elevadas.

3.2.4.2. Análisis 2

Para este segundo análisis, se han aplicado las siguientes condiciones de contorno:

- Rodillo deslizante en la cara inferior del elemento, el clásico “carrito”, que restringe el desplazamiento en el eje vertical y el giro.
- Sujeción avanzada para caras cilíndricas, que simula el comportamiento del eje, y restringe los desplazamientos en el plano horizontal.
- Geometría fija en la zona inclinada de cada aspa, donde se pretende simular la restricción de movimiento que se genera en las aspas en el momento del arranque.
- Momento torsor en la parte cilíndrica de la pieza, que pretende simular el par transmitido desde el motor eléctrico hasta la pieza.

Las restricciones quedan de la siguiente manera:

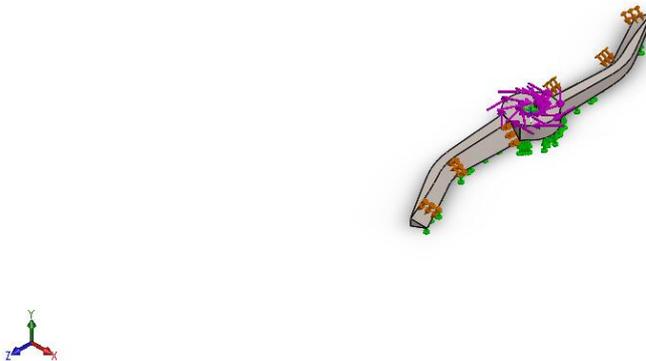


Imagen 57: Representación de las coacciones aplicadas a la pieza.

Después de realizar el mallado, se ha ejecutado el análisis, en el cual se han obtenido los siguientes resultados:

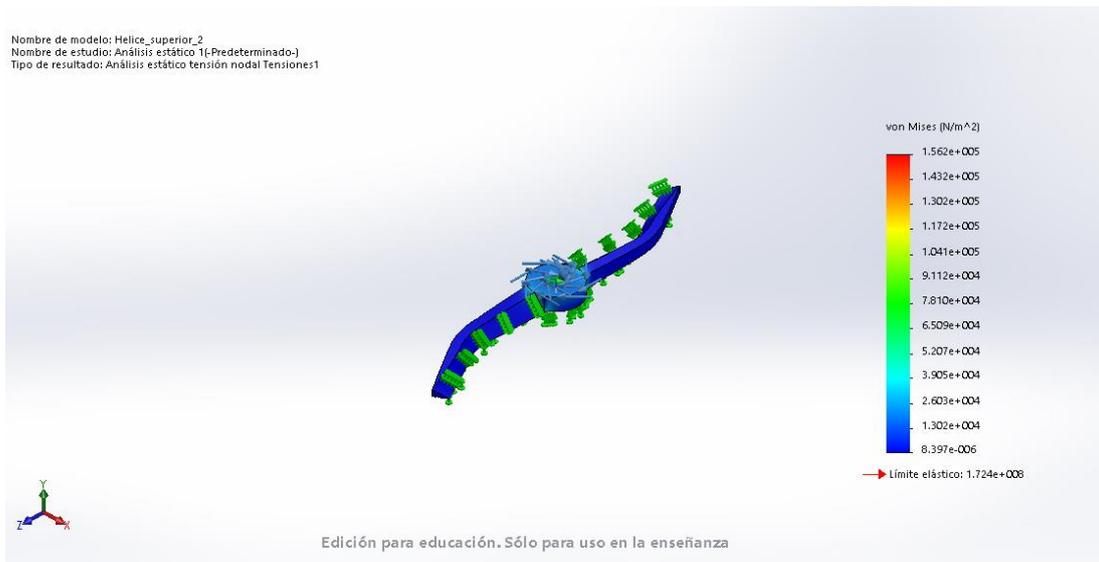


Imagen 58: Representación de la distribución de tensiones de Von Mises.

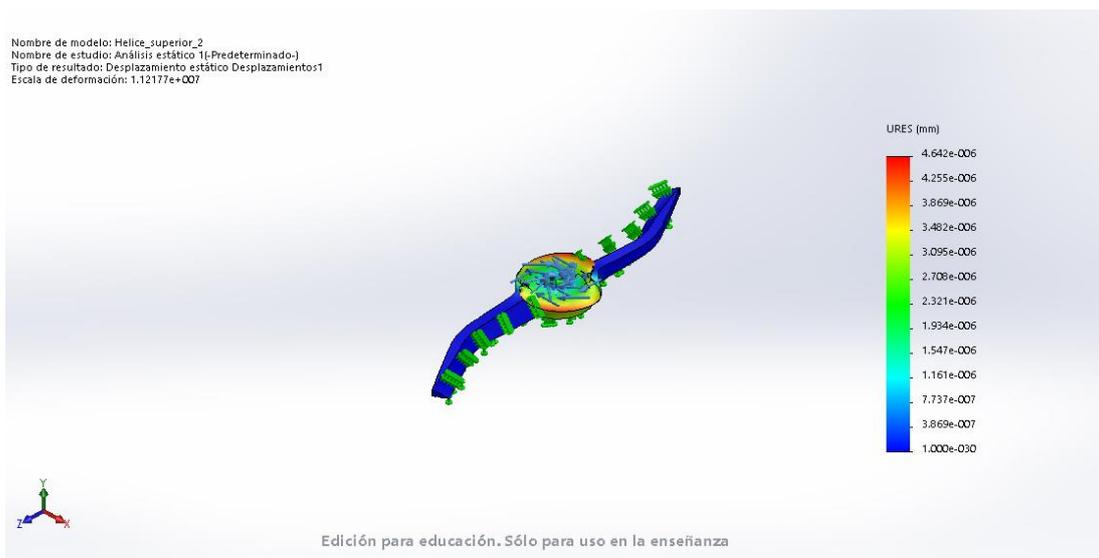


Imagen 59: Representación de los desplazamientos de la pieza.

De la misma manera que en los análisis realizados para la hélice de tres palas, se obtienen resultados diferentes entre los dos análisis, debido a la aplicación de diferentes restricciones.

3.2.5. Ventajas e inconvenientes

La principal ventaja, es que ya se cuenta con una hélice de las mismas características en el equipo. Ello significa que, se puede desmontar la que se tiene actualmente, y entregarla al taller externo para que se realice una réplica exacta. Otra de las ventajas es que se desperdicia bastante menos material, al ser una geometría más sencilla, lo que reduce el coste de fabricación. Como inconveniente, se tiene que puede ser una solución menos óptima que la anterior, ya que al contar con menos aspas, la capa de material a soportar es mayor, y se pueden tener deformaciones mayores, aunque la diferencia no sería excesiva.

4. COMPARATIVA ENTRE AMBAS SOLUCIONES

Para acometer la selección de la nueva hélice, se ha decidido realizar una comparativa de varios aspectos relevantes entre un diseño y el otro, de manera que se pueda seleccionar una solución óptima desde el punto de vista tanto técnico como económico.

Los aspectos que se desean comparar son los siguientes:

- Coste de fabricación: se decide pedir presupuestos a un taller externo para hacer la comparación entre ambos.
- Volumen de material desperdiciado: calculado en apartados anteriores.
- Facilidad de fabricación: Se analiza las ventajas o problemas encontrados para la fabricación de ambos elementos.
- Versatilidad: Capacidad de intercambio entre las piezas existentes en el sistema actual y la mejora introducida.
- Esfuerzos y deformaciones: mostradas con el análisis mediante *SolidWorks*.
- Grado de mejora del problema: eficacia en la dosificación y mezcla.

Para facilitar la comparativa, se muestran los aspectos anteriores en una tabla:

Elemento	Coste de fabricación (€)	Volumen desperdiciado (dm ³)	Facilidad de fabricación (%)	Versatilidad (%)	Esfuerzos (MPa)	Deformaciones (mm)	Mejora del problema (%)
Hélice dos aspas	1.700 €	0,63 (73%)	90%	100%	0,199	1,739x10 ⁻⁵	65%
Hélice tres aspas	2.000 €	4,04 (93%)	60%	0%	0,179	2,99x10 ⁻⁶	80%

Tabla 15: Aspectos analizados para cada solución.

Analizando la tabla anterior, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Aunque la diferencia de costes entre ambas soluciones no es muy elevada, se tiene que la hélice de tres aspas es más cara.
- La diferencia de volumen desperdiciado de material es del 20%, siendo mucho mayor en la hélice de tres aspas. Es lógico, ya que la geometría de tres aspas implica tener un tocho de material más grande mientras que la diferencia de volúmenes entre ambos diseños es mínima.
- La solución de la hélice de dos aspas resulta más fácil de fabricar desde el punto de vista de que se puede entregar al taller externo la pieza que se tiene actualmente, y se puede afinar más la precisión a la hora de la fabricación, mientras que la hélice de tres aspas podría llegar a resultar más imprecisa.
- La hélice de dos aspas ofrece muchísima versatilidad ya que, además de su facilidad de fabricación, se pueden intercambiar las hélices superior e inferior en caso de fallo repentino y recuperar el sistema original, manteniendo el ratio de producción y minimizando el tiempo de parada.
- En la hélice de tres aspas se observan esfuerzos menores (no en exceso), aunque en ninguno de los casos estudiados se supera el límite elástico de la pieza. En cuanto a los desplazamientos, sí que se observa una reducción importante en la solución de tres aspas. Como se ha comentado anteriormente, esto se debe a que la hélice extra permite repartir las fuerzas que ejerce el material entre tres elementos.
- Ambas soluciones aseguran una mejora en el problema de agitación y mezcla, siendo la hélice de tres aspas a priori, la mejor de las dos.

Se decide aplicar el método de selección multi-criterio para escoger la solución óptima, estableciendo el siguiente orden de preferencia de atributos de más a menos preferido:

Coste, mejora solución, versatilidad, facilidad de fabricación, esfuerzos, deformaciones y volumen desperdiciado (atributos 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 respectivamente).

A continuación se muestra la aplicación del método multi-criterio mediante tablas de Excel (véase punto 9.1.3. del capítulo “memoria”).

Atributos	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	3	4	9	9	9
2	1	1	2	3	6	6	8
3	1/3	1/2	1	4	5	5	9
4	1/4	1/3	1/4	1	8	8	8
5	1/9	1/6	1/5	1/8	1	1	9
6	1/9	1/6	1/5	1/8	1	1	9
7	1/9	1/8	1/9	1/8	1/9	1/9	1

Tabla 16: Valor de importancia entre los atributos.

Aplicando las fórmulas para el cálculo de pesos (explicadas en el apartado 9.1.3. de la memoria), se obtienen los pesos de cada atributo:

Atributo	Peso	Peso Unitario
1	3,66	0,33
2	2,90	0,26
3	2,05	0,18
4	1,40	0,13
5	0,46	0,04
6	0,46	0,04
7	0,15	0,01
TOTAL	11,07	

Tabla 17: Peso de cada atributo.

A continuación se presenta una tabla con la valoración de los atributos de cada alternativa con valores entre 0 y 1.

Alternativa	1	2	3	4	5	6	7
2 aspas	1,00	0,65	1,00	0,90	0,70	0,50	0,80
3 aspas	0,75	0,80	0,00	0,60	0,75	0,70	0,65

Tabla 18: Valoración de las dos alternativas.

Por último, multiplicando el valor de cada alternativa por su peso unitario (véase punto 9.1.3. para más detalles), se tienen los siguientes valores:

- Para la solución de dos aspas: 0,86.
- Para la solución de tres aspas: 0,60.

Se concluye que la solución óptima para el sistema es la instalación de una hélice a media altura de dos aspas.

En el documento “planos” se puede encontrar la pieza con su geometría detallada.

5. EJECUCIÓN DEL EJE

5.1. Introducción

Como se ha comentado anteriormente, el eje contará con una modificación, de tal forma que pueda sujetar a la hélice añadida. El nuevo eje contará con una geometría casi idéntica a la del eje actual, pero es necesario mecanizar un eje nuevo desde cero, ya que de esta manera se evitan posibles vibraciones, excentricidades o tensiones indeseadas. A continuación se muestra una imagen del eje actual (izquierda) y el eje nuevo (derecha):

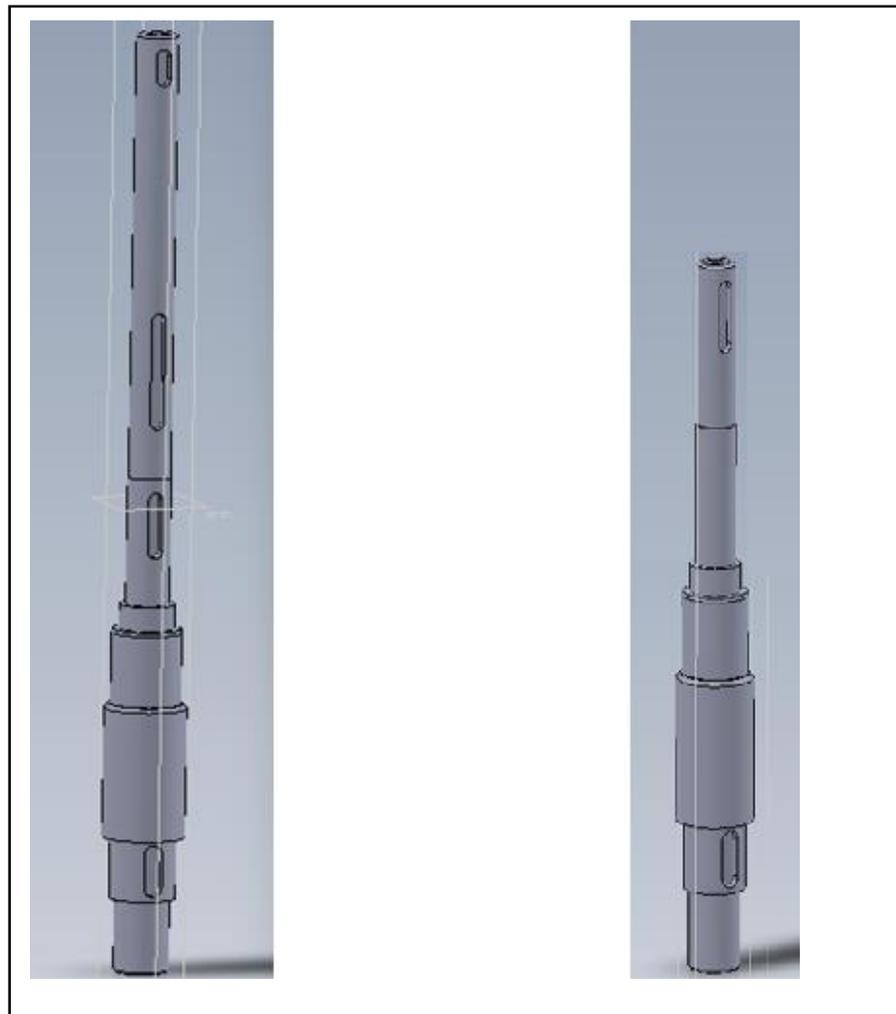


Imagen 60: Comparativa del eje mejorado con el eje actual.

En el documento “planos” se puede ver detalladamente las dimensiones y características del nuevo eje.

5.2. Fabricación

Para la fabricación del nuevo eje ya no se requiere acudir a un taller externo, porque en el taller propio se cuenta con la tecnología necesaria para su ejecución. La principal ventaja es la rapidez con la que se puede contar con el nuevo eje.

5.2.1. Material de partida

Para este caso, se necesita un tocho cilíndrico con las siguientes dimensiones:

- D=50mm.
- L=530mm.

El nuevo eje también se mecanizará en acero 316 inoxidable, por su nula reactividad con el catalizador.

5.2.2. Tecnología necesaria

Para la fabricación del nuevo eje, se requiere de un torno estándar, con la capacidad de utilizar perro de arrastre y apoyo sobre dos puntos, de manera que se eviten las excentricidades y no aparezcan errores de desalineación.

5.2.3. Coste estimado de fabricación

Para la ejecución de este material, sería necesario invertir unos 500 €.

5.2.4. Análisis de tensiones soportadas.

Se ha decidido hacer una simulación con el software *SolidWorks*, aplicando el par torsor en la zona donde se encuentra el engranaje, y una restricción de geometría fija en la cara superior del eje, simulando la fuerza que ejerce el catalizador en el momento del arranque. Se han obtenido los siguientes resultados:

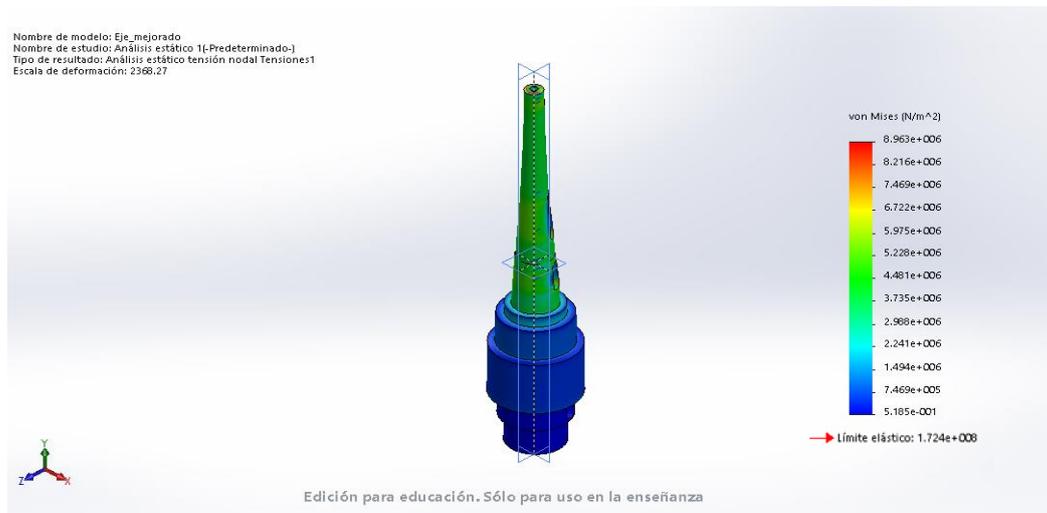


Imagen 61: Representación de la distribución de tensiones en el eje de giro.

Como se puede observar, en ningún momento se supera el límite elástico soportado por el material, por lo tanto, se toma la solución como válida.

5.2.5. Planificación del proceso de fabricación

A continuación se muestra una tabla en la que se esquematiza la planificación del proceso de fabricación. En dicha tabla aparecerán las siguientes definiciones:

- Fase: engloba a todas las operaciones que suceden en la misma bancada (torno, fresa...). Se tiene un cambio de fase cuando se tiene un cambio en la herramienta principal.
- Subfase: recoge todas las operaciones que tienen lugar dentro de una bancada y que se realizan con el mismo método de sujeción. Cuando se cambia la sujeción de la pieza o material, se tiene un cambio de subfase.
- Operación: cada una de los procesos que sufre el material para obtener la geometría deseada (cilindrado, copiado, ranurado etc...).

Fase	Subfase	Operación	Nombre	Descripción
0	0	0	Set up en torno	Colocación del tocho de partida en el torno
0	0	1	Cilindrado en 3	Cilindrado de la cara 3 (2 pasadas, una de 2mm y una de 0,985mm)
0	0	2	Cilindrado en 2	Cilindrado de la cara 2 (2 pasadas, una de 3mm y una de 1,515mm)
0	0	3	Cilindrado en 1	Cilindrado de la cara 1 (2 pasadas, una de 2mm y una de 0,9mm)
0	1	4	Copiado en 3	Chaflán inferior en la cara 3 (detalles en el plano 7 de 11)
0	1	5	Copiado en 1	Chaflán en la cara 1 (detalles en plano 7 de 11)
0	2	0	Cilindrado en 4	Cilindrado de la cara 4 (2 pasadas, una de 2mm y una de 1,365mm)
0	2	1	Cilindrado en 5	Cilindrado de la cara 5 (2 pasadas, una de 2,5mm y una de 1,535mm)
0	2	2	Cilindrado en 6	Cilindrado de la cara 6 (2 pasadas, una de 2mm y una de 1,085mm)
0	2	3	Cilindrado en 7	Cilindrado de la cara 7 (una pasada de 0,38mm)
0	3	4	Copiado en 7	Chaflán en la cara 7 (detalles en el plano 7 de 11)
0	3	5	Copiado en 4	Chaflán en la cara 4 (detalles en el plano 7 de 11)
0	3	6	Copiado en 3	Chaflán superior en la cara 3 (detalles en el plano 7 de 11)
1	0	0	Set up en fresa	Colocación de la pieza en la fresadora
1	0	1	Fresado en 8	Chavetero 8 (con fresa de 5mm recta, una pasada de dimensiones especificadas en el plano 7 de 11)
1	0	2	Fresado en 9	Chavetero 9 (con fresa de 4mm recta, una pasada de dimensiones especificadas en el plano 7 de 11)
1	0	3	Fresado en 10	Chavetero 10 (con fresa de 4mm recta, una pasada de dimensiones especificadas en el plano 7 de 11)
1	0	4	Fresado en 11	Chavetero 11 (con fresa de 4mm recta, una pasada de dimensiones especificadas en el plano 7 de 11)
2	0	0	Set up en taladro	Colocación de la pieza en el taladro
2	0	1	Taladrado superior	Taladrado del orificio superior (Taladro de 20mm de profundidad y M10)
3	0	0	Roscado	Roscado de orificio (con terraja macho de roscar para DIN especificada en plano 7 de 11)

Tabla 19: Plan de procesos para el eje.

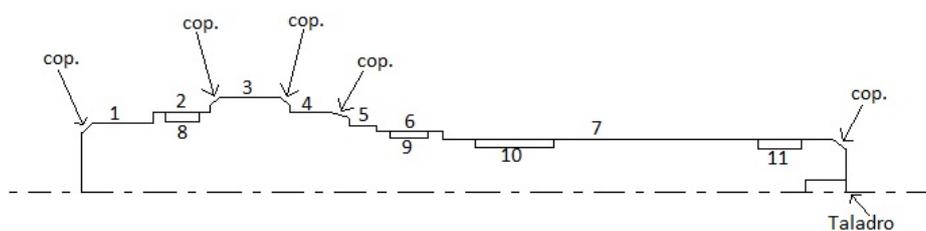


Imagen 62: Leyenda de superficies a mecanizar.

6. CASQUILLO SEPARADOR

6.1. Introducción

El casquillo separador tiene como objetivo soportar la hélice superior en la posición prevista. Dicho elemento apoya sobre la hélice inferior, y cuenta con una pequeña ranura para la introducción del chavetero de la hélice superior. La pieza cuenta con la siguiente forma:

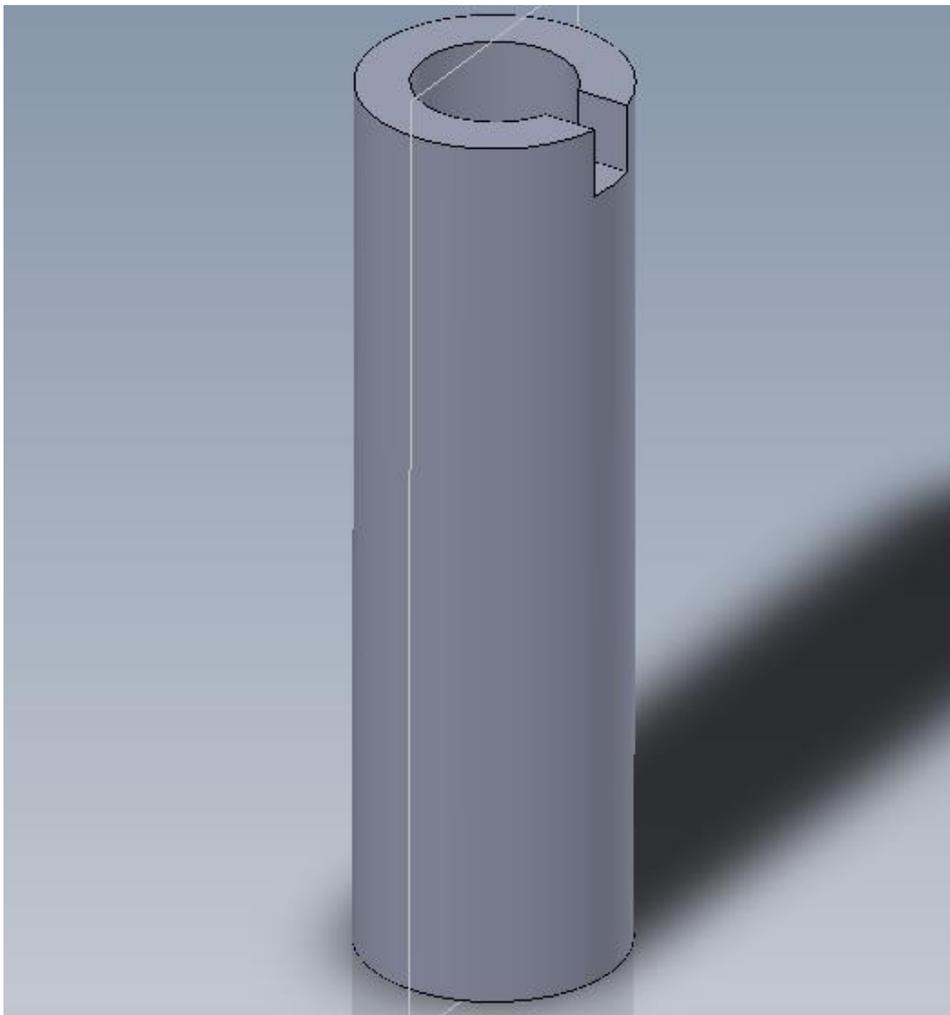


Imagen 63: Geometría del casquillo de soporte.

En el documento “planos” se puede consultar la geometría exacta del elemento.

6.2. Fabricación

Para la fabricación de este elemento, también se va a necesitar acero inoxidable 316, partiendo de un macizo cilíndrico de dimensiones:

- D=40mm.
- L=140mm.

Esta pieza también se puede fabricar en el taller propio, dada su sencillez. El plan de procesos que se debe seguir es el siguiente:

Fase	Subfase	Operación	Nombre	Descripcion
0	0	0	Set up en torno	Colocación del tocho de partida en el torno.
0	0	1	Cilindrado exterior	Cilindrado de la cara exterior.
0	0	2	Taladrado en torno	Obtención por taladrado en torno del orificio.
0	1	0	Tronzado	Separación de la pieza respecto el tocho inicial.
0	2	0	Set up fresadora	Colocación de la pieza en la fresadora.
1	0	0	Ranurado	Obtención de la ranura superior mediante fresado periférico.

Tabla 20: plan de procesos para el casquillo de soporte.

El coste estimado de la pieza sería de unos 160 €.

7. ORIFICIOS EN EL PLATO INFERIOR

7.1. Introducción

El plato inferior se encuentra justo por debajo de la hélice actual, y su misión es separar ambas cavidades de manera que el catalizador caiga de manera controlada hasta el disco controlador de flujo. Este plato cuenta con tres orificios por los que pasa el producto hasta la cavidad inferior (lugar donde un disco medidor regulable se encarga de controlar cuanto producto pasa al siguiente punto del proceso). Esta pieza tiene la siguiente forma:

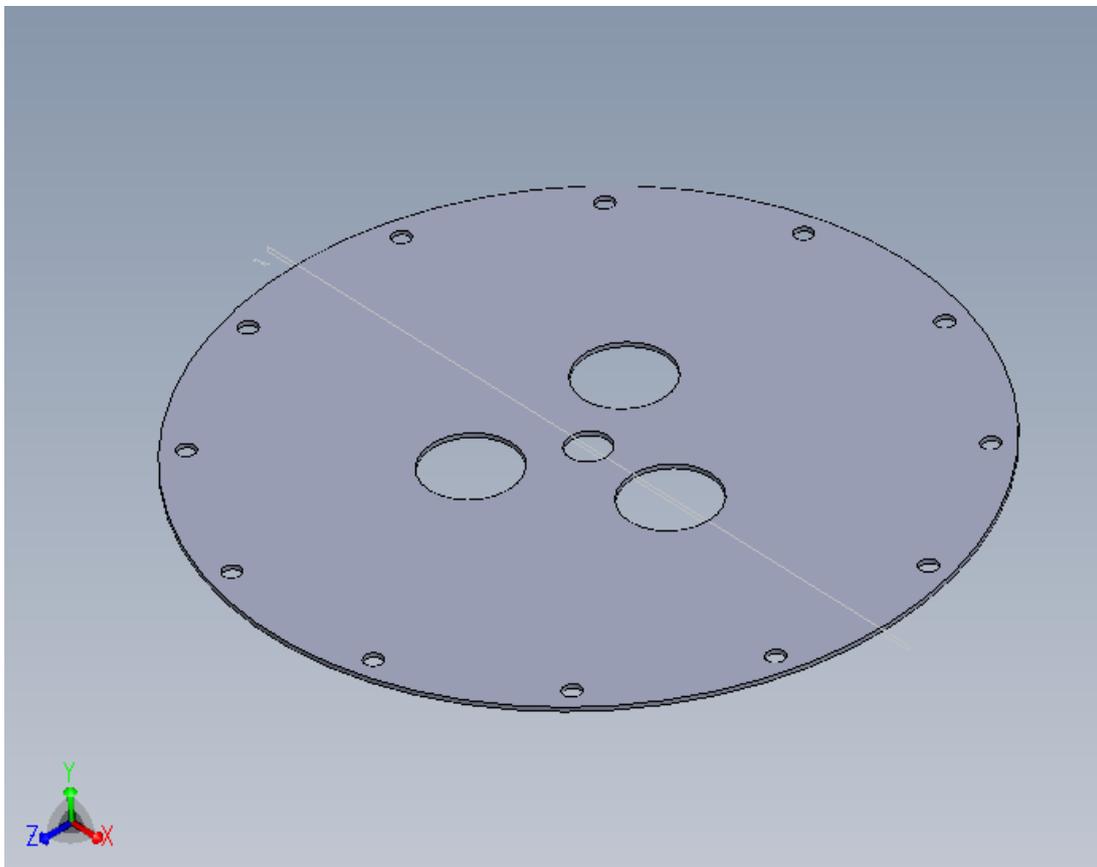


Imagen 64: Plato inferior modificado.

La solución que se propone consiste en ensanchar los tres orificios para reducir la probabilidad de que el catalizador se quede atascado en esa zona. En el documento “planos” se puede ver la geometría exacta de la pieza prevista.

7.2. Fabricación

Para la fabricación de este elemento, se parte de la propia pieza con la que ya se cuenta en el equipo. La tecnología necesaria para ejecutar esta operación es un taladro de corona de diámetro 80mm. Esta solución se puede ejecutar en el taller propio, ya que se cuenta con la tecnología necesaria. Simplemente es necesario fijar el plato en la bancada del taladro y ejecutar los tres orificios.

ANEXO IV: MONTAJE E INSTALACIÓN DE LA LÍNEA DE NITRÓGENO

ÍNDICE ANEXO IV

1.	INTRODUCCIÓN	167
2.	CONDICIONES DE PARTIDA	167
3.	ELEMENTOS NECESARIOS	169
4.	CONSTRUCCIÓN DE LA LÍNEA	170
4.1.	Fabricación en taller	170
4.1.1.	Brida + Tubo	170
4.1.2.	Línea de 470mm	171
4.1.3.	Línea de 230mm	172
4.1.4.	Mirilla modificada.....	173
4.2.	Ejecución en campo	175
4.2.1.	Soldadura de brida + tubo + accesorio en T.....	175
4.2.2.	Unión de la línea de 470mm + codo de 90° + línea de 230mm	176
4.2.3.	Accesorio en T roscado + <i>tubing</i> de acero inoxidable.....	176

1. INTRODUCCIÓN

En el siguiente anexo se pretende explicar todas las características definitorias de la línea de nitrógeno. En primer lugar se expondrán las condiciones de partida, después se seleccionarán los materiales, y por último se explicará el proceso a seguir en taller y en campo para la construcción de la línea. Es necesario acudir al documento “planos”, donde se puede ver detalladamente las características de la línea, para entender en profundidad este anexo. En el Anexo V se puede ver una descripción de los ensayos no destructivos que se realizan en la línea.

2. CONDICIONES DE PARTIDA

Como se ha comentado en capítulos anteriores, el depósito de mezcla de catalizador y éster cuenta con un aporte de nitrógeno para la realización de pruebas de presión e inertizados del equipo durante las puestas en marcha. La solución que se propone en la memoria consiste en introducir una presión positiva en la mirilla, de manera que se cree una pequeña turbulencia que favorezca el flujo de catalizador hacia el depósito de abajo y evite subida de vapores de éster. Para ejecutar esta solución, se hace necesario realizar un picaje en la línea de adición de Nitrógeno comentada anteriormente que conecte con la mirilla.

Como condición de diseño, se requiere que la presión sea mayor que la presión de succión que se tiene al crear vacío. Esta presión es de -0,8 bares (-600mmHg), de manera que cualquier presión positiva que se aplique será suficiente. De este modo, se decide establecer una presión de 0,5 bares, que es suficientemente mayor que la presión de vacío y que la presión atmosférica a la que trabaja el depósito de mezcla. Esta presión provocará que el vapor generado en el depósito de abajo circule por el venteo y no por la conexión entre ambos depósitos, provocando la obstrucción.

Al tratarse de Nitrógeno, que es un gas inerte, no se requiere inoxidable para el material de la línea, por lo que se va a utilizar cualquier acero al carbono.

Debido a la distribución en planta, la distancia en línea recta entre la mirilla y la línea de entrada de Nitrógeno existente es de unos 500mm. Teniendo en cuenta la dirección del resto de líneas de planta, se determina que la longitud necesaria de la línea de 470mm dirección N-S y 230mm dirección E-O.

3. ELEMENTOS NECESARIOS

La línea existente en la cual se pretende realizar el picaje es de $\frac{1}{2}$ " , por lo tanto, se decide utilizar para la nueva línea la misma dimensión en todos los elementos. Los elementos en cuestión son:

- 5 juegos de bridas de $\frac{1}{2}$ " , 150#.
- Una válvula reguladora de presión de $\frac{1}{2}$ " tipo embridada con indicador de presión local asociado (a partir de ahora con las siglas PCV)
- Un caudalímetro de $\frac{1}{2}$ " del tipo embridado. (a partir de ahora con las siglas FI)
- Accesorio en T de $\frac{1}{2}$ " del tipo *socket weld*.
- Un codo de 90° de $\frac{1}{2}$ " del tipo *socket weld*.
- 2 válvulas de globo manuales de $\frac{1}{2}$ " del tipo *socket weld*.
- Accesorio en T con entrada de $\frac{1}{2}$ " tipo *socket weld* y salidas de $\frac{1}{4}$ " del tipo unión roscada.
- *Tubing* de acero inoxidable de $\frac{1}{4}$ " de unión roscada.
- Línea de $\frac{1}{2}$ " para la unión de todos los componentes.
- Una mirilla modificada para albergar las entradas de nitrógeno.
- 2 roscas macho-hembra.

En el siguiente apartado se explicará el proceso de fabricación de la línea, de manera que la selección de materiales quede justificada. Para todos los cordones de soldadura a ejecutar mencionados en el próximo apartado, se deberá utilizar soldadura TIG con consumible de Acero al Carbono. La gran ventaja de este método de soldadura es, básicamente, la obtención de cordones más resistentes, más dúctiles y menos sensibles a la corrosión que en el resto de procedimientos, ya que el gas protector impide el contacto entre el oxígeno de la atmósfera y el baño de fusión. Como inconvenientes está la necesidad de proporcionar un flujo continuo de gas, con el consiguiente encarecimiento que conlleva.

4. CONSTRUCCIÓN DE LA LÍNEA

En primer lugar, se va a diferenciar entre dos tipos de operaciones: fabricación en taller y ejecución en campo.

4.1. Fabricación en taller

4.1.1. Brida + Tubo

Para introducir la línea nueva en la existente, es necesario realizar un corte de manera que se pueda introducir el accesorio en T dentro de ella misma. Al ser un elemento *socket weld*, para proceder a la soldadura es necesario introducir ambos extremos de la línea existente en el accesorio en T, y ejecutar la soldadura. En la siguiente imagen se puede ver la zona donde debe introducirse y asentar el tubo:



Imagen 65: Accesorio en T del tipo socket weld.

Esto se hace inviable, puesto que la línea existente no se puede mover. La solución está en diseñar un elemento ajustable, fabricando el mismo con una longitud un poco mayor de la necesaria, y así poder ajustar la tubería al accesorio en campo sin necesidad de mover la línea existente (que no se puede hacer). Este elemento consiste en utilizar uno de los juegos de bridas mencionadas anteriormente, y soldarle un trozo de línea de $\frac{1}{2}$ " , y soldar la otra brida al trozo de línea existente, de manera que quede un elemento soldable por un extremo, bridado por otro y ajustable, para ajustar su posición (la soldadura de la parte de la brida en la línea existente se ejecutará en campo, y se explica más adelante).

4.1.2. Línea de 470mm

Esta línea estará formada por una de las válvulas de globo manuales, y la válvula PCV regulada manualmente con manómetro integrado.

Para la válvula PCV es necesario utilizar dos de los juegos de bridas, y soldarlos a tope a la entrada y salida de la válvula, de tal forma que el elemento pueda ser extraído con facilidad de la línea para posibles operaciones de mantenimiento. Esta válvula tiene como finalidad regular la presión de entrada de nitrógeno a la mirilla. Como se ha comentado anteriormente, se tiene que la línea de Nitrógeno existente se encuentra a 4kg/cm^2 de presión, equivalente a casi 4 bares. Como requisito de diseño se tiene que la entrada de nitrógeno debe ser 0,5 bares, no debiendo superar esta presión en exceso, por ello, dicha válvula contará con un manómetro que permita controlar en todo momento la presión que se tiene.

Las válvulas de globo manuales tienen como objetivo cerrar o cortar la circulación de Nitrógeno en el momento en el que se deba extraer algún elemento de la nueva línea para mantenimiento. Esto permite mantener el flujo de Nitrógeno activo para el resto de líneas sin afectar a ninguna de ellas.

Para la ejecución de este elemento, se debe soldar la válvula de globo y la PCV con su juego de bridas montado, en serie con trozos de línea (sin importar la separación entre ambos elementos), de manera que la longitud final del tramo sea el deseado (470mm).

4.1.3. Línea de 230mm

Los elementos de esta línea serán una válvula de globo manual y un caudalímetro FI.

La ejecución de este tramo de línea es bastante similar al anterior. En primer lugar, se tiene el FI, cuya misión es principalmente informar en tiempo real al operador si existe flujo de Nitrógeno circulando al depósito, de manera que se pueda detectar cualquier anomalía relacionada con los posibles vapores del depósito de mezcla. Para este elemento son necesarios también dos juegos de bridas que irán soldados en cada uno de los extremos del caudalímetro, de manera que permita extraerlo de la línea en caso de necesidad de reparación.

Las válvulas de globo manual tienen por objetivo permitir el cierre del conducto de la mirilla para que se pueda proceder a la extracción del caudalímetro sin tener fugas ni interrumpir ningún proceso.

Para la ejecución de esta línea, de la misma manera que la anterior, se soldarán a tope la válvula y el caudalímetro con su juego de bridas, en serie, de manera que la longitud final de la línea sea de 230mm.

4.1.4. Mirilla modificada

Este nuevo elemento tiene como misión permitir la entrada de Nitrógeno a la línea de dosificación de catalizador. El elemento tiene la siguiente forma:

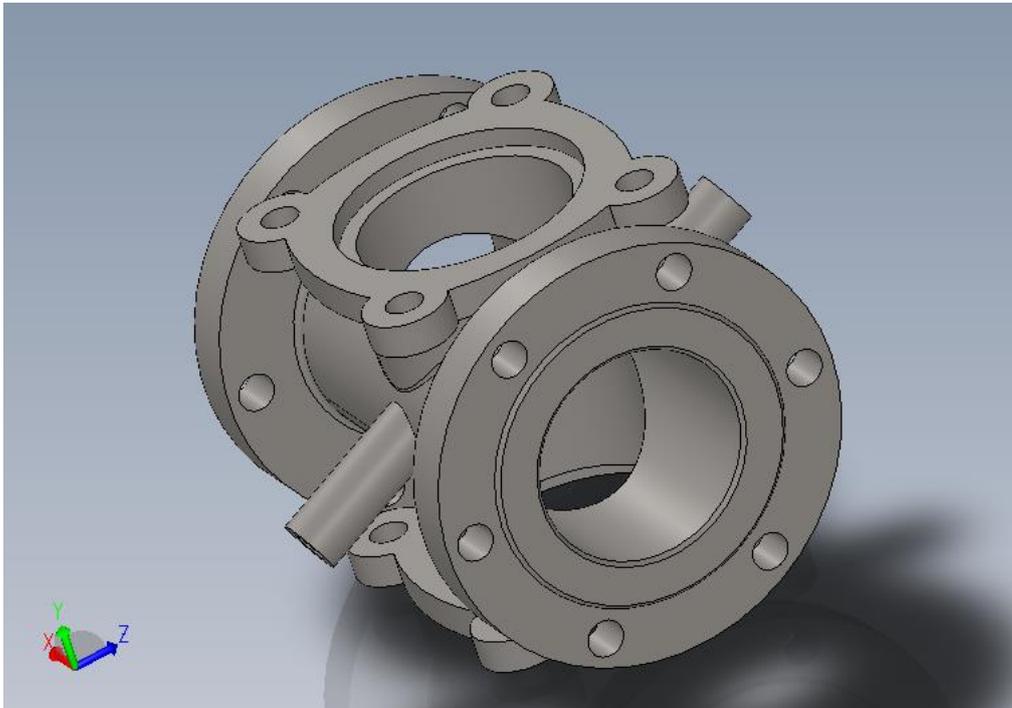


Imagen 66: Cuerpo de la mirilla con entradas de Nitrógeno.

Como se puede observar, las nuevas entradas cuentan con una inclinación de 65° y están contenidas en el plano perpendicular a la dirección de flujo de catalizador. Lo que se consigue de esta manera son dos cosas. Por un lado, introducir la presión necesaria para evitar la subida de vapores al depósito que se encuentra aguas arriba, y por otro lado, con la inclinación se consigue generar un pequeño remolino en forma de turbulencia, de tal forma que se favorezca el movimiento de partículas de catalizador y el flujo de este hacia abajo.

Para ejecutar este elemento, se deben realizar dos orificios centrados a ambos lados de la mirilla. A continuación, se deben obtener dos piezas cilíndricas con la geometría indicada en los planos, de tal manera que puedan ser soldadas donde se han practicado los orificios. Después, se debe roscar cada uno de los extremos, de manera que se pueda introducir un elemento similar al que se muestra a continuación:



Imagen 67: Rosca macho-hembra.

El objetivo de este elemento es el de unir el *tubing* de acero inoxidable con el cuerpo de la mirilla. Por último, se puede proceder a ejecutar la soldadura de los trozos de tubo a la mirilla, prestando especial atención en su inclinación y su posición, la cual se indica en el documento “planos”.

4.2. Ejecución en campo

Una vez se tienen montados los elementos prefabricados mencionados anteriormente, se puede proceder a ejecutar los trabajos de campo. Se recomienda seguir el orden que se describe a continuación:

- Soldadura de brida + tubo + accesorio en T
- Unión de la línea de 470mm.
- Unión del codo de 90°.
- Unión de la línea de 230mm.
- Unión del accesorio en T con extremos roscados.
- Unión del *tubing* de acero inoxidable a la mirilla.

4.2.1. Soldadura de brida + tubo + accesorio en T

En este paso, se va a ejecutar la soldadura en los dos extremos opuestos del accesorio en T, para unir la línea existente anteriormente cortada. En primer lugar, se debe unir uno de los extremos del accesorio a la parte superior de la línea existente. Después, se debe soldar la parte de la brida al trozo inferior de línea existente. Una vez establecida la posición de los elementos fijos, se debe soldar el elemento móvil prefabricado al accesorio en T, y unirlo con su brida correspondiente. Para ello, es necesario verificar la longitud de tubo del elemento móvil, de manera que se pueda corregir en función de la necesidad. Una vez hecho esto, simplemente se debe proceder a ejecutar la soldadura con el accesorio en T, y unirlo con la unión bridada del extremo inferior.

4.2.2. Unión de la línea de 470mm + codo de 90° + línea de 230mm

Para ejecutar este paso, en primer lugar se debe introducir la línea de 470mm en el interior del accesorio en T, y proceder a realizar la soldadura. Una vez se tiene dispuesto este elemento, se debe unir el codo de 90° a la línea de 470mm, para finalmente unir la línea de 230mm, todo con soldaduras.

4.2.3. Accesorio en T roscado + *tubing* de acero inoxidable

En este paso final, simplemente se debe unir por soldadura el accesorio en T a la línea de 230mm, de manera que se queden los extremos roscados libres. A continuación, se toman los trozos de *tubing* de ¼" de acero inoxidable, y se les da forma para que encajen en el espacio que queda entre la mirilla y el accesorio en T. Cuando tienen la forma adecuada, simplemente queda enroscar ambos extremos de cada latiguillo con los accesorios rosca macho-hembra.

ANEXO V: ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

ÍNDICE ANEXO V

1.	INTRODUCCIÓN	181
2.	LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	181
2.1.	Inspección visual	182
2.2.	Ensayo de líquidos penetrantes.....	183
2.3.	Prueba hidráulica de presión.....	185
3.	APLICACIÓN A LAS LÍNEAS	186
3.1.	Inspección visual	186
3.2.	Ensayo de líquidos penetrantes en taller	186
3.3.	Prueba hidrostática de presión.....	187
3.4.	Ensayo de líquidos penetrantes en campo	187

1. INTRODUCCIÓN

En el siguiente capítulo se pretende explicar qué son y en qué consisten los ensayos no destructivos (END's), describiendo los diferentes tipos que se pueden encontrar. También se explicará a qué ensayos se someterán las líneas de Nitrógeno y éster diseñadas en el presente proyecto, para probar su calidad.

2. LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Se denomina ensayo no destructivo (también llamado END), a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales. Los ensayos no destructivos implican un daño imperceptible o nulo. Los diferentes métodos de ensayos no destructivos se basan en la aplicación de fenómenos físicos tales como ondas electromagnéticas, acústicas, elásticas, emisión de partículas subatómicas, capilaridad, absorción y cualquier tipo de prueba que no implique un daño considerable a la muestra examinada.

En la actualidad, existen varios tipos de ensayos no destructivos, a saber:

- **Pruebas no destructivas superficiales:** Estas pruebas proporcionan información acerca de la calidad superficial de los materiales inspeccionados.
- **Pruebas no destructivas volumétricas:** Estas pruebas proporcionan información acerca de la sanidad interna de los materiales inspeccionados.
- **Pruebas no destructivas de hermeticidad:** Estas pruebas proporcionan información del grado en que pueden ser contenidos los fluidos en recipientes, sin que escapen a la atmósfera o queden fuera de control.

Dentro de los tres tipos de ensayos anteriores, existen otros subtipos. A continuación, se procederá a explicar cuáles son los que se van a utilizar.

2.1. Inspección visual

Este tipo de ensayo se encuentra dentro del grupo de pruebas no destructivas superficiales. El método más básico y frecuente, realizándose mediante diversas herramientas, tales como fibroscopios, boroscopios, lupas, espejos, etc.



Imagen 68: Ejemplo de fibroscopio para inspección interna de líneas.

Para el caso que ocupa a este proyecto, la inspección visual se realizará sin ayuda de estos elementos. El inspector simplemente se encontrará presente durante la fabricación y ejecución de pruebas, para verificar que todo se realiza de manera correcta. Necesitará estar familiarizado con los distintos tipos de corrosión, el material a inspeccionar y el agente corrosivo causante del deterioro del metal.

- En soldadura se inicia cuando los materiales llegan al almacén; continúa durante todo el proceso de soldadura y finaliza cuando el inspector examina el equipo terminado.
- Identifica materiales que no cumplen especificaciones, facilita la corrección de defectos durante el proceso de fabricación y reduce la necesidad de posteriores ensayos no destructivos END.

2.2. Ensayo de líquidos penetrantes

Este tipo de ensayo también se encuentra dentro del grupo de pruebas no destructivas superficiales. Posiblemente sea el método más utilizado, por la rapidez en cuanto a la obtención de resultados:

Mediante esta técnica es posible detectar discontinuidades que afloran a la superficie de sólidos no porosos.

Para su detección se utiliza un líquido que, aplicado sobre la pieza a examinar, penetra por capilaridad en las discontinuidades y, una vez eliminado el exceso, el retenido en el interior de las mismas exuda, y con la ayuda del revelador, puede ser observado en la superficie de la pieza. Para entender un poco mejor este proceso, véase la siguiente imagen:

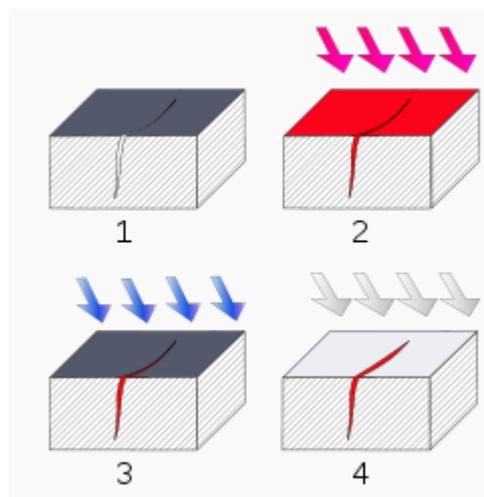


Imagen 69: Fases del ensayo de líquidos penetrantes.

- Fase 1: Muestra de la fisura o defecto superficial.
- Fase 2: La superficie de la muestra se cubre con líquido penetrante.
- Fase 3: Se elimina el exceso de penetrante de la superficie.
- Fase 4: Se aplica líquido revelador para hacer visible el defecto.

A continuación se puede ver una imagen de una soldadura con un poro revelado mediante este tipo de ensayo.



Imagen 70: Fisura revelada en soldadura por ensayo de líquidos penetrantes.

2.3. Prueba hidráulica de presión

Este tipo de prueba pertenece al grupo de pruebas no destructivas de hermeticidad. Es un tipo de prueba a la que deben someterse las tuberías para certificar su hermeticidad, sosteniendo la presión durante un tiempo establecido y utilizando agua como fluido de prueba.

El procedimiento a seguir para realizar este tipo de pruebas es el siguiente:

- Limpieza: Todos los sistemas de tubería se limpiarán antes de la prueba, haciendo pasar agua o aire a presión, con el fin de eliminar tierra, rebabas o materias extrañas sueltas. Todas las válvulas de control se desmontarán durante el lavado.
- Preparativos para la prueba: Todos los sistemas que se prueben hidrostáticamente, se les purgará el aire utilizando los venteos de los puntos altos antes de aplicar la presión de prueba. La tubería instalada con resortes o contrapesos se soportará temporalmente en los puntos donde el peso del fluido de prueba pudiera sobrecargar los soportes.
- No se aplicará pintura de campo ni aislamiento a juntas bridadas, conexiones roscadas, soldaduras sin probar y agujeros de escurrimiento, hasta que el sistema haya sido exitosamente probado. Las juntas de expansión, secadores, filtros y equipo similar especial, para los cuales la presión máxima de prueba, en frío sea menor que la presión mínima de prueba del sistema, se desmontará o bloqueará antes de la prueba.
- Los sistemas de tubería sujetos a largos períodos de prueba hidrostática, se proveerán con un dispositivo protector para relevar la presión excesiva que pudiera producirse debido a la expansión térmica del fluido de prueba.
- Se instalarán bridas ciegas, placas de bloqueo, tapones cachucha o machos para aislar el sistema de tubería, equipo especial e instrumentos donde no se disponga de válvulas de bloqueo. Se utilizarán empaques de grafito o similares para la prueba hidrostática en donde se utilicen elementos de bloqueo bridados.

3. APLICACIÓN A LAS LÍNEAS

Las pruebas citadas en el apartado anterior se deberán ejecutar para cada una de las líneas diseñadas (tanto la de Nitrógeno como la de éster). A efectos de las pruebas a ejecutar, ambos ensayos deben realizarse de la misma manera. La única diferencia entre una línea y la otra está en el material de la misma: la de Nitrógeno se trata de una línea de acero al carbono, mientras que la de éster es una línea de acero inoxidable. Esto significa que la inspección visual durante y tras la fabricación de cada línea será diferente, siendo el resto de pruebas de igual ejecución e interpretación de resultados.

3.1. Inspección visual

- Para el caso de la línea de acero inoxidable, se debe verificar que la línea está purgada de manera correcta. Para ello se estará presente en el momento de la fabricación, además de una inspección final de las soldaduras.
- Para el caso de la línea de acero al carbono, simplemente se debe comprobar, en la medida de lo posible, irregularidades o defectos que puedan encontrarse a lo largo de todos los cordones de soldadura o tuberías.

3.2. Ensayo de líquidos penetrantes en taller

Para la ejecución de esta prueba, será necesario tener conocimientos avanzados de la normativa ASME, sección V, artículo 6, donde se hace referencia a los procedimientos de ejecución y calidades exigibles para los materiales ensayados.

Este ensayo se debe realizar para todas las uniones soldadas de ambas líneas, con el objetivo de detectar cualquier poro o defecto superficial que pueda aparecer en alguna de ellas. Se deberá rechazar cualquier defecto que marque la normativa ASME anteriormente citada, y, además, a criterio del inspector aunque sea aceptado por la norma.

El ensayo se debe repetir tantas veces como sea necesario hasta que no se detecte ningún defecto en ninguna de las uniones soldadas, siempre y cuando la reparación no implique rehacer la soldadura más de tres veces.

3.3. Prueba hidrostática de presión

El primer paso que se debe realizar antes de ejecutar la prueba de presión, es verificar que se ha purgado todo el aire dentro de la línea, es decir, que se ha llenado de agua y que no presenta bolsas de aire. Así mismo, también se debe verificar que los manómetros a utilizar funcionan de manera correcta (deben de estar certificados por una empresa autorizada), y que el banco de pruebas permite llegar a las presiones de diseño necesarias.

Una vez se han realizado las comprobaciones anteriores, se procederá a ejecutar el ensayo, descartando todas aquellas uniones que presenten fugas. Se deberá ejecutar este ensayo tantas veces como sea necesario, hasta que ninguna de las uniones sea rechazable.

3.4. Ensayo de líquidos penetrantes en campo

Una vez se han ejecutado todas las pruebas anteriores, y después de haber instalado las líneas en su correspondiente lugar en campo, será necesario realizar otro ensayo de líquidos penetrantes de todos los cordones de soldadura que se hayan realizado en campo. En este caso, por viabilidad técnica, solo se ejecutará este ensayo, descartando así ejecutar una prueba de presión. En este caso es especialmente importante estar presente en el montaje por parte del inspector.

Como se ha comentado anteriormente, se realizará este ensayo tantas veces como sea necesario, realizando las reparaciones pertinentes a las uniones defectuosas, hasta que ninguna de las soldaduras presente defectos visibles, siempre y cuando la reparación no implique rehacer la soldadura más de tres veces.

ANEXO VI: ESTUDIO ECONÓMICO

ÍNDICE DE ESTUDIO ECONÓMICO

1.	INTRODUCCIÓN	193
2.	COSTES FIJOS.....	193
2.1.	Inversión inicial del proyecto.....	193
2.2.	Coste de personal	194
2.3.	Coste de mantenimiento preventivo	194
2.4.	Potencia contratada.....	195
3.	COSTES VARIABLES	195
3.1.	Potencia consumida	195
3.2.	Vapor consumido	196
3.3.	Ciclohexano consumido	196
3.4.	Gas natural consumido	196
3.5.	Paradas imprevistas por fallo del equipo	197
4.	RESUMEN DE COSTES	197

1. INTRODUCCIÓN

En el presente anexo se pretende explicar el estudio realizado para comprobar el tiempo de recuperación de la inversión a realizar para ejecutar el proyecto. Adicionalmente, se presentará el coste de producción del HDL por tonelada de venta al año (teniendo en cuenta que un año de trabajo corresponde a 345 días laborales). Sabiendo las toneladas al día que se producen, se puede calcular las toneladas al año de la siguiente manera:

$$13 \frac{\text{ton}}{\text{día}} \cdot 345 \text{ días} = 4485 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$

2. COSTES FIJOS

En primer lugar, se necesita conocer el coste fijo, el cual se puede dividir en los siguientes gastos:

- Inversión inicial del proyecto.
- Coste de personal.
- Coste de mantenimiento preventivo.
- Potencia contratada.

2.1. Inversión inicial del proyecto

La inversión inicial del proyecto supone el precio que el promotor debe pagar por la ejecución material por contrata. Para este cálculo, se tendrá en cuenta un tipo de interés al 6% T.A.E, y se aplicará la siguiente expresión:

$$C = \frac{I_0}{\frac{1 - (1 + i)^{-\text{años}}}{i}} \quad (1)$$

Donde:

- C es la cuota anual que el promotor deberá pagar.
- I_0 es la inversión inicial, o presupuesto del proyecto.
- i es el interés a aplicar.

Del presupuesto se conoce que la inversión inicial a realizar es de 15.477,70 €, y el interés es del 6%. Por política de la empresa, un proyecto se considera ejecutable si se amortiza en dos años, por lo tanto, la cuota anual se calculará sustituyendo en la expresión (1):

$$C = \frac{15.477,70}{\frac{1 - (1 + 0,06)^{-2}}{0,06}};$$

De esta manera, se tiene que la cuota anual de inversión a realizar por el promotor asciende a **8.599,18 €**.

2.2. Coste de personal

El coste de personal viene dado por el precio que le cuesta al promotor pagar a los operadores de planta encargados de la unidad de HDL.

Unidad	Cantidad	Coste unitario	total/año	€/ton
horas/año	8280,00	20 €/hora	165.600,00 €	36,92 €

Tabla 21: Resumen de costes de personal.

2.3. Coste de mantenimiento preventivo

El coste de mantenimiento preventivo viene dado por lo que le cuesta al promotor una parada en la línea de producción para tareas de mantenimiento. Este coste no contempla las pérdidas de producción, ya que estos días ya se han descontado de los días en los que la línea se encuentra produciendo.

Unidad	Cantidad	Coste unitario	total/año	€/ton
días/año	20,00 paradas	18.000 €/parada	360.000,00 €	80,27 €

Tabla 22: Resumen de costes de preventivo.

2.4. Potencia contratada

Este término hace referencia al coste que tiene la potencia contratada que se utiliza en la unidad de producción de HDL. Obtenido de las tarifas más actuales, se tiene un coste de unos 42 €/KWh·año.

Unidad	Cantidad	Coste unitario	total/año	€/ton
KW	488,77 KW	42,043426 €/KW·año	246.593,83 €	54,98 €

Tabla 23: Resumen de costes de potencia.

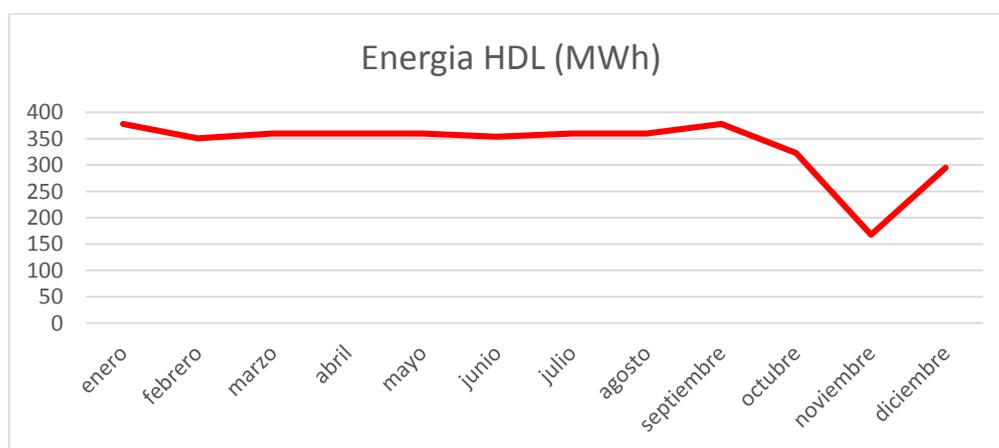
3. COSTES VARIABLES

El coste variable se puede subdividir en los siguientes grupos:

- Potencia consumida.
- Vapor consumido.
- Ciclohexano consumido.
- Gas natural consumido.
- Paradas imprevistas por fallo del equipo.

3.1. Potencia consumida

La potencia consumida viene dada por el gasto en término potencia por la unidad de HDL. Este consumo por meses es el siguiente:



Gráfica 6: Energía consumida en KWh.

De las tarifas más actuales, se tiene un precio de 0,1207 €/KWh, por lo tanto, se tiene:

Unidad	Cantidad	Coste unitario	total/año	€/ton
KWh	4.047.000,00	0,1207 €/KWh	488.472,90 €	108,91 €

Tabla 24: Resumen de costes término consumo de energía.

3.2. Vapor consumido

El gasto de vapor de agua consumido en el último año ha sido de unas 2878 toneladas, a un precio de 50€ por tonelada, por tanto:

Unidad	Cantidad	Coste unitario	total/año	€/ton
Tm/año	2878,00	50 €/ton	143.900,00 €	32,08 €

Tabla 25: Resumen de costes de vapor consumido.

3.3. Ciclohexano consumido

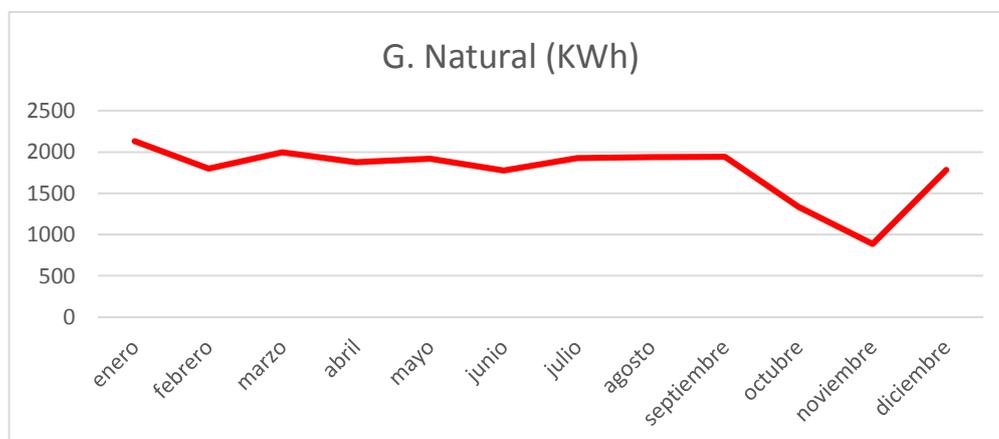
Como se ha comentado en capítulos anteriores, para la producción de HDL se requiere Ciclohexano como materia prima. En el último año, se han consumido 3000 toneladas de ciclohexano, a un coste de 1000 €/ton, por lo tanto:

Unidad	Cantidad	Coste unitario	total/año	€/ton
Tm/año	3000,00	1000 €/ton	3.000.000,00 €	668,90 €

Tabla 26: Resumen de costes de ciclohexano consumido.

3.4. Gas natural consumido

El consumo de gas natural por la unidad de HDL en este último año ha sido el siguiente:



Gráfica 7: Consumo de gas natural en KWh.

De la tarificación más reciente, se tiene un coste de 8,84 €/mes por término fijo y 0,047 €/KWh por término variable, por lo tanto:

Unidad	Cantidad	Coste unitario	total/año	€/ton
KWh/año	21.317,11	8,84€/mes fijo+0,047€/mes var.	1.100,35 €	0,25 €

Tabla 27: Resumen de costes de gas natural consumido.

3.5. Paradas imprevistas por fallo del equipo

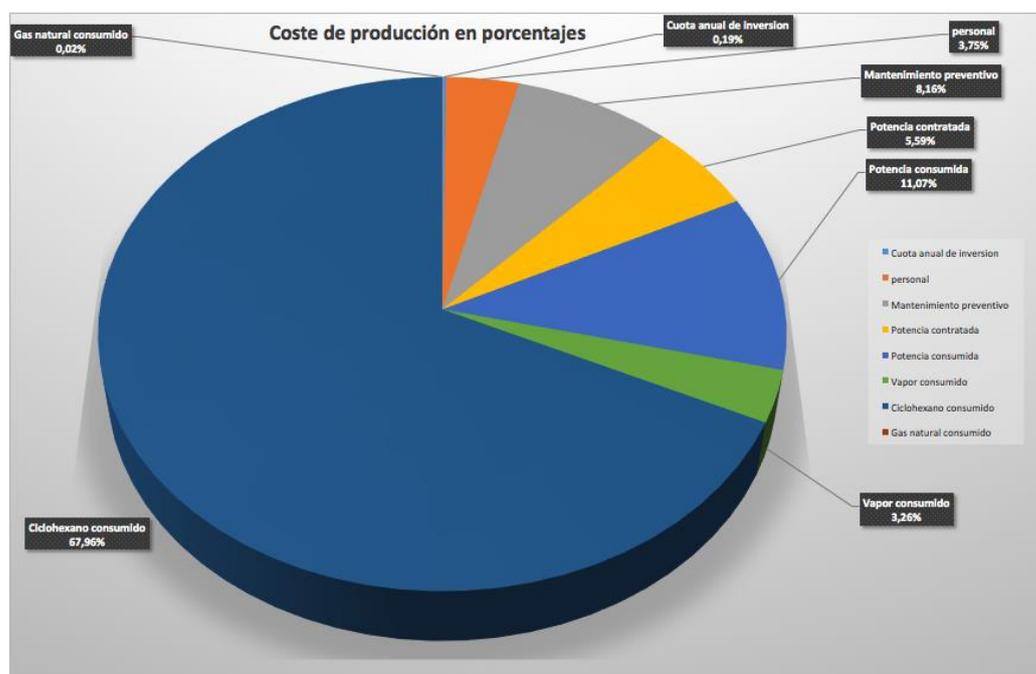
En el último año, se han producido un total de 5 paradas imprevistas, a un coste medio de unos 1000 € por parada, por lo tanto, el coste total que suponen las paradas es el siguiente:

Unidad	Cantidad	Coste unitario	total/año	€/ton
cantidad	5 paradas	1000 €/parada	5.000,00 €	1,11 €

Tabla 28: Resumen de costes por paradas imprevistas.

4. RESUMEN DE COSTES

Con todos los costes fijos y variables calculados anteriormente, se puede calcular el coste total de producción por tonelada al año, y el porcentaje de peso que tiene cada variable.



Gráfica 8: Porcentaje de cada variable sobre el coste de producción total.

Para realizar el cálculo de la amortización, se tendrá en cuenta que las mejoras propuestas serán capaces de suprimir, al menos, tres paradas imprevistas por fallo del equipo. De esta manera, se realizará un balance económico entre el coste de producción y las ganancias por ventas tanto actuales como previstas, para comprobar si la diferencia al final del año sale rentable. Así pues, se tiene que:

Coste de producción de HDL por tonelada (actual)	4.372.313,46 €
Coste de producción de HDL por tonelada (Previsto)	4.414.266,27 €
Venta actual (342 días de producción)	7.558.200,00 €
Venta prevista (345 días de producción)	7.624.500,00 €
Ganancia actual	3.185.886,54 €
Ganancia prevista	3.210.233,73 €
Diferencia	24.347,19 €

Tabla 29: Resumen de ganancias previstas.

Como se puede ver en la tabla anterior, la diferencia entre la ganancia actual y la ganancia prevista es de 24.504,27 € al año, que supone alrededor de un 35% más que el coste de inversión del proyecto. Como se ha comentado antes, la premisa que dicta la compañía para considerar un proyecto merecedor de ser ejecutado, es que sea amortizable en dos años, por lo tanto, se puede concluir que el proyecto cumple con este requisito económico.

PLIEGO DE CONDICIONES

ÍNDICE PLIEGO DE CONDICIONES

1. OBJETIVO	203
2. CONDICIONES GENERALES	204
2.1. Director del proyecto	204
2.2. Comienzo de obra	204
2.3. Definición de los precios y mediciones	204
2.4. Normativa aplicable	205
2.5. Subcontratos	206
2.6. Libro de órdenes	206
2.7. Libro de incidencias.....	206
3. CONDICIONES TÉCNICAS.....	208
3.1. Generalidades.....	208
3.2. Materiales	208
3.2.1. Calidad	208
3.2.2. Utilización	208
3.2.3. Ejecución de componentes	211
3.2.4. Unión de componentes	211
3.2.5. Ensayos	213
3.2.6. Materiales no especificados.....	214
3.3. Aparatos.....	214
4. RECEPCIÓN Y EXPLOTACIÓN	216
5. CONDICIONES ECONÓMICAS	218
5.1. Generalidades.....	218
5.2. Medición y abono de tuberías de cualquier tipo de material.....	219
5.3. Medición y abono de valvulería y elementos especiales	219
5.4. Obras defectuosas y mal ejecutadas.....	219
6. CONDICIONES LEGALES.....	220
6.1. Quien puede ser contratista	220

6.2. Formalización de contratos	220
6.3. Responsabilidad del contratista	220
6.4. Accidentes de trabajo y daños a terceros.....	221

1. OBJETIVO

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 hexanodiol. 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. Parte 4: Silos y depósitos.
- 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-EN ISO 2560:2006: "Consumibles para soldeo. Electrodo recubiertos para el soldeo manual al arco de aceros no aleados y de grano fino. Clasificación (ISO 2560:2002)".
- UNE 14044:2002: "Uniones soldadas de las estructuras metálicas. Inspección durante su ejecución y montaje".
- UNE-EN 1435:1998: "Examen no destructivo de uniones soldadas. Examen radiográfico de uniones soldadas".
- UNE 14612:1980: "Práctica recomendada para el examen de las uniones soldadas mediante la utilización de líquidos penetrantes."
- 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 tuberías (que serán de acero estirado) como para los consumibles de las uniones soldadas y la fabricación de la hélice. Estos elementos serán elaborados en

taller, respetando todos los planos que unívocamente, definen en su totalidad las características del elemento. Los planos de taller contendrán en forma completa:

- Las dimensiones necesarias para definir inequívocamente todos los elementos de las estructuras.
- La disposición de las uniones.
- Las dimensiones de los cordones de soldadura y su orden de ejecución, así como indicaciones sobre el método de soldeo y materiales de aportación a utilizar.
- Las calidades y diámetros de los posibles tornillos a emplear.
- Los empalmes que por limitaciones de laminación o de transporte sea necesario establecer.

Lo mencionado en el Pliego de Condiciones y omitido en los Planos, o viceversa, habrá de ser ejecutado como si estuviera expuesta en ambos documentos. En caso de duda u omisión en cualquiera de los documentos del Proyecto, el Contratista se compromete a seguir en todo caso, las instrucciones de la Dirección facultativa, para que la obra se haga con arreglo a las buenas prácticas de las construcciones. El Contratista no queda eximido de la obligación de ejecutadas.

Queda terminantemente prohibida cualquier modificación total o parcial de la disposición de la instalación, sin autorización expresa del Director del proyecto.

El Director de las Obras, podrá introducir en el proyecto, antes de empezar las obras o durante su ejecución, las modificaciones que sean precisas para la normal construcción de las mismas, aunque no se hayan previsto en el proyecto, y siempre que lo sean sin separarse de su espíritu y recta interpretación. También podrá introducir aquellas modificaciones que produzcan aumento o disminución y aún supresión de las cantidades de obra, marcadas en el Presupuesto o sustitución de una cantidad de obra por otra, siempre que ésta sea de las comprendidas en el Contrato. Todas estas modificaciones serán obligatorias para el Contratista siempre que, a los precios del contrato, sin ulteriores revisiones, no alteren el Presupuesto de Adjudicación en más de los porcentajes previstos en la Ley de Contratos del Estado y su reglamento de Aplicación vigentes, tanto por exceso como por defecto. En este

caso, el Contratista no tendrá derecho a ninguna variación en los precios, ni a las indemnizaciones de ningún género por supuestos perjuicios que le puedan ocasionar las modificaciones en el número de unidades de obra o en plazo de ejecución

En cada uno de los productos se procederá:

- Eliminar aquellos defectos de laminación que, por su pequeña importancia no hayan sido objeto de rechazo.
- Suprimir las marcas de laminación en relieve en aquellas zonas que hayan de entrar en contacto con otro producto en las uniones de la estructura.
- Limpiar en seco todas las impurezas que lleve adheridas, no es necesario eliminar en la preparación la cascarilla de laminación fuertemente adherida.

3.2.3. Ejecución de componentes

Las operaciones de separación o eliminación de material podrán realizarse con sierra, máquina de oxicorte o cualquier operación típica de arranque de viruta, como fresado, taladrado. Quedan terminantemente prohibidos otros procedimientos de corte, a no ser que sean expresamente aprobados por la Dirección.

El borde obtenido deberá ser regular, debiéndose eliminar con fresas, cepillo o piedra esmeril, las irregularidades que se produzcan. No es necesaria esta eliminación en los bordes que hayan de ser fundidos en operaciones subsiguientes de soldeo.

Para las preparaciones de bordes destinados a constituir una unión soldada, se tendrá en cuenta las indicaciones de los planos del proyecto.

3.2.4. 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 que tenga establecidas el fabricante.

Se tomarán las debidas precauciones para proteger los trabajos de soldeo contra el viento, la lluvia y especialmente contra el frío. Se suspenderá el trabajo cuando la temperatura baje de 0° C.

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.

En todas las soldaduras se asegurará la penetración completa, incluso en la zona de raíz; en todas las soldaduras manuales a tope deberá levantarse la raíz por el revés, recogéndola, por lo menos, con un nuevo cordón de cierre; cuando ello no sea posible, porque la raíz sea inaccesible, se adoptarán las medidas oportunas (chapa dorsal, guía de cobre acanalado, etc.) para conseguir un depósito de metal sano en todo el espesor de la costura.

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.

3.2.5. Ensayos

Deberán haberse realizado todas las pruebas parciales de todos los elementos que haya indicado la Dirección Facultativa para rechazar los elementos que no reúnan las condiciones específicas o que se consideren defectuosas.

Terminada la instalación será sometida en su conjunto a las pruebas que a continuación se indican, sin perjuicio de aquellas que solicite la Dirección Facultativa. Las pruebas a realizar son:

- Radiografiado de soldaduras para todas las uniones soldadas que presenten las líneas.
- Ensayos de líquidos penetrantes para las uniones soldadas en todas las líneas.
- Pruebas de presión de todas las líneas.

Todas las modificaciones, reparaciones y sustituciones necesarias hasta que estas pruebas sean satisfactorias serán por cuenta del Contratista.

El Contratista está obligado a suministrar todo el equipo necesario para la realización de las pruebas.

A todas las pruebas que se realicen podrá asistir un representante de la Dirección, la cual dará fe de los resultados.

No se procederá al empleo de los materiales, sin que antes sean examinados y aceptados por el Director de las obras, habiéndose realizado previamente las pruebas y los ensayos previstos en este pliego. En el supuesto de que no hubiera conformidad con los

obtenidos, bien por parte de la Contrata, bien por parte de la Dirección de Obra, se someterán los materiales en cuestión al examen del Laboratorio Central de los Ensayos de Materiales de Construcción dependientes del Ministerio de Obras Públicas y urbanismo, estando obligadas ambas partes, a la aceptación de los resultados que se obtengan y de las conclusiones que se formalicen. Todos los gastos de las pruebas y ensayos necesarios para definir cualidades de los materiales, serán abonados por el Contratista.

3.2.6. 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

3.3. 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°C y 70°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 Copia de los Planos de la Instalación realmente ejecutada, en la que figuren, como mínimo,
- 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.

El Director de Obra entregará los mencionados documentos, una vez comprobado su contenido y firmado el certificado de recepción provisional, al Titular de la instalación, quién lo presentará a registro en el Organismo Territorial competente. Una vez realizado el acto de recepción provisional, la responsabilidad de la conducción y mantenimiento de la instalación se transmite íntegramente a la propiedad, sin perjuicio de las responsabilidades contractuales que en concepto de garantía hayan sido pactadas y obliguen a la empresa instaladora.

En cuanto a la documentación de la instalación se estará además a lo dispuesto en la Ley General para la Defensa de los Consumidores y Usuarios y disposiciones que la desarrollan.

Transcurrido el plazo contractual de garantía, la recepción provisional se transformará en recepción definitiva, salvo que por parte del titular haya sido cursada alguna reclamación antes de finalizar el periodo de garantía.

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. Medición y abono de tuberías de cualquier tipo de material

Se entiende por metro lineal (ml) de tubería cualquier material y de diversos tipos y diámetros, la longitud correspondiente a estas unidades, completamente colocadas y probadas de acuerdo con las prescripciones del presente Pliego. Se abonará por ml. El Contratista adoptará las medidas necesarias encaminadas a evitar errores en la ejecución o montaje de las líneas. Cualquier avería originada por este motivo deberá ser reparada por el Contratista y no será de abono por parte de la Administración.

5.3. Medición y abono de valvulería y elementos especiales

Se abonarán por el número de unidades, incluyendo las juntas y elementos de acoplamiento a las tuberías. En el precio de estas unidades están incluidos todos los gastos de los materiales, transporte, puesta en obra, pruebas, ensayos y verificaciones..

5.4. 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. Quien 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 den 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	227
2.	GRUPO 1: DOSIFICADOR	227
3.	GRUPO 2: LÍNEA DESATASCANTE	228
4.	GRUPO 3: LÍNEA DE NITRÓGENO.....	229
5.	GRUPO 4: HORAS DE PERSONAL	230
6.	GRUPO 5: SEGURIDAD Y SALUD	231
7.	INSTALACIÓN COMPLETA	232

1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se pretende mostrar el conjunto de mediciones de obra, así como el precio unitario desglosado de cada unidad, y el presupuesto total.

2. GRUPO 1: DOSIFICADOR

Partida	Elemento	Descripción	Unidad de obra	Medición	Precio unitario	Total
1.1.	Automatismo	Sistema automático a instalar en la válvula de mariposa ofrecido por la compañía Pentair.	unidades	1	1.111,00 €	1.111,00 €
1.2.	Casquillo	Elemento diseñado por el proyectista a fabricar en el taller del promotor en Acero inoxidable 316.	unidades	1	162,27 €	162,27 €
1.3.	Eje nuevo	Elemento diseñado por el proyectista a fabricar en el taller del promotor en Acero inoxidable 316.	unidades	1	526,50 €	526,50 €
1.4.	Hélice	Elemento diseñado por el proyectista a fabricar en taller externo en Acero inoxidable 316.	unidades	1	1.700,00 €	1.700,00 €

3. GRUPO 2: LÍNEA DESATASCANTE

Partida	Elemento	Descripción	Unidad de obra	Medición	Precio unitario	Total
2.1.	Codo de 90 de radio corto	Elemento prefabricado en Acero inoxidable 316	unidades	4	23,58 €	94,32 €
2.2.	Tubería 1/2"	Elemento prefabricado en Acero inoxidable 316	metros	20	2,62 €	52,40 €
2.3.	Accesorio en T socketweld	Elemento prefabricado en Acero inoxidable 316	unidades	1	33,57 €	33,57 €
2.4.	Bridas	Elemento prefabricado en Acero inoxidable 316, de 1/2" 150# + juego de espárragos	unidades	4	13,02 €	52,08 €
2.5.	Válvula de globo	Elemento prefabricado en Acero inoxidable 316, de 1/2"	unidades	3	65,20 €	195,60 €
2.6.	Alojamiento de descarga	Pieza diseñado por el proyectista a fabricar en taller propio en elementos de Acero inoxidable 316, con dimensiones especificadas en documento "planos"	unidades	1		
2.6.1.	Bridas 4" 150#	Elemento para el conjunto alojamiento de descarga	unidades	4	35,40 €	141,60 €
2.6.2.	Reducción 8" a 4"	Elemento para el conjunto alojamiento de descarga	unidades	2	17,30 €	34,60 €
2.6.3.	Tubería 8"	Elemento para el conjunto alojamiento de descarga	metros	0,49	16,20 €	7,94 €

Partida	Elemento	Descripción	Unidad de obra	Medición	Precio unitario	Total
3.1.	Válvula de globo	Elemento prefabricado en Acero al carbono 316, de 1/2"	unidades	2	65,20 €	130,40 €
3.2.	Válvula reguladora PCV	Elemento prefabricado embreado	unidades	1	132,60 €	132,60 €
3.3.	Caudalímetro FI	Elemento prefabricado embreado	unidades	1	172,00 €	172,00 €
3.4.	Bridas	Elemento prefabricado en Acero al carbono, de 1/2" 150# + juego de espárragos	unidades	6	13,02 €	78,12 €
3.5.	Accesorio en T socketweld	Elemento prefabricado en Acero al carbono	unidades	1	33,57 €	33,57 €
3.6.	Accesorio en T con extremos roscados	Elemento prefabricado en Acero al carbono	unidades	1	42,30 €	42,30 €
3.7.	Codo de 90 de radio corto	Elemento prefabricado en Acero al carbono	unidades	1	23,58 €	23,58 €
3.8.	Tubing de inox.	Elemento prefabricado en Acero inoxidable 316 de 1/4".	metros	6	2,35 €	14,10 €
3.9.	Línea de acero al carbono	Elemento prefabricado en Acero al carbono de 1/2"	metros	20	1,47 €	29,40 €
3.10.	Modificación mirilla	Elemento prefabricado en Acero inoxidable 316	horas	4	50,00 €	200,00 €
3.11.	Roscas macho-hembra	Elemento prefabricado en Acero inoxidable 316	unidades	2	5,60 €	11,20 €

4. GRUPO 3: LÍNEA DE NITRÓGENO

5. GRUPO 4: HORAS DE PERSONAL

Grupo 4 horas personal

Partida	Elemento	Descripción	Unidad de obra	Medición	Precio unitario	Total
4.1.	Soldador + tubero	Sueldo a pagar al soldador y al tubero de la contrata encargados de montar la línea.	horas	18	50,00 €	900,00 €

6. GRUPO 5: SEGURIDAD Y SALUD

Partida	Elemento	Descripción	Unidad de obra	Medición	Precio unitario	Total
5.1.	Medidas de seguridad y salud	Elementos y medidas de seguridad y salud de acuerdo con el Real Decreto 1627/11	unidades	1	2.500,00 €	2.500,00 €
5.2.	Gestión de residuos	Sistema de gestión y reciclaje de residuos a cargo de empresa externa	unidades	1	570,00 €	570,00 €
5.3.	Gestión calidad	Sistema de gestión de calidad según la norma ISO 90001:2000	unidades	1	2.000,00 €	2.000,00 €

7. INSTALACIÓN COMPLETA

Total de la ejecución material	TOTAL	10.949,15 €
13% gastos generales		1.423,39 €
6% beneficio industrial		656,95 €
Total de la ejecución por contrata		13.029,49 €
21% IVA		2.736,19 €
Total presupuesto proyecto		15.765,68 €

Se obtiene un presupuesto de ejecución del proyecto de QUINCE MIL SETECIENTOS SESENTA Y CINCO EUROS Y SESENTA Y OCHO CÉNTIMOS (15.765,68 €).

Castellón de la Plana, Febrero de 2016

PLANOS

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 DE 11: Plano de situación.

PLANO 2 DE 11: PnID de la línea mejorada.

PLANO 3 DE 11: Isométrico de la línea de Nitrógeno.

PLANO 4 DE 11: Mirilla modificada.

PLANO 5 DE 11: Isométrico de la línea desatascante.

PLANO 6 DE 11: Alojamiento de descarga de éster.

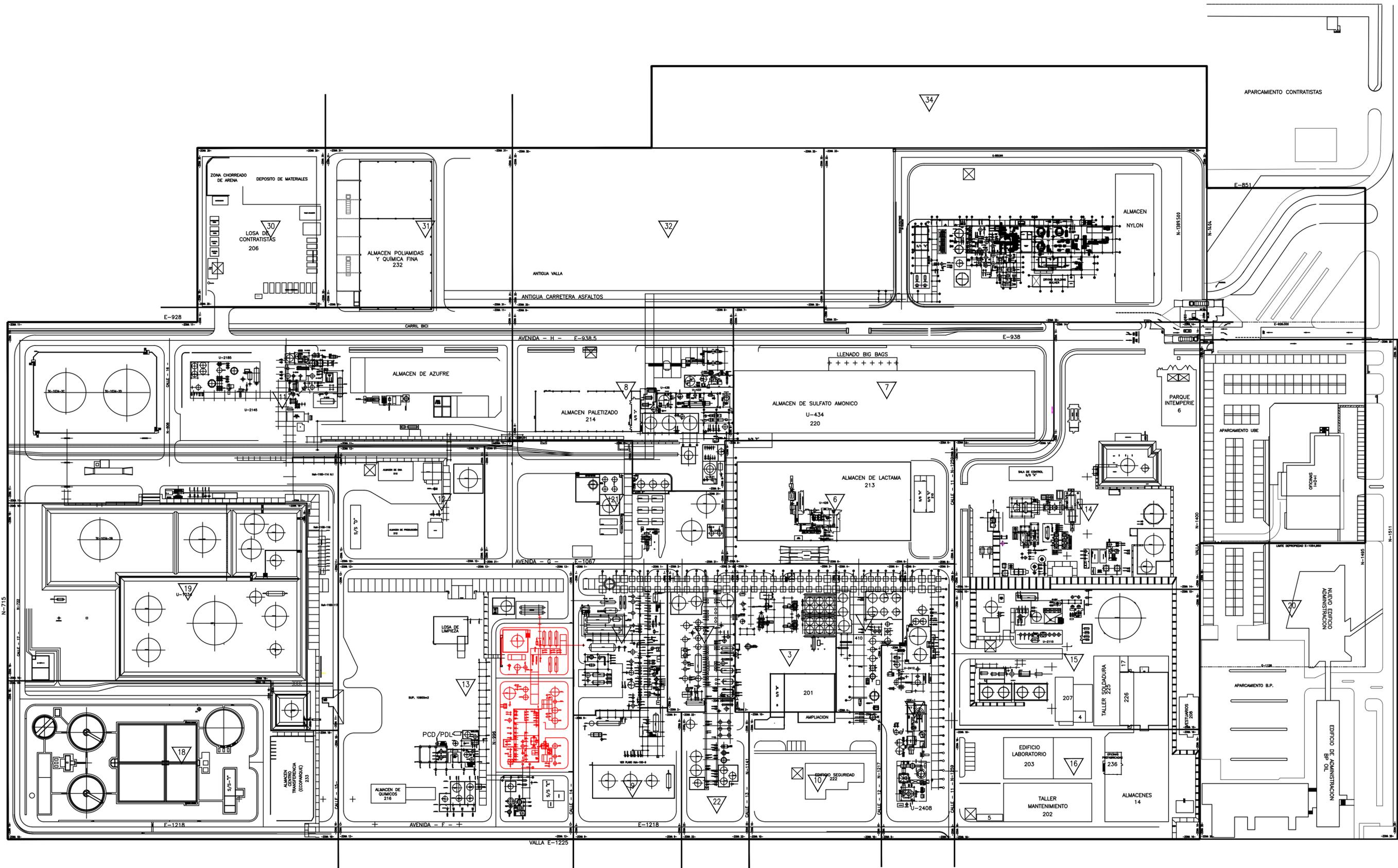
PLANO 7 DE 11: Eje mejorado.

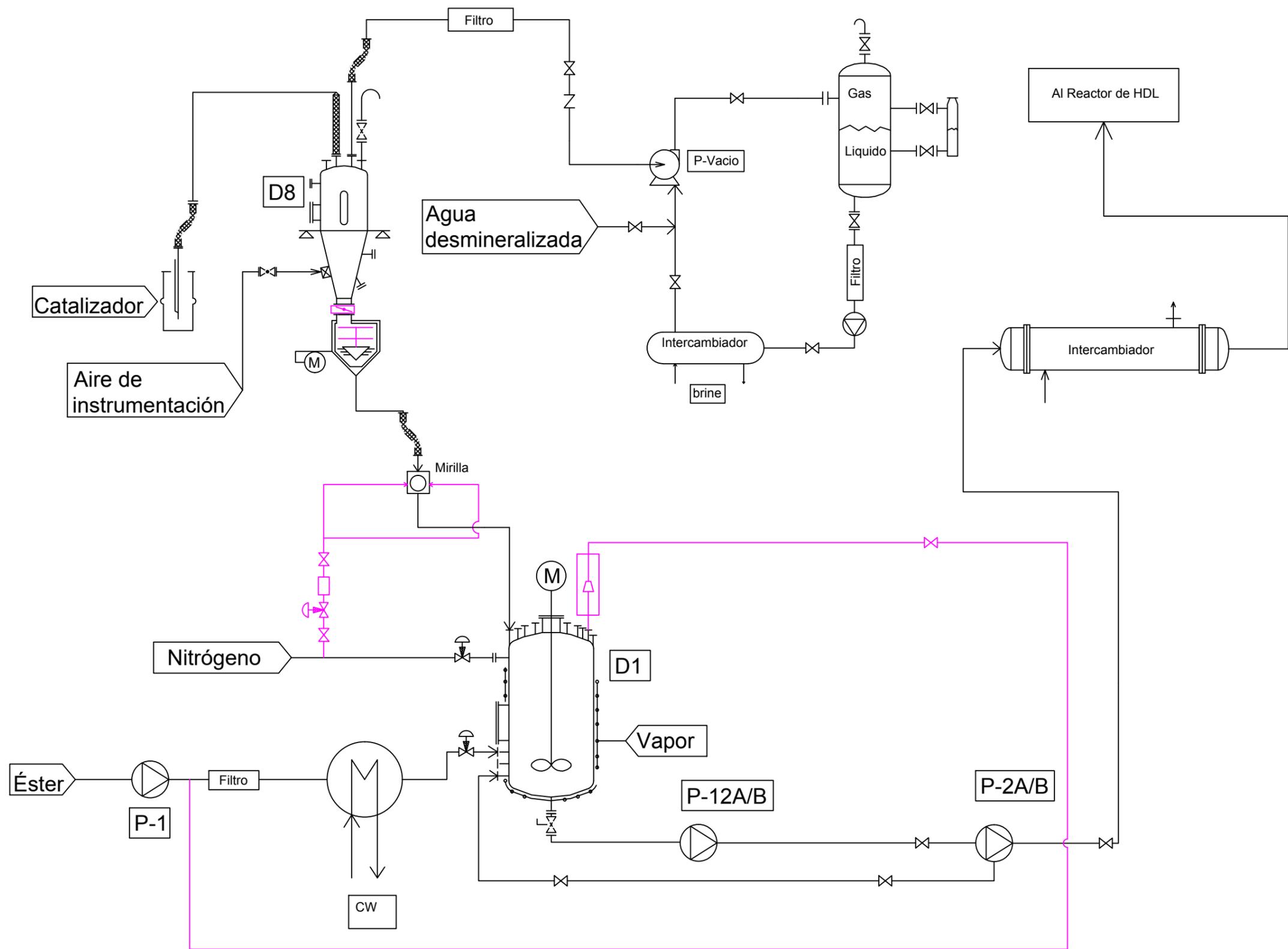
PLANO 8 DE 11: Hélice de dos aspas.

PLANO 9 DE 11: Casquillo de soporte.

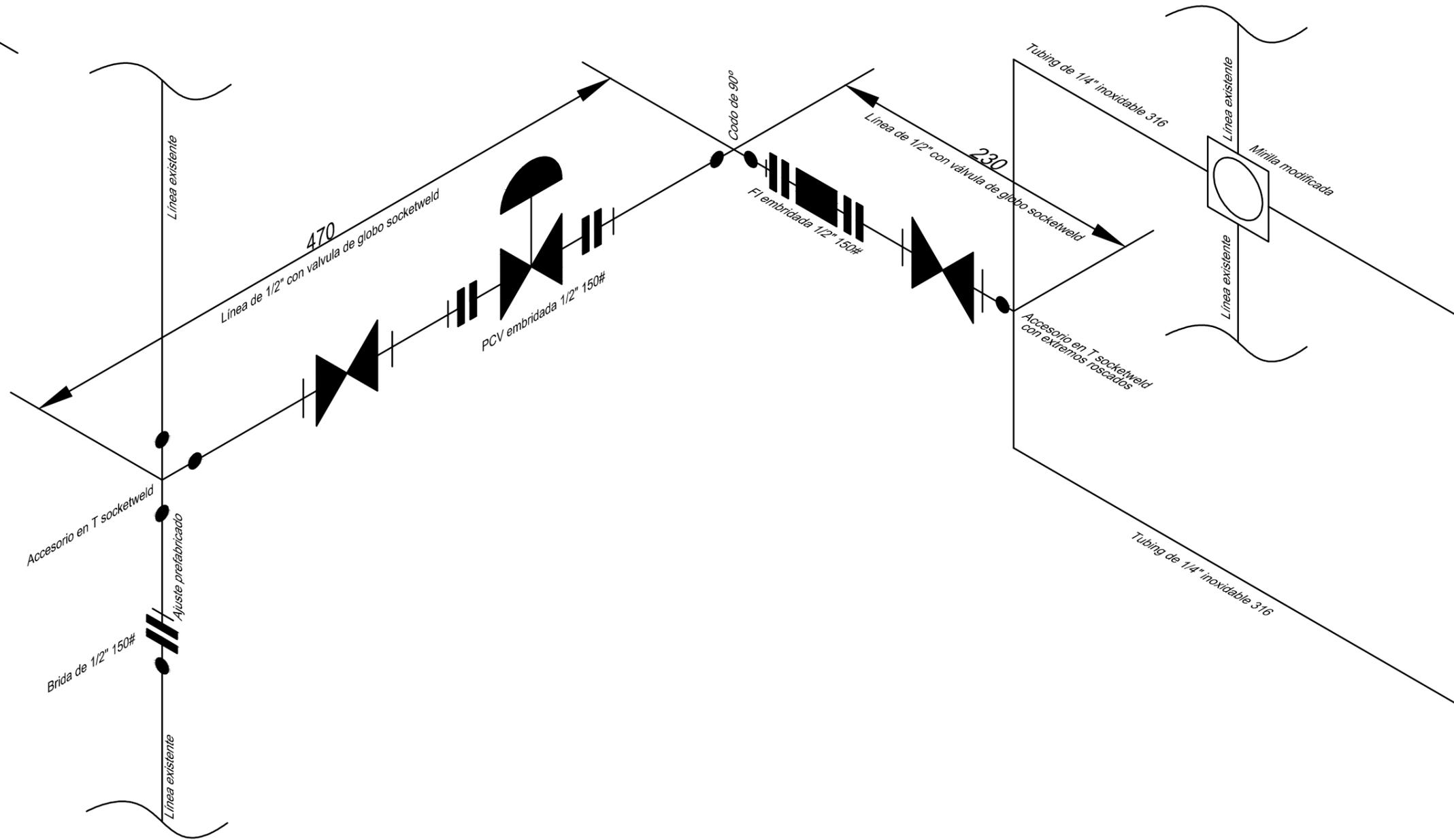
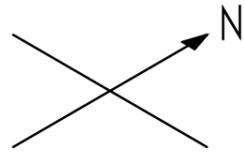
PLANO 10 DE 11: Plato inferior con orificios.

PLANO 11 DE 11: Despiece del dosificador.





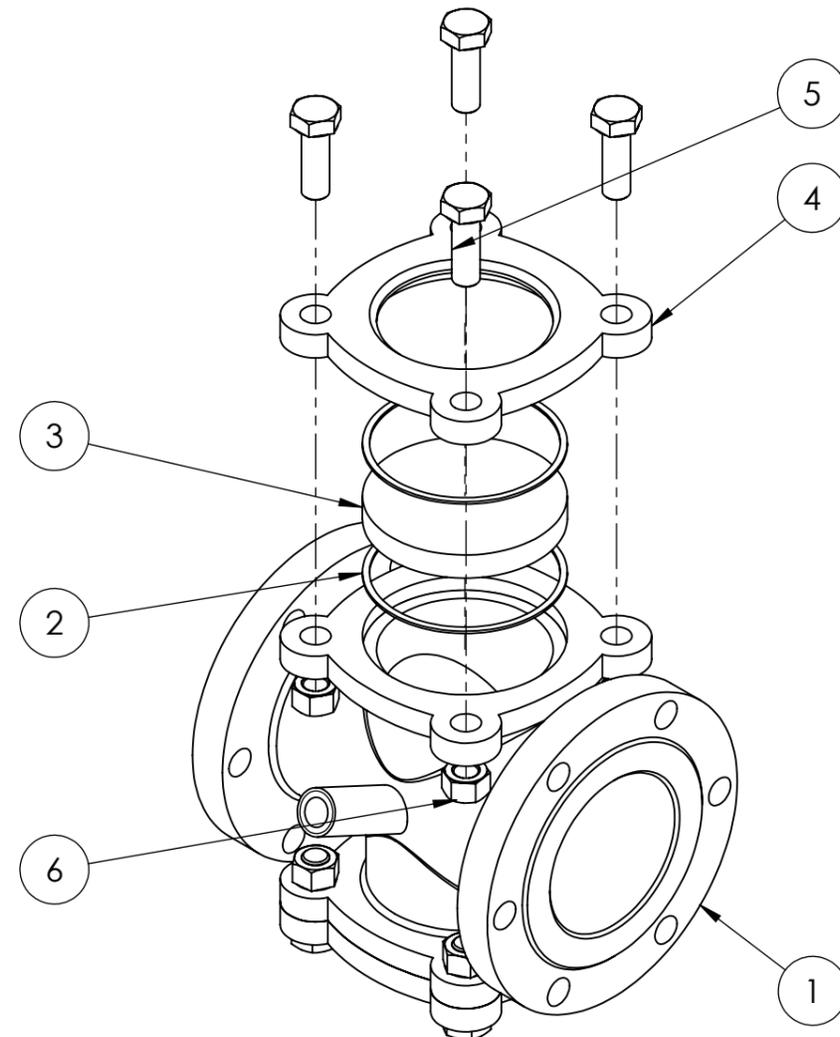
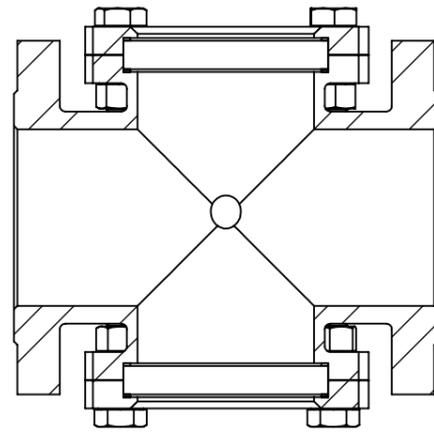
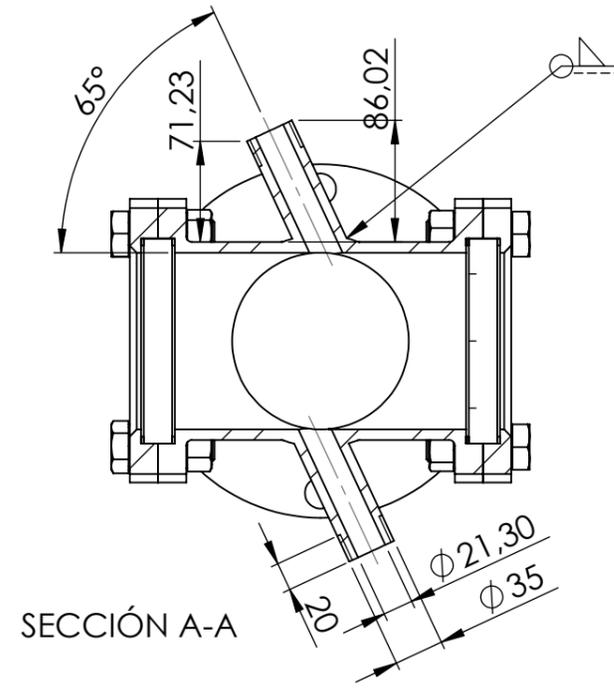
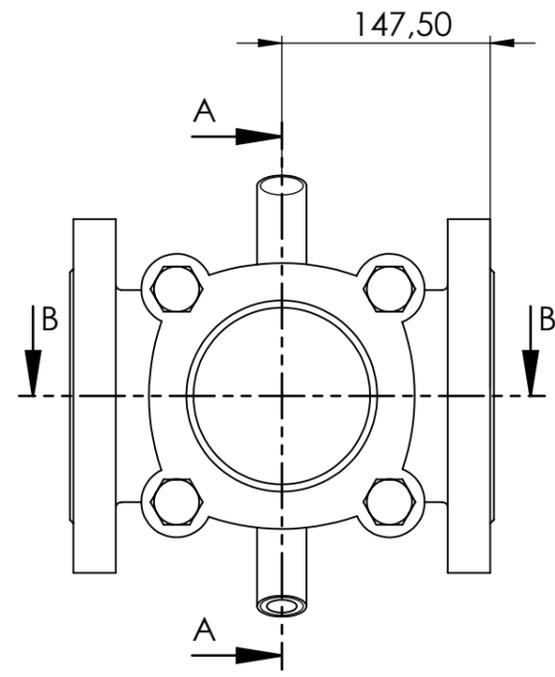
AUTOR: Alfredo García-Espantaleón	 UBE INDUSTRIAL S.L.	PLANO PnID Línea completa	 UNIVERSITAT JAUME I
FECHA: Febrero de 2016	A3	ESCALA: S/E	PLANO 2 DE 11 MATERIAL: S/M

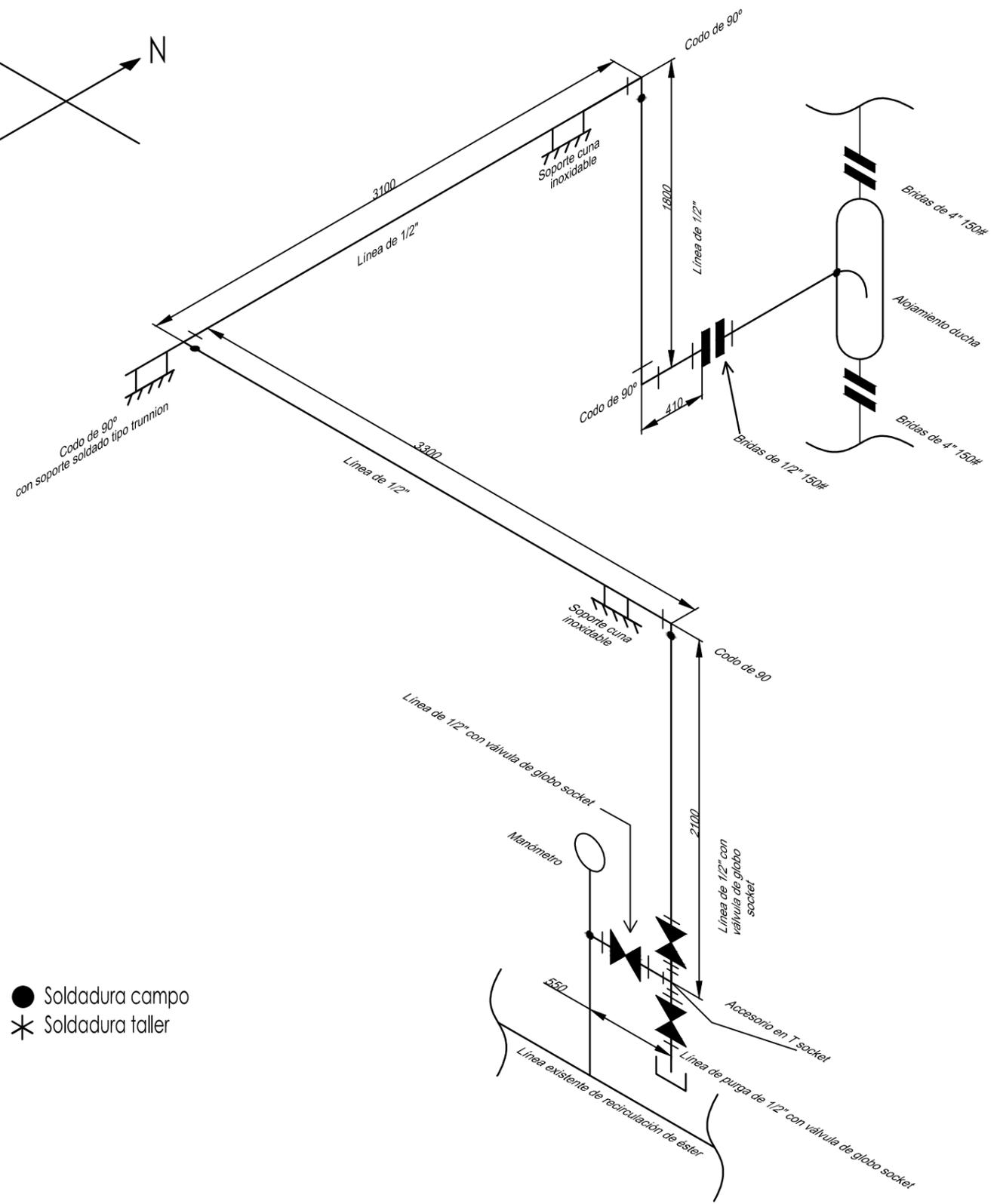
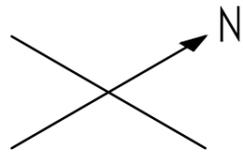


* Soldadura en taller
 ● Soldadura en campo

AUTOR: Alfredo García-Espantaleón	UBE UBE INDUSTRIAL, S.L.	PLANO Isométrico nitrógeno	
FECHA: Febrero de 2016	A3	ESCALA: 1:2	PLANO 3 DE 11 MATERIAL: Línea de Acero al Carbono

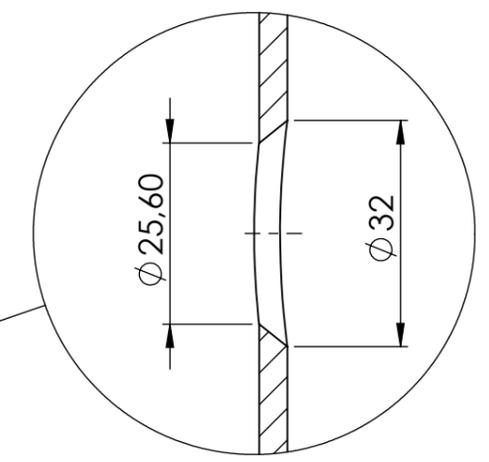
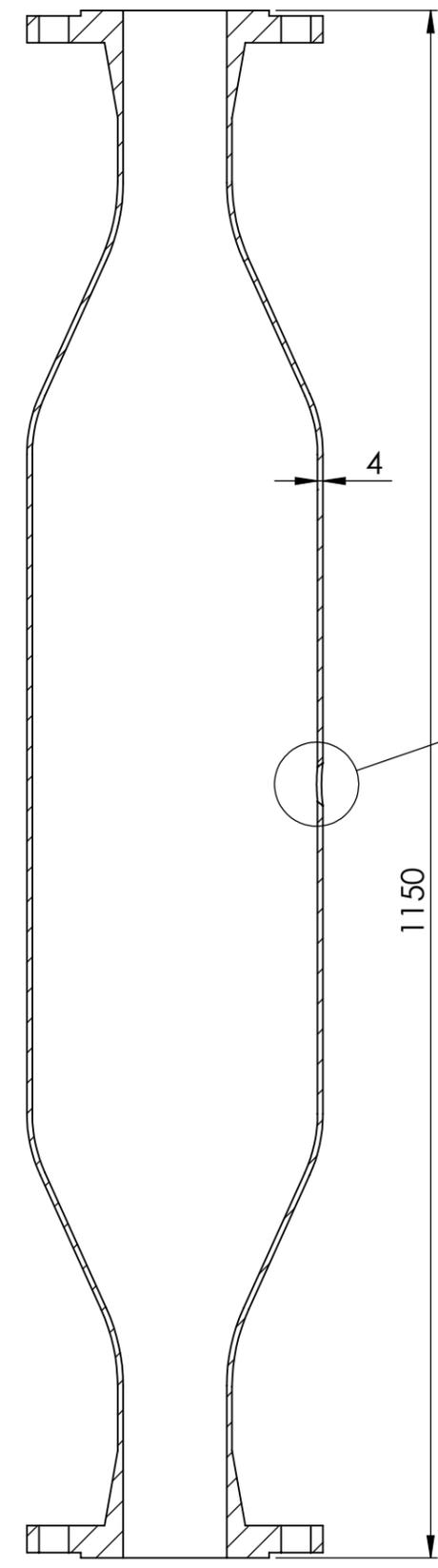
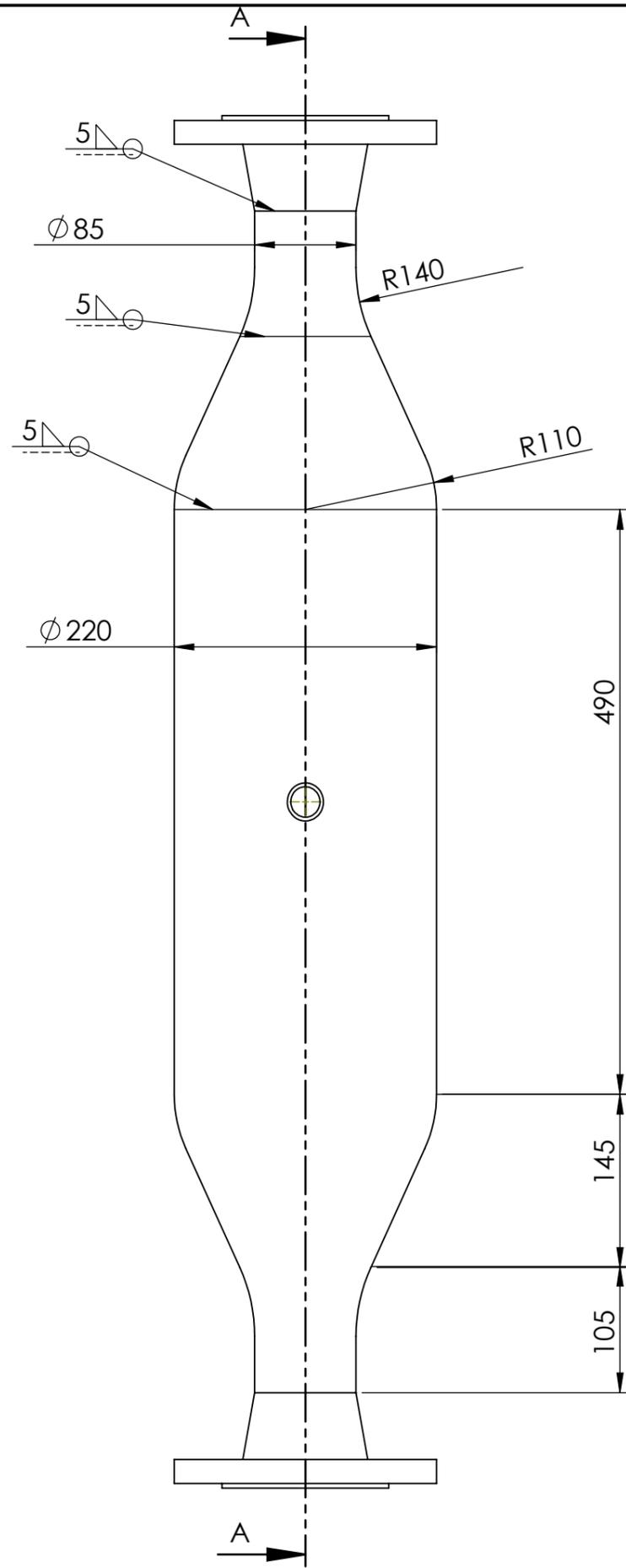
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	cuerpo mirilla	1
2	junta PTFE	4
3	cristal	2
4	Tapa mirilla	1
5	Perno 6914 - M20 x 60 x 31-N	8
6	Tuerca ISO 4032 - M20 - W - N	8





- Soldadura campo
- * Soldadura taller

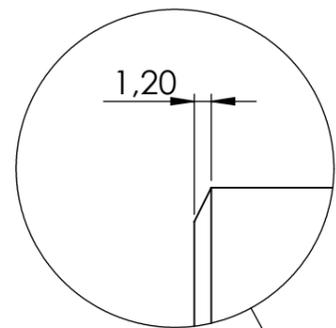
AUTOR: Alfredo García-Espantaleón	UBE UBE INDUSTRIAL S.L.T.D.	PLANO	Isométrico ducha éster		
FECHA: Febrero de 2016	A3	ESCALA: 1:20	PLANO 5 DE 11	MATERIAL: Acero inoxidable 316	



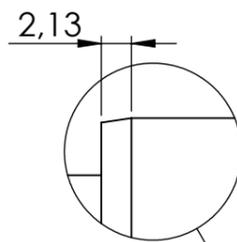
DETALLE B
ESCALA 1 : 1

SECCIÓN A-A

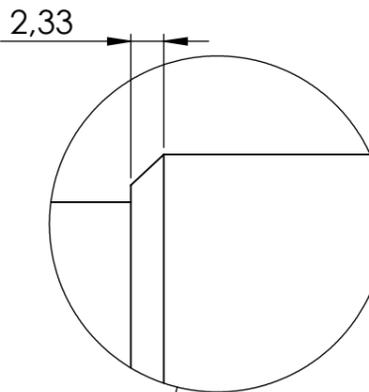
AUTOR: Alfredo García-Espantaleón	COMPAÑÍA: UBE UBE INDUSTRIES, LTD.	PLANO	Ducha		
FECHA: Febrero de 2016	A3	ESCALA: 1:5	PLANO 6 DE 11	MATERIAL: Acero inoxidable 316	



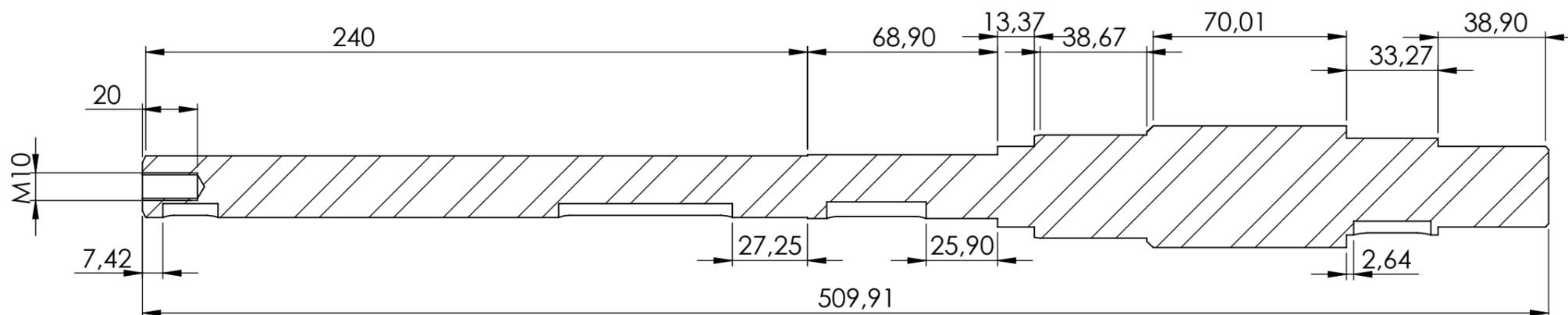
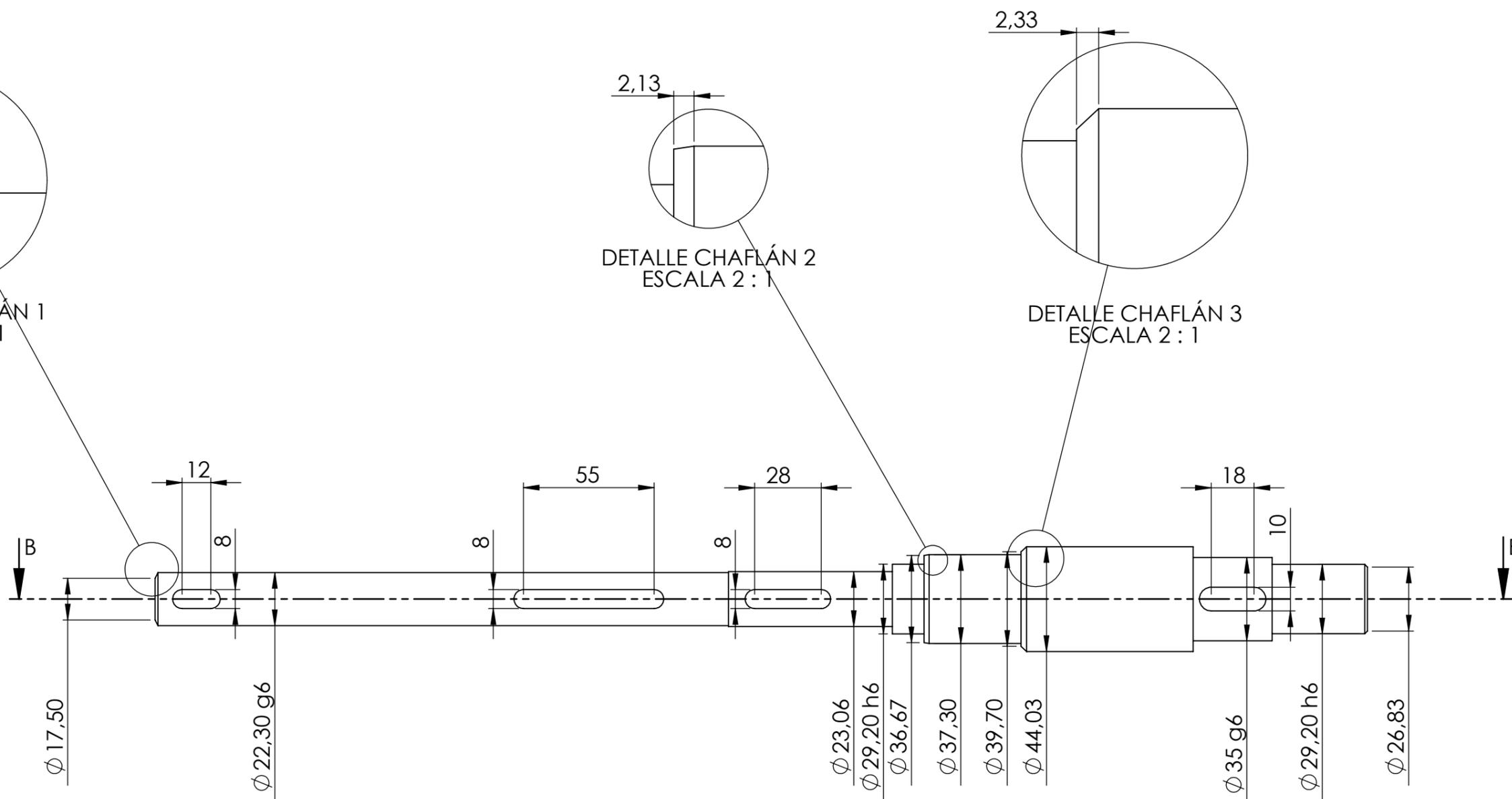
DETALLE CHAFLÁN 1
ESCALA 2 : 1



DETALLE CHAFLÁN 2
ESCALA 2 : 1

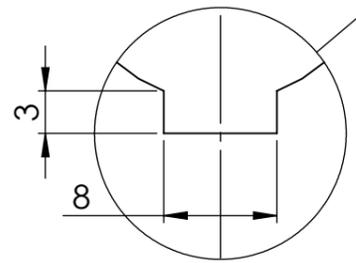
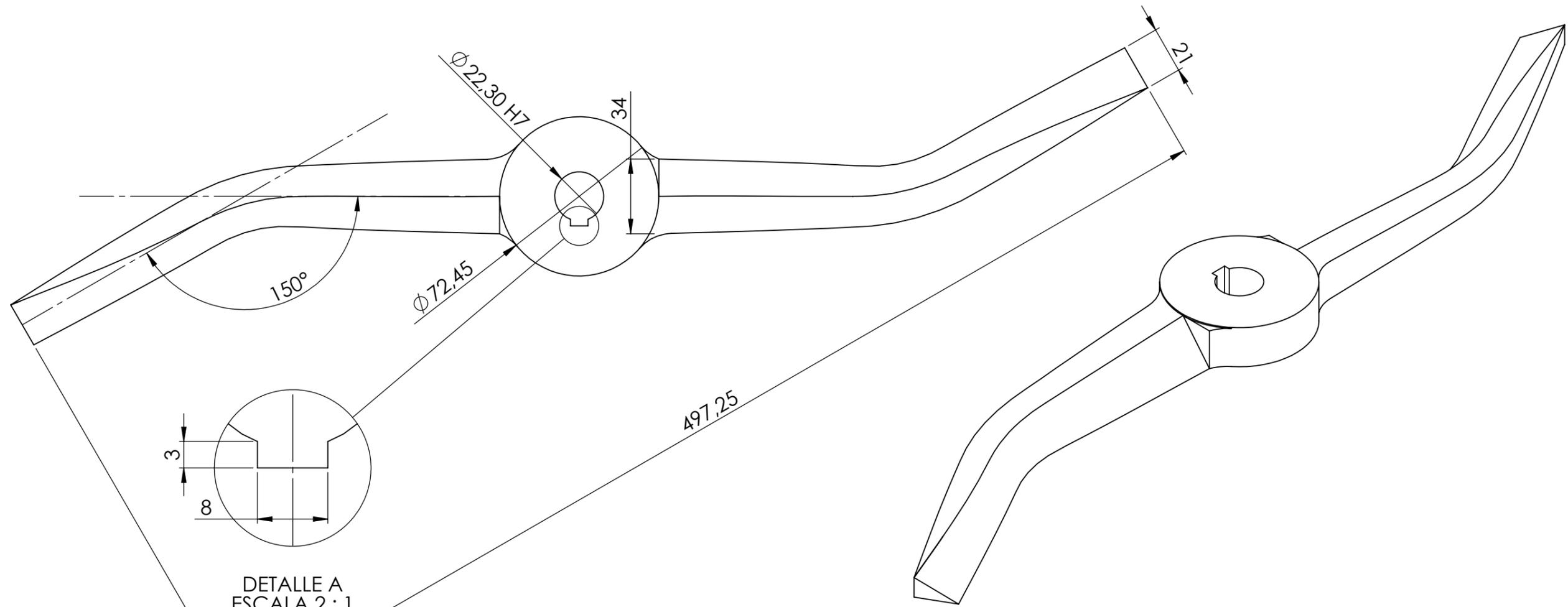
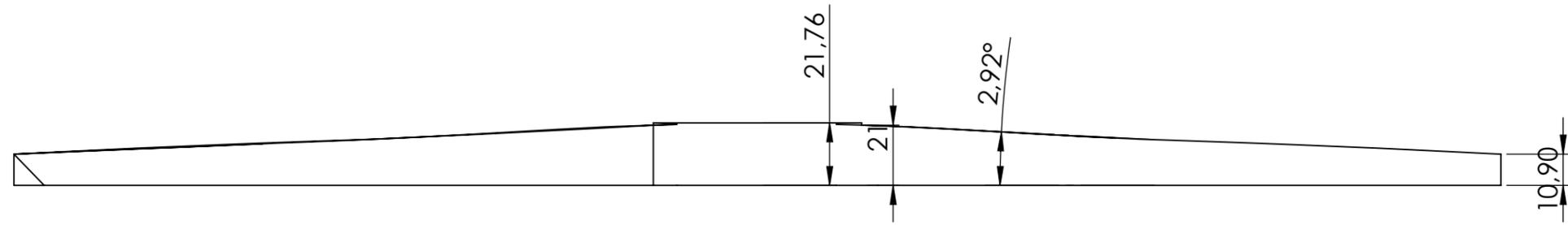


DETALLE CHAFLÁN 3
ESCALA 2 : 1



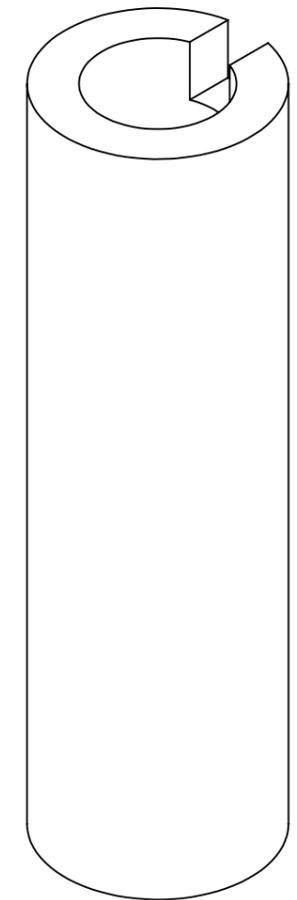
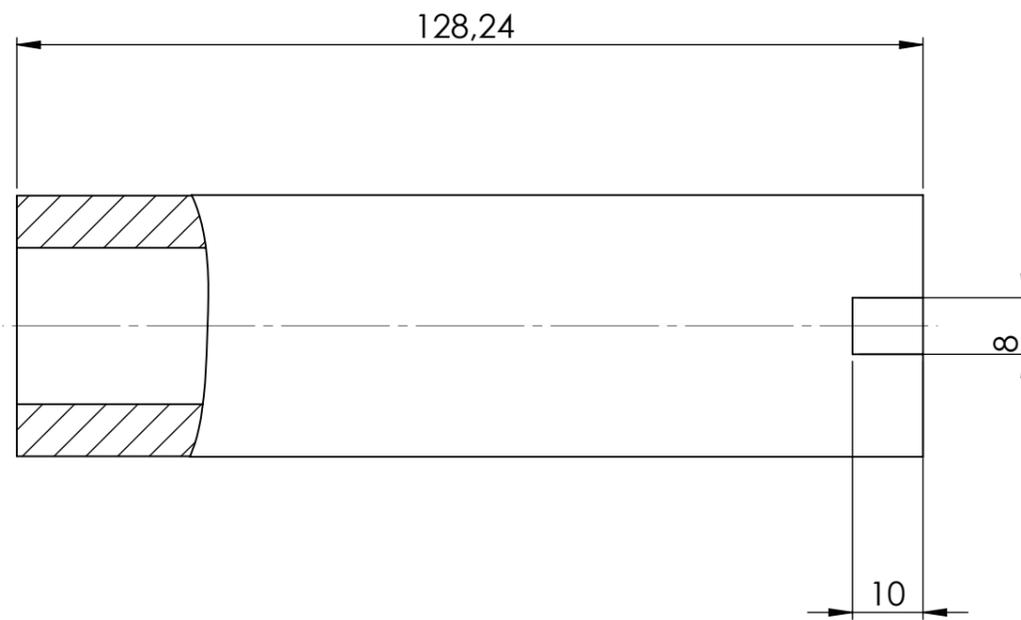
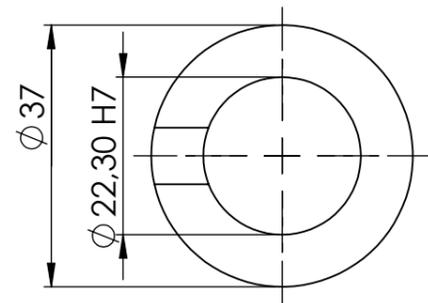
SECCIÓN B-B

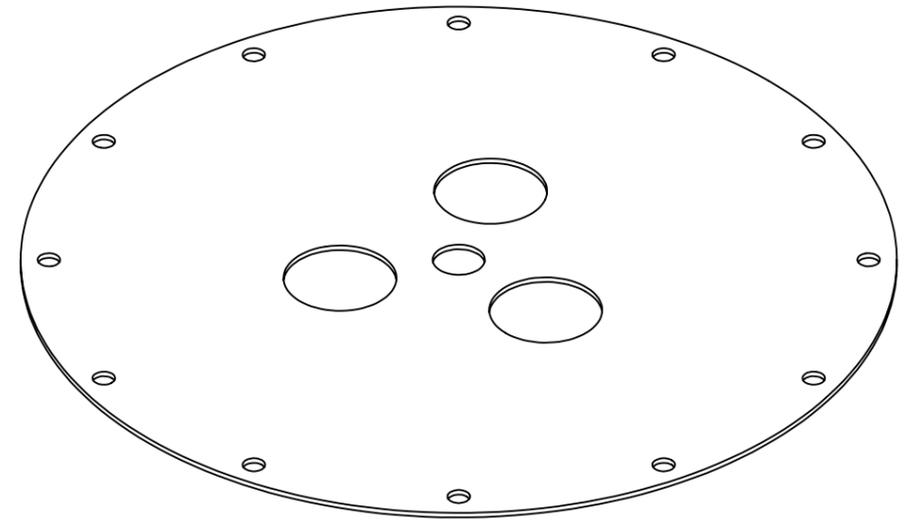
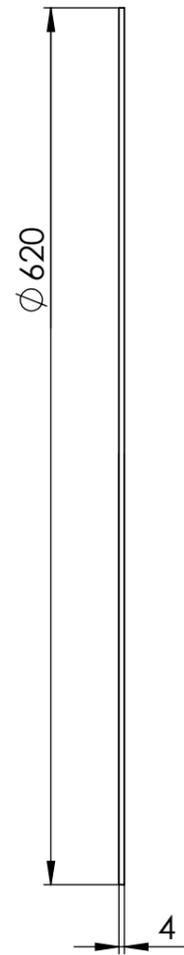
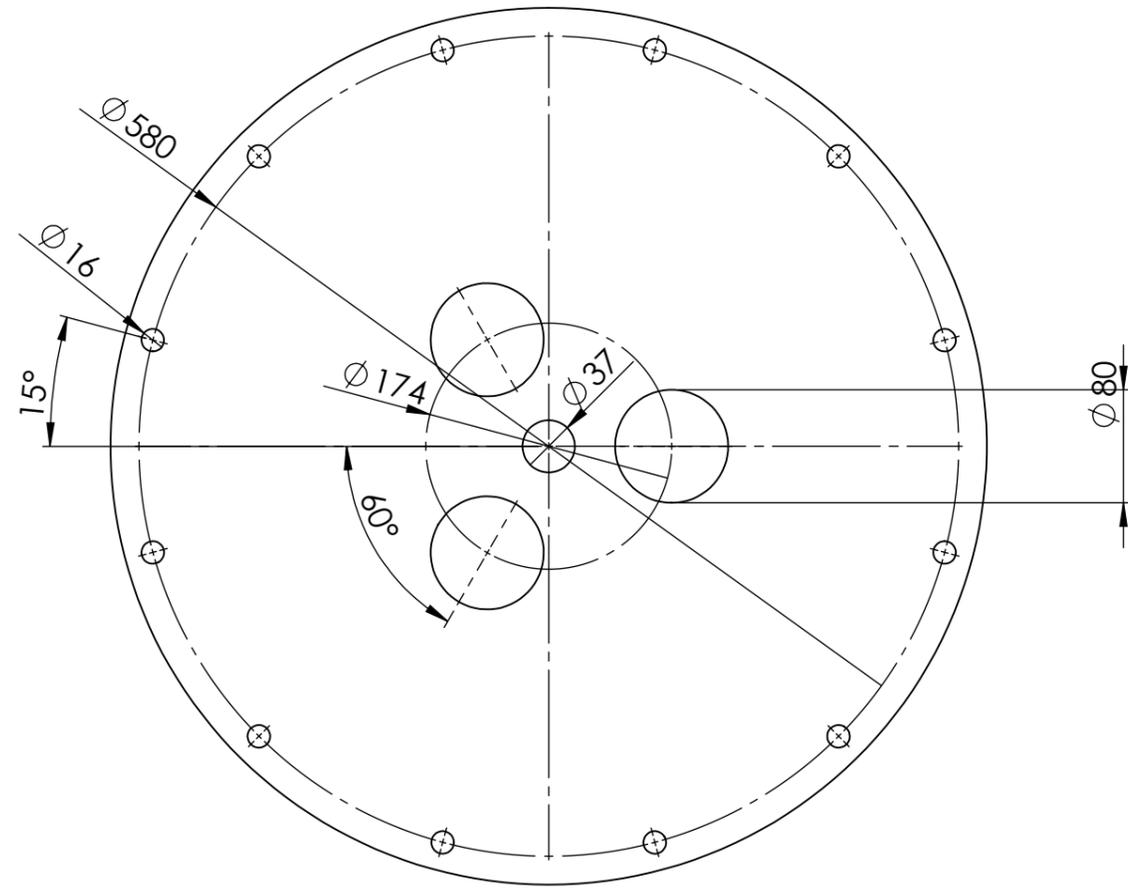
AUTOR: Alfredo García-Espantaleón	COMPAÑÍA: UBE UBE INDUSTRIES LTD.	PLANO Eje Mejorado	UNIVERSITAT JAUME I
FECHA: Febrero de 2016	A3	ESCALA: 1:2	
		PLANO 7 DE 11	MATERIAL: Acero inoxidable 316

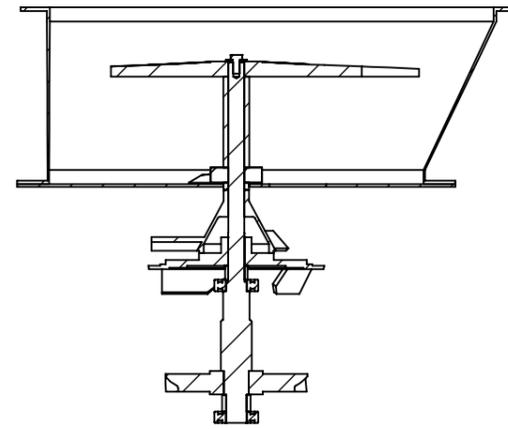
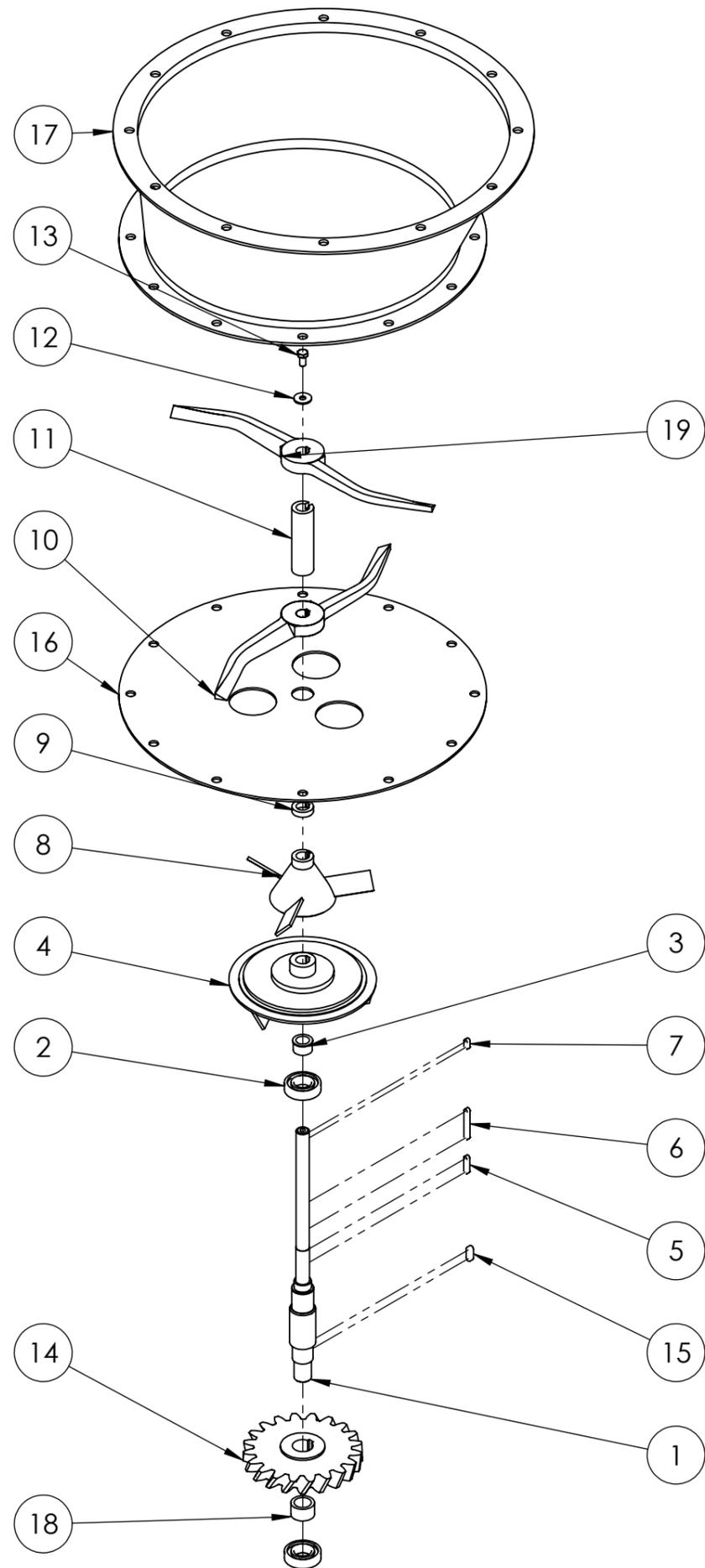


DETALLE A
ESCALA 2 : 1

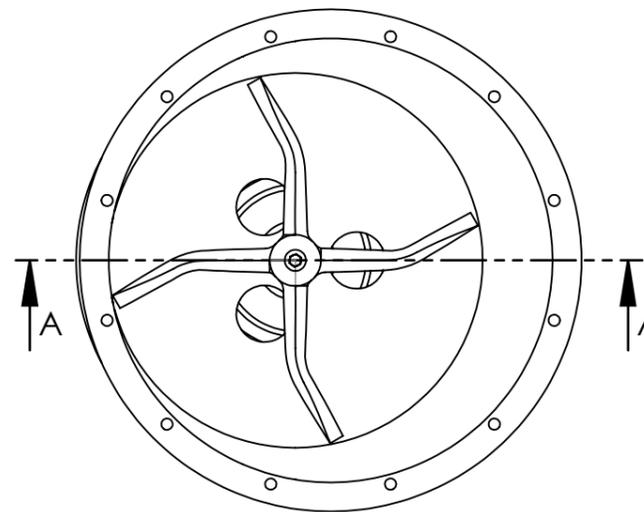
AUTOR: Alfredo García-Espantaleón	COMPañÍA: UBE UBE INDUSTRIES, LTD.	PLANO Hélice superior	UNIVERSITAT JAUME I
FECHA:	A3	ESCALA: 1:2	
		PLANO 8 DE 11	MATERIAL: Acero inoxidable 316







SECCIÓN A-A



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Eje mejorado	1
2	Rodamiento SKF 6206	2
3	Collar	1
4	Disco medidor	1
5	Chaveta A8 x 7 x 36 DIN 6885	1
6	Chaveta A8 x 7 x 63 DIN 6885	1
7	Chaveta A8 x 7 x 20 DIN 6885	1
8	Cono	1
9	Casquillo corto	1
10	Helice inferior	1
11	Casquillo	1
12	Arandela DIN 9021 - 10.5	1
13	Perno 8676 - M10x1 x 20-N	1
14	DIN - Rueda dentada 8M 20T 30HA 20PA 25FW	1
15	Chaveta A10 x 8 x 28 DIN 6885	1
16	Disco inferior	1
17	Tolva	1
18	collar inferior	1
19	Helice superior	1

AUTOR:
Alfredo García-Espantaleón

COMPAÑÍA:
UBE
UBE INDUSTRIES, LTD.

PLANO

Despiece



FECHA: Febrero de 2016

A3

ESCALA: 1:10

PLANO 11 DE 11

MATERIAL: Aero inoxidable 316