



**Universitat Jaume I**

**Escola Superior de Tecnologia i Ciències Experimentals**

**Grau en Enginyeria Química**

**Planta de obtención de polvo atomizado para  
el prensado de piezas de alta alúmina**

Trabajo de Fin de Grado

Autor/a: Victor Tena Franch

Tutor/a: José Luis Amorós Albaro

Castellón, septiembre 2021



# Agradecimientos

En primer lugar, como no puede ser de otra forma, me gustaría agradecer a mis padres y a mi hermano; Jesús, M.<sup>a</sup> Dolores y Vicent, siempre me habéis apoyado en cualquier cosa que me haya propuesto, gracias por todo.

También quiero agradecer el apoyo que siempre me ha brindado mi abuela, María. Y a los que desafortunadamente no pueden estar; Vicent, Higinio y Rosa, siempre os recordaré con cariño, sé que sin vosotros no hubiera sido capaz de alcanzar mis metas.

En mi estancia en la Universidad Jaume I he podido conocer a muchos profesores, a los que me gustaría dar las gracias por, no solo ayudarme, sino también motivarme.

Me gustaría agradecer a todos los profesores del Grado en Ingeniería Química que me han ayudado a elaborar el presente proyecto, y en especial a mi tutor, Jose Luis Amorós, por su paciencia y ayuda.



# 0. Resumen



En el presente proyecto se realiza el diseño y dimensionamiento de una planta de atomizado en la que se pretende producir polvo de prensas de alúmina, con la que se obtendrán productos de alta alúmina refractarios mediante prensado y cocción. El principal objetivo de la planta será producir de forma continua un polvo granulado el cual tenga un tamaño de gránulo, composición y humedad adecuado para el prensado.

Se realizará un estudio de la ubicación de instalación, donde se decidirá porque el Parque Sagunto, localizado en Sagunto en la provincia de Valencia, es el lugar idóneo para situar la planta.

También se realizará un estudio económico para determinar el coste que conllevaría llevar a cabo el proyecto teniendo en cuenta costes directos, indirectos y las tasas económicas.

El proceso consta de las siguientes etapas: almacenamiento de materia prima y producto, mezclado de materias primas, atomizado, recuperación del producto, depuración de subproductos y reaprovechamiento de energía.

En la nave se va a necesitar de un sistema de impulsión de gases y líquidos el cual estará conformado por una red de 6 conducciones en total, de las cuales 3 transportarán líquido o suspensión mediante bombas y 3 transportarán gas a través de ventiladores, soplantes o compresores. Estas conducciones se dividirán en 7 tramos, donde al principio de cada tramo de situará un equipo de impulsión.

La planta dispondrá también de todos los servicios necesarios para que todos los trabajadores puedan trabajar, descansar y hacer cualquier actividad necesaria en el recinto: zona de control de máquinas, bascula de pesado de camiones, aparcamiento, cafetería, despachos, etc.





# 1. Índice general



## 0. Resumen

## 1. Índice general

## 2. Memoria

## 3. Anexos

## 4. Planos

## 5. Pliego de Condiciones

## 6. Estado de Mediciones

## 7. Presupuesto



## 2. Memoria



## Índice

<b>1. OBJETIVO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>3. ALCANCE .....</b>	<b>2</b>
<b>4. ANTECEDENTES .....</b>	<b>4</b>
4.1 ALÚMINA .....	4
4.2 PRODUCTOS REFRACTARIOS .....	6
4.3 PRODUCTOS DE ALTA ALÚMINA.....	7
4.3.1 <i>Definición y propiedades</i> .....	7
4.3.2 <i>Productos según el contenido en alúmina</i> .....	9
4.3.3 <i>Procesado</i> .....	11
4.3.4 <i>Granulación</i> .....	12
4.4 SECADO POR ATOMIZACIÓN .....	15
4.4.1 <i>Componentes de la suspensión</i> .....	15
4.4.2 <i>Fase continua</i> .....	22
4.5 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA Y EL PRODUCTO.....	27
4.5.1 <i>Densidad aparente de minerales</i> .....	27
4.5.2 <i>Humedad de pastas y producto</i> .....	28
4.5.3 <i>Espectrometría de fluorescencia de rayos X</i> .....	29
4.5.4 <i>Difracción de rayos X</i> .....	31
4.5.5 <i>Difracción laser en continuo</i> .....	32
<b>5. ANÁLISIS DE SOLUCIONES.....</b>	<b>33</b>
5.1 EQUIPOS DE IMPULSIÓN DE FLUIDOS .....	33
5.1.1 <i>Impulsión de líquidos y suspensiones</i> .....	33
5.1.2 <i>Impulsión de gases</i> .....	37
5.2 ESQUEMA DE LÍNEA DE ATOMIZADO.....	41
5.3 ATOMIZADOR.....	43
5.3.1 <i>Configuraciones de la corriente alimento y de los sistemas de nebulización</i> .....	43
5.3.2 <i>Dirección de corriente alimento</i> .....	47
5.3.3 <i>Sistema de nebulización</i> .....	48
5.3.4 <i>Condiciones de operación del atomizador</i> .....	50
5.4 QUEMADOR.....	51
5.4.1 <i>Combustible</i> .....	51
5.4.2 <i>Cogeneración</i> .....	53
5.4.3 <i>Tipo de quemador</i> .....	56
5.5 MULTICICLÓN.....	58
5.5.1 <i>Funcionamiento de un ciclón</i> .....	58
5.5.2 <i>Tipos de ciclones según la eficiencia</i> .....	60
5.5.3 <i>Multiciclones</i> .....	61
5.6 FILTRO DE MANGAS .....	63
5.6.1 <i>Contaminantes emitidos en el atomizado</i> .....	63
5.6.2 <i>Métodos para separar contaminantes del producto</i> .....	64
5.6.3 <i>Refrigeración de los humos</i> .....	66
5.6.4 <i>Funciones</i> .....	67
5.6.5 <i>Elementos filtrantes</i> .....	71
5.6.6 <i>Tipos de filtros de mangas</i> .....	72
5.6.7 <i>Filtro de mangas con chorro de aire a presión</i> .....	73
<b>6. REQUISITOS DE DISEÑO .....</b>	<b>73</b>

6.1	PROCEDIMIENTO.....	74
6.1.1	<i>Comportamiento reológico</i> .....	74
6.1.2	<i>Secado por atomización</i> .....	77
6.2	SELECCIÓN DE LA COMPOSICIÓN.....	78
6.3	GRANULOMETRÍA DEL POLVO ATOMIZADO .....	78
<b>7.</b>	<b>RESULTADOS FINALES.....</b>	<b>79</b>
7.1	ATOMIZADOR.....	79
7.2	QUEMADOR DE GAS .....	80
7.3	MULTICICLÓN.....	81
7.4	FILTRO DE MANGAS .....	81
7.5	EQUIPOS PARA IMPULSIÓN DE GASES .....	82
7.6	EQUIPOS PARA IMPULSIÓN DE LÍQUIDOS Y SUSPENSIONES.....	82
7.7	TUBERÍAS .....	83
7.8	CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS .....	83
<b>8.</b>	<b>DISTRIBUCIÓN EN PLANTA .....</b>	<b>84</b>
8.1	RELACIONES ENTRE ACTIVIDADES.....	84
8.1.1	<i>Discusión de distribución</i> .....	84
8.1.2	<i>Tabla relacional de actividades</i> .....	86
8.1.3	<i>Diagrama relacional de actividades</i> .....	88
8.2	DEFINICIÓN DE ESPACIOS .....	89
8.3	TAMAÑO DE LA PLANTA .....	89
<b>9.</b>	<b>EMPLAZAMIENTO.....</b>	<b>90</b>
9.1	PONDERACIÓN DE ALTERNATIVAS .....	90
9.2	PARC SAGUNT .....	93
9.3	PARCELA SELECCIONADA.....	94
<b>10.</b>	<b>PLANIFICACIÓN .....</b>	<b>97</b>
<b>11.</b>	<b>ORDEN DE PRIORIDAD DE LOS DOCUMENTOS BÁSICOS .....</b>	<b>99</b>
<b>12.</b>	<b>NORMAS Y REFERENCIAS .....</b>	<b>100</b>
12.1	DISPOSICIONES LEGALES Y NORMAS APLICADAS .....	100
12.1.1	<i>Legislación básica</i> .....	100
12.1.2	<i>Legislación sobre Instalaciones de protección contra incendios</i> .....	100
12.1.3	<i>Legislación de Prevención de Riesgos Laborales</i> .....	100
12.1.4	<i>Legislación sobre maquinaria</i> .....	100
12.1.5	<i>Normas UNE</i> .....	101
12.2	PROGRAMAS EMPLEADOS .....	101
12.3	BIBLIOGRAFÍA.....	102





## 1. Objetivo

El objeto del proyecto es idear una planta que sea viable económicamente, con la que se obtenga un polvo granulado de alúmina con las características idóneas para que pueda ser prensado y cocido en la elaboración de productos de alta alúmina. Además de pretender recuperar en la medida de lo posible la parte del polvo atomizado presente en la corriente de los humos, aprovechar parte de la energía usada en el calentamiento de aire y acondicionar los subproductos para que su vertido no sea nocivo para el medioambiente o las personas.

En la producción se emplea polvo atomizado de alúmina mezclado con agua, ligante y defloculante. La suspensión se alimenta, junto con aire caliente, a un atomizador. Esto provoca, no solo el secado de la suspensión, sino la aglomeración de las partículas.

El aire se calienta mediante un quemador, proceso en el que interviene un sistema de cogeneración que permite aprovechar parte de la energía de la operación para convertirla en electricidad.

Una pequeña parte del polvo se pierde con la salida del aire húmedo del equipo de atomizado. Se recupera la mayor parte de las partículas de polvo con una serie de ciclones dispuestos en la conducción de aire húmedo. En el final de la conducción, antes de la chimenea donde se expulsa el aire, se encuentra un filtro de mangas, es aquí donde se elimina el polvo y otras sustancias nocivas resultado de la combustión del aire.

De esta forma se recupera la mayor parte del producto, se eliminan subproductos no deseados y se acondiciona el aire de forma que pueda ser vertido sin riesgo de que contenga partículas de polvo inhalables.

## 2. Justificación

El proyecto nace de la necesidad de evaluar al alumno que cursa la asignatura del grado de Ingeniería Química EQ1044 (*Trabajo de Final de Grado*) en el cual pretende que el alumno elabore un documento de carácter profesional ligado a su carrera.

A raíz de la propuesta del tutor de TFG se ha decidido que el proyecto se base en el diseño de una planta de polvo atomizado de alta alúmina, para suministrar la materia prima ya granulada a empresas que lo requieran.

Debido al emplazamiento donde se situará la planta, Parque Sagunto, tanto la recepción de materias primas como el envío de los productos resulta sencillo y de bajo coste. En el apartado 9 de la Memoria se encuentra la justificación, en la que se detalla los motivos de la elección del espacio, y se pondera con otras posibles ubicaciones igualmente válidas.

### 3. Alcance

A continuación, se detallan las líneas de proceso que se instalarán en la planta de producción y el funcionamiento general de esta.

Los big bags de polvo de alúmina se descargan en las 3 tolvas de carga (1). Las cintas transportadoras se encargan de trasladar dicha materia prima a cada uno de los 9 silos (2).

Para preparar una suspensión estable, se dispone de: 1 tanque de defloculante (4), 3 tanques de ligante (5) y 5 tanques de agua (6).

De los silos de alúmina se transporta el polvo, mediante una cinta, hasta la mezcladora vía húmeda (3), donde se suministra desde los tanques anteriormente mencionados el defloculante y el ligante con un dosificador y el agua con una bomba.

De este modo se obtiene la suspensión, que se bombea a una balsa hexagonal (7), con unos agitadores mecánicos en su interior, que evitan la sedimentación del sólido suspendido y mantienen la concentración de la suspensión homogénea.

La suspensión de la balsa se bombea al atomizador (9), el cual se alimenta a su vez de aire seco que ha sido calentado previamente con un quemador (8) que funciona con gas natural. Los humos (aire húmedo con subproductos de la quema del gas natural y unas pocas partículas de polvo atomizado), se impulsa hasta un multiciclón (10) y posteriormente a un filtro de mangas (11). El primer equipo separa la mayor parte de los finos del aire húmedo y lo añade a la mezcladora vía húmeda; mientras que el segundo se encarga de eliminar los finos restantes y gases de combustión provocados por el quemador, para que pueda ser expulsado por la chimenea sin riesgo de contaminar el medioambiente.

El polvo separado del rechazo en los ciclones mientras que el producto del atomizador se transporta a los silos de polvo atomizado (12) donde se almacenan temporalmente granulado y permite descargarlo en una cinta transportadora que lo traslada a la zona de descarga (13) una vez llegan los camiones, que cargan el polvo para su distribución.

El esquema del proceso, con los equipos etiquetados numéricamente, se adjunta en la Figura M.1. En el apartado Planos se incluye el trazado de la planta de producción con más detalle.

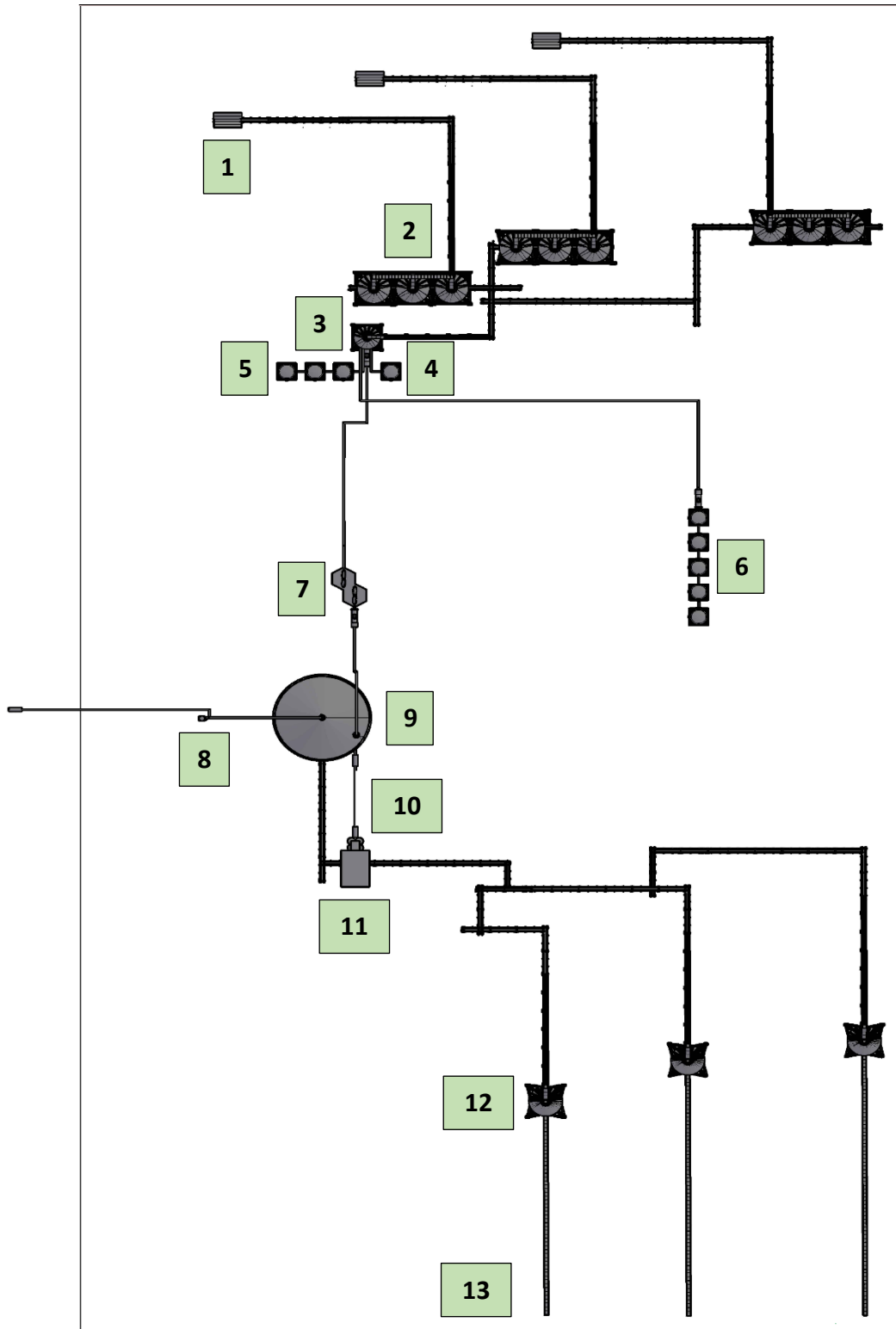


Figura M.1: Esquema de la planta de producción, con equipos y conducciones

## 4. Antecedentes

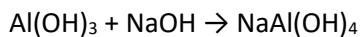
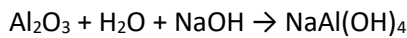
### 4.1 Alúmina

La alúmina (óxido de aluminio o  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) es el óxido más utilizado de todos los materiales cerámicos. Los minerales que contienen alúmina representan un 15% de la corteza terrestre, por lo tanto, es un material abundante y virtualmente inagotable a diferencia de muchas materias primas de aleaciones desarrolladas para aplicaciones especiales. Sus aplicaciones están muy extendidas e incluyen bujías, arandelas de grifo, baldosas resistentes a la abrasión y herramientas de corte.

También se utilizan tonelajes muy grandes en la fabricación de refractarios. Se puede mezclar con otros materiales como el grafito en escamas para darle otras aplicaciones, como picos de vertido y válvulas de compuerta deslizante.

La mayor parte del óxido de aluminio producido comercialmente se obtiene mediante la calcinación de hidróxido de aluminio (frecuentemente denominado trihidrato de alúmina, ATH o  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ).

El hidróxido de aluminio se obtiene prácticamente en su totalidad mediante el proceso Bayer. Esto implica la digestión de la bauxita en sosa cáustica:



A excepción del  $\text{SiO}_2$ , los otros componentes de la bauxita no se disuelven en la base. Al filtrar la mezcla básica, se elimina el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Cuando se enfría la disolución sin impurezas ( $\text{NaAl}(\text{OH})_4$ ), precipita el  $\text{Al}(\text{OH})_3$  puro, dejando los silicatos en solución:



El  $\text{Al}(\text{OH})_3$  sólido se calcina (se calienta a más de  $1100\text{ }^\circ\text{C}$ ) para dar óxido de aluminio:



El producto de óxido de aluminio tiende a ser multifásico, es decir, que consta de varias fases además de corindón. Por lo tanto, el proceso de producción se puede optimizar para producir un producto a medida. El tipo de fases presentes afecta, por ejemplo, la solubilidad y la estructura de los poros del producto de óxido de aluminio que, a su vez, afecta el costo de producción de aluminio y el control de la contaminación.

El óxido de aluminio existe en muchas formas,  $\alpha$ ,  $\chi$ ,  $\eta$ ,  $\delta$ ,  $\kappa$ ,  $\theta$ ,  $\gamma$ ,  $\rho$ ; estos surgen, como ya se ha mencionado, durante el tratamiento térmico de hidróxido de aluminio. La forma más estable termodinámicamente es la  $\alpha$ -alúmina.

Las propiedades clave de los óxidos de aluminio se muestran a continuación:

- Alta resistencia a la compresión
- Gran dureza
- Resistente a la abrasión
- Resistente al ataque químico de una amplia gama de productos químicos incluso a temperaturas elevadas
- Alta conductividad térmica
- Resistente al choque térmico
- Alto grado de refractariedad
- Alta rigidez dieléctrica
- Alta resistividad eléctrica incluso a temperaturas elevadas
- Transparente a las radiofrecuencias de microondas
- Materia prima fácilmente disponible y precio no sujeto a fluctuaciones violentas

La producción anual de óxido de aluminio es de 45 millones de toneladas. El 90% de este se utiliza en la fabricación de aluminio metálico por electrólisis. Casi el 10% restante se destina en su totalidad a productos de alta alúmina. Entre los productos de alta alúmina se encuentra la alúmina de alta pureza.

Las alúminas de alta pureza se clasifican normalmente como aquellas con una pureza del 99,99%.

Algunas de aplicaciones incluyen la fabricación de piedras preciosas sintéticas como rubíes y granates de itrio, aluminio para láseres, zafiros para ventanas de instrumentos y láseres, bolas de válvula y bombas de pistón, y en su mayoría productos refractarios como ladrillos o crisoles.

## 4.2 Productos refractarios

Son productos capaces de resistir altas temperaturas de más de 1600 grados Celsius sin descomponerse o ablandarse. Además de mantener sus resistencia y estructura a altas temperaturas, deben soportar choques térmicos, ser químicamente inertes, presentar una baja conductividad térmica y un bajo coeficiente de dilatación. Estos materiales se utilizan principalmente para hacer crisoles y para los recubrimientos de hornos e incineradores.

Los materiales refractarios más importantes son los óxidos de aluminio (alúmina), de silicio (sílice), de magnesio (óxido de magnesio) y de calcio (cal); las arcillas refractarias como la chamota y en casos excepcionales, donde se pretende soportar temperaturas extremadamente elevadas, el dióxido de circonio (circonita). Los metales refractarios como el wolframio, el molibdeno o el tántalo son asimismo otras opciones igual de válidas.

Estos materiales se deben elegir en función del uso que tendrán. Por ejemplo, los materiales refractarios ácidos no se pueden utilizar en presencia de una base química y viceversa puesto que se produciría corrosión.

Por su composición química los materiales refractarios se dividen en:

- Materiales refractarios ácidos: son producidos a base de sílice en sus distintas formas como cuarzo, cuarcita o arena.
- Materiales refractarios neutros: son los más comunes y se usan en todo tipo de industrias. Son estables químicamente ante ácidos y bases. Son producidos a base de bauxita o corindón. Tienen  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; y son igual de resistentes.
- Materiales refractarios básicos: sus principales componentes son el óxido de magnesio y óxido de calcio; el ladrillo más común es el de magnesita, el cual tiene buena resistencia a la compresión y alta refractariedad. Se usa principalmente en hornos abiertos, convertidores alimentados por oxígeno, hornos eléctricos y otros equipos operados a altas temperaturas.

El circonio, la chamota y el dióxido de silicio son ácidos, la dolomita y la magnesita son básicas; mientras que el óxido de aluminio, la cromita, el carburo de silicio o el carbono son neutros. Los compuestos binarios, tales como el carburo de wolframio o el nitruro de boro pueden ser muy refractarios; siendo el carburo de hafnio es el compuesto binario más refractario conocido, con un punto de fusión de 3890 °C. Por otro lado, el compuesto ternario carburo de tántalo hafnio tiene uno de los más altos puntos de fusión conocidos (4215 °C).

### 4.3 Productos de alta alúmina

#### 4.3.1 Definición y propiedades

La alúmina se utiliza en varios contenidos de pureza, desde un 60% de alúmina pura, hasta un 99,9%.

Las propiedades del material que contiene óxido de aluminio están fuertemente influenciadas por la pureza y el proceso de fabricación. A medida que aumenta la proporción de alúmina, aumenta la dureza, la resistencia a la corrosión, la rigidez dieléctrica y la conductividad térmica del material. Sin embargo, la resistencia al choque térmico disminuye.

La Tabla M.1 muestra las propiedades del producto de alta alúmina según el porcentaje de alúmina, sílice y calcita en la pieza. Hay que mencionar que estas notas están basadas en productos proporcionados por la empresa Carbosystem y deben tomarse como valores medios cuya única finalidad es servir de referencia.

Tabla M.1: Propiedades de piezas de alta alúmina según la composición

CALIDAD		A95%	A99%	A99,9%
<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>				
<input type="checkbox"/> Porosidad	%	0	0	0
<input type="checkbox"/> Densidad	g/cm <sup>3</sup>	>3,65	>3,9	3,95
<input type="checkbox"/> Dureza	HRA	82	85	85
<input type="checkbox"/> Dureza Vickers	HV0,5	1800	1900	2000
<input type="checkbox"/> Resistencia a Flexión	MPa	≥270	≥380	≥300
<input type="checkbox"/> Resistencia a Compresión	MPa	1.330	2.900	3.200
<input type="checkbox"/> Resistencia a Tensión a 25 °C	MPa	105	238	238
<b>PROPIEDADES TÉRMICAS</b>				
<input type="checkbox"/> Coef. Expansión Térmica	10 <sup>-6</sup> /°C	<6,2	<8	<8
<input type="checkbox"/> Conductividad Térmica a 25 °C	W/m.K	18	35,6	35,6
<input type="checkbox"/> Máxima Temperatura de Trabajo	°C	1.450	1.600	1.650
<b>PROPIEDADES ELÉCTRICAS</b>				
<input type="checkbox"/> Constante Dieléctrica a 25 °C	1 MH 20 °C	≤9	≤9,2~11	≤9,2~11
<input type="checkbox"/> Volumen de Resistividad a 25°C	Ωcm <sup>2</sup> /cm	≥10 <sup>14</sup>	≥10 <sup>14</sup>	≥10 <sup>15</sup>
<input type="checkbox"/> Rigidez Eléctrica	KV/mm	≥20	≥25	≥29
<b>COMPOSICIÓN</b>				
<input type="checkbox"/> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	95	>99	99,9
<input type="checkbox"/> SiO <sub>2</sub>	%	2	0,3	0
<input type="checkbox"/> CaO <sub>2</sub>	%	3	0,3	0



Las piezas de alúmina son fabricadas a través de métodos de prensado, extrusión, colado e inyección. El polvo es pues un refractario no conformado, mientras que la pieza, a la cual se le ha dado ya una geometría, se enmarca en los refractarios conformados.

En la naturaleza, el  $\text{Al}_2\text{O}_3$  lo podemos encontrar en forma de corindón y de esmeril, dos minerales de muy alta dureza.

Entre sus propiedades destaca su alto punto de fusión (cerca de los  $2100\text{ }^\circ\text{C}$ ) y su dureza (que rivaliza con la del diamante, ya que tiene un 9 en la escala Mohs). Por ello, también se añade a los esmaltes, aportándoles dureza y un aspecto mate.

Sus propiedades refractarias, lo hace un material interesante para utilizarse en procesos de altas temperaturas. En altos hornos se puede usar como placas de transporte de piezas, empujadores, rodillos e incluso guías. También en estos hornos se pueden utilizar como paneles aislantes para no dejar escapar el calor de estos. Gracias a su estabilidad química, también es muy utilizada en laboratorios, en forma de matraces y crisoles para depositar y tratar diferentes muestras, e incluso como agitadores, recubriendo imanes con alúmina para los automáticos y fabricándolos en forma de varilla para los manuales.

Debido a su disponibilidad y propiedades, el  $\text{Al}_2\text{O}_3$  se utiliza muy a menudo para la fabricación de componentes cerámicos. La alúmina se utiliza en varias modificaciones. El más utilizado para la cerámica técnica es el trigonal  $\alpha$ -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (corindón).

La dureza y alta resistencia al desgaste de la alúmina permite su uso como agente de esmerilado o pulido. Como la temperatura de fusión es superior a  $2000\text{ }^\circ\text{C}$ , el material es ideal para su uso como material refractario. En la electrotecnia se utiliza  $\text{Al}_2\text{O}_3$  debido al bajo factor de pérdida dieléctrica, al alto aislamiento eléctrico y la rigidez dieléctrica. Las aplicaciones van desde discos selladores en grifos a implantes, pasando por la protección balística de óxido de aluminio.

#### 4.3.2 Productos según el contenido en alúmina

A continuación, se presentan algunos ejemplos de ladrillos y bloques refractarios según su contenido en alúmina:

- Ladrillos y bloques refractarios de sillimanita: son ampliamente utilizados en las industrias del vidrio, el hierro y el acero, la petroquímica, el cemento, y las industrias no ferrosas (contenido de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  superior al 50% o inferior al 60%).



**Figura M.2: Ladrillo de sillimanita, contenido en alúmina superior al 50%**



**Figura M.3: Ladrillo de sillimanita, contenido en alúmina superior al 60%**

- Ladrillos y bloques refractarios de mullita: tienen ventajas de impurezas de bajo nivel, excelente estabilidad de volumen y alta resistencia a la carga en altas temperaturas; son adecuados para su uso en cubiertas de hornos eléctricos, altos hornos y la superestructura de hornos de tanques de vidrio (contiene aproximadamente el 70% de alúmina).



Figura M.4: Ladrillo de mullita, contenido en alúmina aproximadamente del 70%

- Ladrillos y bloques refractarios de corindón: tiene la más alta resistencia térmica y es resistente a la erosión; se utilizan principalmente para aplicaciones de alta temperatura, como en procesos químicos (el refractario de corindón contiene 99% de alúmina).

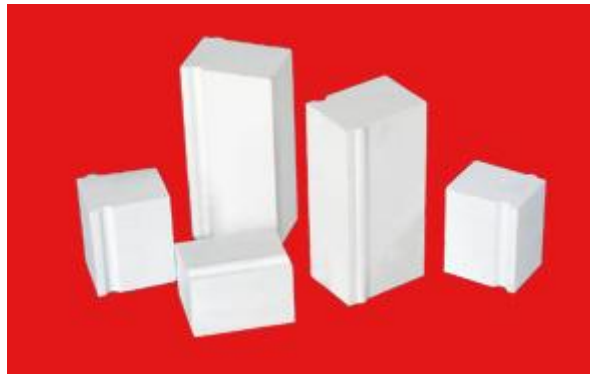


Figura M.5: Ladrillo de corindón, contenido en alúmina aproximadamente del 99%

Si se observan a través de un microscopio electrónico, se puede ver como las piezas de alúmina están formadas de gránulos prensados entre si (Figura M.6).

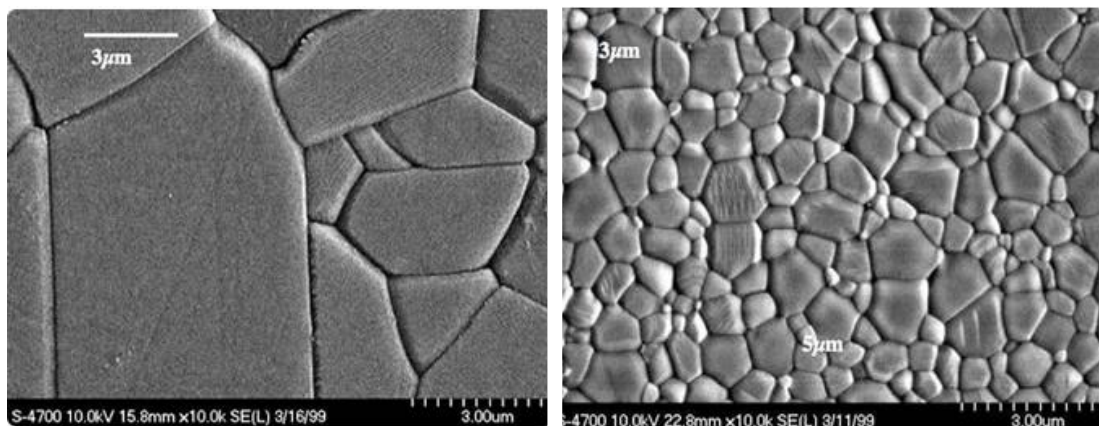


Figura M.6: Microestructura de piezas de alúmina, vista al microscopio electrónico de barrido

### 4.3.3 Procesado

Las piezas de alta alúmina se obtienen por el prensado de gránulos de alúmina (Figura M.6) y su posterior cocción, proceso conocido como sinterizado. Estos aglomerados esféricos son el resultado del atomizado de una suspensión de agua, alúmina y una serie de aditivos que facilitan el procesado.

Principalmente se usan 2 tipos de prensado:

- Prensado isostático: En el prensado isostático, el granulado cerámico rellena un molde elástico y se prensa uniformemente por toda la superficie debido la presión de 1000-2000 bar (Figura M.7). A veces, el producto prensado debe ser rectificad para lograr la forma deseada antes de la cocción (transformación en verde).

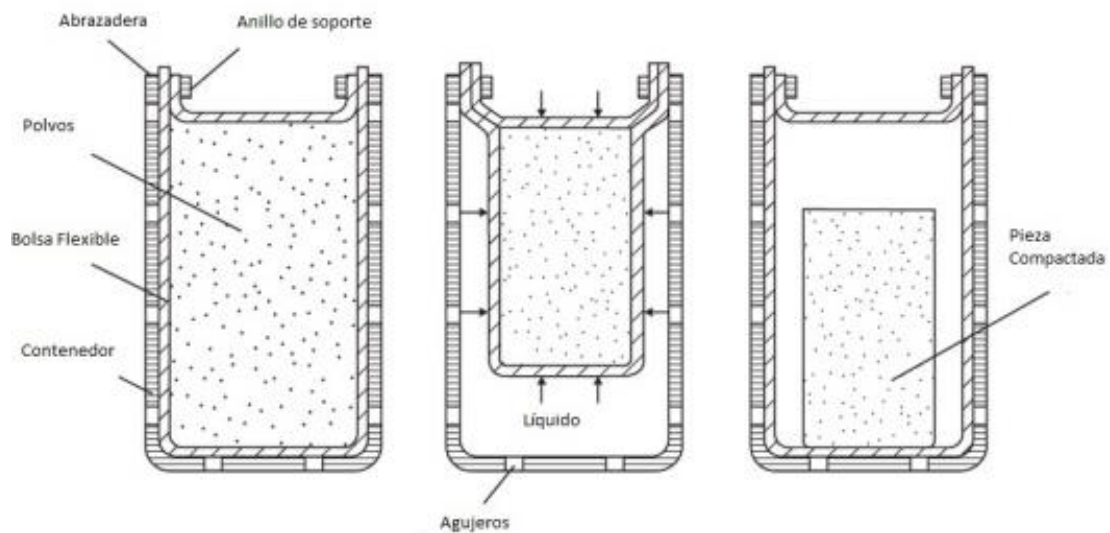


Figura M.7: Progresión de prensado en frío (orden de izquierda a derecha)

- Prensado en seco uniaxial: Proceso para la producción automatizada de piezas de formas más sencillas. Los gránulos son compactados en un molde de acero, el cual es perfilado de acuerdo con la pieza a producir (Figura M.8). La desventaja del método en comparación con el prensado isostático para piezas de forma compleja es la falta de uniformidad en la distribución de la presión en el interior de la pieza.

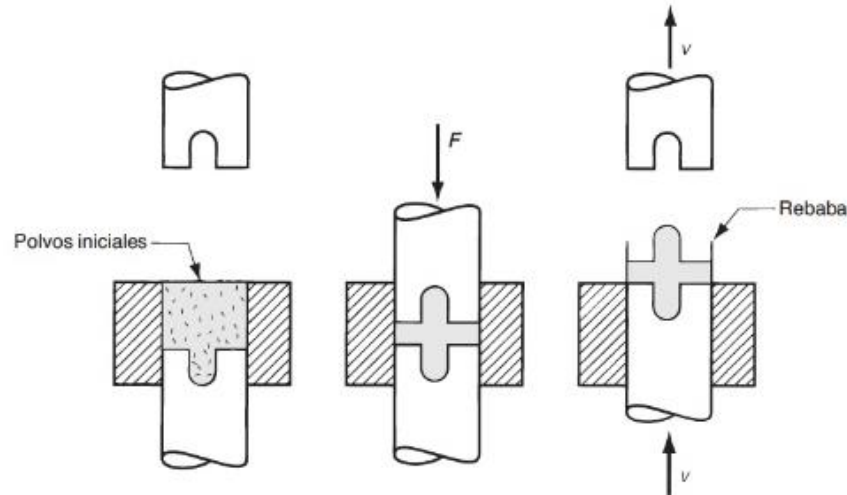


Figura M.8: Progresión de prensado en seco uniaxial (orden de izquierda a derecha)

#### 4.3.4 Granulación

Los polvos finos mezclados con una pequeña cantidad de solución ligante no son un material de alimentación conveniente para la prensa. Este tipo de sistemas no fluyen bien y no llenan un molde uniformemente. El polvo de prensas semiseco ideal consiste en aglomerados, obtenidos de forma controlada, llamados gránulos que se producen mediante procesos de granulación.

La granulación se puede lograr directamente presionando, extruyendo el material a través de un orificio o rociando un líquido humectante o una solución ligante en un polvo agitado, lo que se denomina granulación por rociado.

En las operaciones modernas de prensado el polvo de prensas se obtiene por secado por atomización. El material granulado se utiliza ampliamente como material de alimentación para procesos de calcinación o fusión, y directamente como producto, que sirve como soporte de catalizador.

Examinamos los procesos de granulación y las características de los gránulos en este capítulo.

#### 4.3.4.1 Mecanismo de granulación

Los gránulos de polvo se pueden producir directamente mediante prensado, extrusión y granulación por pulverización y agitación. Los materiales preparados de esta forma incluyen alúminas técnicas, ferritas, arcillas, baldosas, baldosas de porcelana, composiciones refractarias convencionales, soportes de catalizadores y materias primas para la fusión de vidrio y el refinado de metales.

Los polvos finos premezclados con solo un pequeño porcentaje de un líquido humectante o una solución ligante pueden compactarse en una matriz de formación de tabletas. Para obtenerlos por extrusión se suele utilizar un mezclador con un rodillo y una placa inferior perforada para producir polvo granulado.

Los gránulos producidos por compactación exclusivamente son densos, duros y fuertes si se compactan por encima de aproximadamente 10 MPa. Para obtenerlos se suele usar una extrusora de tornillo sin fin y una amasadora para producir un producto granular que tenga una consistencia plástica. El material sale en forma de espagueti y se corta mediante unos cuchillos giratorios. Posteriormente, el material seco se tritura para reducir el tamaño de partícula.

La granulación por pulverización es la formación de gránulos cuando se pulveriza una solución ligante en un polvo continuamente agitado. Se puede considerar que la formación de los gránulos se produce en 2 etapas:

1. Nucleación de aglomerados primarios
2. Crecimiento mediante la adición de partículas o pequeños aglomerados al aglomerado central.

Al agitar el polvo, las partículas ruedan, se deslizan y entran en contacto unas con otras.

Un aglomerado diminuto llamado núcleo o semilla se forma cuando una gota de la solución líquida o ligante se adsorbe en la superficie de un grupo de partículas. Las fuerzas capilares y la floculación del ligante forman mezclas resistentes.

Los núcleos son más numerosos cuando el líquido se introduce como una fina niebla y el polvo se agita vigorosamente. Las fuerzas capilares provocan el reordenamiento de las partículas, la densificación y la migración de líquido a la superficie de los núcleos aglomerados.

El crecimiento de los gránulos se produce por el contacto y la adhesión de partículas a los núcleos. Alternativamente, la aglomeración de núcleos y fragmentos de gránulos rotos también puede producir un gránulo. Estos mecanismos de crecimiento se ilustran en la Figura M.9. La velocidad de cada mecanismo depende de la velocidad de alimentación del líquido, la adsorción de líquido en el aglomerado y la acción de mezcla.

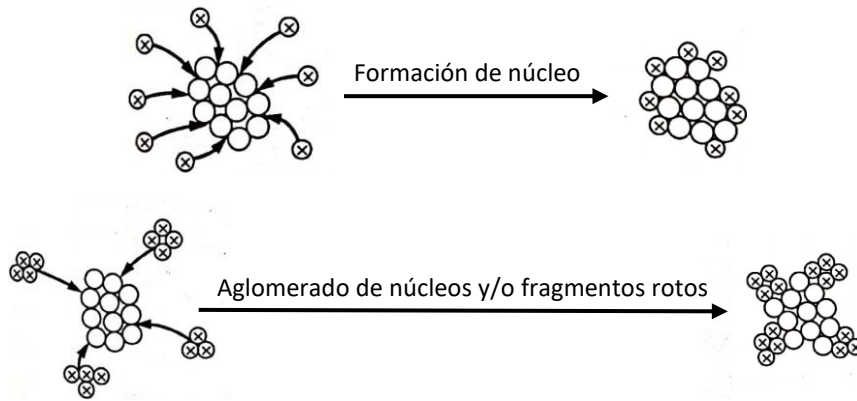


Figura M.9 Nucleación y crecimiento de gránulos en la granulación por pulverización

La fricción entre los gránulos durante la agitación puede provocar la transferencia de partículas en las superficies y el alisado de esta. La fractura de los gránulos y el desgaste son mayores cuando las fuerzas durante el mezclado son mayores y los gránulos carecen de resistencia. El tamaño, la forma y el aspecto de la superficie de los gránulos formados por granulación por pulverización se muestran en la Figura M.10.

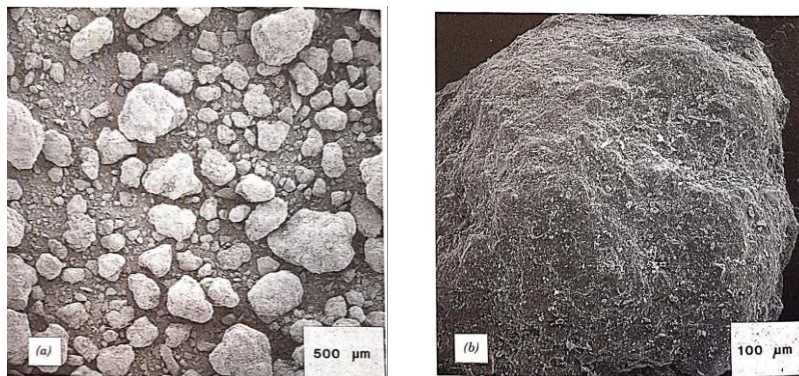


Figura M.10: Micrografía electrónica de barrido de gránulos formados mediante granulación por pulverización

#### 4.3.4.2 Efecto de algunas variables de operaciones sobre las características del gránulo

Para cada sistema, existe un intervalo crítico de contenido líquido para granulación. En el extremo inferior, los gránulos se forman cuando la energía de procesamiento es suficientemente alta. La adición de una mayor cantidad de líquido (agua y aditivos) generalmente aumenta el tamaño medio, la distribución del tamaño y la porosidad de los gránulos (Figura M.11).

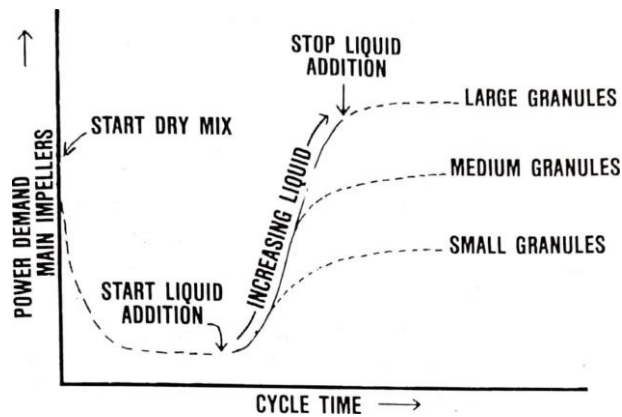


Figura M.11: Efecto de la cantidad de líquido añadida al polvo seco sobre el tamaño de gránulo resultante

### 4.4 Secado por atomización

#### 4.4.1 Componentes de la suspensión

Las suspensiones son mezclas heterogéneas formadas por pequeñas partículas no solubles (fase dispersa) que se dispersan en un medio líquido (fase continua). En cerámica se suelen utilizar aditivos para modificar las propiedades de la suspensión.

En el presente proyecto la fase dispersa es el polvo de alúmina.

##### 4.4.1.1 Aditivos reológicos

Existen 3 tipos de aditivos que se suelen añadir a la suspensión para alterar sus propiedades: los defloculantes, los suspensionantes y los ligantes.

La principal propiedad en la que suelen repercutir los aditivos es la viscosidad. En la Figura M.12 se puede observar el efecto de los aditivos sobre el comportamiento reológico de una suspensión. En una no se adiciona ningún tipo de agente reológico, en otra se añade un defloculante (TPF) y en otra un ligantes (CMC). Esto provoca, como se puede ver, diferencias entra las viscosidades de las suspensiones.



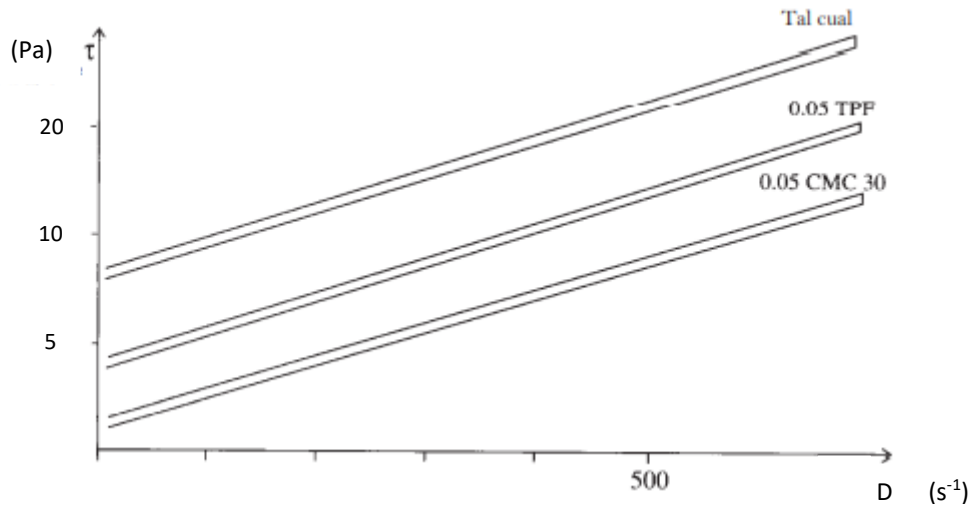


Figura M.12: Diagrama reológico de la suspensión, según el aditivo (esfuerzo cortante frente velocidad de cizalla)

#### 4.4.1.2 Defloculantes

Los defloculantes o dispersantes tienen como efecto reducir la viscosidad aparente de la suspensión. Su objetivo es estabilizar coloidalmente la suspensión, es decir, impiden la floculación aumentando el potencial electrocinético (potencial Zeta), y con ello la capa de iones adsorbida sobre la partícula como se observa en la Figura M.13.

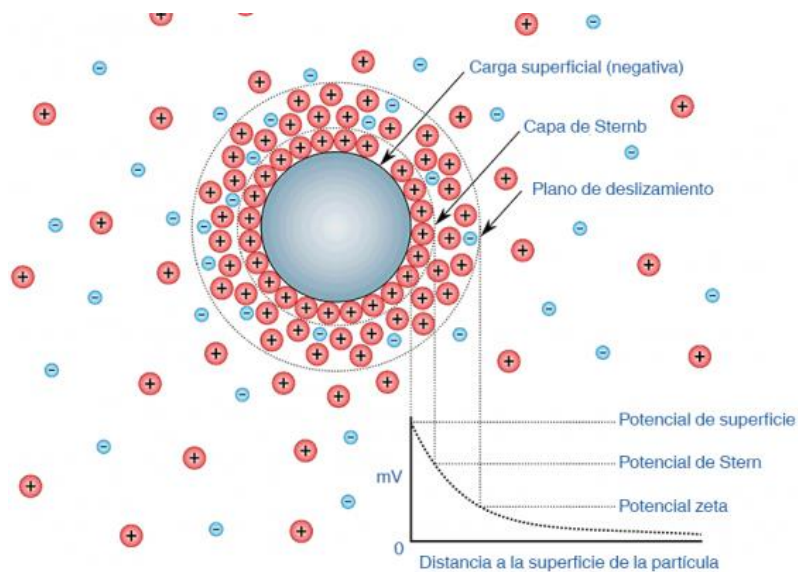


Figura M.13: Capa de iones adsorbida sobre la superficie de la partícula

Esto provoca un aumento de las fuerzas repulsivas que actúan entre las partículas (aumenta el potencial zeta en la superficie del plano de deslizamiento), como se aprecia la Figura M.14.

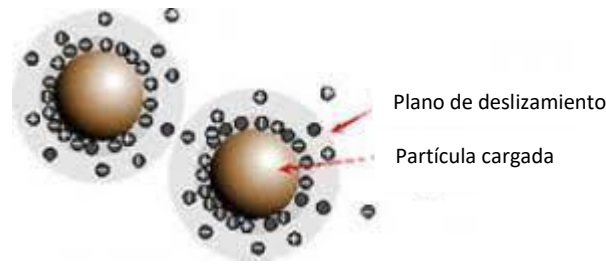


Figura M.14: Plano de cizalla o deslizamiento entre partículas

Estos productos pueden aditivarse en la molienda. Su adición en la línea tiene como función principal la corrección instantánea de la viscosidad de la barbotina, para una mayor adecuación de la suspensión a las características de regulación mecánica de los equipos y a las especificidades de los efectos estéticos deseados.

Otro efecto considerado también positivo, hallado a veces, aunque todavía no aclarado en sus mecanismos, es el posible aumento de la tenacidad en el producto o en crudo, relacionado principalmente con el uso de los silicatos o polifosfatos sódicos.

Los defloculantes se suelen dividir en inorgánicos y orgánicos. La Figura M.15 recoge algunos ejemplos siguiendo esta clasificación.

INORGÁNICOS	ORGÁNICOS
$\text{Na}_2\text{CO}_3$ $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ Fosfatos poliméricos $(\text{NaPO}_3)_n$	Ácidos húmicos Taninos Derivados del ácido acrílico $\text{CH}_2=\text{CHCOOH}$
$\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$	Derivados del ácido oxálico $\begin{pmatrix} \text{COOH} \\   \\ \text{COOH} \end{pmatrix}$

Figura M.15: Ejemplos de agentes defloculantes inorgánicos y orgánicos

Los inorgánicos son electrólitos (bases monovalentes, electrólitos básicos, carbonatos, silicatos y fosfatos sódicos), mientras que los orgánicos pueden ser electrólitos o no electrólitos. Independientemente de que se trate de la adición de sustancias orgánicas o inorgánicas, hace falta considerar no solo sus eventuales efectos secundarios indeseables, sino también la influencia que las adiciones ejercen en la velocidad de deshidratación de la pasta, plasticidad, contracción y resistencia mecánica. Por otra parte, hay que evaluar también la influencia del defloculante en la tixotropía y los efectos que podrán manifestarse en las siguientes fases de conformación (pegado a los moldes, agresividad hacia los moldes, etc.).

En comparación con los defloculantes orgánicos, los inorgánicos son más sensibles a la naturaleza y cantidad de iones presentes en la suspensión. No se eliminan en las fases de secado y cocción, y además no manifiestan efectos tixotrópicos. A igualdad de concentración, los defloculantes orgánicos presentan una mayor eficacia, una menor sensibilidad a la interferencia de otros iones y un mayor poder estabilizador, se descomponen en la cocción y son de coste más elevado (como es el caso del poliacrilato de sodio).

La selección del defloculante más idóneo debe decidirse mediante los ensayos experimentales oportunos.

Los defloculantes más usados son los polifosfatos (tri-poli, tetra-poli...) de sodio y los derivados sódicos o amónicos del ácido poliacrílico, polimetacrílico, o copolímeros con una estructura más compleja.

En particular, el poliacrilato de sodio (uno de sus nombres comerciales, Darvan C) se usa en porcentajes del 0.1 al 0,4% en peso de las materias primas secas. Estas sales también ejercen una óptima acción quelante (“secuestrante”) sobre los iones polivalentes presentes en la solución y su acción es de una eficacia inmediata.

Los poliacrilatos requieren un intervalo bien definido de valores de pH en la suspensión entre 8 y 9. Fuera de este rango ya no presentan la misma eficacia por la variación de las fuerzas electrostáticas entre las partículas en suspensión.

Una de sus principales ventajas es su solubilidad en agua, fase continua de la suspensión, cuya afinidad es necesaria para que no se aglomeren.

Las principales desventajas son el coste más elevado y el hecho que, cuando se aditivan en la molienda, son sujetos a la rotura de la cadena poliacrílica, con la consiguiente pérdida de eficacia. Además, siendo compuestos orgánicos, son menos adecuados para el aditivado en la pasta, ya que por pirólisis producen compuestos reductores perjudiciales y sales de amonio, o generalmente nitrogenados, que provocan mal olor. En el caso de una dosificación excesiva, su efecto no es reversible, y el aumento de sodio y/o amonio en la mezcla puede generar efectos indeseados.

Los efectos secundarios o colaterales pueden resumirse en los siguientes puntos: aumento del tiempo de secado, reducción de la velocidad de sedimentación (en un período corto), formación de sedimentos extremadamente tenaces (o “cementación”) en un período medio o largo y reducción de la plasticidad y tixotropía (disminución de viscosidad del fluido durante el tiempo cuando se le aplica un esfuerzo de cizalla) de las suspensiones de alta densidad.

Aunque una excesiva adición de defloculante puede resultar perniciosa. Algunos efectos de una sobredosificación son: viscosidad demasiado baja y fluencia excesiva, pueden comportar irregularidades en la aplicación (por ejemplo, acumulación en los bordes) y sobredesfloculación.

#### 4.4.1.3 Suspensionantes

Otra categoría de aditivos reológicos es la de los suspensionantes, cuya acción se genera por efectos de naturaleza electrostática a causa de los enlaces interatómicos o intermoleculares, en cuanto que se refiere a las sales solubles en los disolventes polares (agua), o por el aumento de la viscosidad (CMC) o por el aumento de la carga coloidal en suspensión. Su efecto, en todo caso, es una disminución de la velocidad de sedimentación, la cual depende a su vez de una compleja serie de factores, que incluyen el peso específico y la distribución granulométrica de los sólidos suspendidos, la densidad y viscosidad de la barbotina, y la presencia de coloides.

Los productos más utilizados pueden resumirse en: cloruro sódico, mezclas de electrólitos en disolución, derivados celulósicos (CMC de alta viscosidad), arcillas bentoníticas y sílice coloidal.

#### 4.4.1.4 Ligantes

Por último, los agentes ligantes. Existen colas utilizadas en la cerámica como ligantes para la barbotina. Son moléculas de polímero que se adhieren a partículas de polvo creando una malla que las mantiene unidas, sin que las partículas estén en contacto entre sí (de forma análoga a los defloculantes suelen alterar el potencial Zeta).

De estos materiales se explota su capacidad ligante, en cuanto que mejoran la cohesión de las partículas de la suspensión, la adherencia de este al soporte y regulan la evaporación, ralentizando la evaporación de la fase líquida.

De forma análoga a los anteriores tipos de aditivos, los ligantes se pueden clasificar como orgánicos (carboximetilcelulosa o CMC, polivinil-alcoholes o PVA y polietilenglicoles o polímeros como el PEG) e inorgánicos (cal, cemento, yeso, silicato sódico, etc.).

Los ligantes orgánicos se eliminan de las piezas cerámicas por calentamiento en el rango de 350 a 650°C (se mantienen en el atomizado y se eliminan en la cocción), por lo que no influyen en la composición final de la pieza.

El PEG es en realidad un plastificante y se emplea en combinación con otros ligantes; sin embargo, también se utiliza con frecuencia solo, ya que pueden impartir propiedades satisfactorias tanto a la suspensión de polvo como al cuerpo verde (pieza cerámica sin cocer).

Los efectos reológicos del ligante dependen estrechamente de la cantidad añadida y viscosidad del medio.

Una clasificación basada en la viscosidad de las soluciones al 2% puede ser la siguiente: viscosidad baja (aproximadamente entre 5 y 50 mpa·s), viscosidad media (aproximadamente entre 100 y 1000 mpa·s) y viscosidad alta (aproximadamente entre 1000 y 10.000 mpa·s o superior).

De modo análogo, los efectos reológicos, con un porcentaje de uso tipo del 0,1 - 0,6%, pueden dividirse en: viscosidad baja (provoca una ligera reducción de la viscosidad en la suspensión y tiende a desarrollar fenómenos de "cementación"), viscosidad media (posee un escaso efecto sobre la viscosidad y un ligero efecto suspensionante) y viscosidad alta (provoca un aumento de la viscosidad y presenta un incremento del poder suspensionante).

Como ocurre con los defloculantes, existen efectos indeseados si se da una sobredosificación. Estos son: un aumento excesivo de la viscosidad, una prolongación de los tiempos de secado.

La concentración de ligante y el contenido en sólidos afecta a la distribución granulométrica de los aglomerados. Como se aprecia en la Figura M.16 y Tabla M.2, cuanto más ligante y mayor contenido en sólidos se tenga, mayor es el tamaño de grano.

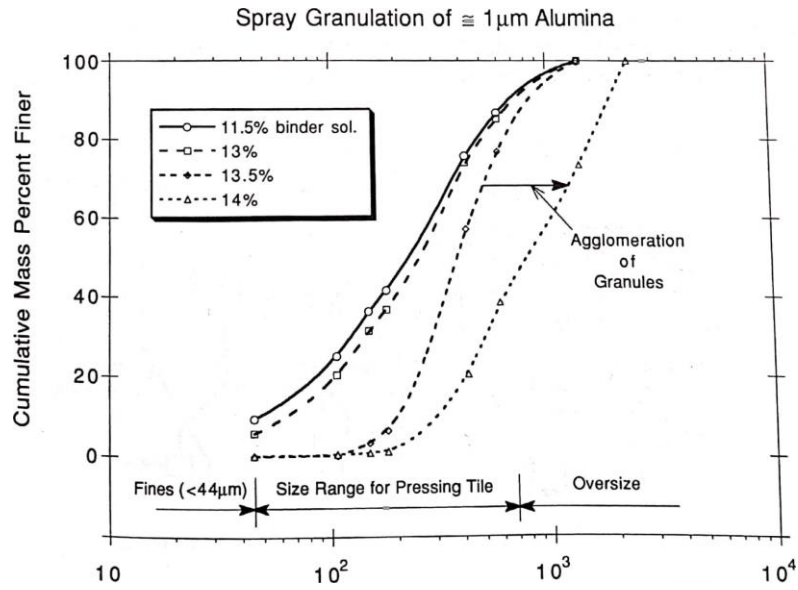


Figura M.16: Efecto de la concentración de ligante en a la suspensión sobre el tamaño del gránulo

Tabla M.2: Distribución granulométrica de gránulos de alúmina obtenidos por atomización. Efecto del contenido en sólidos y ligante

Pasta		Tamaño de gránulo <sup>b</sup> ( $\mu\text{m}$ )			Densidad de gránulo (%)	Densidad de relleno <sup>c</sup> (%)
Sólidos (%vol.)	Ligante (%peso) <sup>a</sup>	90%<	50%<	10%<		
35	1	172	92	40	54	30
35	0,5	144	74	27	55	32
50	0,5	202	118	54	58	34
52	0,5	216	113	41	57	34

<sup>a</sup>Alcohol polivinílico completamente hidrolizado

<sup>b</sup>Datos de tamizado

<sup>c</sup>Densidad a granel después de verter en cilindro graduado

#### 4.4.2 Fase continua

Resulta imprescindible seleccionar un líquido que permita la disolución de los aditivos y que sea económicamente asequible. Es por esto que el agua suele ser la principal opción a la hora de elegir el compuesto que forma la fase dispersante en una suspensión cerámica.

##### 4.4.2.1 Secado de una gota de suspensión

El modelado teórico del proceso de secado por pulverización se basa en una descripción de la cinética de secado de gotas individuales y gránulos húmedos. La cinética de secado de una gota individual que contiene sólidos (suspendidos o disueltos) generalmente se divide en dos etapas de secado. Como se puede ver en la Figura M.17 y M.18; los intervalos o periodos comprendidos entre 0 y 2 corresponden a la primera etapa de secado, mientras que entre 2 y 4 se circunscribe la segunda etapa.

En la primera etapa de secado, la gota con exceso de líquido se somete a una corriente de gas de secado (aire). La evaporación conduce a la contracción de la gota y un aumento simultáneo de la concentración de sólidos cerca de la superficie de la gota. Esto a su vez, da lugar a la formación de una costra sólida en la superficie de la gota, llamada corteza. En este momento, la gota se convierte en una partícula húmeda y la segunda etapa del secado comienza.

En la segunda etapa, el proceso de secado se ve obstaculizado por una resistencia adicional a la evaporación planteada por la capa de la corteza. La segunda etapa de secado continúa hasta que el contenido de la humedad de las partículas alcanza el equilibrio con el aire de secado. Después de este punto, el proceso de secado en realidad se detiene y la partícula se encuentra a la temperatura de equilibrio térmico.

Las evoluciones típicas de la temperatura de la gota y el contenido de humedad durante el proceso de secado se describen en las figuras M.17 y M.18. En esta figura, el intervalo entre los puntos 0 y 1 corresponde al calentamiento inicial de la gota, el período entre los puntos 1 y 2 está relacionado con el período de evaporación de la gota, el intervalo entre los puntos 2 y 3 está relacionado con la resistencia a la evaporación provocada por la corteza, y finalmente, el período entre los puntos 3 y 4 designa el calentamiento de partículas hasta el equilibrio con el agente de secado circundante.

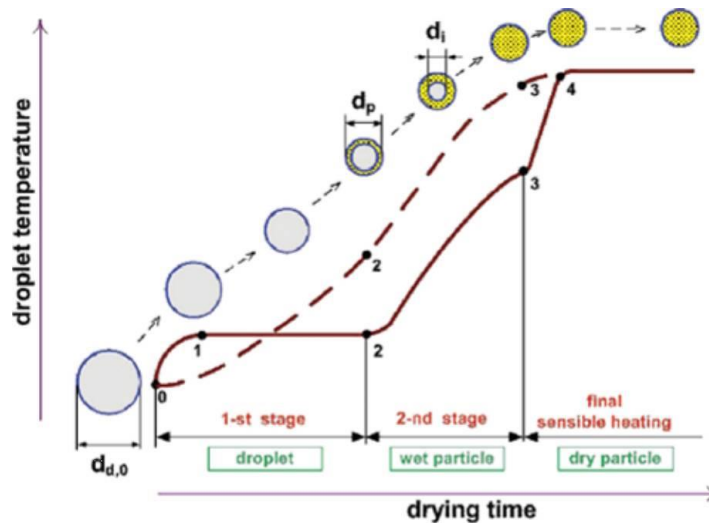


Figura M.17: Curvas de secado en función de la temperatura de gota (línea continua para suspensión y guión para solución)

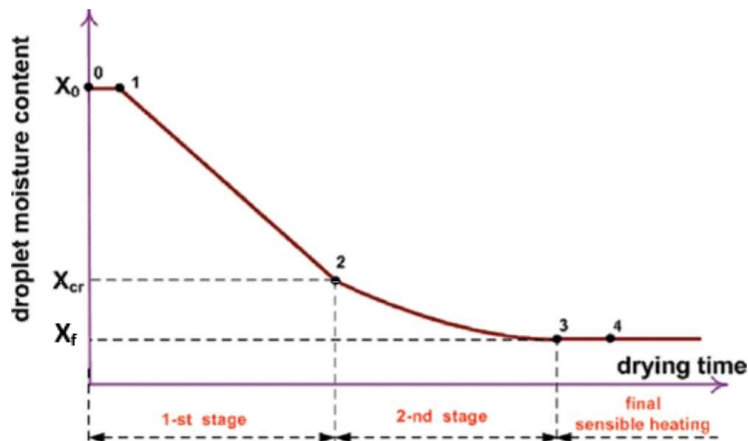


Figura M.18: Curvas de secado en función de la humedad de la gota

Un enfoque generalmente aceptado para determinar el momento de la transición de la primera a la segunda etapa de secado es asumir que esta transición coincide con el momento de la formación inicial de la corteza en la superficie de la gota. El valor correspondiente de la fracción de líquido de gotas promedio se conoce como humedad crítica ( $X_{cr}$ ). El contenido de humedad crítico generalmente se determina por experimentos, excepto en un caso especial; cuando, al final del secado, se forma un gránulo poroso sin ningún hueco interno. Existe una fórmula analítica que describe la humedad crítica en la gota (Ecuación [M.1]):

$$X_{cr} = \frac{\rho_w}{\rho_s} \cdot \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} \quad [M.1]$$



Donde los siguientes términos significan:

- $\rho_w$ : densidad del agua.
- $\rho_s$ : densidad del sólido.
- $\varepsilon$ : porosidad del gránulo.
- $X_{cr}$ : humedad crítica en la gota.

La distinción entre dos etapas diferentes de secado y los respectivos estados de morfología de la gota se dan por el criterio de la Figura M.17.

$$X_d: \begin{cases} X_d \geq X_{cr}, & \text{Primera etapa de secado} \rightarrow \text{Gota} \\ X_f < X_d < X_{cr}, & \text{Segunda etapa de secado} \rightarrow \text{Gránulo húmedo} \\ X_d = X_f, & \text{Final del secado} \rightarrow \text{Gránulo seco} \end{cases}$$

**Figura M.17: Periodo de secado de la gota según su humedad**

En la Figura M.17,  $X_d$  es un valor de humedad de la gota en un momento comprendido en una etapa de secado y  $X_f$  es la humedad final de la gota una vez terminado el proceso de secado.

La descripción matemática de la cinética de secado de una gota explica las interacciones recíprocas entre el agente de secado (gas), líquido (gotas) y fases sólidas (partículas). A su vez, cada fase es una mezcla de varios componentes, de esta manera, para todas las fases en la cámara de secado, se deben tener en cuenta los fenómenos de transporte internos y externos. El modelado teórico de dicho sistema es bastante complejo por lo que se imponen algunas simplificaciones generales. Una suposición razonable es considerar el gas de secado como una fase continua, para tratar las gotas y los gránulos como una fase discreta, en la medida en que, en los secadores de pulverización, la fase de gases ocupa un volumen sustancialmente mayor en comparación con las gotas y las partículas dispersas.

4.4.2.2 Mecanismos y etapas de secado

El calentamiento inicial de la gota es un proceso rápido que generalmente se produce en décimas de segundo en condiciones industriales reales.

En consecuencia, para una gota esférica (líquido y sólido) con propiedades isotrópicas, la variación de su masa y temperatura dependen del flujo de calor entre el aire y la gota, como se aprecia de forma gráfica en la Figura 18.

La primera etapa se conoce como periodo pre-crítico. La concentración de sólidos en la superficie aumenta continuamente y, en algún momento, alcanza la saturación. Aparece una capa delgada de corteza en la superficie de la gota. Esta capa inicial es inestable y se derrumba debido a las fuerzas capilares de compresión. Después del colapso, la evaporación conduce a la renovación y el engrosamiento de la capa de corteza. Si esta corteza recién formada no es lo suficientemente gruesa para soportar la presión capilar compresiva, colapsa de nuevo. El proceso se repite hasta que la corteza sea lo suficientemente gruesa para soportar la presión capilar. El período de repetición de la evaporación y colapso de corteza al final en la primera etapa de secado se conoce como período de transición. La duración del periodo de transición puede suponer hasta el 32% de la duración total de la primera etapa de secado, para el caso del secado de gotas de una nanosuspensión.

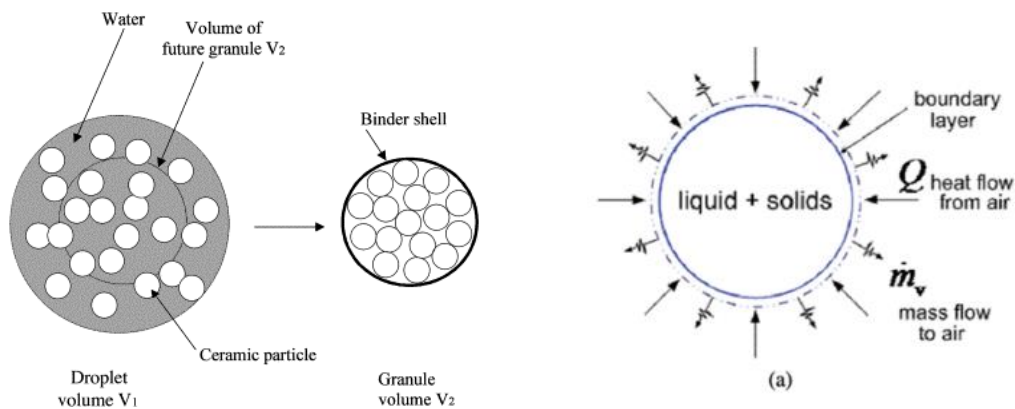


Figura M.18: Secado de una sola gota en la primera etapa

La segunda etapa de secado se conoce como periodo post-crítico. Desde el momento en que el contenido de la humedad de la gota es inferior al valor crítico, comienza el proceso de formación porosa en la corteza. En consecuencia, la gota se considera que es una partícula húmeda que consiste en una corteza porosa seca que rodea un núcleo húmedo. Se puede suponer que el diámetro exterior de la partícula húmeda es constante. Al mismo tiempo, el núcleo húmedo de partículas interno se reduce debido al secado y aumenta el grosor de la corteza. El secado de partículas húmedas se puede considerar como un fenómeno con la interfaz de evaporación en movimiento recesivo (Figura M.19).

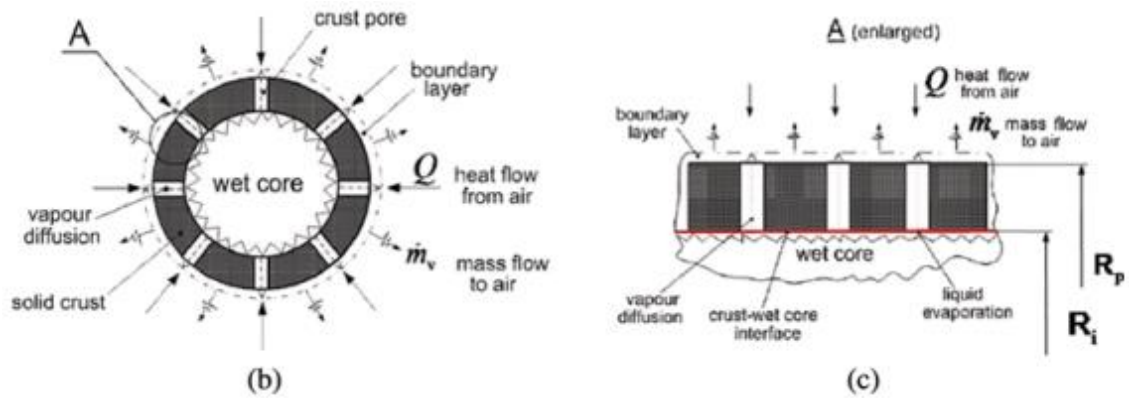


Figura M.19: Secado de una sola gota en la segunda etapa; plano (izquierda) y perfil de sección (derecha).

La región de la corteza de la partícula húmeda se puede tratar como una costra perforada por una gran cantidad de capilares cilíndricos rectos e idénticos. También se considera el gránulo húmedo como una esfera con propiedades físicas isotrópicas y una conductividad térmica de corteza independiente de la temperatura.

El calentamiento rápido puede causar que el líquido se evapore dentro de la gota, formando una burbuja de vapor que puede expandir el aglomerado, por lo que la temperatura del aire de salida se controla para mantener el producto con un contenido de humedad constante sin imperfecciones.

Finalizada la segunda etapa, el gránulo está en equilibrio con el aire cálido y húmedo que sale del secadero.

## 4.5 Caracterización de la materia prima y el producto

Se suelen usar varios métodos para determinar las propiedades físicas de la materia prima como de los productos en la planta de producción. No solo se ponen en práctica para el diseño del proyecto, sino que, una vez realizada la puesta en marcha, se siguen usando para el control de calidad de la planta. A continuación, se detallan los métodos que se suelen usar para caracterizar las materias primas y el producto.

### 4.5.1 Densidad aparente de minerales

La densidad aparente se define como la masa de polvo por unidad de volumen y representa el nivel de compactación del material a través de la relación entre sólidos y espacio poroso. Es una forma de estimar cuanto ocupa un material molturado según la granulometría a la que se ha reducido el tamaño de grano. El método más utilizado para realizar esta determinación es el método del cilindro (Figura M.20). El proceso se realiza de la siguiente forma:

1. Se tara un contenedor de 1 litro en una báscula
2. Se introduce el material en el contenedor vertiéndolo en un ángulo de 45° para transferir el polvo sin una compactación forzada
3. Se nivela el contenedor con una regla retirando el polvo sobrante de la superficie para ajustar el volumen del material al receptáculo sin compactarlo
4. Se pesa y registra el peso con la báscula



Figura M.20: Método del cilindro para estimar la densidad aparente

A partir del peso registrado, el volumen del contenedor y la expresión [M.2] se estima la densidad específica.

$$\rho_{aparente} = \frac{m_s}{V_s} \quad [M.2]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $\rho_{aparente}$ : densidad aparente del polvo, en  $\text{kg/m}^3$ .
- $m_s$ : masa de polvo registrada en la báscula, en kg.
- $V_s$ : volumen de polvo en el contenedor, en  $\text{m}^3$ .

#### 4.5.2 Humedad de pastas y producto

Las balanzas para medición de humedad están concebidas para ser usadas en el sector industrial para analizar de modo rápido pastas, y polvos.

El equipo seca la sustancia húmeda mediante energía infrarroja para luego pesar el material seco resultante. La sustancia húmeda ha sido previamente pesada con el equipo para que el mismo instrumento pueda estimar la humedad. Durante el proceso de secado se puede ver en la pantalla la disminución del contenido de humedad hasta que se alcanza un valor cercano al cero y se estabiliza sin variaciones.

Las balanzas para medición de humedad (Figura M.21) son aparatos ideales para determinar con precisión la humedad, la masa de la sustancia seca o la consistencia de materiales y sustancias volátiles y fijas.



Figura M.21: Balanza de humedad

La humedad es una variable física definida formalmente como la cantidad de agua disuelta en un gas o absorbida en un sólido.

En este caso la balanza mide lo que se conoce como humedad absoluta sobre base húmeda, esto lo hace usando la siguiente expresión (Ecuación [M.3]):

$$H_h = \frac{m_a}{m_s + m_a} \cdot 100 \quad [M.3]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $H_h$ : humedad absoluta sobre base húmeda (%).
- $m_a$ : masa de agua que contenía la pasta o el producto antes de ser secado mediante infrarrojos (kg).
- $m_s$ : masa de sólido seco de la pasta o el producto que queda después de ser secado mediante infrarrojos (kg).

#### 4.5.3 Espectrometría de fluorescencia de rayos X

La espectroscopia de rayos X abarca todas aquellas técnicas espectroscópicas utilizadas para determinar la estructura electrónica de los materiales mediante excitación por rayos X. Estos rayos son un tipo de radiación electromagnética con una energía muy superior a la radiación ultravioleta que permite su absorción por los electrones. Son especialmente capaces de penetrar estructuras cristalinas: su longitud de onda, de un orden de magnitud igual al de las distancias interatómicas.

La fluorescencia de rayos X (conocida también por sus siglas FRX) es una técnica espectroscópica que utiliza la emisión secundaria o fluorescente de radiación X generada al excitar una muestra con una fuente de radiación X (Figura M.22). La radiación X incidente o primaria expulsa electrones de capas interiores del átomo. Los electrones de capas más externas ocupan los lugares vacantes y el exceso energético resultante de esta transición se disipa en forma de fotones, radiación X fluorescente o secundaria, con una longitud de onda característica que depende del gradiente energético entre los orbitales electrónicos implicados y una intensidad directamente relacionada con la concentración del elemento en la muestra.

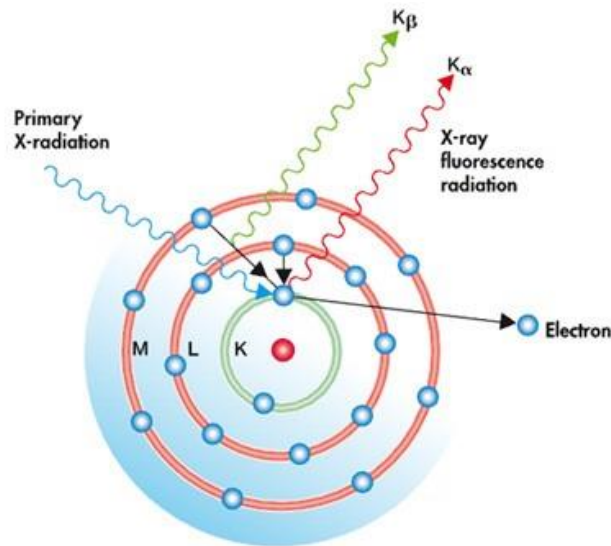


Figura M.22: Fotones irradiados por la emisión de radiación X sobre la muestra

La FRX tiene como finalidad principal el análisis químico elemental, tanto cualitativo como cuantitativo, de los elementos comprendidos entre el flúor (F) y el uranio (U) de muestras sólidas (filtros, metales, rocas, muestras en polvo, tejidos, etc.) y líquidas porque permite hacerlos sin preparación de la muestra. El único requisito es que ésta tenga un tamaño inferior al del portamuestras.

La tecnología que se utiliza para la separación (dispersión), la identificación y la medición de la intensidad del espectro de fluorescencia de rayos X (Figura M.23) de una muestra se conoce como espectrómetro. Como complemento a las determinaciones cualitativas se dispone del programa informático (IQ+) para realizar análisis semicuantitativos en todo tipo de muestras. Este software corrige las interferencias espectrales más habituales para obtener mejores resultados.



Figura M.23: Espectrómetro de fluorescencia de Rayos X

El espectrómetro funciona con un cristal analizador (Figura M.32) que se puede considerar como un apilamiento de capas con igual espesor y separación constante. En él se produce difracción de los rayos-X que inciden sobre él cuando la diferencia de camino entre el haz incidente y el “reflejado” es un número entero de  $\lambda$ . Es decir, cuando cumple la ley de Bragg (Ecuación [M.4]).

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \text{sen}(\theta) \quad [\text{M.4}]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $n$ : es un número entero.
- $\lambda$ : es la longitud de onda de los rayos X ( $\mu\text{m}$ ).
- $d$ : es la distancia entre los planos de la red cristalina ( $\mu\text{m}$ ).
- $\theta$ : es el ángulo entre los rayos incidentes y los planos de dispersión (rad).

Gracias a esto un detector situado en el ángulo  $\theta$  puede medir las intensidades de las correspondientes longitudes de onda. Esto se puede observar en la Figura M.24.

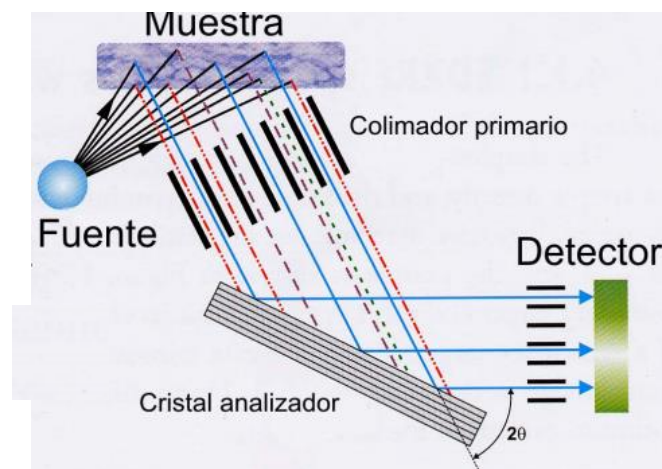


Figura M.24: Difracción de Rayos X en cristal analizador del espectrómetro

#### 4.5.4 Difracción de rayos X

La difracción de rayos X (conocida también por sus siglas DRX) es una de las técnicas más eficaces para el análisis cualitativo y cuantitativo de fases cristalinas de cualquier tipo de material.

Se trata de una técnica de caracterización básica de todo tipo de material con estructura cristalina (no amorfo): metales, minerales, polímeros, cerámicas, etc. Esta técnica es no destructiva, lo que permite la recuperación del material estudiado sin ningún tipo de deterioro y nos indica el tipo de material que estudiamos.

Un compuesto cristalino puede considerarse como una agrupación periódica y ordenada de átomos. Cuando es alcanzado por un haz de radiación cuya longitud de onda es de similar magnitud a la distancia interatómica, éste se difunde dando lugar a diferentes tipos de interferencias que son constructivas en unas direcciones privilegiadas.

Así la intensidad del haz difractado depende de la disposición geométrica de los átomos y de la clase de átomos presentes (Figura M.25). Esto hace que cada sustancia cristalina presente su propio espectro de difracción y éste sea una auténtica “huella dactilar” del mismo, permitiendo su identificación en cualquier mezcla donde esté presente.

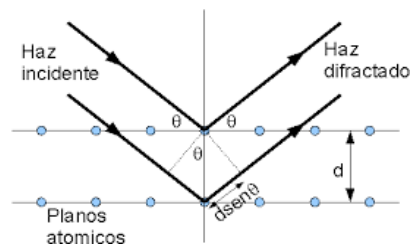


Figura M.25: Haz difractado según la disposición geométrica de los átomos

Por ejemplo, un análisis convencional de una muestra podría decir que tiene oxígeno y silicio, pero a partir de la difracción de rayos X podemos determinar la clase de óxido de silicio (cuarzo, cristobalita, tridimita, etc). La tecnología que permite obtener difractogramas mediante DRX se conoce como difractómetro.

El difractómetro mide las intensidades de cada reflexión de forma secuencial. Para cada reflexión el cristal y el detector se colocan en la posición apropiada para satisfacer la Ley de Bragg de manera que el haz difractado esté en el plano horizontal (Figura M.26).

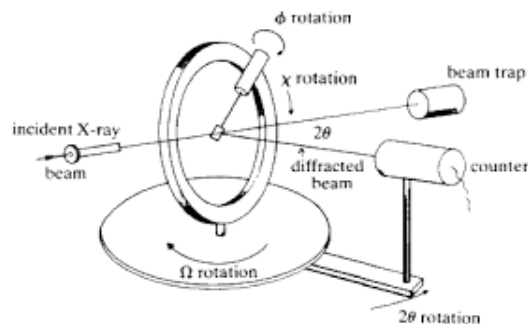


Figura M.26: Reflexión del cristal y el reflector en difractómetro



#### 4.5.5 Difracción laser en continuo

Se ha usado un equipo industrial basado en la difracción de rayos laser para medir la granulometría del producto en la aplicación en línea, aislado de varias fuentes de ruido (p. ej., polvo, vibración, etc.). La principal función del equipo es el registro de las variaciones en la granulometría de la muestra que no se podían detectar con las medidas discontinuas tradicionales obtenidas por tamizado. Esto se puede observar en la Figura M.27, donde se registra la variación del tamaño de partícula con el tiempo usando ambos métodos.

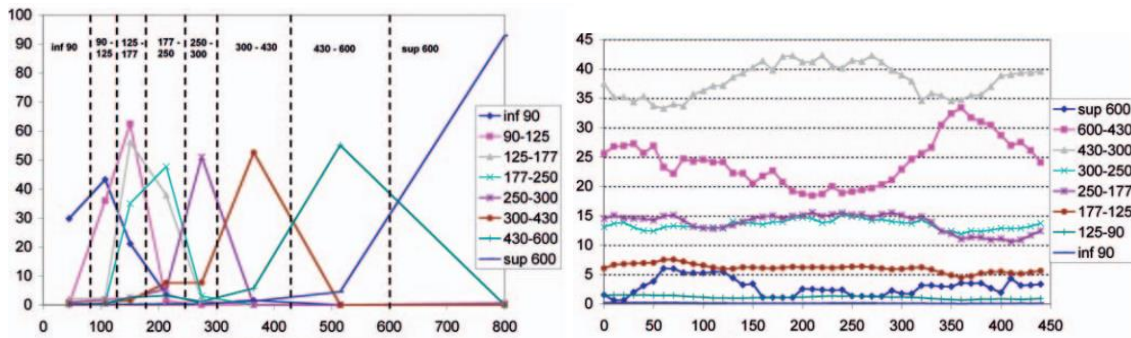


Figura M.27: Variación de granulometría registrada con tamizado (izquierda) y difracción laser (derecha)

El sistema permite el muestreo y la medida automatizada del polvo a la salida del atomizador (Figura M.28), proporcionando una información rápida de retroalimentación para el control de proceso de atomización. Además, este sistema aporta unas altas prestaciones, comparables con las de un sistema de difracción láser convencional, a un coste bastante más bajo.

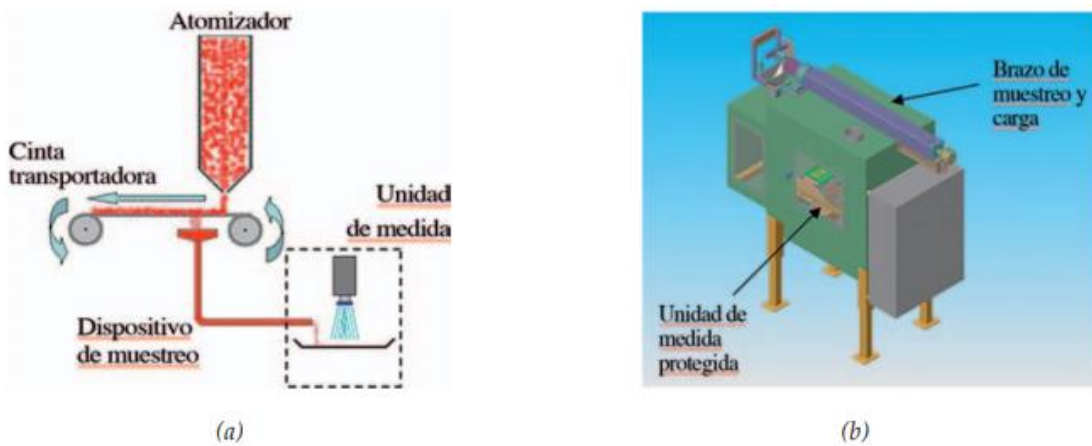


Figura M.28: Esquema general del procedimiento de muestreo (a) y diseño 3D del equipo industrial (b)

## 5. Análisis de soluciones

El análisis de soluciones consiste en identificar las posibles alternativas que existen para realizar el proceso, seleccionar aquellos que resulten más adecuados para lograr el objetivo del proyecto.

A continuación, se aborda que medios se necesitan y se elige, de forma justificada, cuales se ha decidido utilizar.

### 5.1 Equipos de impulsión de fluidos

Los equipos de impulsión de fluidos son máquinas en las cuales se produce una transformación de la energía mecánica en energía hidráulica (velocidad y presión) comunicada al fluido que circula por ellas.

#### 5.1.1 Impulsión de líquidos y suspensiones

##### 5.1.1.1 Clasificación cualitativa

Los equipos de impulsión de líquidos y suspensiones se conocen como bombas. Atendiendo a su funcionamiento las bombas pueden clasificarse en:

- Dinámicas: clasificadas en centrífugas o de flujo radial, helicocentrífugas o de flujo mixto y axiales o de flujo axial.
- Desplazamiento positivo: divididas en alternativas (bombas de pistón, embolo, ...) y rotativas (bombas de engranajes, de paletas, de arrastre, ...).

La bomba dinámica o turbobomba es una máquina hidráulica que cede energía al fluido mediante la variación del momento cinético producido en el impulsor o rodete. Dicho de otra forma, este componente gira, produciendo así el arrastre del fluido. El rodete suele tener la forma de hélice o rueda con paletas (Figura M.29).

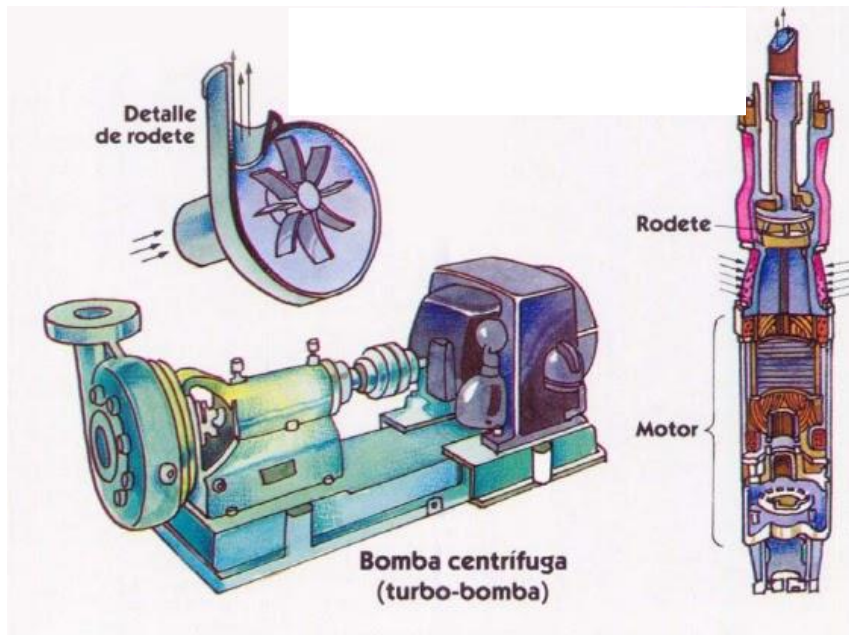


Figura M.29: Sección interior de bomba centrífuga con rodete y motor

Atendiendo a la dirección del flujo a la salida del rodete, y como se ha dicho anteriormente, las bombas pueden clasificarse en:

- Centrífugas: el flujo a la salida del rodete tiene dirección perpendicular al eje.
- Axiales: la dirección del flujo a la salida es paralela al eje.
- Helicentrífugas: el flujo es intermedio entre radial y axial.

La forma del rodete y de la carcasa son variables según el tipo de bomba centrífuga. En las bombas de flujo radial el líquido entra axialmente en el rodete por la boquilla de aspiración y se descarga radialmente hacia la carcasa. En las bombas de flujo mixto el líquido entra axialmente en el rodete y se descarga en una dirección entre la radial y la axial. En las bombas de flujo axial el líquido entra y sale del rodete axialmente (Figura M.30).



Figura M.30: Dirección de entrada y salida del flujo según el tipo de bomba

Una bomba centrífuga se compone de dos elementos principales: un rodete o impulsor, constituido por álabes que producen un cambio en el momento cinético del fluido, de modo que su velocidad y presión a la salida son superiores a las de la entrada; y una voluta, encargada de conducir al fluido desde la salida del rodete hasta la brida de descarga.

El equipo de impulsión de líquido está formado por un conducto cuya sección aumenta gradualmente hasta alcanzar su salida. En él, parte de la energía de velocidad se transforma en energía de presión, reduciendo así las pérdidas por fricción.

Es frecuente la existencia, a la salida del rodete, de un difusor constituido por álabes fijos y cuya misión es la de contribuir a esta transformación de energía cinética en energía de presión (Figura M.31).

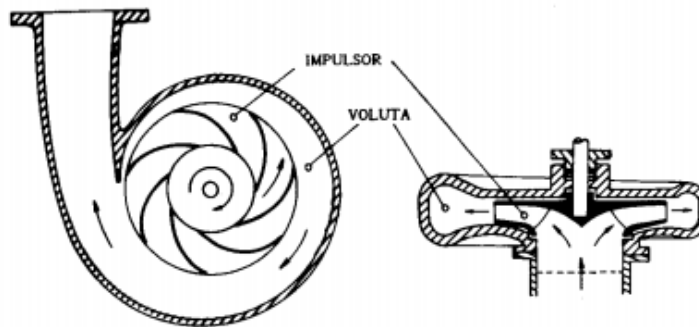


Figura M.31: Difusor de bomba a la salida del rodete

En las bombas de desplazamiento positivo se cede energía de presión al fluido mediante volúmenes confinados. Se produce un llenado y vaciado periódico de una serie de cámaras, produciéndose el trasiego de cantidades discretas de fluido desde la aspiración hasta la impulsión.

Como ya se ha dicho, existen varios tipos de bombas de desplazamiento positivo, cada una con un propósito distinto, que funcionan con un tipo de mecanismo específico (Figura M.32).

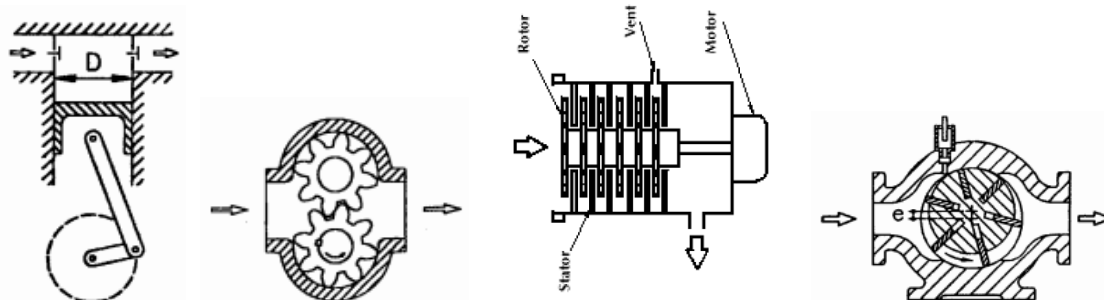


Figura M.32: Bomba de pistón, engranajes, arrastre y paletas (de izquierda a derecha)

De todos estos tipos, la bomba de pistón es la más usada para impulsar pastas cerámicas, ya que está diseñada para bombear suspensiones con alto contenido en sólidos.

Como se puede ver en la Figura M.48 hay un pistón que intercala 2 movimientos para que se dé el desplazamiento del fluido: el movimiento de retroceso de la membrana, que abre la válvula inferior y permite la entrada de fluido que llena el cabezal de la bomba; y el movimiento de avance de la membrana cierra la válvula inferior, que abre la válvula superior y expulsa la dosis.

5.1.1.2 Clasificación cuantitativa

Las bombas se clasifican según su velocidad específica ( $N_s$ ), como se aprecia en la Figura M.33 y Tabla M.3.

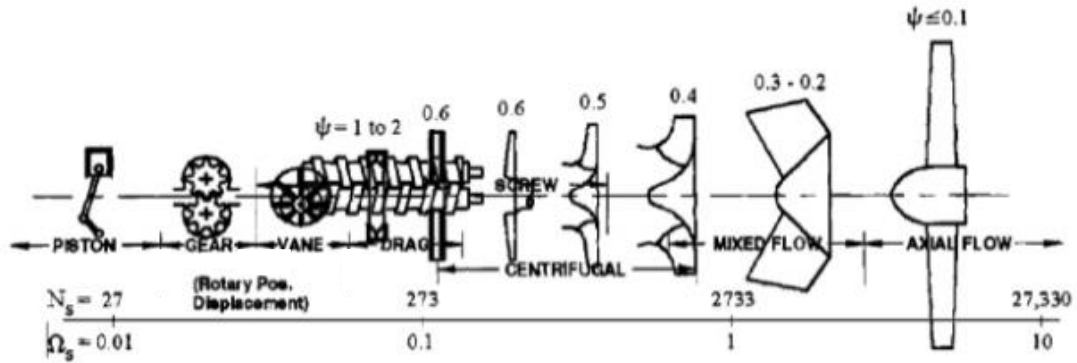


Figura M.33: Velocidad específica según el tipo de bomba

Tabla M.3: Velocidad específica según el tipo de bomba

Tipo de bomba	$N_s$
Desplazamiento positivo	0 - 300
Centrífuga	300 - 2500
Helicocentrífuga	2500 - 10000
Axial	10000 - 30000

La velocidad específica se estima a partir de la velocidad de rotación en rpm ( $\tau$ ). Este término depende del caudal máximo que puede suministrar la bomba en gpm ( $Q_{flGPM}$ ) y la columna de fluido en pies ( $H_p$ ). La Figura M.34 permite, de forma aproximada, obtener la velocidad de rotación del equipo.

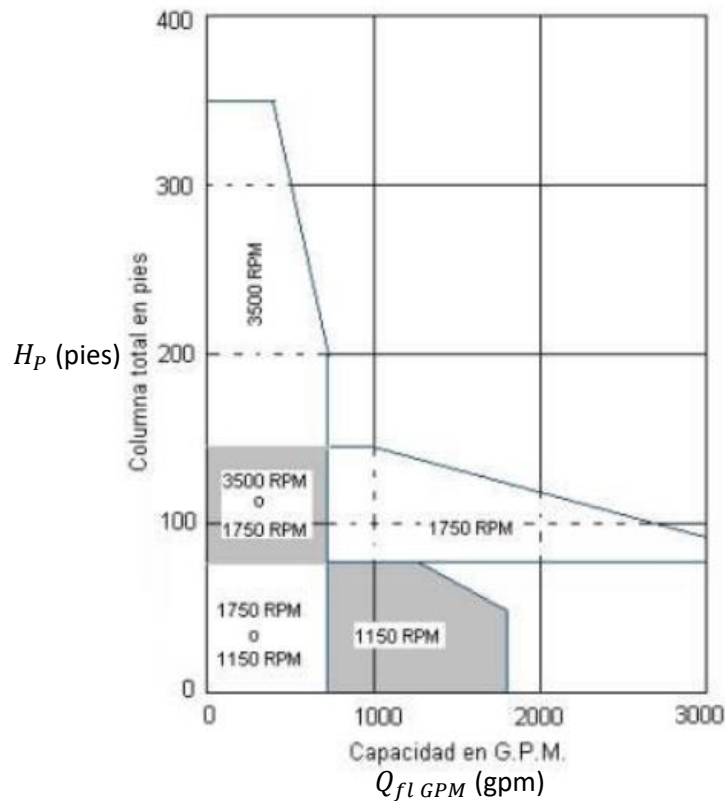


Figura M.34: Velocidad de rotación ( $\tau$ ) en función del caudal y la columna de fluido

## 5.1.2 Impulsión de gases

### 5.1.2.1 Clasificación cualitativa

Entre los aparatos para impulsar gases se distingue entre 2 tipos de equipamiento:

- Dinámicos: clasificados en centrífugos (provocan un movimiento radial del aire) y de flujo axial (dan lugar a un movimiento paralelo al eje de la bomba).
- Desplazamiento positivo: dividiéndose en rotativos y alternativos.

Dentro de los centrífugos se distinguen los ventiladores, soplantes y compresores:

- Ventilador: tienen el rodete con los álabes dispuestos en forma radial. La carcasa está diseñada de forma que a la entrada y a la salida se alcancen velocidades de transporte de materiales. Existen una gran variedad de diseños de rodetes que van desde los de "alta eficacia con poco material" hasta los de "alta resistencia a impacto". La disposición radial de los álabes evita la acumulación de materiales sobre las mismas (Figura M.35).

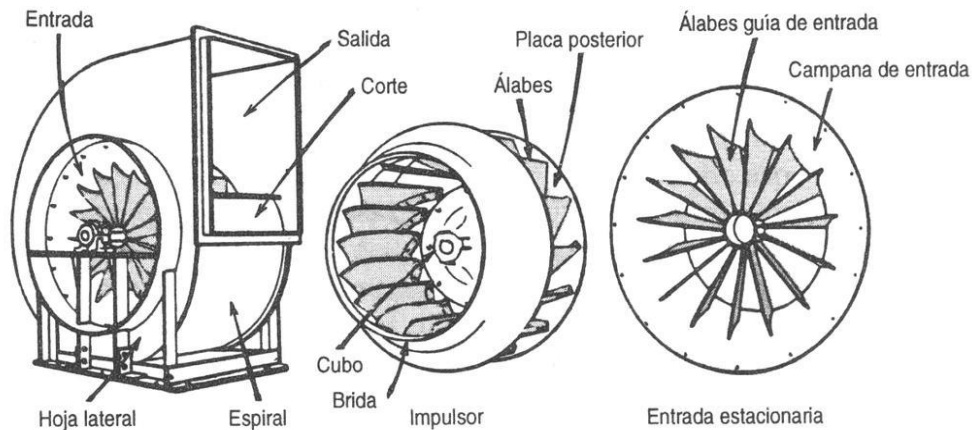


Figura M.35: Esquema de ventilador o soplante

Este tipo de ventilador es el comúnmente utilizado en las instalaciones de extracción de aire contaminado con partículas. La velocidad periférica es media y se utilizar en muchos sistemas de extracción localizada que vehicular aire sucio o limpio.

- Soplante: se trata de un ventilador centrífugo (la estructura y funcionamiento es el mismo) con una relación de presión más alta que un ventilador promedio (presión de salida / presión de entrada). Estos equipos ofrecen una alta tasa de transferencia de volumen con una relación de presión relativamente mayor a la de los ventiladores normales, pero mucho menos que los compresores.
- Compresor: el principio de funcionamiento de un compresor centrífugo es el mismo que el de una bomba centrífuga, su diferencial principal es que el aire o el gas manejado en un compresor es compresible, mientras que los líquidos con los que trabaja una bomba, son prácticamente incompresibles. Los compresores centrífugos pueden desarrollar una presión en su interior, que depende de la naturaleza y las condiciones del gas que manejan y es virtualmente independiente de la carga del procesamiento. La mayoría de los compresores centrífugos funcionan a velocidades de 3.500 RPM (revoluciones por minuto) o superiores.

Los compresores centrífugos constan esencialmente de: caja, volutas, rodetes impulsores, un eje y un sistema de lubricación (Figura M.36); estructura muy similar al ventilador o soplante.

Las volutas convierten la energía cinética del gas desarrollada por los impulsores en energía potencial o presión.

La caja es la cubierta en que van ajustadas las volutas y está proyectada para la presión a la que se ha de comprimir el gas y se construye adaptándola a la aplicación particular y puede ser de hierro colado, acero estructural o fundición de acero.

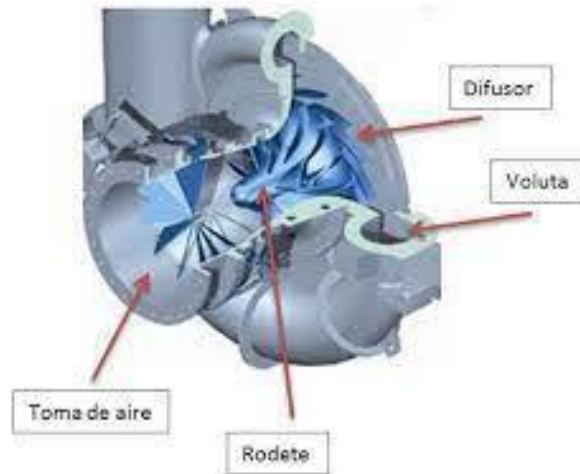


Figura M.36: Esquema de compresor

### 5.1.2.2 Clasificación cuantitativa

Los equipos de impulsión de gases, como se puede ver en la Tabla M.4, se clasifican según el caudal volumétrico ( $Q_{fluido}$ ) y la caída de presión en el tramo en que opera ( $\Delta P_{seguridad}$ ).

Tabla M.4: Caudal volumétrico y caída de presión a la que opera cada equipo de impulsión de gases

Tipo de equipo de impulsión de gas	$Q_{fluido}$ (m <sup>3</sup> /s)	$\Delta P_{seguridad}$ (Pa)
Desplazamiento positivo	0,007 – 2	$1,01 \cdot 10^4 - 1,62 \cdot 10^8$
Centrífugo	0,6 - 110	$1,37 \cdot 10^4 - 1,07 \cdot 10^7$
Flujo axial	70 - 600	$1,37 \cdot 10^4 - 9,11 \cdot 10^5$

En la Tabla M.5 se adjuntan las caídas de presión a las que operan los equipos de impulsión de gases centrífugos.

Tabla M.5: Caída de presión a la que opera cada equipo de impulsión de gases centrífugo

Tipo de equipo de impulsión de gas centrífugo	$\Delta P_{seguridad}$ (Pa)
Ventilador	$0 - 1,37 \cdot 10^4$
Soplante	$1,37 \cdot 10^4 - 6,89 \cdot 10^4$
Compresor	$> 6,89 \cdot 10^4$



Para los compresores, dependiendo de las condiciones en las que se opere, la compresión puede ser de 4 tipos:

- Isoterma: se asume que la temperatura del gas permanece constante.
- Adiabática: se cumple la ecuación [M.5].

$$P \cdot V^\partial = cte \quad [M.5]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $P$ : presión del gas
  - $V$ : volumen específico del gas
  - $\partial$ : coeficiente adiabático (relación entre calor específico a presión y volumen constante)
- Politrópica: se cumple la ecuación [M.6].

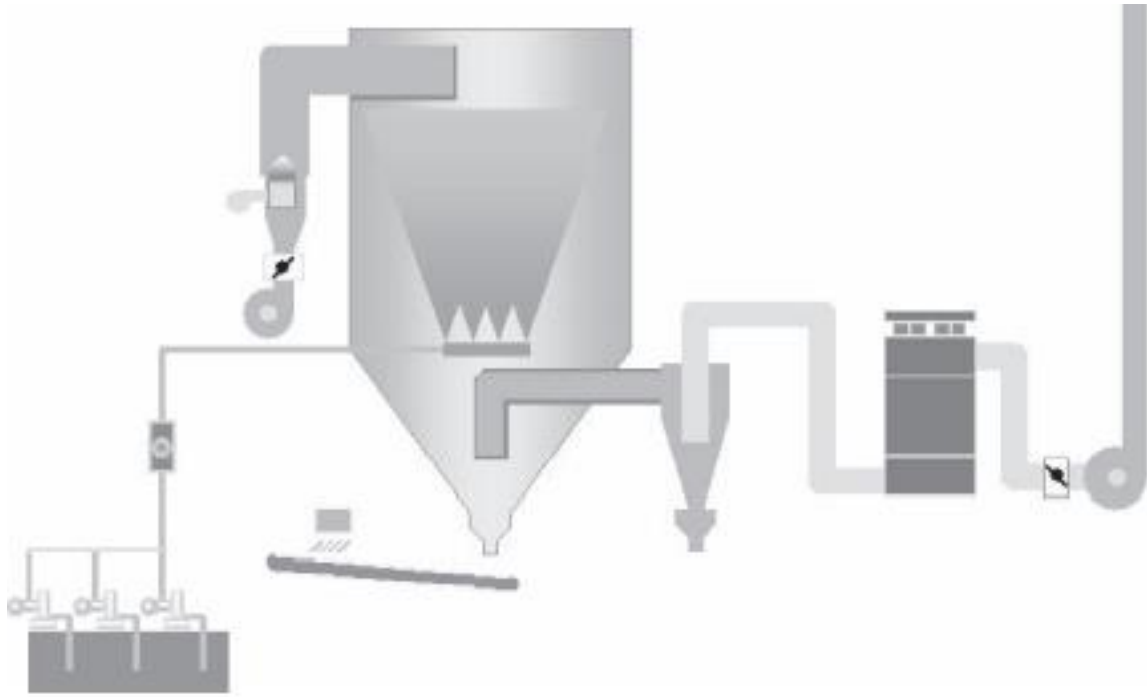
$$P \cdot V^n = cte \quad [M.6]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $n$ : índice politrópico, variable que asume un valor dependiendo del proceso, y que puede ser calculada para un caso no ideal (casos ideales:  $n = 0$  para proceso isobárico,  $n = 1$  para proceso isotérmico,  $n = \partial$  para proceso isentrópico,  $n = \infty$  para proceso isocórico).
- Escalonada: este sistema se emplea cuando la razón de compresión es superior a 5 ( $r > 5$ ), situación que resulta más económico emplear un sistema de compresores en serie que uno solo.

## 5.2 Esquema de línea de atomizado

En la Figura M.37 se presenta el esquema del proceso de atomización completo (usando un tipo específico de atomizador; llamado corriente mixtas con nebulizador de corona, con aire descendiente), hasta la depuración de los humos procedentes del atomizador.



**Figura M.37: Esquema completo de línea de atomizado**

La Figura M.37 es un esquema de la línea de atomizado típico en la industria cerámica. La Figura M.38 muestra la misma línea de atomizado, pero con más detalle, aunque en este caso se utiliza un atomizador con dispositivo de nebulización con toberas. El esquema es igualmente válido para cualquier otro dispositivo de nebulización, como pueden ser las lanzas.

En este esquema se han etiquetado numéricamente los dispositivos más importantes: bomba de alimentación de la suspensión (1), filtro (2), anillo portatoberas (3), torre de secado (4), válvula de descarga del polvo (5), ciclones separadores (6), presurización (7), quemador (8), conducto de aire caliente (9), distribuidor anular de aire caliente (10), ventilador centrífugo (11), unidad depuradora en húmedo (12), chimenea (13).

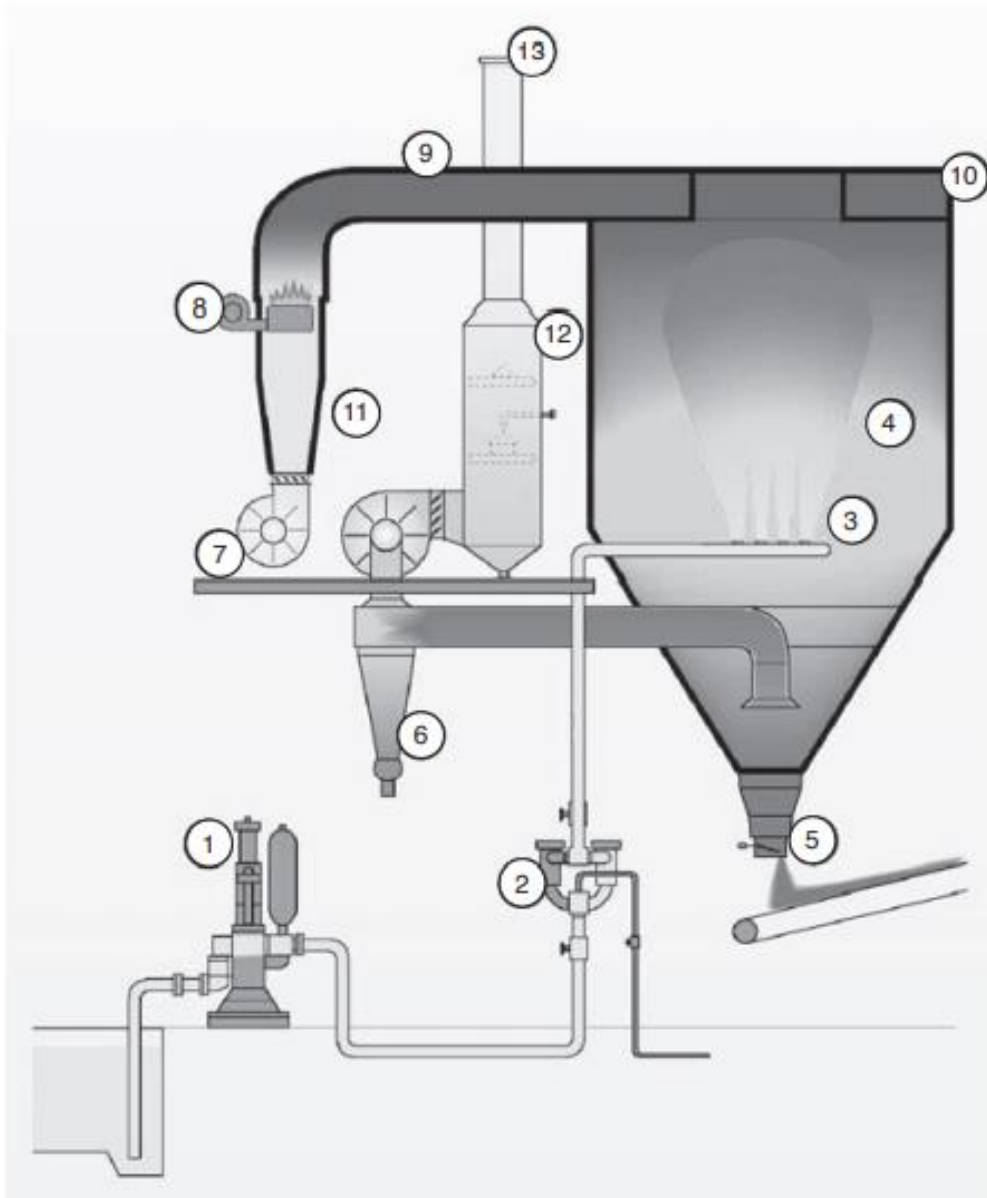


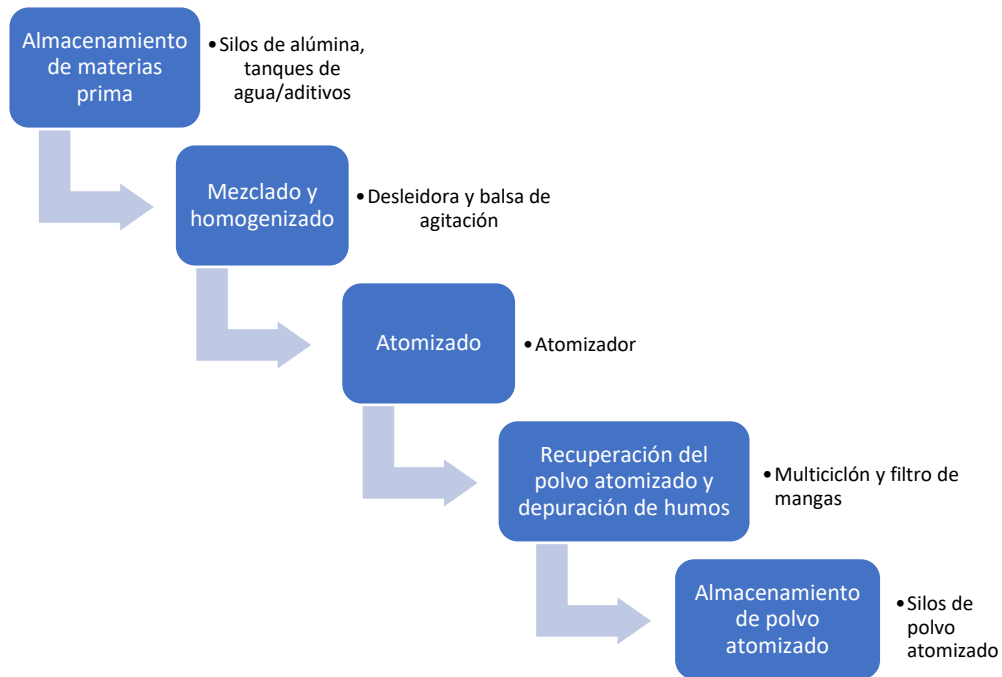
Figura M.38: Esquema de una torre de secado por atomización con toberas

De manera simplificada, el ciclo de funcionamiento del atomizador puede describirse de la siguiente forma: la suspensión se bombea a presión constante mediante una bomba de pistón o de embolo (1), a través de los filtros (2), al anillo distribuidor (3) situado dentro de la torre de secado (4). El chorro de barbotina, finamente nebulizado, se invierte en la torre de secado mediante un remolino de aire caliente generado por el quemador en vena de aire (8) con gas natural o GPL. El aire se transporta hacia la parte superior de la torre por el conducto de acero aislado térmicamente (9), donde se pone en rotación mediante el distribuidor anular (10). El polvo seco se descarga, por la válvula de detención (5), en una cinta transportadora. El residuo de polvo fino, que queda en suspensión en el aire, es aspirado por el ventilador principal y se separa en parte por los ciclon (6) seguidos de la unidad de depuración en húmedo de acción centrífuga (12). El aire expulsado se transporta a continuación a la chimenea (13).

## 5.3 Atomizador

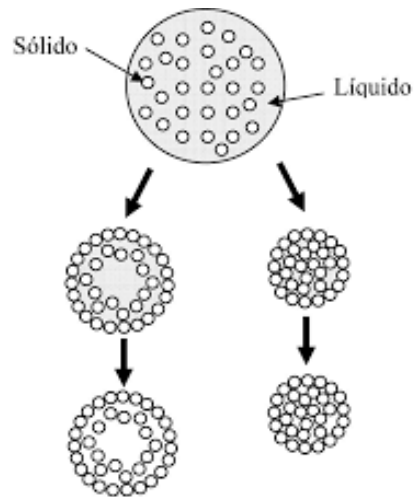
### 5.3.1 Configuraciones de la corriente alimento y de los sistemas de nebulización

El proceso tecnológico de secado por atomizador (spray dryer o torre de secado), aplicado desde hace más de un siglo en la industria alimenticia y farmacéutica; simplifica el proceso de secado, reduce la mano de obra y el mantenimiento (Figura M.39).



**Figura M.39: Fases del proceso de atomización y equipos usados en cada etapa del presente proyecto**

La suspensión obtenida se seca en un proceso que opera de manera continua y automática, dando como resultado la obtención de gránulos con un contenido de humedad controlado, con una forma y tamaño ideal (redondo y relativamente pequeño). Dependiendo de la composición de la suspensión y de las condiciones de atomizado, los gránulos de partículas sólidas adquieren la forma y tamaño finales, pudiendo incluso obtenerse resultados no deseados como es la formación de gránulos huecos (Figura M.40).



**Figura M.40: Formación de gránulos huecos a partir de gota de suspensión secada por atomización**

Dado que el secado por atomización tiene lugar de forma continua, en la llamada torre de pulverización (también conocida como atomizador), se consiguen producciones altas a bajo coste y con una calidad constante en un tiempo relativamente corto.

En líneas generales, los atomizadores (de calentamiento directo) son equipos en los cuales el calor necesario para calentar el líquido hasta la evaporación se introduce en forma de gas de combustión o aire calentado oportunamente. En este caso, el aire caliente, en contacto con las gotas líquidas dispersas provoca su evaporación. A esta categoría de atomizadores pertenecen los utilizados en los procesos cerámicos.

Existen diferentes tipos de atomizadores, que se diferencian por el sistema adoptado para la nebulización de la suspensión:

- Rotatorio o de turbina (Figura M.41).

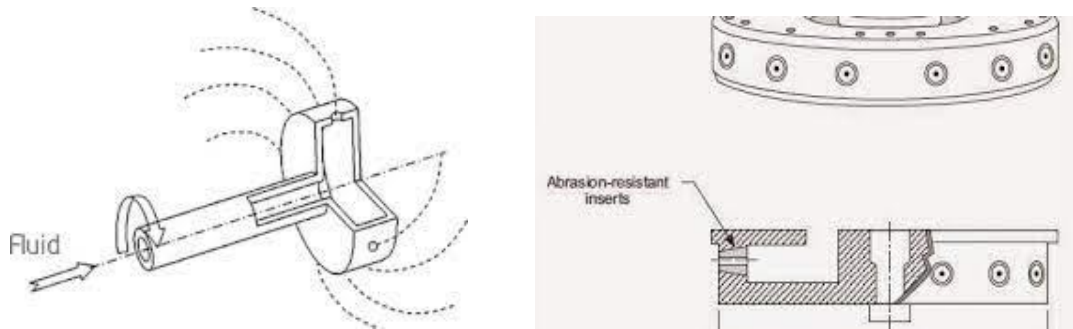


Figura M.41: Diferentes configuraciones de secado por pulverización

- Fijo o de tobera (Figura M.42).

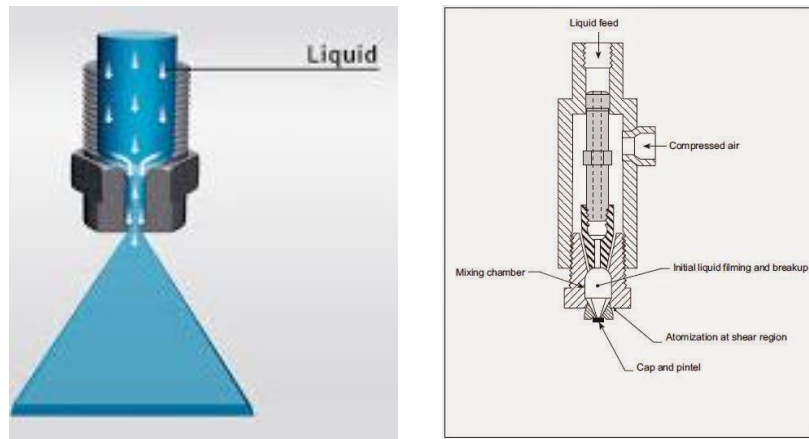
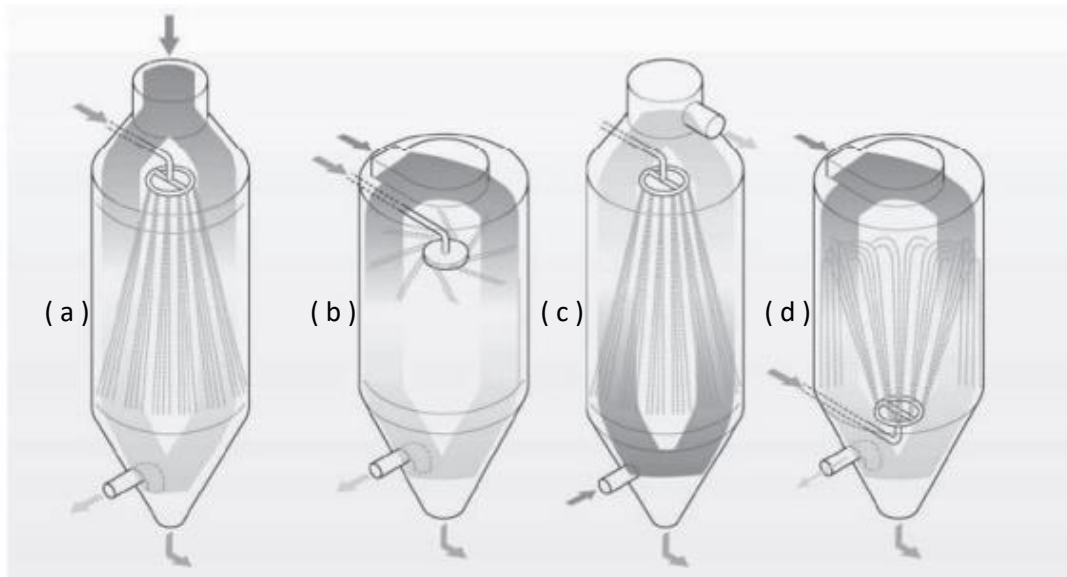


Figura M.42: Diferentes configuraciones de secado por pulverización

El sistema de nebulización con toberas presenta la ventaja de obtener un producto con una tolerancia granulométrica muy elevada. Por otro lado, el sistema de discos centrífugos encuentra su uso óptimo para el secado de productos particulados que presentan un peso específico muy alto, o cuando se requiere una granulometría de polvo muy fina.

A parte del tipo de atomizador, también debe elegirse la trayectoria de los flujos de aire y barbotina (alto o bajo). En la Figura M.43 se presentan las configuraciones más usadas, que contemplan la diversidad indicada anteriormente.



- ( a )- *Tipo equicorriente descendente, nebulización con toberas*  
( b )- *Tipo equicorriente descendente, nebulización con turbinas*  
( c )- *Tipo contracorriente, nebulización con toberas descendente, aire ascendente*  
( d )- *Tipo contracorrientes mixtas, nebulización con toberas, aire descendente*

**Figura M.43: Diferentes configuraciones de secado por pulverización**

En los dispositivos tipo turbina, la nebulización de la suspensión se produce respectivamente a expensas de la energía cinética (en el primer caso), o por la presión comunicada al fluido (en el segundo caso).

En el sector cerámico para nebulizar la suspensión se emplea generalmente el sistema con tobera, también llamado centrífugo por presión, donde las condiciones de flujo bajo presión provocan, a través de insertos en forma de caracol, un movimiento rotatorio de las gotas a la salida de la tobera. Asimismo, se utilizan también dispositivos conocidos como lanzas que comportan en todo caso siempre la nebulización de la barbotina.

En los 2 sistemas, respectivamente con tobera y con turbina, la calidad de la nebulización depende (además de la concentración de sólidos, viscosidad, tensión superficial de la barbotina y temperatura) del equilibrio de numerosos factores como la presión, volumen de la torre, dimensiones de la tobera en el primer caso, y las características de la turbina y su velocidad en el segundo caso.

El atomizador cuenta con un distribuidor de aire caliente (Figura M.44), situado en la parte superior de la torre de evaporación, compuesto por una entrada periférica tangencial y un sistema de conductos en espiral que obligan al aire a desplazarse hacia una correspondiente serie de aberturas dispuestas en la dirección del centro.

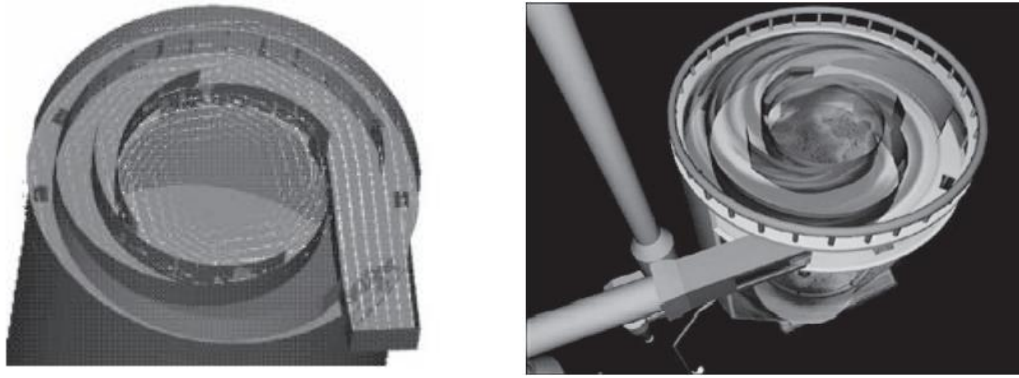


Figura M.44: Distribuidor de aire caliente en atomizador de corrientes mixtas con aire descendiente

La barbotina secada por atomización produce, a través de un proceso continuo y completamente automático, polvos de granulometría y humedad controlada adecuados para el proceso de prensado en semiseco, para la fabricación de piezas de alta alúmina.

La instalación de secado está constituida esencialmente, como hemos visto, de una cámara de forma y volumen calculado para generar, en su interior, el intercambio de calor entre la barbotina pulverizada finamente y el aire caliente y los humos de combustión procedentes de un generador apropiado.

### 5.3.2 Dirección de corriente alimento

Entre los diferentes tipos de atomizador el más adecuado es aquel de corrientes mixtas, con aire descendiente y la nebulización de la barbotina orientada hacia arriba (Figura M.45). Esta tipología permite aumentar el tiempo de permanencia de las gotas/gránulos dentro de la cámara de secado, donde se encuentran primero con una contracorriente de aire caliente en luego una equicorriente, con alto rendimiento de intercambio térmico.



Figura M.45: Funcionamiento de atomizador de corrientes mixtas, nebulizador de corona, con aire descendiente



### 5.3.3 Sistema de nebulización

La Figura M.45 contiene un atomizador con una corona portatoberas. Este método, junto con las lanzas, son las 2 configuraciones que se pueden usar para distribuir la barbotina:

- Corona: las boquillas pulverizadoras están montadas en un anillo de acero inoxidable. El desplazamiento automático permite una extracción rápida de la corona para su mantenimiento cuando hay cambios de producción semanales o diarios.
- Lanzas: las boquillas están montadas en una serie de lanzas colocadas radialmente. Su diferencia, respecto a otras instalaciones, es que las lanzas no están vinculadas a la puerta de cierre, éstas pueden girar en su eje y sobresalir más o menos dentro de la torre. De esta forma se puede regular la orientación de las boquillas según el tipo de barbotina a atomizar. Además, el sistema permite extraer las lanzas sin interrumpir la actividad del atomizador, lo que es muy útil en producciones continuas.

La Figura M.46 presenta el esquema de dos atomizadores dotados para la nebulización de la barbotina de toberas puestas en la corona y en lanzas individuales respectivamente.

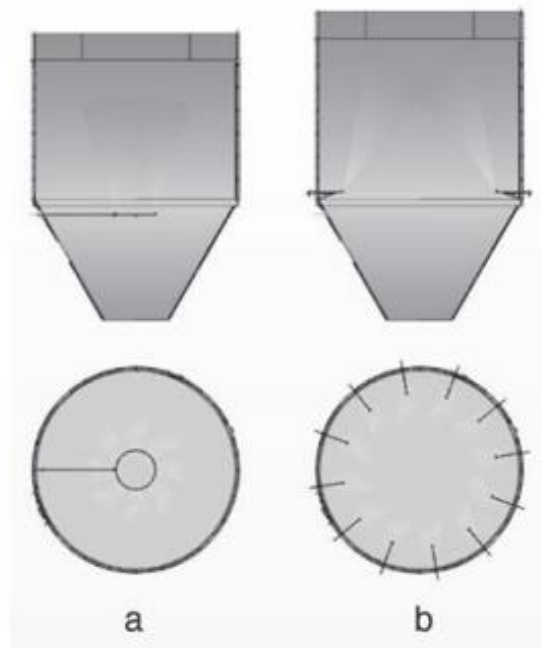


Figura M.46: configuración para inyectar la barbotina al atomizador con toberas en la corona (a) o lanzas (b)

Aunque ambos sistemas tienen sus ventajas, el atomizador de lanzas resulta ser más interesante por los siguientes motivos: dispone de lanzas independientes de rociado que permiten el mantenimiento de cada boquilla sin parar el atomizador, tiene la posibilidad de sacudida automática de las lanzas para evitar que se deposite el polvo y permite la regulación independiente de la inclinación de las boquillas para optimizar todo el volumen del atomizador.

En la nebulización con lanzas, estas se disponen en el perímetro de la torre, orientadas hacia el centro. Sobre las lanzas se pueden montar una o más toberas nebulizadoras.

El cuerpo principal del secadero es cilíndrico; en la fase inicial, los volúmenes de aire caliente se introducen desde lo alto, donde se distribuyen tangencialmente y el intercambio térmico se produce en contracorriente con la barbotina atomizada y proyectada hacia arriba desde abajo a través de las toberas situadas sobre unas lanzas direccionadas (Figura M.47). Durante la caída del gránulo hacia la parte cónica inferior de la torre de secado se produce la fase final de secado en equicorriente.

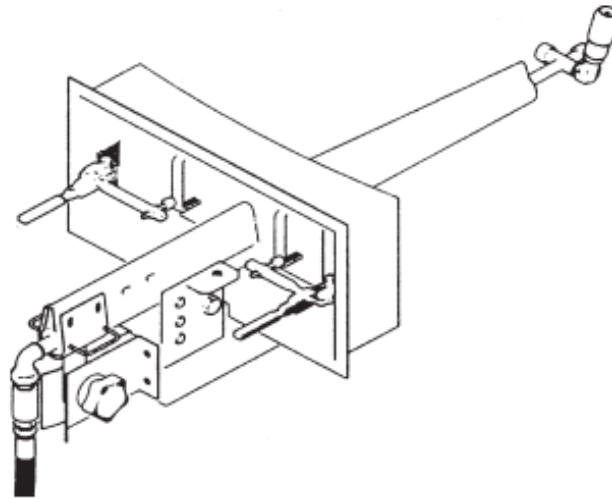


Figura M.47: detalle de una nebulizadora de toberas con lanzas direccionables

La energía cinética, para formar e impulsar las gotas de suspensión, se aporta mediante una bomba de impulsión de pistones (que trabaja a 20-30 atmósferas). De esta forma se consigue inyectar la barbotina por el sistema distribuidor de lanzas a una velocidad de salida de unos 30 m/s para reducir la viscosidad de la barbotina y formar diminutas gotas, dirigiéndolas verticalmente (Figura M.48).

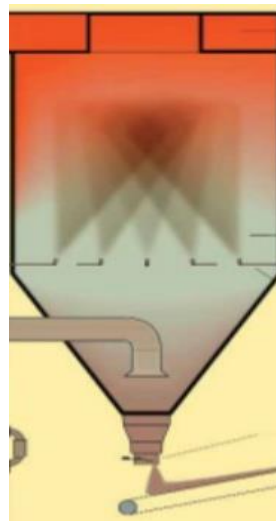


Figura M.48: Toberas introduciendo suspensión en atomizador de lanzas

### 5.3.4 Condiciones de operación del atomizador

En la Figura M.49 se representan de forma esquemática las principales condiciones de operación de temperatura y presión en las que opera el atomizador y la línea de depuración de humos:

- La barbotina, a una temperatura de 20-70 °C, se bombea con una presión variable de 20-30 bar desde los dispositivos de nebulización.
- La presión en la torre de secado es del orden de - 0.5/-1.5 mbar (a veces se suele operar a 1 atm para evitar tener que parar la producción debido a pérdidas de presión producidas por una fuga).
- La temperatura de entrada de los humos calientes se sitúa entre 190 - 650 °C.
- La temperatura de salida del gránulo oscila entre 40 -70 °C.
- La temperatura del aire dirigido hacia los ciclones se sitúa entre 80 -120 °C.
- La temperatura de los humos de salida por la chimenea puede ser del orden de 60 - 80 °C en el caso de la presencia de una unidad depuradora, 80-120 °C sin unidad depuradora.

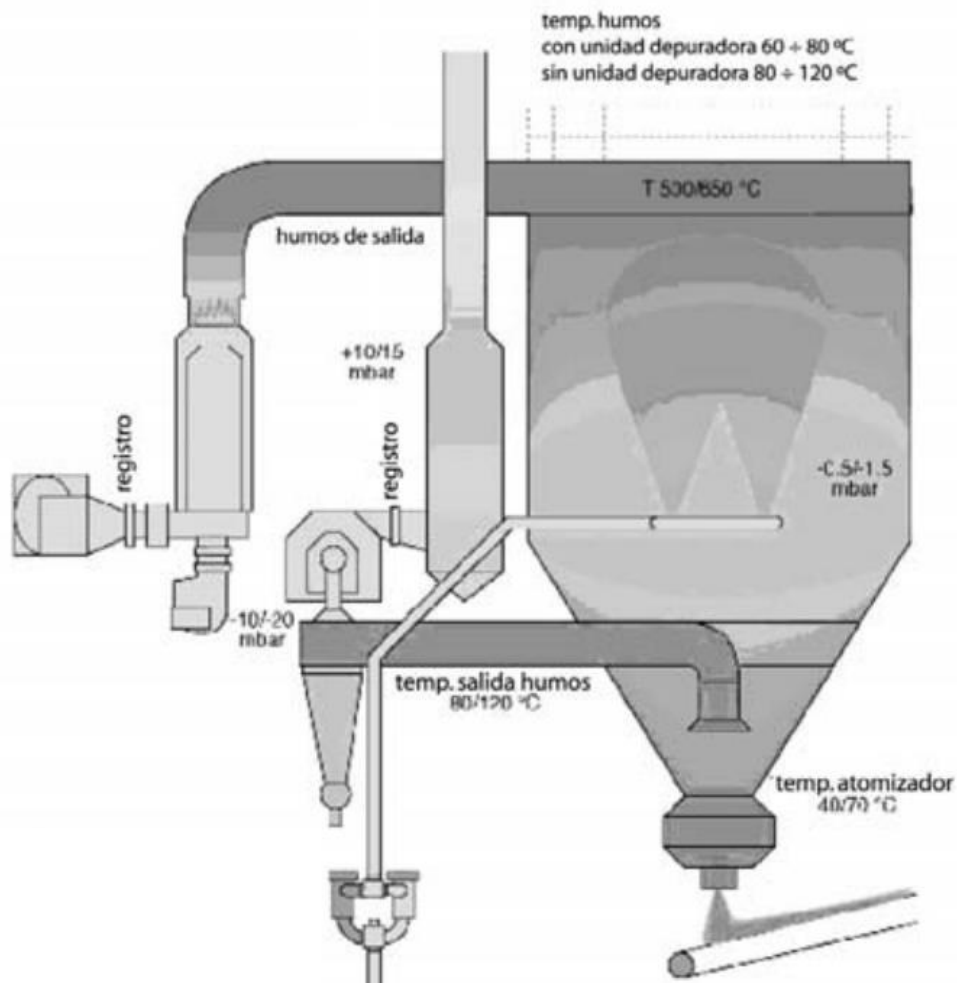
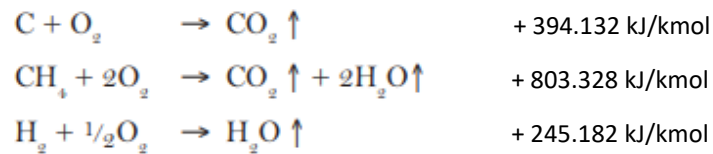


Figura M.49: Condiciones de temperatura y presión en el atomizado

## 5.4 Quemador

### 5.4.1 Combustible

El calor necesario para la atomización se obtiene aprovechando la reacción de combustión de algunas sustancias sólidas, líquidas o gaseosas. La combustión es una reacción de oxidación exotérmica, que se desarrolla a notable velocidad y que puede utilizarse para generar calor. A causa de esta reacción, el combustible (constituido de compuestos oxidables como carbono, hidrógeno, azufre, óxido de carbono, hidrocarburos) se combina con oxígeno del aire, para desprender calor y otros productos (Figura M.50).



**Figura M.50: Reacciones de combustión de compuestos oxidables**

La principal característica de los combustibles, desde el punto de vista comercial, es el poder calorífico (PCI); esto depende de la composición del combustible y expresa la cantidad de calor (MJ) desarrollada en la combustión de 1 kg de material, si se encuentra en el estado sólido o líquido, o de 1 m<sup>3</sup> si se trata de combustible gaseoso (Tabla M.6).

**Tabla M.6: Propiedades de gases de combustión, en condiciones normales (0 °C, 760 mm de Hg, secos)**

Gas	Símbolo	PM	Masa vol. kg/Nm <sup>3</sup>	PC Sup. kcal/Nm <sup>3</sup> MJ/Nm <sup>3</sup>	PC Inf. kcal/Nm <sup>3</sup> MJ/Nm <sup>3</sup>	Demanda de O del aire		Productos de la combustión		
								CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	2	0,090	3050 12,770	2570 10,760	0,5	2,38	-	1	1,88
Metano	CH <sub>4</sub>	16	0,717	9520 39,858	8550 35,797	2	9,52	1	2	7,52
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30	1,356	16820 70,422	15370 64,351	3,5	16,66	2	3	13,16
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44	2,019	24320 101,823	22350 93,575	5	23,80	3	4	18,80
Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58	2,703	32010 134,019	29510 123,552	6,5	30,94	4	5	24,44
Etileno	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28	1,261	15290 64,016	14320 59,955	3	14,28	2	2	11,28
Propileno	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	42	1,915	22540 94,370	21070 88,216	4,5	21,42	3	3	16,92
Butileno	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56	2,501	29819 124,808	27840 116,560	6	28,56	4	4	22,56
Óxido de C	CO	28	1,250	3020 12,644	3020 12,644	0,5	2,38	1	--	1,88
Oxígeno	O <sub>2</sub>	32	1,428							
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	28	1,250							
Dióxido de C	CO <sub>2</sub>	44	1,997							
Dióxido de S	SO <sub>2</sub>	64	2,926							
Agua	H <sub>2</sub> O	18	0,804							
Aire seco	--	29	1,293							

Durante la combustión pueden estar presentes sustancias que sustraen calor al transformarse mediante procesos endotérmicos como los cambios de fase (por ejemplo, agua → vapor) o simplemente calentándose, como hace el nitrógeno presente en el aire necesario para la combustión.

Para que el combustible desarrolle al máximo su poder calorífico, es necesario que se mezcle de la mejor manera posible con el comburente y que este último esté presente en una proporción superior a la teórica. En la práctica, excepto para circunstancias especiales que requieren una atmósfera reductora, para impedir un mezclado imperfecto con el comburente y generar una atmósfera oxidante, se utiliza aire en exceso; para los combustibles sólidos se puede utilizar un exceso de aire variable entre 40 y 150%, para los líquidos entre 25 y 60%, para los gaseosos entre 10 y 50%.

Los combustibles gaseosos son particularmente ventajosos, ya que se mezclan completamente con el aire. Esto significa que la combustión se puede desarrollar con una cantidad de aire un poco superior a la teórica. Además, no dejan cenizas, no necesitan precalentamiento y, por lo tanto, se pueden utilizar quemadores relativamente sencillos; con ellos se puede alcanzar temperaturas muy elevadas, tanto por el alto poder calorífico que poseen como por la posibilidad de usar aire precalentado, lo que hace más eficaz el control del calentamiento y de la atmósfera del secadero.

El gas natural, es una mezcla de metano, etano y una pequeña cantidad de otros hidrocarburos ligeros. Se encuentra en yacimientos propios y en los yacimientos petrolíferos en fase gaseosa. Su poder calorífico se sitúa en unas 8500 kcal/m<sup>3</sup>. Quema con una llama muy pura y contiene contenidos despreciables de azufre. Se distribuye a las industrias en conducciones bajo presión, por esta razón, antes de su uso en los quemadores debe someterse a una descompresión en instalaciones adecuadas.

Los combustibles líquidos presentan algunas ventajas: una dosificación y distribución más fácil respecto a los sólidos, un mejor mezclado con el comburente por la posibilidad de ser pulverizados, un posible poder calorífico superior, menor producción de cenizas y el uso de quemadores más pequeños y eficaces.

Para el mezclado del combustible con aire, con vistas a obtener una eficaz combustión, se adoptan dos métodos:

- nebulización del líquido en una corriente de aire generado por un ventilador (es el sistema más utilizado y el puesto en práctica en el presente proyecto)
- evaporización del líquido a través de parte del calor generado por su propia combustión.

El combustible líquido más idóneo para la alimentación de los modernos quemadores es, sin duda, el gas de petróleo licuado (GPL). Se trata de un combustible limpio, de alto poder calorífico, que generalmente no requiere quemadores de tipo muy diferente de los del gas natural. Sin embargo, es necesario prever unidades de almacenamiento y distribución, y poseer el conocimiento de la tecnología de uso, ya que se comercializa de forma líquida, pero se utiliza como gas. Por esta razón es necesario contar con los evaporadores adecuados

(eléctricos o con quemador), ya que no son aceptables las alimentaciones que provienen solamente de la evaporación espontánea del combustible en el depósito, al no asegurar la constancia de composición del gas, porque tienden a evaporar obviamente primero las fracciones más volátiles.

Ahora bien, si se usa gas natural ya se dispone de una red que puede suministrar de forma continua alimento al quemador y, aunque no dispone de un PCI tan elevado como el GPL, la reducción de los costes de almacenamiento y transporte lo convierten en el combustible más económico.

#### 5.4.2 Cogeneración

La tecnología que involucra la cogeneración se implementa en muchos sectores de la industria debido a su elevada rentabilidad y cuidado del medio ambiente. Existen varios sistemas de cogeneración, entre los más usados está el sistema de turbinas de gas, utilizado para la generación de electricidad.

En la industria cerámica el tipo de configuración es de ciclo simple, en donde se usa gas natural como combustible para accionar la turbina y generar electricidad (Figura M.52). Los gases calientes son usados para alimentar el atomizador.

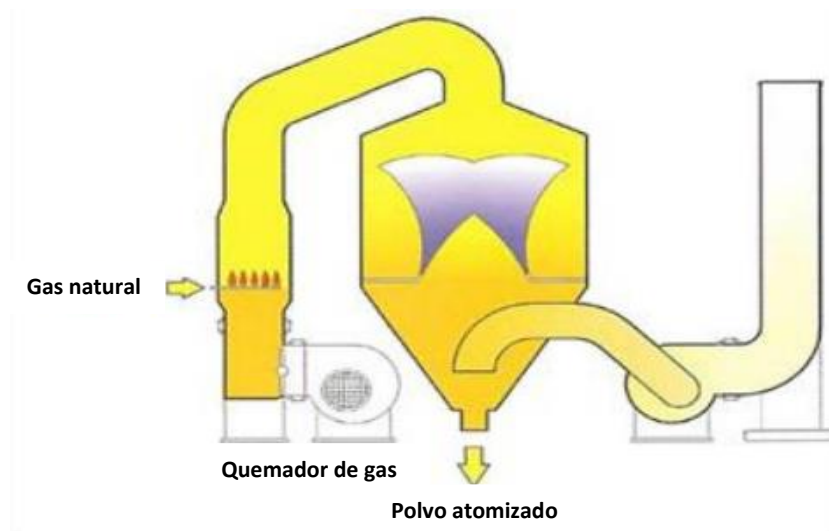


Figura M.51: Configuración convencional en la cerámica sin sistema de cogeneración

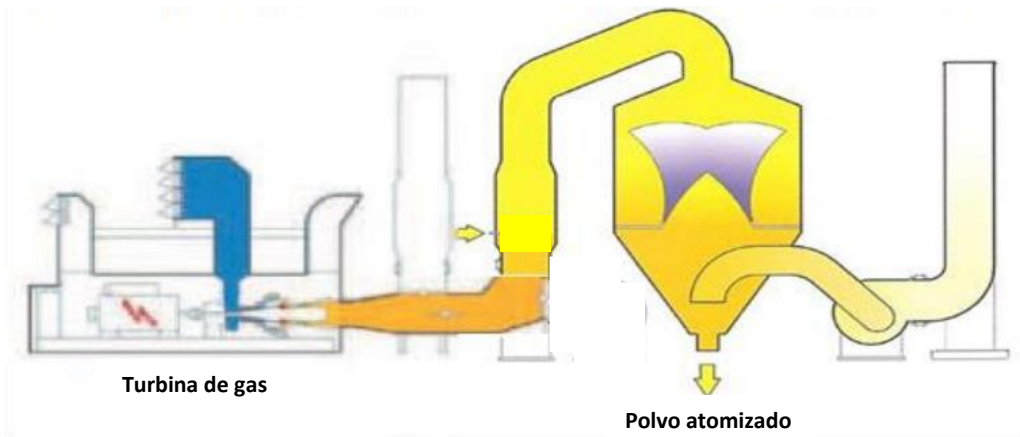


Figura M.52: Configuración convencional donde se ha implementado un sistema de cogeneración

A continuación, se describe su funcionamiento con más detalle: el aire que es tomado del ambiente es comprimido por el compresor y luego mezclado con un combustible (gas natural en este caso) en la cámara de combustión en donde es quemado en condiciones de presión constante. Los gases generados en esta reacción se expanden en la turbina haciéndola girar para generar trabajo que se transforma a electricidad en un generador eléctrico acoplado al eje de la turbina.

La turbina de gas está compuesta básicamente por un compresor, un quemador y una turbina como se puede ver en la Figura M.53.

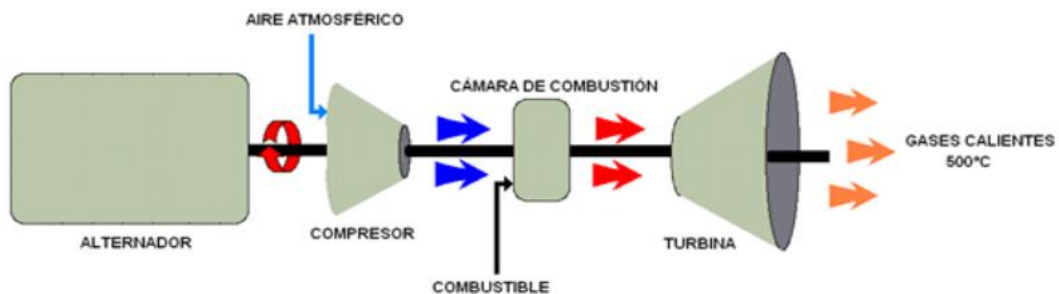


Figura M.53: Esquema básico de una turbina de gas

Parte del trabajo generado por la turbina es utilizado para la compresión del aire y la otra parte para generar electricidad a través del alternador. El calor producido se usa, bien para calentar la barbotina, o bien para calentar el aire que se alimenta al atomizador.

Al generar electricidad mediante un dinamo o alternador, movidos por un motor térmico o una turbina, el aprovechamiento de la energía química del combustible es del 45 al 70% (sobre el poder calorífico inferior), y el resto debe disiparse en forma de calor. Con la cogeneración se aprovecha una parte importante de la energía térmica que normalmente se disiparía a la atmósfera o a una masa de agua y evita volver a generarla con una caldera. Además, evita los posibles problemas generados por el calor no aprovechado.

El rendimiento de la planta se puede medir con varios coeficientes, con el fin de obtener algún tipo de beneficio. Cuanto más eficientes sea estos valores, más eficiente será la planta, y por lo tanto más apoyo se recibirá por parte del Estado.

Las formas de medir el rendimiento son:

- RE (rendimiento eléctrico): el rendimiento eléctrico es el cociente entre la energía eléctrica generada por la planta y la energía aportada por el combustible (ecuación [M.7]). En las centrales eléctricas este es el único rendimiento que se tiene en cuenta.

$$RE = \frac{E}{Q} \quad [M.7]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $E$ : energía generada (kW·h).
- $Q$ : combustible consumido (kW·h).

- RV (rendimiento térmico): se da entre el cociente del calor generado y la energía aportada por el combustible (ecuación [M.8]).

$$RV = \frac{V}{Q} \quad [M.8]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $V$ : calor útil producido (kW·h).

- RG (rendimiento global): en plantas de cogeneración también se utiliza este rendimiento, que proporciona una idea de la eficiencia de la planta como productora de electricidad y calor útil (ecuación [M.9]).

$$RG = RE + RV \quad [M.9]$$



Otro factor importante a tener en cuenta en una planta de cogeneración es su mantenimiento preventivo. La frecuencia de mantenimiento es de una a dos veces anuales según el modelo. Las turbinas de gas industriales necesitan de una operación llamada Overhaul aproximadamente cada 30000-60000 horas de uso. El Overhaul consiste en la sustitución de algunos o todos los elementos de esta para que puedan completar otro ciclo de vida útil, recuperando parcial o totalmente las prestaciones originales.

#### 5.4.3 Tipo de quemador

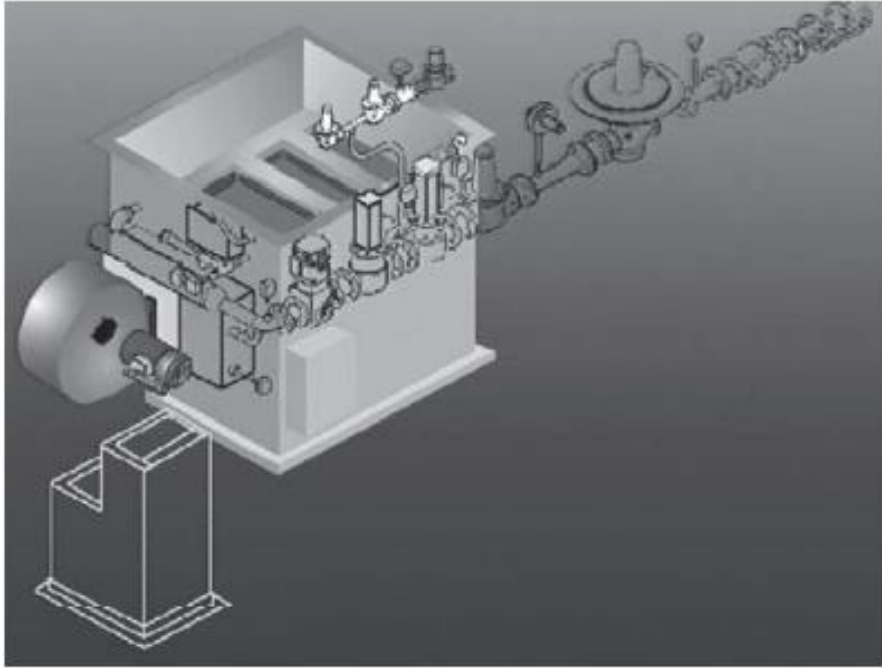
La instalación de alimentación del combustible puede variar en función del tipo de combustible empleado: gaseoso o líquido, y este último, en función de la densidad y viscosidad, en ligero y denso.

Existen varios tipos de quemadores o sistemas de combustión adoptados en los atomizadores:

- Quemador Flu-fire (combustible gaseoso, en instalación de cogeneración).
- Quemador en vena de aire (combustible gaseoso).
- Quemador Weishaupt de combustión directa (combustible líquido).

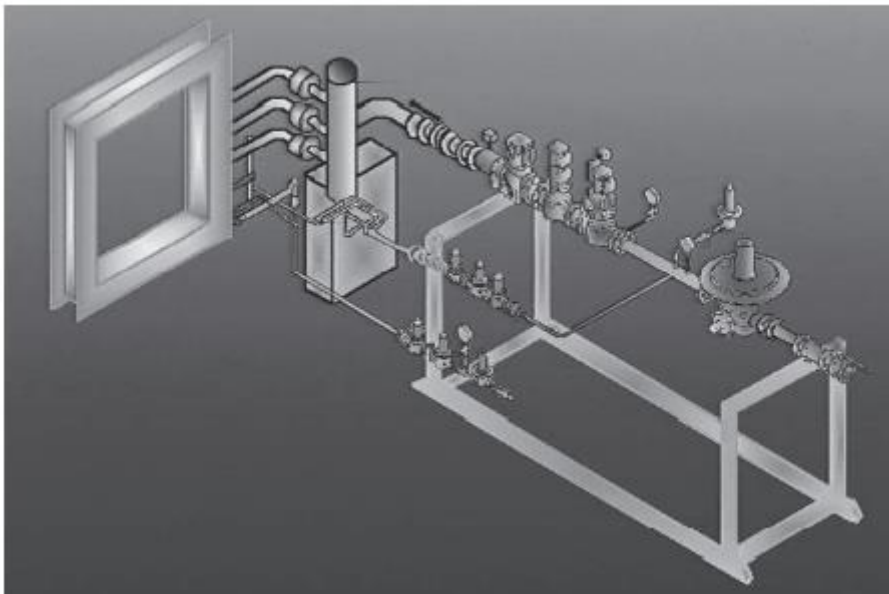
Los quemadores del tipo en vena de aire son adecuados para los combustibles gaseosos mientras que los Weishaupt son para los combustibles líquidos. En ambos casos, la regulación de la llama se produce mediante un sistema que modula la cantidad de combustible en función del valor de temperatura que se quiera alcanzar.

En la Figura M.54 se puede observar la representación esquemática de un quemador en vena de aire. Este prevé un exceso de aire de combustión igual al 150% del aire estequiométrico. En cambio, los quemadores Flu-fire no poseen un ventilador propio para el aire comburente. La combustión del gas se produce por tanto con el aire de proceso, que debe contener una cantidad mínima de oxígeno.



**Figura M.54: Quemador de vena**

Por otro lado, la Figura M.55 presenta un esquema del quemador Flu-fire. Estos quemadores son adecuados para integrar las instalaciones de cogeneración y, en función de sus características, pueden funcionar como sistemas de postcombustión en las instalaciones de cogeneración (Figura M.56).



**Figura M.55: Quemador FLU-fire**

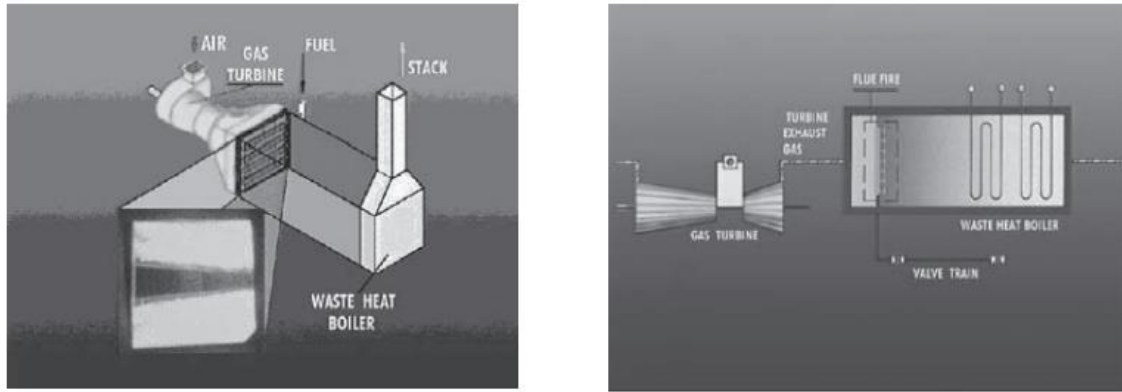


Figura M.56: Quemador FLU-fire asociado a la planta de cogeneración

La planta diseñada en este proyecto consta de un sistema de cogeneración, permitiendo un ahorro importante de energía. Este es el principal motivo por el que se elige el quemador Flu-fire.

## 5.5 Multiciclón

### 5.5.1 Funcionamiento de un ciclón

El equipo de recolección de polvo que se usa con mayor frecuencia es el ciclón. Los ciclones eliminan el material particulado de la corriente gaseosa, basándose en el principio de impactación inercial, generado por la fuerza centrífuga. La Figura M.57 muestra el movimiento de las partículas de mayor diámetro hacia las paredes del ciclón debido a la fuerza centrífuga.

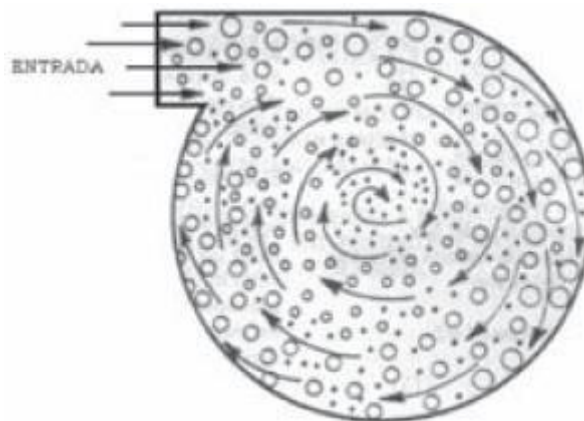


Figura M.57: Sección horizontal de ciclón separador

El ciclón es esencialmente una cámara de sedimentación en que la aceleración gravitacional se sustituye con la aceleración centrífuga.

Los ciclones constituyen uno de los medios menos costosos de recolección de polvo, tanto desde el punto de vista de operación como de la inversión. Estos son básicamente construcciones simples que no cuentan con partes móviles, lo cual facilita las operaciones de mantenimiento; pueden ser hechos de una amplia gama de materiales y pueden ser diseñados para altas temperaturas (que ascienden incluso a 1000 °C) y presiones de operación.

Estos equipos son adecuados para separar partículas con diámetros mayores de 5  $\mu\text{m}$ ; aunque partículas muchos más pequeñas, en ciertos casos, pueden ser también separadas.

Además, presentan eficiencias mayores que la cámara de sedimentación gravitacional, y eficiencias menores que los filtros de mangas, lavadores y precipitadores electrostáticos. La fuerza centrífuga depende de la velocidad del gas y del radio de giro.

Teóricamente el aumento de la velocidad de entrada al ciclón implicaría un aumento de la fuerza centrífuga y, por lo tanto, un aumento de la eficiencia; sin embargo, velocidades de entrada muy altas generan la resuspensión de material particulado de las paredes internas del ciclón, lo cual disminuye la eficiencia del ciclón; adicionalmente, aumentar la velocidad de entrada implica mayor consumo de energía. Por esto, se recomienda operar a una velocidad de entrada al ciclón dentro del intervalo de 15,2 a 27,4 m/s.

En un ciclón, la trayectoria del gas comprende un doble vórtice (Figura M.58), en donde el gas dibuja una espiral descendente en la zona externa, y ascendente, en la zona interna.

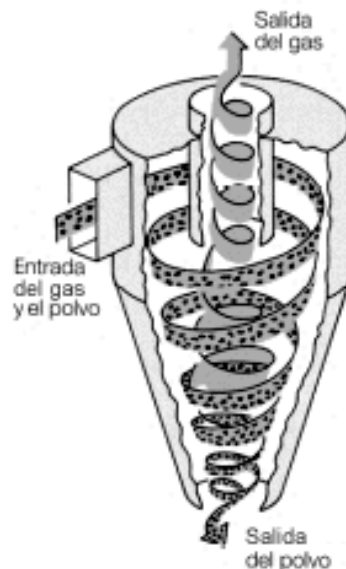


Figura M.58: Doble vórtice en interior del ciclón separador

En el interior del equipo, el gas entra en la cámara superior tangencialmente y desciende en espirales hasta el ápice de la sección cónica; luego, asciende en un segundo en espiral, con diámetro más pequeño, y sale por la parte superior a través de un ducto vertical centrado. Los sólidos se mueven radialmente hacia las paredes, se deslizan por las paredes, y son recogidos en la parte inferior. El diseño apropiado de la sección cónica del ciclón obliga al cambio de dirección del vórtice descendente; el vórtice ascendente tiene un radio menor, lo que aumenta las velocidades tangenciales; en el cono se presenta la mayor colección de partículas, especialmente de las partículas pequeñas al reducirse el radio de giro.

### 5.5.2 Tipos de ciclones según la eficiencia

Los ciclones son un dispositivo de separación de material particulado bastante estudiado. Los tipos de ciclón se agrupan en 3 familias, basándose en la eficiencia a la hora de separar un tamaño de partícula (Tabla M.7). Cada familia consta de unas proporciones características, esto es lo que determina su eficiencia de remoción.

Las principales familias de ciclones de entrada tangencial son: ciclones de alta eficiencia, ciclones convencionales y ciclones de alta capacidad.

**Tabla M.7: Intervalo de eficiencia de remoción para las distintas familias de ciclones**

Familia de ciclones	Eficiencia de remoción (%)		
	PST	PM10	PM2.5
Convencionales	70 - 90	30 - 90	0 - 40
Alta eficiencia	80 - 99	60 - 95	20 - 70
Alta capacidad	80 - 99	10 - 40	0 - 10

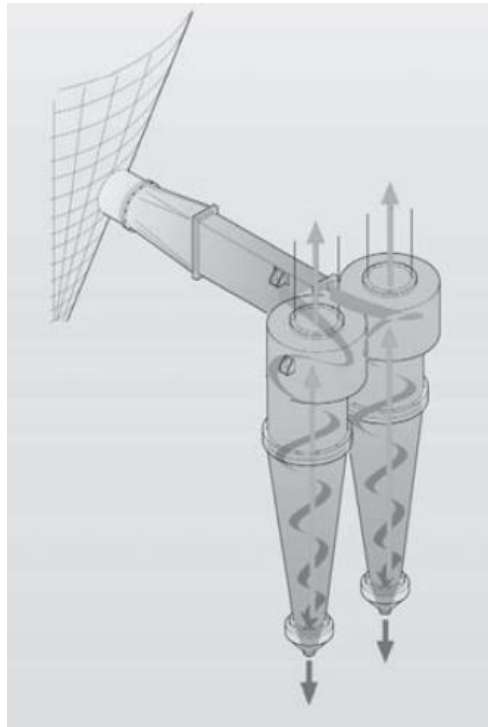
Los ciclones de alta eficiencia están diseñados para alcanzar mayor separación de las partículas pequeñas que los ciclones convencionales. Además, pueden separar partículas de 5  $\mu\text{m}$  con eficiencias hasta del 90%, pudiendo alcanzar mayores eficiencias con partículas más grandes. Aunque tienen mayores caídas de presión, lo cual requiere de mayores costos de energía. Por lo general, el diseño del ciclón está determinado por una limitación especificada de caída de presión, en lugar de cumplir con alguna eficiencia de control especificada.

Los ciclones de alta capacidad están garantizados solamente para separar partículas mayores de 20  $\mu\text{m}$ , aunque también se separan pequeñas partículas. Se ha comprobado que los multiciclones han alcanzado eficiencias de separación de 80 a 95 % para partículas de más de 5  $\mu\text{m}$ .

Se construyen de acero inoxidable y están dotados de válvulas de contrapeso para la descarga del polvo y trampillas de inspección. Constituyen la primera fase de eliminación del polvo en el aire de la torre de secado. Antes de la separación del polvo en los ciclones, el aire presenta una concentración de polvo del orden de 2000-4000  $\text{mg}/\text{Nm}^3$ , a la salida del ciclón se reduce hasta los 400  $\text{mg}/\text{Nm}^3$ .

### 5.5.3 Multiciclones

En la separación de partículas, su eficiencia sólo puede cambiar en una cantidad relativamente pequeña mediante una variación en las condiciones operacionales. El factor de diseño primario que determina en gran medida la eficiencia es el diámetro del ciclón. Cuanto más pequeño es el diámetro, más alta es la eficiencia. Estos ciclones de diámetro más reducido requieren de varias unidades en paralelo (Figura M.59) para lograr aumentar aún más su capacidad de separación. En tales casos, cada ciclón descarga el polvo en una tolva receptora común.



**Figura M.59: Ciclones separadores en paralelo**

El diseño final implica llegar a un término medio entre la eficiencia de recolección y la complejidad del equipo. Se acostumbra a diseñar un solo ciclón, recurriendo a varias unidades en paralelo sólo cuando la eficiencia de recolección prevista es inadecuada para una sola unidad. A esta configuración se le conoce por el nombre de multiciclón (Figura M.60).

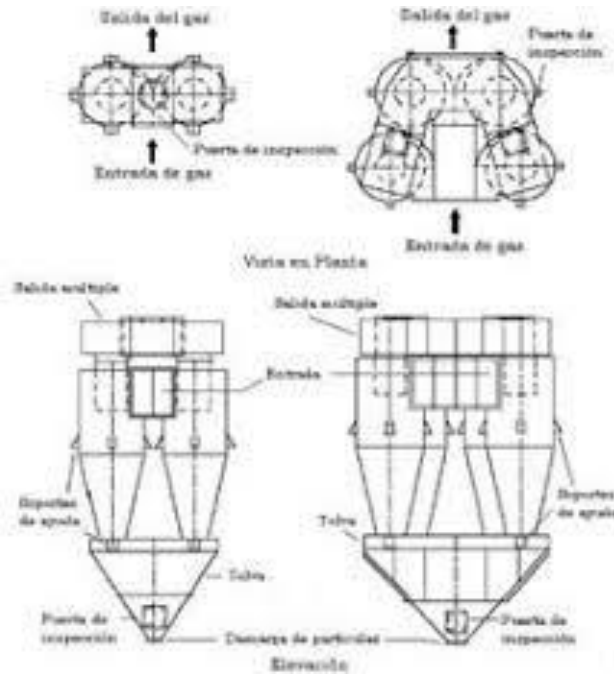


Figura M.60: Sección de multiciclón de 2 (izquierda) y 4 (derecha) ciclones separadores

Los ciclones en serie se justifican en aquellos casos en que el polvo tiene las siguientes propiedades:

- Cuando tiene una distribución amplia de tamaños, incluyendo una porción importante de partículas más finas que 15  $\mu\text{m}$ .
- Cuando tiene una tendencia marcada a aglomerarse en el equipo que precede a los ciclones, al igual que en estos mismos.

Cuando se reduce el diámetro del ducto de salida del gas se incrementa tanto la eficiencia de la separación como la caída de presión. Aumentar la longitud del ciclón, también aumenta la eficiencia de recolección.

Un ciclón operará bien, si el receptor de polvo es hermético. Es probable que la causa más importante para un funcionamiento deficiente del ciclón sea la fuga de aire hacia la salida de polvo. Una fuga ligera de aire en este punto provocará una reducción muy notable en la eficiencia de recolección, sobre todo, cuando se trata de polvos finos.

En la parte inferior del cono se coloca generalmente, como ya se ha mencionado, una tolva para recibir el material particulado colectado; la tolva debe tener el volumen suficiente que evite la apertura frecuente del dispositivo de descarga, ya que la entrada de aire por la parte inferior del ciclón puede generar resuspensión de material colectado.

## 5.6 Filtro de mangas

### 5.6.1 Contaminantes emitidos en el atomizado

Los contaminantes en las emisiones gaseosas pueden ser de diferente naturaleza, en función obviamente de las materias primas utilizadas, pero también de los combustibles empleados, del tipo de secadero y de la velocidad de tratamiento.

El secado por pulverización provoca tanto emisiones de polvo, como  $\text{NO}_x$ , CO y  $\text{CO}_2$ . En este proyecto en concreto se producen también ácido acrílico proveniente del uso del poliacrilato de sodio (Darvan C) en la suspensión.

En el caso de las instalaciones de turbina de gas se usan quemadores de bajo  $\text{NO}_x$  (DLN). La característica principal es que la mezcla de aire y combustible, y la combustión tienen lugar en 2 etapas separadas. Realizando la mezcla de aire y combustible antes de la combustión se logran temperaturas de llama más bajas y homogéneas, que conducen a una reducción de las emisiones de  $\text{NO}_x$ . Es por este motivo que los  $\text{NO}_x$  no necesitan ser depurados por ningún tipo de sistema, simplemente se combaten produciendo menos cantidad en la quema de combustible. Con los quemadores DLN se logra, de la misma forma que con el  $\text{NO}_x$ , reducir el CO producido por la combustión incompleta del combustible. Por lo tanto, el separador solo se focalizará en eliminar polvo,  $\text{CO}_2$  y ácido acrílico.



5.6.2 Métodos para separar contaminantes del producto

Existen varios equipos de depuración, los cuales se distinguen por separar distintos tipos de partículas contaminantes presentes en un gas (Tabla M.8).

Tabla M.8: Separadores vía húmeda según los contaminantes del gas que se pretende eliminar

Procesos	Contaminantes										
	Polvo	Metales pesados		Gases ácidos		NOx	CO	CO2	Dioxinas y Furanos	COV	Olores
		Particulados	Gaseosos	HCl, HF, HBr, HI	SOx						
Ciclones	■										
Depuradoras Venturi	■■	■■	■■	■■					■		■■
Filtros de mangas	■■■	■■■							■		
Filtros PES	■■■	■■									
Depuradoras secas	■■■	■■■	■	■■	■				■		
Depuradoras húmedas	■■■	■■■	■■	■■■	■■■			■■■	■		■
Reducción catalítica selectiva (RCS)						■■			■■■		
Oxidación térmica							■■■			■■■	■■
Oxidación catalítica							■■■			■■■	■■
Absorción química	■■	■■	■	■■■			■■	■■			■■■
Adsorción			■■■	■	■		■	■	■■■	■■■	■■■
Fotooxidación						■■■				■■	■■■
Condensación										■■	
Biooxidación										■■	■■■

Poco eficiente  
  Eficiente  
  Muy eficiente

Teniendo en cuenta que los atomizadores están obligados a depurar las partículas de sus corrientes, con el fin de alcanzar el valor límite establecido de 50 mgPST/Nm<sup>3</sup>, las tecnologías disponibles (según el BREF de la industria cerámica) son: filtros de mangas o ciclones junto con depuradores vía húmeda instalados en serie (Tabla M.9).

Tabla M.9: Tecnologías de depuración extraídas del BREF, con rendimiento y concentración de partícula final

Etapa del proceso	Contaminante	MTD	Rendimiento (%)	C <sub>final</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )
Secado por atomización	Partículas	Filtro de mangas	99	< 15
		Ciclones+Filtro vía húmeda	95	< 40

Según la Tabla M.9, con el sistema en serie de ciclones y filtro vía húmeda, se puede conseguir un rendimiento del 95%. Por otro lado, el filtro de mangas tiene un rendimiento del 99% por sí solo, aunque también se suele instalar precedido de un intercambiador de calor y un multiciclón (Figura M.61). De esta forma se recupera el polvo grueso en los ciclones, y se aumenta la vida útil del equipo junto con las telas de filtración de las mangas.

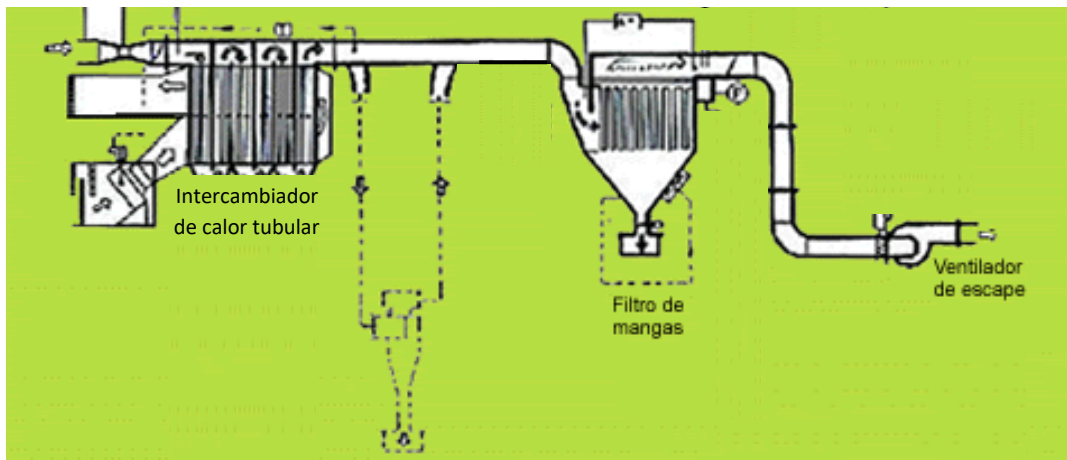


Figura M.61: Diagrama de equipos elegidos en planta de atomizado

Aunque la Tabla M.8 muestra que el filtro de mangas suele emplearse solo para captar el polvo, dioxinas y furanos; es posible también depurar el CO<sub>2</sub> (subproducto de la quema de gas natural) y el ácido acrílico (proveniente del poliacrilato de sodio) mediante el uso de aditivos. Esto hace que el filtro de mangas convierta en la mejor opción a la hora de eliminar las partículas contaminantes de los humos.

Por lo tanto, para eliminar las partículas de polvo que no han sido eliminadas del multiciclón y los gases contaminantes producidos por el quemador se elige, según el razonamiento expuesto, el sistema de depuración húmeda, ya que es el equipo más eficiente para eliminar polvo, CO<sub>2</sub> y ácido acrílico (Figura M.62).

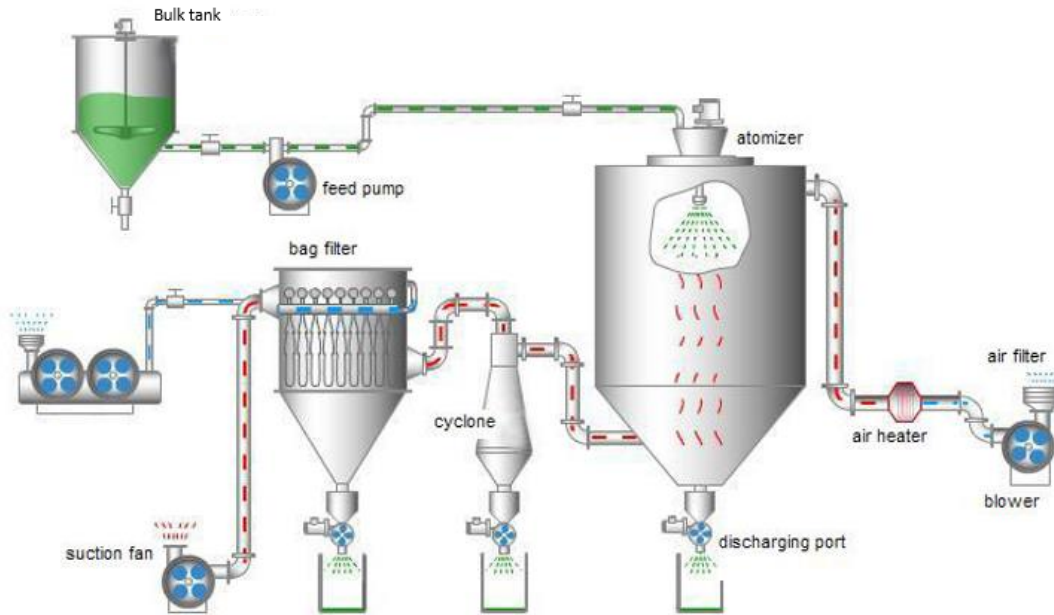


Figura M.62: Diagrama de equipos elegidos en planta de atomizado

### 5.6.3 Refrigeración de los humos

Este tipo de configuraciones (Figura M.62) cuentan con sistemas que permiten enfriar los humos que salen del atomizador. Un intercambiador de calor tubular que refrigera los humos provenientes del atomizador y aprovecha este calor para reducir las pérdidas de la cámara de atomización generadas a través de sus paredes. De esta forma (y con el calorifugado del atomizador) se mantiene la temperatura constante en la cámara y se calienta el aire procedente del quemador (Figura M.63), mediante el recuperador de calor. Una vez enfriado el fluido térmico con el recuperador de calor, se recircula de nuevo al intercambiador de calor.

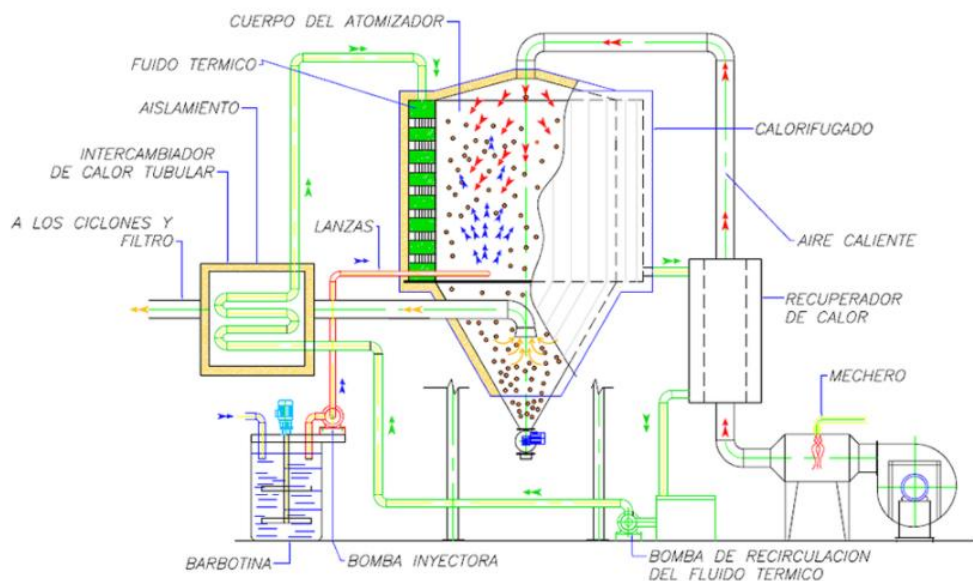


Figura M.63: Diagrama de refrigeración de humos en el atomizador

## 5.6.4 Funciones

### 5.6.4.1 Depuración de contaminantes sólidos

Los filtros de mangas o bolsas son estructuras metálicas cerradas (soporte interno) en cuyo interior se disponen elementos filtrantes textiles en posición vertical. Según el diseño pueden adoptar formas tubulares, que se denominan mangas, o formas rectangulares, y se denominan bolsas.

Se montan sobre una cámara que acaba en su parte inferior en una tolva de recogida de partículas. El aire cargado de sólidos es forzado a pasar a través del elemento filtrante, normalmente textil, sobre el que se forma una capa de polvo (Figura M.64). La filtración se produce como resultado de la formación de una capa de polvo primaria en la superficie de las mangas y una acumulación de partículas de polvo en el interior del material filtrante (torta). Una vez formada la capa primaria, la penetración se hace muy baja y la filtración se produce por tamizado (filtración superficial).

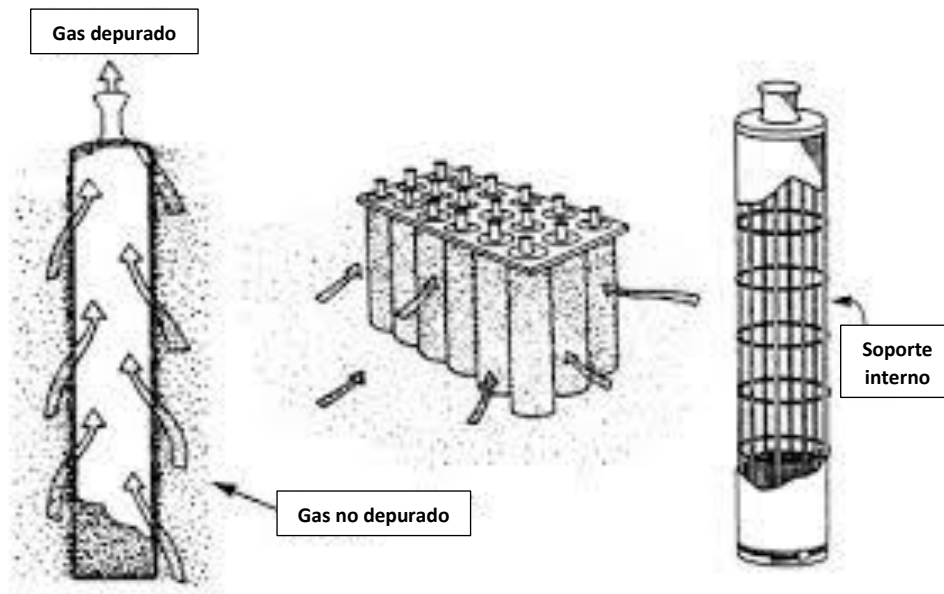
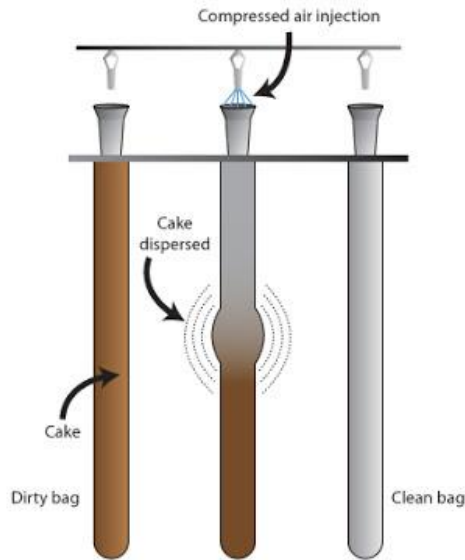


Figura M.64: Soporte interno y funcionamiento de una manga

El proceso de filtración continúa hasta que la caída de presión se hace tan notoria que requiere la limpieza del sistema (Figura M.65).



**Figura M.65: Limpieza de la torta formada en la superficie del filtro, en manga con chorro de aire (Pulse jet)**

Los filtros de mangas son instalaciones de depuración de partículas altamente eficaces para un gran número de aplicaciones, por lo que están incluidas como una de las Mejores Técnicas Disponibles en numerosas etapas de diferentes procesos industriales.

De hecho, presentan eficacias superiores al 99% en muchas aplicaciones para partículas mayores de 10  $\mu\text{m}$ , pudiendo superar en algunos casos el 99.99%, y se obtienen eficacias aceptables para partículas de hasta 0.01  $\mu\text{m}$ . Soportan cargas de sólidos muy variables, típicamente entre 100 y 3000  $\text{mg}/\text{m}^3$ .

Las dimensiones típicas pueden ser de 0,15-0,3 m de diámetro y entre 3 y 8 m de altura, oscilando el número de mangas por compartimento entre 40-700.

#### 5.6.4.2 Depuración de contaminantes gaseosos

En ocasiones los filtros de mangas, además de depurar contaminantes en fase sólida, también depuran contaminantes gaseosos.

Las partículas de polvo pueden depositarse dentro del filtro y sobre su superficie. Una subsecuente reacción de estas partículas, que vaya acompañada de un aumento en el volumen específico puede deteriorar la capacidad de filtración del medio (torta y filtro) o incluso conducir a bloqueo total de los poros, lo que impide el funcionamiento posterior de la planta de filtrado.

Un ejemplo de una aplicación de filtración de este tipo es la eliminación del polvo sólido en procesos de limpieza en seco de gases de combustión. Un aditivo se pone en contacto con el gas de combustión. El aditivo (que funciona como absorbente) reacciona normalmente con el SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> o algún ácido presente en los humos. Estos subproductos no deseados, ya absorbidos en el producto sólido, se limpian del filtro de mangas junto con las cenizas volantes.

El tiempo de residencia del subproducto suspendido en el gas es relativamente corto, generalmente del orden de algunos segundos.

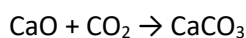
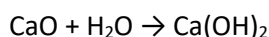
El polvo sólido está continuamente formando una torta de filtración en la superficie de la manga hasta que se elimine durante la limpieza del filtro. Un tiempo de ciclo típico para la limpieza del filtro es del orden de 10 minutos.

El tiempo de residencia en la propia tela filtrante es relativamente largo. Por lo tanto, este sólido en la torta de filtración se expone a los gases de combustión, lo que permite que la reacción se siga dando.

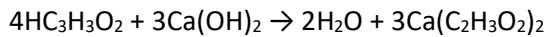
En los procesos industriales de limpieza de gases de combustión secos, la cal apagada o Ca(OH)<sub>2</sub> es frecuentemente utilizado como aditivo. La cal apagada se produce a partir de la piedra caliza o CaCO<sub>3</sub> (carbonato de calcio), mediante combustión y apagado posterior. Además, es relativamente estable en condiciones atmosféricas y presenta una buena reactividad frente a los compuestos gaseosos ácidos en comparación con la piedra caliza.

La cal viva o CaO, es el producto intermedio de la producción de Ca(OH)<sub>2</sub>, y también reacciona frente a compuestos gaseosos ácidos. Al ser producto intermedio, su producción es más barata que la de la cal apagada. Dado que la cal viva tiene el peso molar más bajo, la capacidad de la cal viva como absorbente resulta también mayor.

Por tanto, puede resultar económicamente ventajoso utilizar cal viva en lugar de cal apagada. Sin embargo, la cal viva también es muy reactiva frente a vapor de agua (apagado) y dióxido de carbono (rearbonatación). El gas de combustión contiene ambos, H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub>, por lo que la cal viva es propensa a reaccionar con 2 reactivos:



Donde el producto de la reacción de apagado ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), neutraliza los ácidos presentes en la corriente de aire, en este caso el ácido acrílico ( $\text{HC}_3\text{H}_3\text{O}_2$ ):



El filtro de mangas de este proyecto debe ser capaz de depurar tanto  $\text{CO}_2$ , como ácido acrílico. Por este motivo el  $\text{CaO}$  resulta interesante ya que precipita el  $\text{CO}_2$  en forma de  $\text{CaCO}_3$  y el producto intermedio  $\text{Ca(OH)}_2$  neutraliza el ácido de la corriente de aire, dando como producto acetato de calcio ( $\text{Ca(C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$ ).

El acetato de calcio se descompone en acetona, producto inflamable y explosivo, a  $160\text{ }^\circ\text{C}$  y 1 atm. Esto no supone un riesgo ya que estos equipos suelen operar a  $\pm 0,061$  atm y la temperatura de la corriente de gas en el equipo está muy por debajo de los  $160\text{ }^\circ\text{C}$ . Además de que los rangos de inflamabilidad del vapor en aire son de 2.6 a 12.8 % en volumen y estas condiciones no se dan en el equipo dada la escasez de ácido acrílico en la corriente alimento y la limpieza del equipo entre ciclos de tiempo bastante cortos.

El volumen molar específico de los productos es 0.037, 0.033 y  $0.017\text{ m}^3/\text{kmol}$  para  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$  y  $\text{CaO}$ , respectivamente. Por lo tanto, una partícula de  $\text{CaO}$  que se reacciona completamente por cualquiera de las 2 vías duplica el volumen. Cuando las partículas se depositan dentro del medio filtrante, se espera que un cambio tan severo en el volumen de polvo tenga efectos de deterioro en la permeabilidad del medio filtrante.

Por ello la limpieza de mangas debe realizarse en periodos de tiempo bastante cortos, menores de 10 minutos.

### 5.6.5 Elementos filtrantes

La selección del tipo de elemento filtrante a utilizar viene condicionada por una serie de factores entre los que destacan: temperatura de operación, características físico-químicas de las partículas, humedad del gas, resistencia mecánica de las mangas, propiedades de filtración de las mangas y método de limpieza.

En la Tabla M.10 se resumen las propiedades con carácter general de las principales fibras sintéticas utilizadas actualmente. Los fabricantes de mangas proporcionan, a su vez, diferentes acabados y tratamientos de las telas para mejorar la compatibilidad entre los filtros y los gases a depurar.

**Tabla M.10: Características de distintos tipos de fibras para mangas.**

Fibra	Polipropileno	Poliéster	Acrílico	Poliamídico	Polivinílica	Politetrafluoroetilénica	Arammídica	Fibra de vidrio
Nombre comercial	Meraklon	Dracon	Dralon T	Nylon	Leavil	Teflon®	Nomex	Fiberglas
<b>T máxima</b>								
Continuo (°C)	80-90	130-135	130-135	100-110	80-90	240-260	200-220	280-300
Puntual (°C)	90-100	140	135-140	120	90-100	280	260	320
<b>Resistencia química</b>								
Ácidos	Excelente	Buena	Buena	Muy baja	Excelente	Excelente	Baja	Buena
Bases	Excelente	Baja	Buena	Buena	Buena	Excelente	Buena	Baja
Oxidantes	Muy baja	Excelente	Buena	Excelente	Excelente	Excelente	Buena	Excelente
Disolventes	Muy baja	Buena	Buena	Baja	Baja	Excelente	Buena	Excelente
Hidrólisis	Buena	Excelente	Excelente	Baja	Buena	Excelente	Baja	Buena
Coste relativo	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio	Muy alto	Alto	Muy alto

Un factor importante a la hora de elegir las mangas es su facilidad de limpieza, ya que la vida de las mangas textiles suele oscilar entre 1 y 3 años, y viene determinada por una combinación entre el ataque químico y el esfuerzo mecánico debido a la limpieza.

Para asegurar que la tela filtrante tenga una vida útil suficiente se elige, para este proyecto, la tela de poliéster (Dracon). A pesar de tener un coste relativo medio en comparación a las demás telas, presenta una resistencia excelente a las condiciones de operación de la planta: temperaturas de corriente de aire inferiores a 110 °C; resistencia a ácidos (ácido acrílico, subproducto del Darvan C), oxidantes, disolventes e hidrólisis (vapor de agua presente en los humos y aditivos de la manga como CaO).



### 5.6.6 Tipos de filtros de mangas

Existen varios tipos de filtros de mangas atendiendo al método de limpieza utilizado: por vibración, por aire en contracorriente, por chorros de aire a presión (pulse jet), etc (Figura M.66). En ocasiones, se combinan dos de estos mecanismos de limpieza en un mismo equipo.

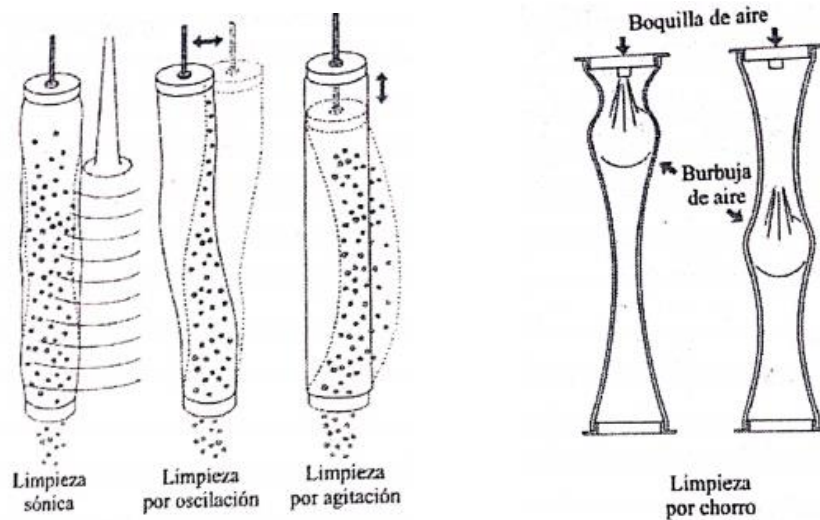


Figura M.66: Limpieza mecánica por flexión (sónica, por oscilación y por agitación) y por chorro de aire.

Los filtros de mangas con limpieza por vibración y aire por contracorriente son los menos usados. Por contra, los filtros de mangas con limpieza por impulsos de aire a presión son los más utilizados actualmente, permitiendo diseños con unas relaciones (caudal de aire/superficie de la tela) mayores que en los dos sistemas anteriores, obteniéndose equipos más compactos.

Tabla M.11: Velocidad específica según el tipo de bomba

Sistema de limpieza	Relaciones de filtración ( $m^3/min/m^2$ )
Sacudida	0,30 - 0,80
Contracorriente	0,30 – 0,90
Chorro de aire a presión	1,45 – 1,60

Es por este motivo por el que se utilizará en este proyecto el filtro de mangas por pulsos de aire a presión.

### 5.6.7 Filtro de mangas con chorro de aire a presión

Las mangas cuelgan verticalmente dentro de la unidad y se sujetan por la parte superior estando la parte inferior de la manga cerrada. En estos sistemas se utilizan jaulas o canastillas de alambre de soporte internas. El aire sucio entra en la cámara y es filtrado depositando el polvo en la parte externa de la manga. Durante el ciclo de limpieza, el polvo se desaloja utilizando un chorro de aire comprimido que se inyecta en la parte superior de las mangas filtrantes mediante un venturi. El chorro de aire a alta presión interrumpe el flujo normal de gas a través del filtro y crea una onda que al desplazarse a lo largo de la manga hace que esta se flexione, rompiendo la capa de polvo que cae hacia la tolva (Figura M.67).

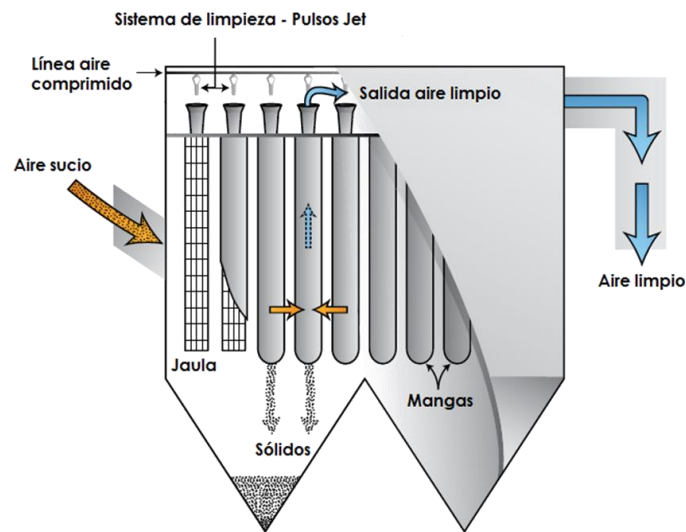


Figura M.67. Esquema de un filtro de mangas, con chorro de aire.

La frecuencia de limpieza es un factor determinante para la retención de cierta capa polvo necesaria para la filtración. Los intervalos entre ciclos de limpieza se ajustan normalmente para que la presión en el colector tenga un promedio de 50 a 150 mm de columna de agua.

## 6. Requisitos de diseño

Con el objetivo establecer los requisitos de diseño para obtener un producto de calidad, la temperatura y la composición de la suspensión se ha revisado la bibliografía <sup>[11]</sup> <sup>[12]</sup> sobre la preparación de pastas de alta alúmina a varias condiciones de temperatura y composición. De los trabajos de la bibliografía se ha elegido la composición que optimiza las propiedades reológicas de la pasta y la temperatura que proporciona tanto una buena calidad del producto, como la mayor recuperación posible en la cámara de atomizado.

## 6.1 Procedimiento

La suspensión para el secado por pulverización contiene dispersantes y ligantes, que permiten obtener un producto con buenas propiedades mecánicas y granulométricas. Sin la adición de ligante sería imposible obtener un producto granulado constituido por partículas de un material exento de plasticidad como la alúmina.

Para determinar la proporción de aditivos en la suspensión y obtener el producto con buenas propiedades, se ha seguido el procedimiento de la bibliografía.

### 6.1.1 Comportamiento reológico

Normalmente, la adición de ligante provoca un aumento significativo de la viscosidad de la suspensión. Los estudios comparativos sobre el efecto del tipo de ligantes sobre en la viscosidad de la suspensión para secado por atomización han demostrado que, para la misma concentración de ligante, existen diferencias dramáticas de viscosidad de un tipo de ligante a otro.

La compatibilidad entre el dispersante y el ligante es necesaria para garantizar las propiedades reológicas óptimas de la suspensión. La adición de ligante puede provocar la desestabilización de pastas ya estabilizadas con un dispersante. Varios estudios han abordado las interacciones entre dispersantes y varios tipos de ligantes y su efecto sobre las propiedades reológicas de la suspensión. Las propiedades reológicas de la suspensión, a su vez, afectan la calidad de los gránulos producidos. Hay estudios que correlacionan las características de las pastas con las propiedades de los gránulos.

A continuación, se describe resumidamente el resultado de unos trabajos<sup>[11] [12]</sup>, en los que se ha tratado la preparación de la suspensión. El estudio se ha realizado con polvo de alúmina (Figura M.68) de 3  $\mu\text{m}$  de diámetro medio (Figura M.69).

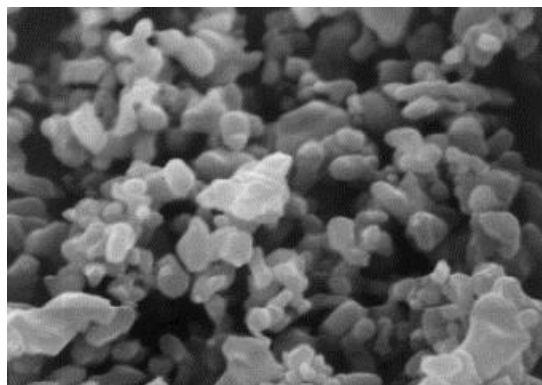


Figura M.68: Fotografías SEM de los polvos de alúmina de 3  $\mu\text{m}$  de diámetro medio.

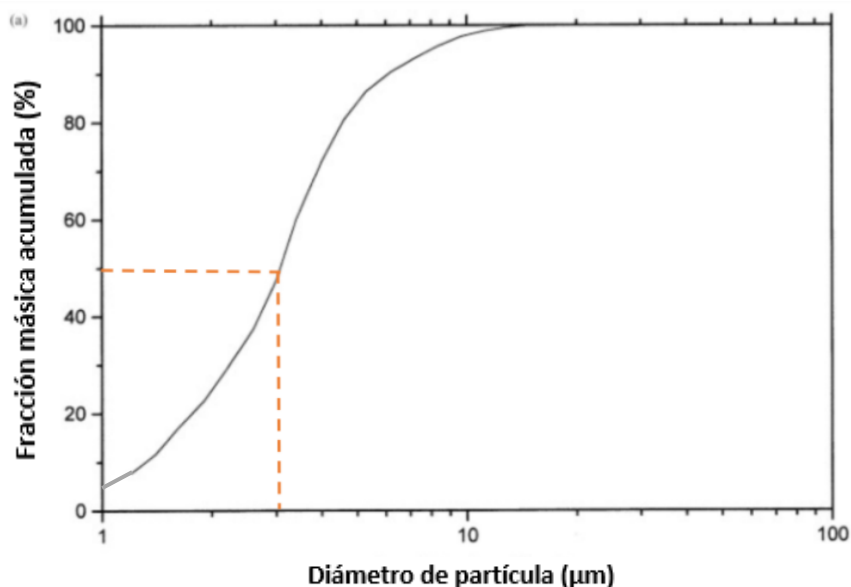


Figura M.69: Fracción másica acumulada del polvo de alúmina.

Los dispersantes utilizados en esta parte del trabajo fueron el Darvan C (poliacrilato de sodio), Duramax D3005 y Dolapix CE64 (sales de amonio de un polielectrolito).

Las propiedades de los dispersantes de nombre comercial se resumen en la Tabla M.12.

Tabla M.12: Propiedades de los dispersantes con nombres comerciales utilizados

Nombre comercial	Darvan C	Duramax D3005	Dolapix CE64
Proveedor	R. T. Vanderbilt co., Norwalk, CT, USA	Rohm and Haas, Lauterbourg, FRANCE	Zschimmer & Schwarz, Lahnstein, GERMANY
Materia activa (% peso)	25	35	70
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	1.11	1.15	1.10
pH	7.5	6.5	7.0

Los ligantes utilizados fueron carboximetilcelulosa (CMC), polietilenglicol (PEG), polialcohol vinílico (PVA, nombre comercial Optapix 4G) y un ligante de emulsión polimérica (estireno/acrílico, copolímero de nombre comercial Duramax B1020).

La combinación óptima de dispersante-ligante recomendada para el secado por aspersión de suspensiones de alúmina se determinó con la ayuda de mediciones de viscosidad.

El Darvan C se ensayó con 2 ligantes: PVA y PEG, mientras que el Dolapix CE64 se probó en combinación el ligante recomendado por el proveedor, es decir, con PVA.

La concentración de cada dispersante se mantuvo constante e igual al valor con el que se obtendrá la viscosidad mínima para un contenido de sólidos (80% en peso) con concentraciones de Darvan C y Dolapix CE64 de 0,1, 0,14 y 0,28% en peso respectivamente. Como ya se mencionó, estas concentraciones se refieren al peso de dispersante respecto al de alúmina.

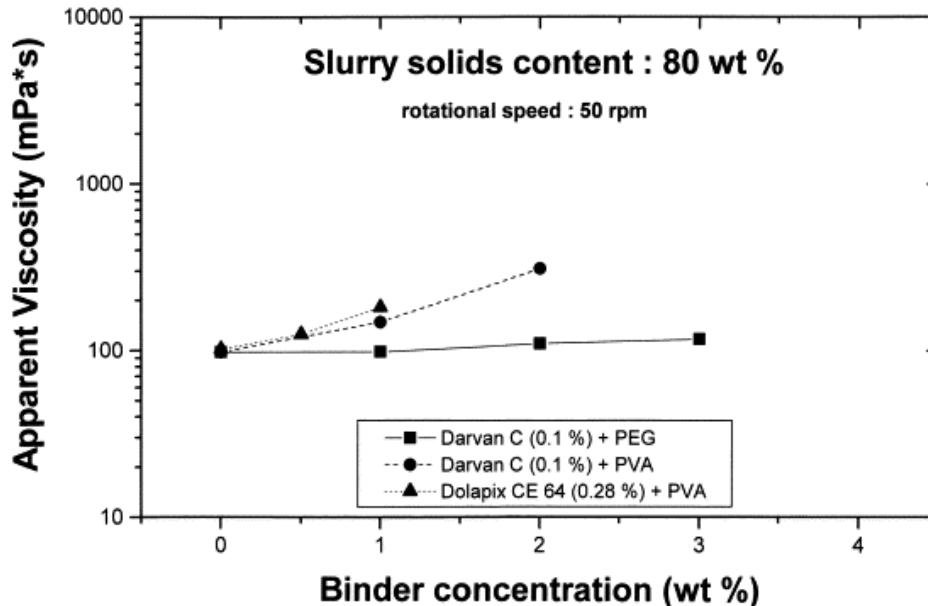


Figura M.70: Efecto del tipo y concentración de ligante sobre la viscosidad de la suspensión para suspensiones con 80% en peso de contenido de sólidos

Es evidente en la Figura M.70 que, entre los diversos ligantes ensayados, la mejor combinación ligante-dispersante desde el punto de vista reológico (baja viscosidad con alto contenido de sólidos, combinado con una estabilidad satisfactoria) era Darvan C / PEG. Esta mezcla conduce a baja viscosidad incluso a concentraciones de PEG tan altas como 3,0% en peso. Por lo tanto, entre las diversas suspensiones, esta combinación particular de dispersante-ligante (0.1% en peso de Darvan C – 3.0% en peso de PEG) fue la elegida.

### 6.1.2 Secado por atomización

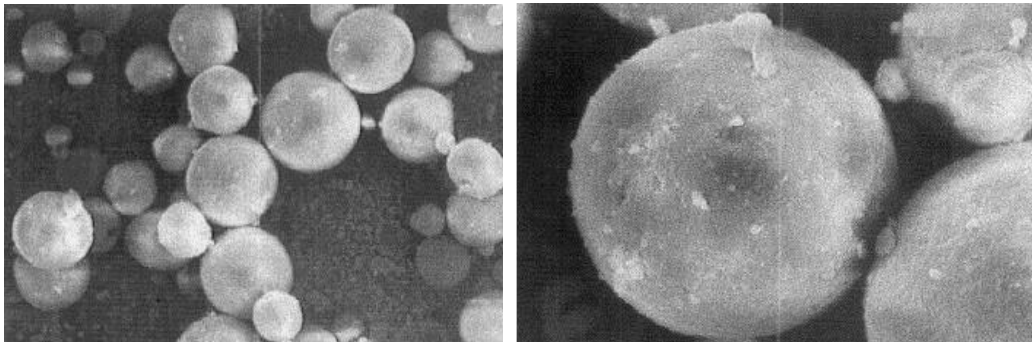
La producción de gránulos secados por atomización se realizó en un atomizador de laboratorio ICF modelo 1C/5DF-T (diámetro interior 0,9 m, altura de la cámara 0,95 m, capacidad 3-6 l/h, temperatura máxima de entrada de aire 300 °C). La atomización se logró inyectando la suspensión a través de una boquilla neumática (orificio de 0,1 mm de diámetro), empleando aire comprimido.

La baja viscosidad de la suspensión de PEG permitió la preparación de suspensiones adecuadas con alto contenido de sólidos (80% en peso).

La combinación de un ligante apropiado con un alto contenido de sólidos en la suspensión mejoró significativamente la calidad de los gránulos producidos.

Como puede verse claramente en la Figura M.71 donde se muestran los gránulos producidos a partir de suspensiones con 80% en peso de contenido de sólidos con 0,1% en peso de Darvan C y 3,0% en peso de PEG (con aumentos de 450 y 1500 veces respectivamente). Todos los gránulos son esféricos y su distribución de tamaño estrecha.

Además, los gránulos son densos (sin huecos ni cráteres) y el aumento de contenido de sólidos de la suspensión ha llevado a una mejora significativa en la recuperación del producto que alcanzó el 78% en peso (en comparación con el 37% en peso logrado con la suspensión con PEG, con un contenido de sólidos del 60% en peso).



**Figura M.71: Gránulos de alúmina secados por pulverización producidos a partir de suspensiones con 0,1% en peso de Darvan C, 3,0% en peso de PEG, contenido de sólidos de la suspensión 80% en peso: (izquierda) aumento 450 veces, (derecha) aumento 1500 veces.**

## 6.2 Selección de la composición

Teniendo en cuenta lo antes expuesto, se eligió la siguiente composición para la suspensión: Darvan C (0,1% en peso de alúmina) y PEG (3% en peso de alúmina) con un contenido en sólidos del 80%.

Para elegir la bomba, que impulse la barbotina al atomizador, es necesario determinar la viscosidad de la suspensión. Según la Figura M.70, la suspensión con la composición elegida tiene una viscosidad de 100 mPa·s (0,1 Pa).

## 6.3 Granulometría del polvo atomizado

Se obtuvo una distribución de tamaños de gránulos (Figura M.72) donde el diámetro medio del polvo atomizado (50% de la fracción másica acumulada de gránulos) es 50  $\mu\text{m}$  y el 90% del polvo está por debajo de los 77  $\mu\text{m}$ .

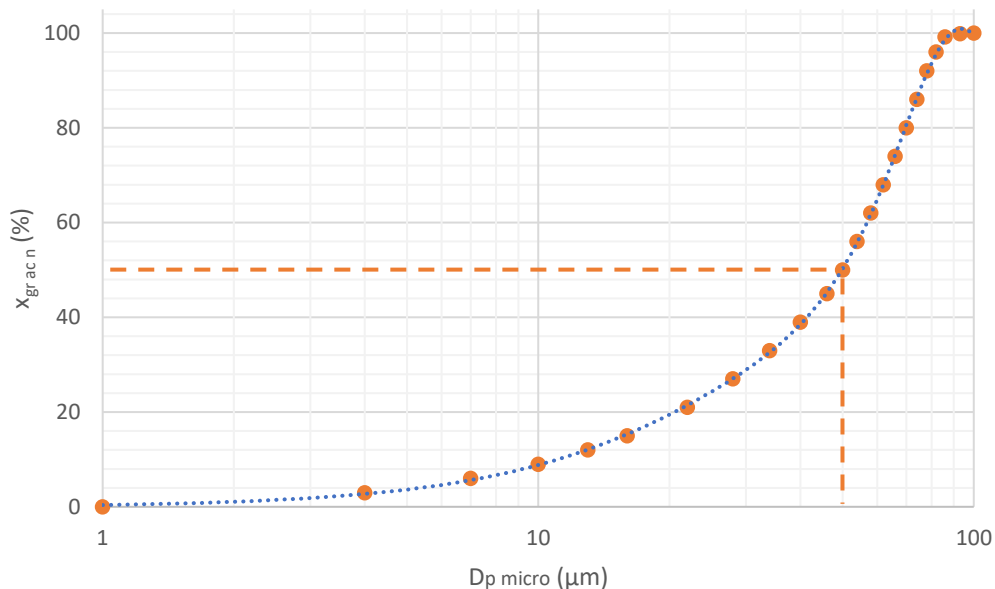


Figura M.72: Fracción másica acumulada en función del diámetro de gránulo del polvo atomizado

Donde los siguientes términos significan:

- $x_{gracn}$ : fracción másica acumulada de los gránulos de un determinado diámetro.
- $D_{p\ micro}$ : diámetro del gránulo, en micrómetros.

## 7. Resultados finales

Una vez realizado el análisis de soluciones, donde se han seleccionado los equipos más adecuados para desempeñar cada función (atomizado, depuración de contaminantes, ...) y los cálculos adjuntados en el Anexo 4 (donde se estiman las corrientes de alimento y producto, se dimensionan los equipos y se elige el modelo que se utilizará en la planta), se presentan en este apartado de forma resumida los resultados finales que describen el funcionamiento de la planta. El significado de cada abreviación se incluye en el Anexo 4, a continuación de cada ecuación.

Para más detalles se puede consultar el Anexo 2 donde se encuentran las fracciones másicas, temperaturas y presiones de las corrientes alimento y producto. En el Anexo 4 se encuentran los modelos de los equipos elegidos junto la definición de las abreviaciones utilizadas en las tablas y los cálculos justificativos.

### 7.1 Atomizador

Los caudales y fracciones másicas en el atomizador se presentan en la Tabla M.12.

**Tabla M.12: Caudal y fracciones másicas en atomizador**

$x_{agua\ PEG}$ (%)	$x_{agua\ susp}$ (%)	$m_{susp/seg}$ (kg/s)	$m_{vap}$ (kg/s)	$m_{at/seg}$ (kg/s)	$m_a$ (kg/s)
90	20	3,24	0,46	2,78	14,81

Donde los siguientes términos significan:

- $x_{agua\ PEG}$ : fracción másica de agua en peso de PEG, que retiene el polvo atomizado.
- $x_{agua\ susp}$ : fracción másica de agua en peso de alúmina, presente en la suspensión.
- $m_{susp/seg}$ : caudal másico de suspensión que se alimenta al atomizador, en kg/s.
- $m_{vap}$ : caudal másico de vapor que sale del atomizador, en kg/s.
- $m_{at/seg}$ : caudal másico de polvo atomizado que sale del atomizador, en kg/s.
- $m_a$ : flujo de aire seco que entra en el atomizador, en kg/s.

Las temperaturas de las corrientes de entrada y salida del equipo se adjuntan en la Tabla M.13.

**Tabla M.13: Temperatura de corrientes de salida y entrada en el atomizador**

$T_a$ (K)	$T_b$ (K)	$T_s$ (K)	$T_{at}$ (K)
463	293	383	333



Donde los siguientes términos significan:

- $T_a$ : temperatura del aire a la entrada del atomizador, en kelvin.
- $T_b$ : temperatura de la suspensión a la entrada del atomizador, en kelvin.
- $T_s$ : temperatura del vapor de agua a la salida del atomizador, en kelvin.
- $T_{at}$ : temperatura del polvo atomizado a la salida del atomizador, en kelvin.

El rendimiento del atomizador junto con las entalpías de entrada y salida del equipo se muestran en la Tabla M.14.

**Tabla M.14: entalpía de las corrientes de salida y entrada en el atomizador**

$\Delta h_{susp}$ (kW)	$\Delta h_{ah}$ (kW)	$\Delta h_{at}$ (kW)	$\Delta h_a$ (kW)	$q$ (kW)
$1,07 \cdot 10^3$	$6,08 \cdot 10^3$	777,62	$6,94 \cdot 10^3$	800

Donde los siguientes términos significan:

- $\Delta h_{susp}$ : flujo de energía asociada a la suspensión que entra al atomizador, en kW.
- $\Delta h_{ah}$ : flujo de energía asociada al aire húmedo que sale del atomizador, en kW.
- $\Delta h_{at}$ : flujo de energía asociada al polvo atomizado que sale del atomizador, en kW.
- $\Delta h_a$ : flujo de energía asociada al aire seco que entra al atomizador, en kW.
- $q$ : flujo de energía que se pierde por las paredes del atomizador, en kW.

## 7.2 Quemador de gas

El rendimiento y el caudal de gas del quemador se adjuntan en la Tabla M.15.

**Tabla M.15: poder calorífico del gas natural según la composición**

$\eta_{quemador}$ (%)	$Q_{gas\ natural\ real/seg}$ (Nm <sup>3</sup> /s)
70	0,022

Donde los siguientes términos significan:

- $\eta_{quemador}$ : rendimiento del quemador, en porcentaje.
- $Q_{gas\ natural\ real/seg}$ : caudal volumétrico de gas natural necesario para que el aire suministre el flujo de energía para el atomizado, teniendo en cuenta el rendimiento de la combustión, en Nm<sup>3</sup>/s.

### 7.3 Multiciclón

El caudal, cantidad y el tamaño de los ciclones se muestran en la Tabla M.16.

**Tabla M.16: Caudal de aire húmedo de operación y medidas de cada ciclón**

$m_{ah\ seg}$ (kg/s)	$N_{ciclones}$ (n° ciclones)	$D_{ciclón}$ (m)	$a$ (m)	$b$ (m)	$D_e$ (m)	$S$ (m)	$h$ (m)	$H$ (m)	$B$ (m)
15,27	8	1,41	0,703	0,281	0,703	0,703	2,109	5,624	0,527

Donde los siguientes términos significan:

- $m_{ah\ seg}$ : caudal másico de aire húmedo que sale del atomizador, en kg/s.
- $N_{ciclones}$ : número de ciclones en el multiciclón.
- $D_{ciclón}$ : diámetro grande del cuerpo del ciclón, en metros.
- $a, b, D_e, S, h, H, B$ : parámetros dimensionales del ciclón como se aprecia en la Figura A.10 del Anexo 4.

La caída de presión provocada por cada ciclón, la caída de la presión del multiciclón y la presión mínima de impulsión del soplante (tramo 3 de conducción) para impulsar el caudal a través del multiciclón se adjunta en la Tabla M.17.

**Tabla M.17: Rendimiento, caída de presión del multiciclón y presión mínima de impulsión del soplante**

$\eta_T$ (%)	$\Delta P_{ciclones}$ (Pa)	$P_1$ (Pa)
98,51	4720,49	$1,06 \cdot 10^5$

Donde los siguientes términos significan:

- $\eta_T$ : eficiencia global de separación del multiciclón, en porcentaje.
- $\Delta P_{ciclones}$ : caída de presión provocada por el multiciclón, en pascales.
- $P_1$ : presión mínima que tiene que se tiene que suministrar para vencer la caída de presión, en pascales.

### 7.4 Filtro de mangas

La velocidad de filtración y el área de filtrado se muestran en la Tabla M.18.

**Tabla M.18: Velocidad y área de filtración del filtro de mangas**

$v_{filtración\ FM}$ (m/s)	$A_{filtración\ FM}$ (m <sup>2</sup> )
0,0385	385,07

Donde los siguientes términos significan:

- $v_{filtración FM}$ : velocidad de filtración del aire húmedo en el filtro de mangas, en m/s.
- $A_{filtración FM}$ : área de filtración del filtro de mangas, en m<sup>2</sup>.

## 7.5 Equipos para impulsión de gases

Las presiones de impulsión de seguridad y potencias de los soplantes/compresores se muestran en la Tabla M.19.

Tabla M.19: Presión y potencia del compresor y soplantes

Tramo	$P_{1 seguridad}$ (Pa)	$W_{comp/soplante r}$ (W)
1	$1,7 \cdot 10^5$	$6,8 \cdot 10^5$
2	$1,63 \cdot 10^5$	$1,14 \cdot 10^6$
3	$1,59 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^6$
4	$1,63 \cdot 10^5$	$1,19 \cdot 10^6$

Donde los siguientes términos significan:

- $P_{1 seguridad}$  : presión de impulsión a que suministra el equipo y con la que se pretende compensar posibles problemas de rendimiento o fugas, en pascuales.
- $W_{comp/soplante r}$  : potencia del compresor/soplante real, teniendo en cuenta el rendimiento del soplante, en watts.

## 7.6 Equipos para impulsión de líquidos y suspensiones

Las presiones de impulsión de seguridad, potencias, cargas del sistema, cargas netas positivas de las bombas se presentan en la Tabla M.20.

Tabla M.20: Presión de impulsión, cargas de sistema y neta positiva, junto con, potencias de bombas

Tramo	$P_{1 seguridad}$ (Pa)	$h_s$ (m)	$NPSH_{disp}$ (m)	$W_{bomba r}$ (W)
5	$1,52 \cdot 10^5$	6,44	6,03	19914
6	$5,07 \cdot 10^5$	30,93	20,45	11000
7	$1,52 \cdot 10^5$	30,13	8,48	44742

Donde los siguientes términos significan:

- $h_s$  : carga del sistema, diferencia entre las alturas totales de impulsión y de aspiración.
- $NPSH_{disp}$  : carga neta positiva en aspiración que depende del sistema, en metros.
- $W_{bomba}$  : potencia de la bomba, en W.

## 7.7 Tuberías

Los diámetros y espesores de las tuberías calculados se adjuntan en la Tabla M.21.

Tabla M.21: Diámetro y espesor de tubería

Tramo	$D_{cond}$ (m)	$e_{ordinario\ m}$ (m)
1	0,67	$2,78 \cdot 10^{-3}$
2	0,9	$2,83 \cdot 10^{-3}$
4	0,9	$2,83 \cdot 10^{-3}$
5	0,09	$2,07 \cdot 10^{-3}$
6	0,09	$2,25 \cdot 10^{-3}$
7	0,035	$2,02 \cdot 10^{-3}$

Donde los siguientes términos significan:

- $D_{cond}$  : diámetro de la conducción, en metros
- $e_{ordinario\ m}$ : espesor mínimo que debe tener la tubería para que evitar fugas, en metros.

## 7.8 Consumo de materias primas

Los consumos y precios de las materias primas necesarias para producir el polvo atomizado se recogen en la Tabla M.22.

Tabla M.22: Consumo y precio de materia prima

Materias primas	Consumo	Precio
Alúmina	15.808 ton/año	542,54 €/ton
Agua	3.344 ton/año	1,15 €/ton
PEG	501,6 ton/año	856,5 €/ton
Darvan C	16,72 ton/año	1270,38 €/ton
Gas natural	1.348.795,28 m <sup>3</sup> /año	1,63 €/m <sup>3</sup>

## 8. Distribución en planta

La metodología SLP ha sido la más aceptada y la más comúnmente utilizada para la resolución de problemas de distribución en planta a partir de criterios cualitativos.

En este apartado se utilizan tablas y diagramas propios de la metodología para posteriormente asignar los espacios y finalmente distribuirlos en planta.

### 8.1 Relaciones entre actividades

#### 8.1.1 Discusión de distribución

Los distintos sectores de la planta se adjuntan numerados en Tabla M.23.

**Tabla M.23: Número de sección**

Número de sección	Zona
1	Almacenamiento de materia prima
2	Planta de producción
3	Sala de control de máquinas
4	Parkings
5	Báscula
6	Oficina de carretilleros/as
7	Laboratorio
8	Cafetería
9	Oficinas de ingenieros/as
10	Oficina de jefes/as
11	Zona de reuniones
12	Secretaría

Hay varias zonas que deben ser colindantes, cercanas o alejadas a otras por varias razones:

- 1 debe estar cerca de 2: la materia prima debe estar cerca de la zona donde se produce para que no suponga un trayecto demasiado largo alimentar las tolvas.
- 2 debe estar cerca de 3: se necesita tener cerca la zona de control de las máquinas de la zona donde se produce para observar el funcionamiento de los equipos a la vez que se programan.
- 11 conviene estar situado al lado de 12: la secretaria recibe a los camiones y se encarga del apartado administrativo, por ello tiene que tener registrada cualquier incidencia lo antes posible, el laboratorio que analiza la materia prima que llega al muelle de descarga debe de comunicar cualquier cambio de composición o de propiedades de las muestras.
- 5 y debe estar próximo a 12: hace más sencillo el registro y el papeleo de los camiones una vez ya pesados.
- 4 debe de estar situado lejos de 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12: para que los trabajadores no tengan que desplazarse muy lejos para llegar a su zona de trabajo.
- 8 debe de estar cerca de 6, 7, 9, 10 y 11: para que los trabajadores no tengan que desplazarse muy lejos para llegar a su zona de trabajo.

### 8.1.2 Tabla relacional de actividades

Con el objetivo de confeccionar la tabla relacional de actividades (TRA), se establecen códigos alfabéticos para asignar la importancia entre secciones se encuentran recopilados en la Tabla M.24.

**Tabla M.24: Código alfabético**

<b>Código alfabético</b>	<b>Relación</b>
A	Absolutamente importante
E	Especialmente importante
I	Importante
O	Ordinaria
U	Sin importancia
X	Rechazable

Se establece un código de numeración para indicar los motivos de las relaciones entre secciones (Tabla M.25).

**Tabla M.25: Código numérico**

<b>Código numérico</b>	<b>Motivo</b>
1	Necesidad del proceso
2	Facilidad de acceso
3	Intercambio de información
4	Economía de transporte
5	Molestias y peligros
6	Higiene y confort

Se confecciona la TRA (Figura M.73) con una notación de 2 caracteres en base a los códigos asignados en las tablas previamente, donde el primer carácter corresponde al código numérico (Tabla M.25) y el segundo al alfabético (Tabla M.24).









Figura M.73: TRA



8.1.3 Diagrama relacional de actividades

Para el diagrama relacional de recorrido y/o actividades (diagrama SLP) se establece otro código: el número dentro de la esfera pertenece a la numeración de las distintas zonas (adjuntado en la Tabla M.23 del apartado 8.1.1 de la Memoria) y el color de las líneas de unión indica la importancia entre secciones (Tabla M.26), como el código alfabético (Tabla M.24) del apartado 8.1.2 de la Memoria.

Tabla M.26: Código de líneas

Código	Motivo
	Absolutamente importante
	Especialmente importante
	Importante
	Ordinaria
	Sin importancia
	Rechazable

Con el código establecido se puede representar el grafo correspondiente al diagrama SLP (Figura M.27), donde los números de sección se presentan en la Tabla M.23 y el color de las líneas de unión es el grado de importancia entre las actividades según la Tabla M.26.

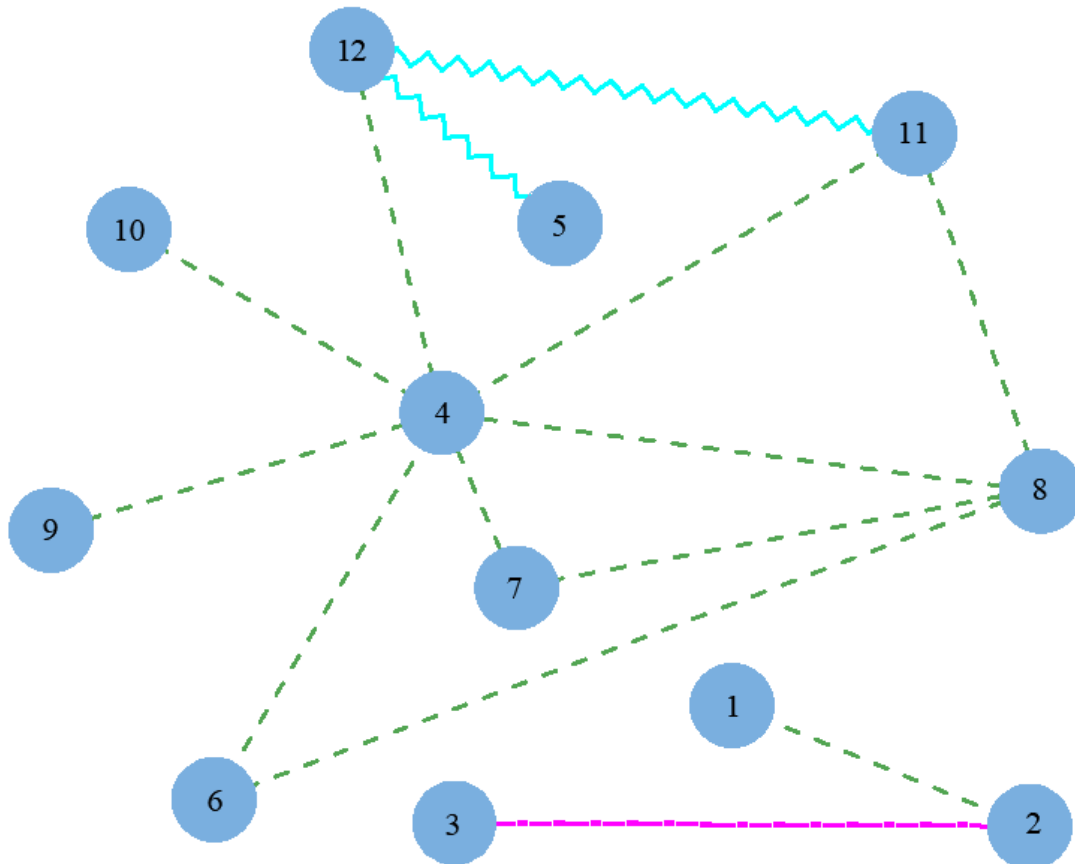


Figura M.27: Diagrama SLP

## 8.2 Definición de espacios

En la parcela se deberá incluir la nave o planta de producción, donde se dispondrán los equipos silo de almacenamiento, atomizador, etc.), además de todas las otras zonas como son el almacenamiento de materia prima, los parkings o las oficinas.

Las superficies de cada una de estas zonas se muestran en la Tabla M.28.

**Tabla M.28: Superficie de las distintas zonas**

Zona	Superficie (m <sup>2</sup> )
Almacenamiento de materia prima	5.000
Planta de producción	10.000
Sala de control de máquinas	25
Parkings	20
Báscula	8
Oficina de operarios de carretilleros/as	10
Laboratorio	14
Cafetería	20
Oficina del jefe/as	8
Oficinas de ingenieros/as	10
Zona de reuniones	12
Secretaría	8

## 8.3 Tamaño de la Planta

A partir de las dimensiones de los equipos, teniendo en cuenta las distancias de seguridad correspondientes entre equipos, las zonas de la planta y las distancias estipuladas por la reglamentación, se ha determinado que la superficie de la planta sea de 36.000 m<sup>2</sup>.

Las dimensiones se muestran en el documento Planos.

## 9. Emplazamiento

Para utilizar un criterio objetivo y cuantitativo se ponderan las distintas alternativas que se barajan como opción para emplazar el proyecto. Una vez hecho esto se presenta con más detalle el candidato elegido para situar la planta.

### 9.1 Ponderación de alternativas

La selección del emplazamiento se ha realizado a través del método de las jerarquías analíticas.

En primera instancia se define el grado de intensidad de los factores que influyen en la elección del emplazamiento, recogidos en la Tabla M.29. Se ha ponderado de 2 a 10 la importancia de los factores, siendo el 2 el factor de menor importancia a tener en cuenta en la elección del emplazamiento y 10 el factor de mayor importancia.

Tabla M.29: Ponderación de factores

Factores	Abreviación	Ponderación	Descripción
Coste del suelo	C	10	Precio del suelo.
Suministro energético	S	8	Suministro de agua, electricidad y gas natural.
Transporte terrestre	TT	6	Distancia hasta el puerto marítimo de descarga más cercano.
Transporte naval	TN	6	Distancia hasta la carretera nacional/autovía más cercana.
Orografía	O	9	Se valora lo llano que es el emplazamiento.
Mano de obra cualificada	MOC	2	Se valora la mano de obra cualificada residente o cercana al emplazamiento.

A continuación, se elabora una matriz de preferencia entre factores (Tabla M.30). Se trata de una matriz donde, en cada celda, se compara la importancia entre el factor correspondiente a su fila y su columna. Esto se hace dividiendo el valor ponderado del factor de la fila entre el valor ponderado del factor de la columna. Por ejemplo, la celda situada en la primera fila y segunda columna es el resultado de dividir el valor ponderado de C/S, o lo que es lo mismo, 10/8. Operando la fracción se obtiene que 1,25 es el valor de la celda.

**Tabla M.30: Matriz preferencia entre factores**

	C	S	TT	TN	O	MOC
C	1	1,25	1,67	1,67	1,11	5
S	0,8	1	1,33	1,33	5,40	1,2
TT	0,6	0,75	1	1	0,67	3
TN	0,6	0,75	1	1	0,67	3
O	0,9	1,13	1,5	1,50	1	4,5
MOC	0,2	0,25	0,33	0,33	0,22	1

En la Tabla M.31 se calcula la media geométrica para cada fila de la Tabla M.30.

**Tabla M.31: Medias geométricas y sumatorio de preferencias entre factores**

Factores	Media geométrica
C	1,64
S	1,45
TT	0,98
TN	0,98
O	1,47
MOC	0,33
<b>Total</b>	<b>6,85</b>

Se elabora una tabla de importancia porcentual de cada factor (Tabla M.32) dividiendo cada fila de la Tabla M.31 por la suma de todas las filas (total).

**Tabla M.32: Importancia porcentual de los factores en tanto por uno**

Factores	Importancia porcentual
C	0,24
S	0,21
TT	0,14
TN	0,14
O	0,22
MOC	0,05

Los valores de los factores, para cada emplazamiento, se adjuntan en la Tabla M.33. Los factores sin unidades son valores ponderados del 0 a 1 extrapolados de la bibliografía.

Tabla M.33: Valor de los factores

Emplazamientos	C (€/m <sup>2</sup> )	S	TT (m)	TN (m)	O	MOC
Polígono Ramonet	90	0,8	680	6000	1	0,9
Parc Sagunt	53,96	0,7	400	5250	0,9	0,6
Polígono Serrallo	100	1	1000	4500	0,8	1

Para obtener la matriz de decisión normalizada se realiza un ajuste lineal. Se toman, como ordenadas del eje Y, el menor y el mayor valor de una columna respectivamente. Si el factor de la columna interesa que su valor sea pequeño el eje X estará constituido por las abscisas 1 y 0 respectivamente, en caso contrario serán 0 y 1. Por ejemplo, la primera columna de la Tabla M.33 representa el coste del suelo, como interesa que el terreno sea barato ordenadas del eje Y son 1 y 0. Siendo por lo tanto las coordenadas del ajuste para la celda en la primera fila y columna: (1, 53,96) y (0, 100).

Del ajuste se obtiene una recta con una pendiente ( $m$ ) y ordenada ( $n$ ):  $y = m \cdot x + n$ . Sustituyendo en la  $y$  el correspondiente valor de la celda en la Tabla M.33 que se pretenda normalizar se obtiene el valor de  $x$ , esto es, el valor del factor normalizado. Para la celda en la primera fila y columna:  $y = 90$ ,  $x = 0,22$ . La Tabla M.34 muestra la matriz de decisión normalizada.

Tabla M.34: Matriz de decisión normalizada

Emplazamientos	C	S	TT	TN	O	MOC
Polígono Ramonet	0,22	0,33	0,53	0	1	0,75
Parc Sagunt	1	0	1	0,5	0,5	0
Polígono Serrallo	0	1	0	1	0	1

Se multiplica cada celda de la Tabla M.34 con la celda de la Tabla M.32 relativa al mismo factor. La suma de la fila es la ponderación del emplazamiento (Tabla M.35).

Tabla M.35: Valor de opciones

Emplazamientos	C	S	TT	TN	O	MOC	Ponderación de emplazamientos
Polígono Ramonet	0,05	0,07	0,08	0	0,22	0,04	0,45
Parc Sagunt	0,24	0	0,14	0,07	0,11	0	0,56
Polígono Serrallo	0	0,21	0	0,14	0	0,05	0,4

El orden de interés de los emplazamientos se elige a partir de la ponderación, siendo el valor más alto la mejor localización donde emplazar el proyecto. Por tanto, el orden de preferencia en cuanto a la selección del emplazamiento será:

Parc Sagunt (0,56) > Polígono Industrial Ramonet (0,45) > Polígono Industrial Serrallo (0,4)

Según los factores que se han tenido en cuenta para la ponderación, Parc Sagunt es el mejor lugar donde emplazar el proyecto.

## 9.2 Parc Sagunt

Cubriendo más de 3.000.000 de metros cuadrados brutos, Parc Sagunt I, es el parque empresarial más grande de Europa.

Parc Sagunt I (Figura M.29), ubicado en la ciudad valenciana de Sagunto, es actualmente uno de los parques empresariales más grandes de Europa.



**Figura M.29: Localización de Parc Sagunt I**

Es una realidad empresarial que abarca una parcela de tres millones de metros cuadrados, y el área está organizada para satisfacer todas las necesidades comerciales. Parc Sagunt I se concibe como un espacio con un enorme potencial de crecimiento económico, estructural y humano. Una serie de servicios desarrollados para obtener el óptimo funcionamiento de las empresas y la satisfacción y el bienestar de las personas que las integran.

Este importante proyecto ha sido llevado a cabo por la empresa Parque Empresarial de Sagunto SL; Establecido por la Generalitat Valenciana y por el holding industrial estatal (SEPI).

La ubicación ofrece gran cantidad de ventajas, entre ellas:

- está ubicado junto a un Puerto con acceso directo a sus muelles
- debido a la conexión directa con las autopistas A-7 y A-23 y solo 15 minutos que unen la A-3 con la A-7, Valencia
- está a solo 20 km, junto con las universidades, los institutos tecnológicos y el aeropuerto
- debido al diseño simple y rectangular de todas sus parcelas (Figura M.30), se facilita el establecimiento de cualquier industria. Las carreteras del polígono disponen de dos carriles en cada dirección que facilitan el movimiento de camiones.



Figura M.30: Mapa de Parc Sagunt I vía satélite

El precio, un precio de mercado establecido por un tasador independiente altamente competitivo.

Está promovido por la Generalitat Valenciana y por la empresa estatal de cartera industrial (SEPI) con todas las garantías y garantías ofrecidas por las dos administraciones.

### 9.3 Parcela seleccionada

Para unos requerimientos de espacio de la planta de 36.000 m<sup>2</sup> se ha seleccionado la siguiente parcela de Parc Sagunt I como emplazamiento definitivo (Figura M.31).



Figura M.31: Parcela de Parc Sagunt I seleccionada para construir la planta

Se han tomado una serie de fotografías del emplazamiento real del proyecto, mostradas en la Figura M.32, Figura M.33, Figura M.34.



**Figura M.32: Fotografía del entorno del emplazamiento**



**Figura M.33: Fotografía del emplazamiento**



**Figura M.35: Fotografía 2 del emplazamiento**



Los suministros de las parcelas se recogen en la Tabla M.36.

**Tabla M.36: Suministros de las parcelas de comercialización, junio 2014**

<b>Suministros de las parcelas de comercialización</b>	
Electricidad	40 W/m <sup>2</sup> (20 kV)
Agua Potable	0,2 l/s·ha
Agua Industrial	0,8 l/s·ha
Agua Contra Incendios	Almacenamiento
Gas Natural	ERM 2500 m <sup>3</sup> (n)/h APA 25 bares BP
Comunicaciones	Fibra óptica y cobre

## 10. Planificación

La realización del proyecto se divide en tareas, que a su vez se agrupan en otras subtareas. De esta forma es posible organizar y gestionar los recursos de forma que se pueda estimar una fecha en la que se concluya todo el trabajo. La planificación del proyecto es necesaria para poder finalizar el proyecto en un plazo de tiempo estimado, proporcionando así una visión global de las tareas y del orden en que deben ser puestas en marcha. La forma en la que se hace esto es estimar la duración de las subtareas y la relación de dependencia entre estas.

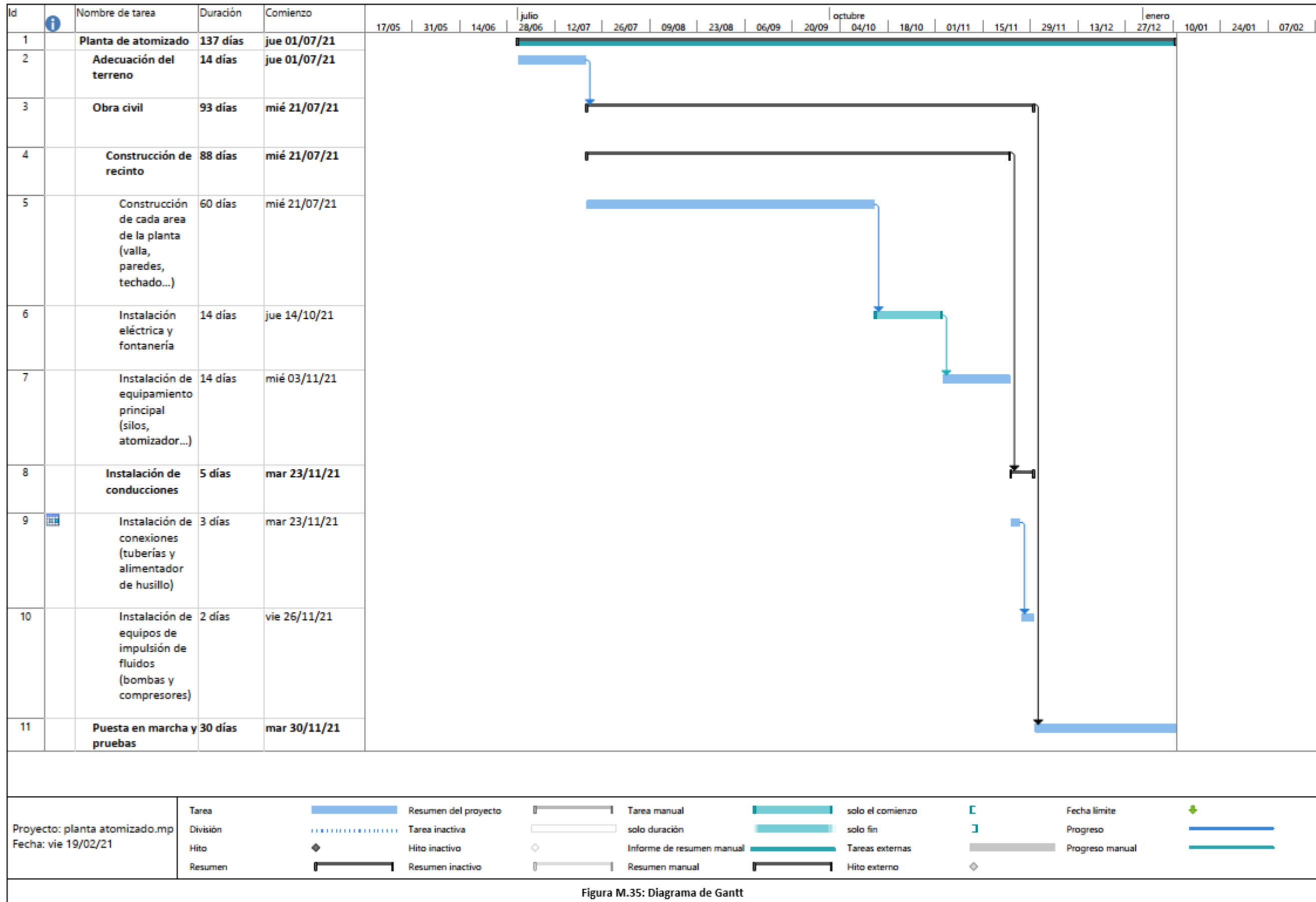
Las tareas en las que se divide el proyecto y sus plazos se recogen en la Tabla M.37.

Tabla M.37: Tareas del proyecto

Proyecto	Duración	Comienzo	Fin
Planta de atomizado	137 días	lun 01/07/21	vie 10/01/22
Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
Adecuación del terreno	14 días	jue 01/07/21	mar 20/07/21
Obra civil	93 días	mié 21/07/21	lun 29/11/21
Construcción de recinto	88 días	mié 21/07/21	lun 22/11/21
Construcción de cada área de la planta (valla, paredes, techado...)	60 días	mié 21/07/21	mié 13/10/21
Instalación eléctrica y fontanería	14 días	jue 14/10/21	mar 02/11/21
Instalación de equipamiento principal (silos, atomizador...)	14 días	mié 03/11/21	lun 22/11/21
Instalación de conducciones	5 días	mar 23/11/21	lun 29/11/21
Instalación de conexiones (tuberías y accesorios)	3 días	mar 23/11/21	jue 25/11/21
Instalación de equipos de impulsión de fluidos (bombas y compresores)	2 días	vie 26/11/21	lun 29/11/21
Puesta en marcha y pruebas	30 días	mar 30/11/21	lun 10/01/22

En la Figura M.35 se muestra el diagrama de Gantt, representación gráfica que permite ver el orden de dependencia de las subtareas. El diagrama de Gantt se ha obtenido del programa Microsoft Project 2020.

Hay que remarcar que la planificación del proyecto se ha realizado estimando los periodos de trabajo, teniendo en cuenta retrasos que pueden derivar de inclemencias meteorológicas, retrasos en envíos, etc.



## 11. Orden de prioridad de los documentos básicos

El orden de prioridad de los documentos de un proyecto técnico, asignado para resolver posibles contradicciones entre los documentos del proyecto, es el siguiente:

1. Planos
2. Pliego de Condiciones
3. Presupuesto
4. Memoria

## 12. Normas y referencias

### 12.1 Disposiciones legales y normas aplicadas

A continuación, se recogen todas las leyes y normas y directrices estipuladas que se han seguido para la realización del proyecto.

#### 12.1.1 Legislación básica

- Real Decreto 2200/1995, de 28 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de la Infraestructura para la Calidad y la Seguridad Industrial.
- Real Decreto 338/2010, de 19 de marzo, por el que se modifica el Reglamento de la Infraestructura para la calidad y la seguridad industrial, aprobado por el Real Decreto 2200/1995, de 28 de diciembre.
- Real Decreto 559/2010, de 7 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento del Registro Integrado Industrial.

#### 12.1.2 Legislación sobre Instalaciones de protección contra incendios

- Guía Técnica de Aplicación: Reglamento de Seguridad contra Incendios en los establecimientos industriales (real decreto 2267/2004, de 3 de diciembre).

#### 12.1.3 Legislación de Prevención de Riesgos Laborales

- Ley 31/1995 de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de equipos de trabajo.

#### 12.1.4 Legislación sobre maquinaria

- Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas.

### 12.1.5 Normas UNE

- UNE-EN 1953:2013. Equipos de atomización y pulverización para materiales de revestimiento.
- UNE-EN ISO 5455. Dibujos técnicos.
- UNE-EN ISO 3098-0. Documentación técnica de productos.
- UNE 1032. Principios generales de representación.
- UNE 157001-2014. Criterios generales para la elaboración de los documentos que constituyen un proyecto técnico”.
- UNE-EN 10255:2005. Requisitos para tubos de acero circulares no aleados aptos para la soldadura y el roscado.
- UNE-EN ISO 9001:2015. Requisito del sistema de gestión de calidad para el instrumento de medida de la temperatura ambiente y humedad.

### 12.2 Programas empleados

Los programas que se han empleado para realizar el proyecto son los siguientes:

- Microsoft Word 2020
- Microsoft Excel 2020
- Microsoft Project 2020
- Chemcad 7.1.8
- Autocad 2020
- CYPE 2020.c
- Adobe Photoshop 2020

### 12.3 Bibliografía

La recerca bibliográfica se ha realizado a partir del siguiente material:

- [1] K Masters. Spray Drying. Leonard-Hill Publishing Co, 1972.
- [2] Spray Drying Handbook, E. Johansen Crosby, 1989.
- [3] K Masters and M F Mohtadi. British Chemical Engineering, vol 12.
- [4] H L Green. Flow Properties of Disperse Systems, North Holland Publishing Co, Amsterdam, 1957.
- [5] Arnold Van Gelder, Tecnología cerámica aplicada, vol 1, 2004.
- [6] Arnold Van Gelder, Tecnología cerámica aplicada, vol 2, 2004.
- [7] Institut de promoció ceràmica, El proceso de Plantación y las clasificaciones técnicas.
- [8] Albaro, JL Amorós, et al. Características de polvos cerámicos para prensado. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, 1987, vol. 26, p. 31-37.
- [9] W H Gauvin, F H Knelman and S Katta. International Journal Multiphase Flow, vol 1, 1975.
- [10] Chemical Economics Handbook, 2016.
- [11] Journal of the European Ceramic Society, Volume 21, Issue 3, March 2001, Pages 363-373.
- [12] Journal of the European Ceramic Society, Volume 21, Issue 4, April 2001, Pages 493-506.
- [13] R. H. Perry, Manual del Ingeniero Químico, Naucalpan de Juárez: McGraw-Hill, 1992.
- [14] M. D. Rodrigo Carbonell, Operaciones básicas de flujo de fluidos, Castellón de la Plana: Publicaciones de la Universidad Jaume I, 2003.
- [15] Spray drying Handbook. Quinta edición. London: Longman Scientific & Technical, 1991.
- [16] Apuntes EQ1033, Operaciones básicas de tratamiento de sólidos.
- [17] Apuntes EQ1019, Mecánica de fluidos.
- [18] Apuntes EQ1009, Expresión gráfica.
- [19] Apuntes EQ1028, Operaciones de separación II.
- [20] Apuntes EQ1027, Tecnología del medioambiente.

## 3. Anexos





## Índice

<b>1. ANEXO 1. DOCUMENTACIÓN DE PARTIDA.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ANEXO 2. DIAGRAMA DE FLUJO DE PLANTA.....</b>	<b>2</b>
<b>3. ANEXO 3. PROPIEDADES FÍSICAS DE LÍQUIDOS Y GASES .....</b>	<b>5</b>
3.1 AGUA .....	5
3.1.1 Agua líquida.....	6
3.1.2 Vapor de agua .....	6
3.2 AIRE.....	7
3.2.1 Aire seco .....	7
3.2.2 Aire húmedo .....	7
<b>4. ANEXO 4. ANEXOS DE CÁLCULOS.....</b>	<b>11</b>
4.1 PRODUCCIÓN DE PLANTA.....	11
4.2 TANQUES DE LÍQUIDOS.....	11
4.2.1 Tanque de PEG.....	13
4.2.2 Tanque de Darvan C.....	14
4.2.3 Tanque de agua .....	14
4.3 DESLEIDORA.....	15
4.4 Balsa de agitación de suspensión y agitador.....	17
4.5 ATOMIZADOR.....	20
4.5.1 Caudal de polvo atomizado y vapor de agua.....	20
4.5.2 Elección de modelo .....	21
4.5.3 Caudal de aire .....	23
4.6 QUEMADOR DE GAS .....	27
4.7 MULTICICLÓN.....	29
4.7.1 Medidas de cada ciclón .....	29
4.7.2 Elección de modelo .....	33
4.7.3 Rendimiento del multiciclón .....	33
4.7.4 Caída de presión provocada por los ciclones .....	36
4.8 FILTRO DE MANGAS .....	37
4.9 CINTA TRANSPORTADORA .....	39
4.9.1 Densidad aparente del polvo de alúmina y atomizado .....	39
4.9.2 Requisitos de transporte.....	41
4.10 SILOS DE POLVO DE MATERIA PRIMA Y PRODUCTO.....	44
4.10.1 Silos de polvo de alúmina .....	46
4.10.2 Silos de polvo atomizado .....	47
4.11 DISPOSICIÓN DE EQUIPOS Y CONDUCCIONES EN LA PLANTA .....	49
4.12 CONDUCCIONES.....	50
4.12.1 Equipos para impulsión de gases.....	50
4.12.2 Equipos de impulsión de líquidos y suspensiones .....	59
4.12.3 Espesor de tuberías.....	69
<b>5. ANEXO 5. ÁBACO DE MOODY .....</b>	<b>72</b>
<b>6. ANEXO 6. TABLA DE LONGITUDES EQUIVALENTES DE ACCIDENTES .....</b>	<b>73</b>
<b>7. ANEXO 7. ESTUDIOS CON ENTIDAD PROPIA .....</b>	<b>74</b>
7.1 LEY DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES.....	74
7.2 IMPACTO AMBIENTAL EN LA INDUSTRIA .....	74
<b>8. ANEXO 8. CATÁLOGOS.....</b>	<b>75</b>

8.1	SILOS DE ALMACENAMIENTO Y DESCARGA DE MATERIAS PRIMAS .....	75
8.2	DESLEIDORA.....	82
8.3	AGITADORES MECÁNICOS .....	83
8.4	BOMBAS CENTRÍFUGAS .....	86
8.5	BOMBA DE PISTÓN .....	88
8.6	ATOMIZADORES.....	90
8.7	CICLONES SEPARADORES.....	98
8.8	CINTA TRANSPORTADORA .....	99
8.9	COMPRESORES Y SOPLANTES .....	106
8.10	QUEMADOR DE GAS .....	107
8.11	FILTRO DE MANGAS .....	108
8.12	TUBERÍAS .....	112
<b>9.</b>	<b>ANEXO 9. HOJAS DE SEGURIDAD .....</b>	<b>113</b>
9.1	ÓXIDO DE ALUMINIO.....	113
9.2	POLIETILENGLICOL.....	115
9.3	POLIACRILATO DE SODIO.....	117
9.4	ÁCIDO ACRÍLICO.....	119
9.5	AGUA .....	121
9.6	ACETATO DE CALCIO .....	132
9.7	CARBONATO DE CALCIO.....	134
9.8	DIÓXIDO DE CARBONO .....	136



## 1. Anexo 1. Documentación de partida

Para el diseño de la planta de producción se han fijado previamente una serie de condiciones en el atomizador (temperatura, composición de alimento y pérdidas de calor) de acuerdo con lo recopilado en la literatura. La cantidad de alúmina que se adiciona al caudal de entrada del atomizador se ha tomado también de la bibliografía.

La planta produce unas 1664 horas anuales, el caudal másico de alúmina en la planta es de 2,64 kg/s, la concentración de agua en suspensión es 20%, la de PEG es 3% y la de Darvan C es 0,1%. El PEG, presente en el polvo atomizado, retiene agua un 90% de su propio peso. El caudal de la alúmina y las fracciones másicas mencionadas se recogen en la Tabla A.1.

Tabla A.1: Caudal de alúmina y fracciones másicas en atomizador

$t_{hora\ efectivos}$ (h)	$m_{al/seg}$ (kg/s)	$x_{agua\ susp}$ (%)	$x_{PEG\ susp}$ (%)	$x_{Darvan\ susp}$ (%)	$x_{agua\ PEG}$ (%)
1664	2,64	20	3	0,1	90

Donde los siguientes términos significan:

- $t_{hora\ efectivos}$ : tiempo, en horas, durante el cual la planta está produciendo polvo atomizado.
- $m_{al/seg}$ : caudal másico de alúmina que se alimenta al atomizador, en kg/s.
- $x_{agua\ susp}$ : fracción másica de agua en peso de alúmina, presente en la suspensión.
- $x_{PEG\ susp}$ : fracción másica de PEG en peso de alúmina, presente en la suspensión.
- $x_{Darvan\ susp}$ : fracción másica de Darvan C en peso de alúmina, presente en la suspensión.
- $x_{agua\ PEG}$ : fracción másica de agua en peso de PEG, que retiene el polvo atomizado.

Las temperaturas de las corrientes en el atomizador son las siguientes: la temperatura de entrada del aire es de 190 °C (463 K), la de entrada de la suspensión es 20 °C (293 K), la del vapor de agua es de 110 °C (383 K), la del polvo de atomizado a la salida de 60 °C (333 K). El flujo de calor perdido en el atomizador es 800 kW. Las temperaturas, en grados Kelvin, se adjuntan en la Tabla A.2.

Tabla A.2: Temperatura de corrientes de salida y entrada en el atomizador

$T_a$ (K)	$T_b$ (K)	$T_s$ (K)	$T_{at}$ (K)	$q$ (kW)
463	293	383	333	800

Donde los siguientes términos significan: Donde los siguientes términos significan:

- $T_a$ : temperatura del aire a la entrada del atomizador, en kelvin.
- $T_b$ : temperatura de la suspensión a la entrada del atomizador, en kelvin.
- $T_s$ : temperatura del vapor de agua a la salida del atomizador, en kelvin.
- $T_{at}$ : temperatura del polvo atomizado a la salida del atomizador, en kelvin.
- $q$ : flujo de energía que se pierde por las paredes del atomizador, en kW.

## 2. Anexo 2. Diagrama de flujo de planta

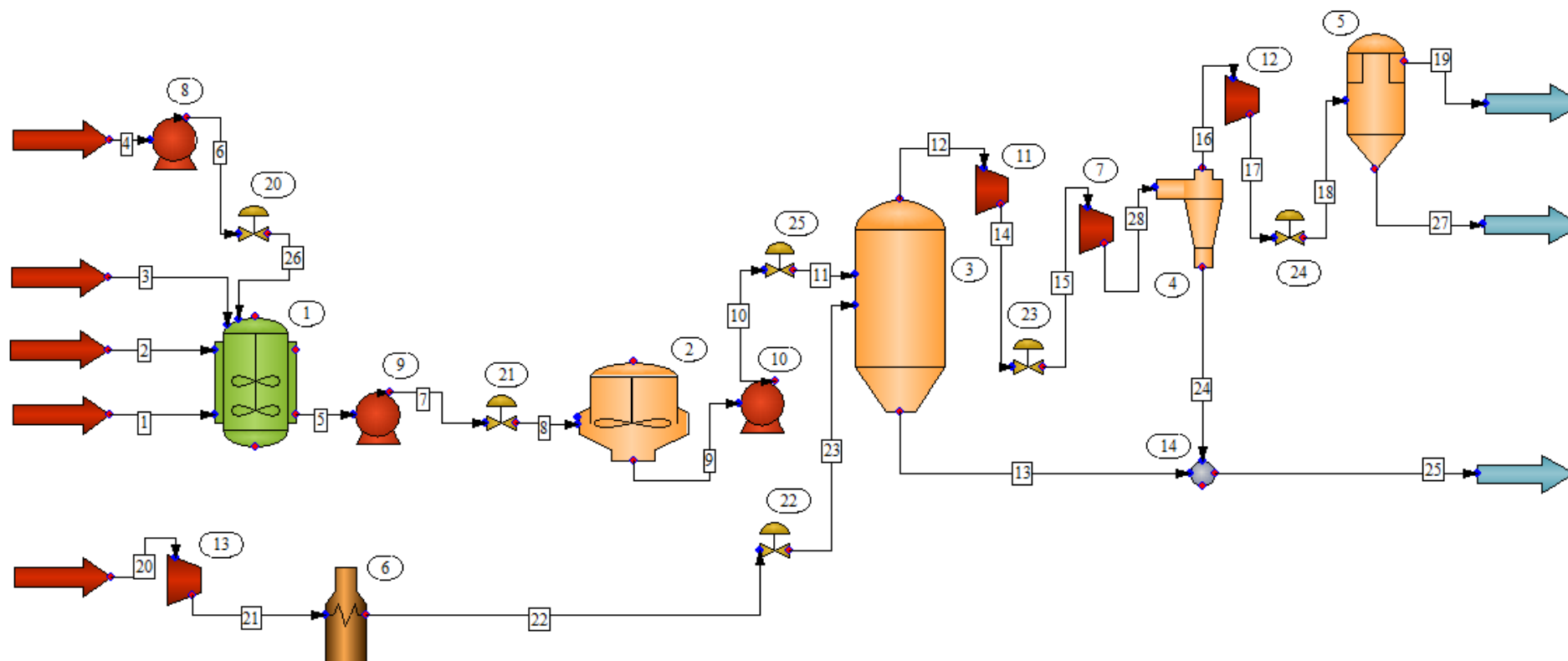


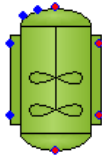
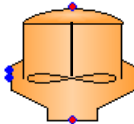
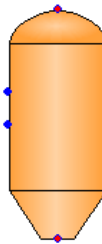
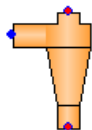
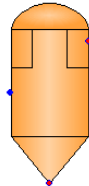







Figura A.1: Diagrama de flujo de planta de atomización

Tabla A.3: Fracciones másicas de la planta de atomización

Corriente	$x_{alúmina}$	$x_{PEG}$	$x_{Darvan\ C}$	$x_{agua}$	$x_{aire}$	$x_{ácido\ acrílico}$	$T$ (°C)	$P$ (Pa)
1	1	0	0	0	0	0	20	$1,01 \cdot 10^5$
2	0	1	0	0	0	0	20	$1,01 \cdot 10^5$
3	0	0	1	0	0	0	20	$1,01 \cdot 10^5$
4	0	0	0	1	0	0	20	$1,01 \cdot 10^5$
5	0,8096	0,0239	0,0008	0,1656	0	0	20	$1,01 \cdot 10^5$
6	0	0	0	1	0	0	20	$1,52 \cdot 10^5$
7	0,8096	0,0239	0,0008	0,1656	0	0	20	$1,52 \cdot 10^5$
8	0,8096	0,0239	0,0008	0,1656	0	0	20	$1,01 \cdot 10^5$
9	0,8096	0,0239	0,0008	0,1656	0	0	20	$1,01 \cdot 10^5$
10	0,8096	0,0239	0,0008	0,1656	0	0	20	$5,07 \cdot 10^5$
11	0,8096	0,0239	0,0008	0,1656	0	0	20	$1,01 \cdot 10^5$
12	0,01038	0,00002	0	0,05246	0,93678	0,00026	60	$1,01 \cdot 10^5$
13	0,9451	0,02835	0,00094	0,02551	0	0	60	$1,01 \cdot 10^5$
14	0,01038	0,00002	0	0,05246	0,93678	0,00026	60	$1,63 \cdot 10^5$
15	0,01038	0,00002	0	0,05246	0,93678	0,00026	60	$1,01 \cdot 10^5$
16	0,00811	0,00023	0	0,06042	0,93902	0,00026	60	$1,01 \cdot 10^5$
17	0,00811	0,00023	0	0,06042	0,93902	0,00026	60	$1,63 \cdot 10^5$
18	0,00811	0,00023	0	0,06042	0,93902	0,00026	60	$1,01 \cdot 10^5$
19	0,00287	0,00008	0	0,05524	0,94162	0,00001	20	$1,01 \cdot 10^5$
20	0	0	0	0	1	0	20	$1,01 \cdot 10^5$
21	0	0	0	0	1	0	20	$1,7 \cdot 10^5$
22	0	0	0	0	1	0	190	-
23	0	0	0	0	1	0	190	$1,01 \cdot 10^5$
24	0,9451	0,02835	0,00094	0,02551	0	0	60	$1,01 \cdot 10^5$
25	0,9451	0,02835	0,00094	0,02551	0	0	20	$1,01 \cdot 10^5$
26	0	0	0	1	0	0	20	$1,01 \cdot 10^5$
27	0,39046	0,01117	0	0,38599	0,19374	0,01862	20	$1,01 \cdot 10^5$
28	0,01038	0,00002	0	0,05246	0,93678	0,00026	60	$1,59 \cdot 10^5$

Notación:  $x_{alúmina}$  (fracción de alúmina),  $x_{PEG}$  (fracción de PEG),  $x_{Darvan\ C}$  (fracción de Darvan C),  $x_{agua}$  (fracción de agua),  $x_{aire}$  (fracción de aire),  $x_{ácido\ acrílico}$  (fracción de ácido acrílico),  $T$  (temperatura de operación),  $P$  (presión al inicio de la corriente).

Tabla A.4: Símbolos de equipamiento en diagrama de flujo

Número	Símbolo	Significado
1		Desleidora
2		Balsa de agitación
3		Atomizador
4		Multiciclón
5		Filtro de mangas
6		Quemador
8 - 10		Bomba
11 - 13		Compresor/soplante
20 - 25		Válvula
–		Alimento
–		Producto
14		Nodo



### 3. Anexo 3. Propiedades físicas de líquidos y gases

Las propiedades físicas de las sustancias pueden variar, no solo dependiendo del estado en el que se encuentran, sino también de la temperatura y la presión. Las principales ecuaciones que determinan las propiedades físicas de cada componente en función de la temperatura (y la presión en el caso de gases) se detallan a continuación.

Las ecuaciones provienen del ajuste polinómico de datos extraídos de la página *engineeringtoolbox.com*.

#### 3.1 Agua

Para expresar las propiedades de cada compuesto es necesario primero determinar el estado en que se encuentra. Para ello se utiliza el diagrama de fases (Figura A.2), donde se relaciona la presión con la temperatura con el estado de agregación de la sustancia.

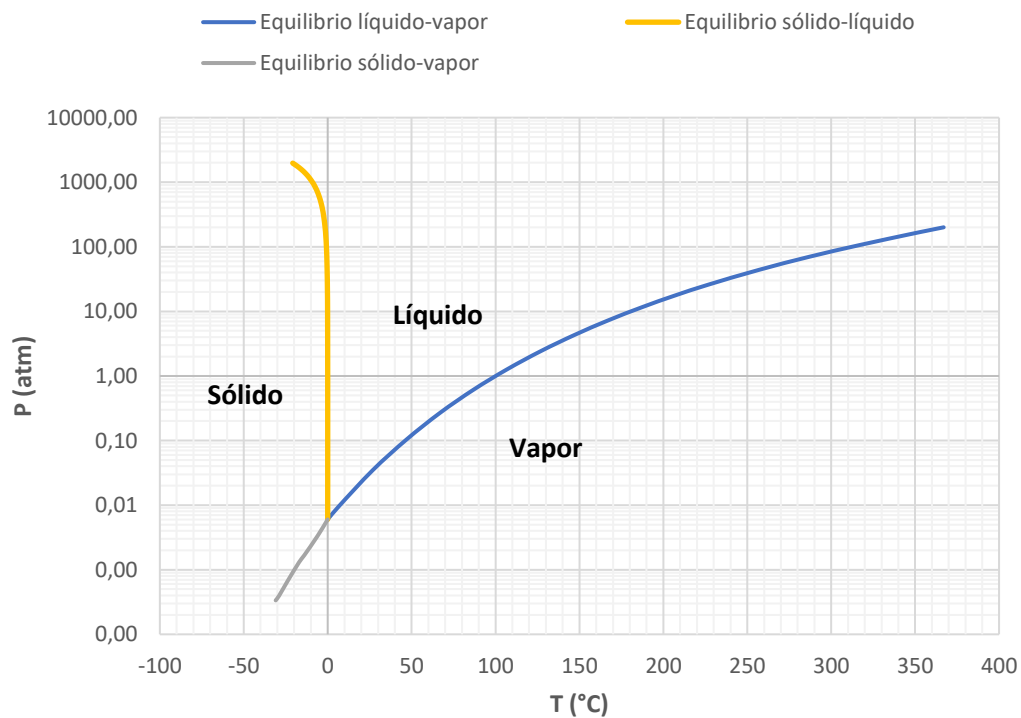


Figura A.2: Diagrama de fases del agua

Dependiendo de la temperatura y presión a la que se encuentre la sustancia, se tendrá una ecuación que describa cómo se comporta cada propiedad.

### 3.1.1 Agua líquida

Las propiedades del agua líquida se adjuntan en la Tabla A.5.

Tabla A.5: Propiedades del agua líquida válidas para valores de 0 - 99 °C

Propiedad	Nomenclatura	Temperatura	Valor	Unidad
Peso molecular	$M_{\text{agua líquida}}$	0 – 99,9 °C	18,015	kg/kmol
Densidad	$\rho_{\text{agua líquida}}$	0 – 99,9 °C	$-9 \cdot 10^{-12} \cdot T^6 + 9 \cdot 10^{-9} \cdot T^5 - 3 \cdot 10^{-6} \cdot T^4 + 5 \cdot 10^{-4} \cdot T^3 - 0,043 \cdot T^2 + 1,0042 \cdot T + 995,5$	kg/m <sup>3</sup>
Viscosidad	$\mu_{\text{agua líquida}}$	0 – 99,9 °C	$-3E-09 \cdot T^3 + 6E-07 \cdot T^2 - 5 \cdot 10^{-5} \cdot T + 0,0017$	kg/m·s <sup>-1</sup>
Calor específico	$Cp_{\text{agua líquida}}$	0 – 99,9 °C	$-2E-09 \cdot T^6 + 6E-07 \cdot T^5 - 5E-05 \cdot T^4 + 0,0015 \cdot T^3 + 0,0326 \cdot T^2 - 2,5731 \cdot T + 4215,6$	J/kg·K <sup>-1</sup>

### 3.1.2 Vapor de agua

Las propiedades del vapor de agua se adjuntan en la Tabla A.6.

Tabla A.6: Propiedades del vapor de agua válidas para valores de 0 - 1200°C y 0,068 - 13,61 atm

Propiedad	Nomenclatura	Temperatura	Presión	Valor	Unidad
Peso molecular	$M_{\text{vapor de agua}}$	–	–	18,015	kg/kmol
Densidad	$\rho_{\text{vapor de agua}}$	Cualquiera (K)	Cualquiera (atm)	$219,695 \cdot P/T$	kg/m <sup>3</sup>
Viscosidad	$\mu_{\text{vapor de agua}}$	100 – 1600 °C	0,068 - 13,61 atm	$4 \cdot 10^{-8} \cdot T + 8 \cdot 10^{-6}$	kg/m·s <sup>-1</sup>
Calor específico	$Cp_{\text{vapor de agua}}$	100 – 1600 °C		$1 \cdot 10^{-18} \cdot T^6 - 2 \cdot 10^{-14} \cdot T^5 + 2 \cdot 10^{-10} \cdot T^4 - 5 \cdot 10^{-7} \cdot T^3 + 0,0007 \cdot T^2 + 0,2979 \cdot T + 1859,8$	J/kg·K <sup>-1</sup>

### 3.2 Aire

El aire seco, como bien se sabe, siempre se encuentra en el mismo estado por lo que no se necesita de ningún diagrama de fases.

Aunque el aire seco sólo se encuentre en un estado, se va a mezclar con agua y por lo tanto tendrá unas propiedades de mezcla distintas según la humedad que contenga. Por todo esto se distingue entre aire seco y aire húmedo.

#### 3.2.1 Aire seco

Las propiedades del aire se adjuntan en la Tabla A.7.

Tabla A.7: Propiedades del aire seco válidas para valores de 0 - 1200°C y 0,068 - 13,61 atm

Propiedad	Nomenclatura	Temperatura	Presión	Valor	Unidad
Peso molecular	$M_{aire\ seco}$	–	–	28,96	kg/kmol
Densidad	$\rho_{aire\ seco}$	Cualquiera (K)	Cualquiera (atm)	$353,171 \cdot P/T$	kg/m <sup>3</sup>
Viscosidad	$\mu_{aire\ seco}$	0 – 1600 °C	0,068 – 1 atm	$-9 \cdot 10^{-12} \cdot T^2 + 4 \cdot 10^{-8} \cdot T + 2 \cdot 10^{-5}$	kg/m·s <sup>-1</sup>
		0 – 1600 °C	98,67 atm	$2 \cdot 10^{-15} \cdot T^3 - 2 \cdot 10^{-11} \cdot T^2 + 4 \cdot 10^{-8} \cdot T + 5 \cdot 10^{-5}$	
Calor específico	$Cp_{aire\ seco}$	0 – 1600 °C	0,068 - 13,61 atm	$1 \cdot 10^{-10} \cdot T^4 - 5 \cdot 10^{-7} \cdot T^3 + 5 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 + 0,021 \cdot T + 1025,5$	J/kg·K <sup>-1</sup>

#### 3.2.2 Aire húmedo

Las propiedades de la mezcla aire y agua suelen estar en función de parámetros que expresan la proporción de agua mezclada con el aire: la humedad relativa, la humedad absoluta, etc. Estos parámetros siguen estando en función de la temperatura y la presión. de la temperatura y la presión.

Por todo esto, las propiedades no se verán descritas por un ajuste polinómico de temperatura a presión constante sino por las siguientes ecuaciones.

### 3.2.2.1 Peso molecular del aire húmedo

Para definir el peso molecular, la densidad y la viscosidad del aire húmedo; se precisa primero entender que es la humedad absoluta, esta se puede definir como como [A.1] y [A.2].

$$X = \frac{m_{agua}}{m_a} \quad [A.1]$$

$$X = 0,622 \cdot \frac{p_w}{P - p_w} \quad [A.2]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $m_{agua}$  : caudal másico de agua, en kg/s.
- $m_a$  : caudal másico de aire seco, en kg/s.
- $p_w$  : presión parcial del vapor de agua, en atmósferas (se puede calcular con [A.3] o también obtenerse gráficamente con la Figura A.2, entrando con la temperatura a la que se encuentra el agua y cortando con la curva de equilibrio líquido-vapor).
- $P$  : presión total, en atmósferas (para este proyecto siempre es la atmosférica, 1 atm).
- $X$  : humedad absoluta del aire húmedo, en kg/m<sup>3</sup>.

Despejando [A.2] se obtiene la ecuación [A.3].

$$p_w = \frac{X \cdot P}{0,622 + X} \quad [A.3]$$

El peso molecular del aire húmedo depende de la cantidad de aire seco y vapor de agua que se puedan mezclar, en las condiciones de temperatura y presión, y se define como [A.3].

$$M_{ah} = \frac{p_w}{P} \cdot M_w + \left(1 - \frac{p_w}{P}\right) \cdot M_a \quad [A.4]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $M_{ah}$  : peso molecular del aire húmedo a una determinada presión y temperatura, en kg/kmol.
- $M_w$  : peso molecular del vapor de agua, en kg/kmol.
- $M_a$  : peso molecular del aire seco, en kg/kmol.

Conocidos los flujos másicos de aire seco y agua, es posible estimar el peso molecular del aire húmedo con las expresiones [A.1], [A.3] y [A.4].

### 3.2.2.2 Densidad del aire húmedo

La densidad depende de la presión de vapor del agua y de la presión total a la que está sometida, como se observa en [A.5].

$$\rho_{ah} = \frac{P \cdot M_a}{R \cdot T} - \frac{\rho_w}{R \cdot T} \cdot (M_a - M_w) \quad [A.5]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $\rho_{ah}$  : densidad del aire húmedo, en kg/m<sup>3</sup>.
- $R$  : constante de los gases ideales (8,31 kJ/kmol·k<sup>-1</sup>).

### 3.2.2.3 Viscosidad del aire húmedo

La viscosidad se calcula con [A.6], ecuación para mezcla de gases perfectos no polares de Curtiss y Hirschfelder.

$$\mu_{ah} = \frac{\mu_a}{1 + 1,608 \cdot X \cdot \Phi_1} + \frac{\mu_w}{1 + 0,622 \cdot \frac{\Phi_2}{X}} \quad [A.6]$$

Siendo los parámetros para calcular la viscosidad de la mezcla las expresiones [A.7] y [A.8].

$$\Phi_1 = \frac{\left(1 + \left(\frac{\mu_a}{\mu_w}\right)^{0,5} \cdot X^{0,25}\right)^2}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot \left(1 + \frac{1}{X}\right)^{0,5}} \quad [A.7]$$

$$\Phi_2 = \frac{\left(1 + \left(\frac{\mu_a}{\mu_w}\right)^{-0,5} \cdot X^{-0,25}\right)^2}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot (1 + X)^{0,5}} \quad [A.8]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $\mu_{ah}$ : viscosidad del aire húmedo, en kg/m·s<sup>-1</sup>.
- $\Phi_1, \Phi_2$ : parámetros para calcular viscosidad de mezcla (basados en ecuación de Sutherland)
- $\mu_a$ : viscosidad del aire seco, en kg/m·s<sup>-1</sup>
- $\mu_w$ : viscosidad del vapor de agua, en kg/m·s<sup>-1</sup>

#### 3.2.2.4 Calor específico del aire húmedo

El calor específico a presión constante depende de la humedad absoluta y del calor específico de cada componente de la mezcla, este se expresa como [A.9]:

$$Cp_{ah} = Cp_a + X \cdot Cp_v \quad [A.9]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $Cp_{ah}$ : calor específico del aire húmedo a presión constante, en KJ/kg·K<sup>-1</sup>.
- $Cp_a$ : calor específico del aire seco a presión constante, en KJ/kg·K<sup>-1</sup>.
- $Cp_v$ : calor específico del vapor de agua a presión constante, en KJ/kg·K<sup>-1</sup>.

## 4. Anexo 4. Anexos de cálculos

### 4.1 Producción de planta

Para estimar la cantidad de esta materia prima que se necesita, se parte de datos bibliográficos relativos a la producción típica de una planta de atomizado. Por lo que se trabajará de la siguiente forma:

- Se produce durante 2 días a la semana, a lo largo de todo el año (52 semanas al año).
- La jornada es de 16 horas (teniendo en cuenta los días de producción son 104 días, es decir, 1664 horas anuales).
- El flujo de alúmina suministrado al atomizador es de 9.500 kg/h.

La Tabla A.8 recoge los datos de producción relativos a la planta.

Tabla A.8: volumen de polvo de pasta almacenado en los silos

$t_{\text{días efectivos}}$ (día)	$t_{\text{hora efectivos}}$ (h)	$m_{\text{al/hora}}$ (kg/h)	$m_{\text{al/seg}}$ (kg/s)	$m_{\text{al/día}}$ (kg/día)
104	1664	9500	2,64	$1,52 \cdot 10^5$

Donde los siguientes términos significan:

- $t_{\text{días efectivos}}$ : tiempo, en días, durante el cual la planta se encuentra produciendo polvo atomizado.
- $t_{\text{hora efectivos}}$ : tiempo, en horas, durante el cual la planta se encuentra produciendo polvo atomizado.
- $m_{\text{al/hora}}$ : caudal másico de alúmina que se alimenta al atomizador, en kg/h.
- $m_{\text{al/seg}}$ : caudal másico de alúmina que se alimenta al atomizador, en kg/s.
- $m_{\text{al/día}}$ : caudal másico de alúmina que se alimenta al atomizador, en kg/día (en 1 día se produce durante 16 horas).

### 4.2 Tanques de líquidos

Se pretende almacenar la materia prima sólida (alúmina y polvo atomizado) en silos. Por otro lado, el agua, ligante y dispersante se mantendrán en tanques.

Se ha decidido que, para abaratar costes, se usará el modelo de tanque más pequeño del catálogo (1,76x2m).

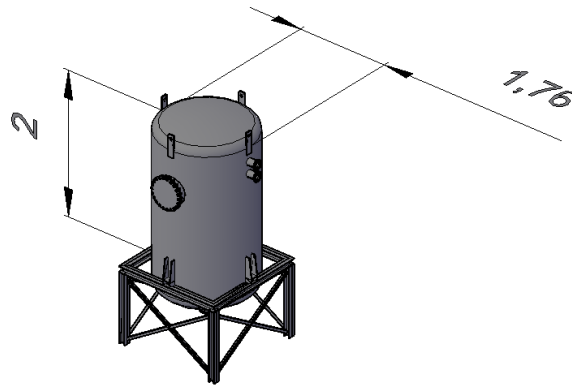


Figura A.3: Modelo 3D de los tanques para líquidos (dimensiones en metros)

Conocido el caudal másico de alúmina al cual opera la planta, se puede estimar con la ecuación [A.10] cual será el caudal de cada componente necesario (agua, PEG y Darvan C) para obtener una suspensión a la composición deseada.

$$m_{comp/hora} = m_{al/hora} \cdot \frac{x_{comp\ susp}}{100} \quad [A.10]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $x_{comp\ susp}$ : fracción másica en peso de alúmina, del componente (agua, PEG o Darvan C) presente en la suspensión.
- $m_{comp/hora}$ : caudal másico del componente que se alimenta al atomizador, en kg/h.
- $m_{comp/seg}$ : caudal másico del componente que se alimenta al atomizador, en kg/s.

Para estimar la capacidad de los tanques será necesario estimar cuanto volumen de componente se puede almacenar según el tiempo de stock que se haya decidido (expresión [A.12]). Esto se calcula a su vez con el caudal volumétrico, a partir de la ecuación [A.11].

$$Q_{comp/hora} = \frac{m_{comp/hora}}{\rho_{comp}} \quad [A.11]$$

$$V_{comp\ stock} = Q_{comp/hora} \cdot t_{stock\ comp/hora} \quad [A.12]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $\rho_{comp}$ : densidad del componente, en kg/m<sup>3</sup>.
- $Q_{comp/hora}$ : caudal volumétrico del componente, en m<sup>3</sup>/h.
- $t_{stock\ comp/hora}$ : tiempo de residencia del componente dentro de los tanques, en horas.
- $V_{comp\ stock}$ : volumen almacenado de componente dentro de los tanques durante el tiempo que se haya decidido mantenerlo en stock, en m<sup>3</sup>.



El volumen del tanque o los tanques se estima con [A.13].

$$V_{tanques\ comp} = \pi \cdot \left(\frac{D_{tanque\ comp}}{2}\right)^2 \cdot Al_{tanque\ comp} \cdot N_{tanques\ comp} \quad [A.13]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $D_{tanque\ comp}$ : diámetro de cada tanque que alberga el componente, en metros.
- $Al_{tanque\ comp}$ : altura del tanque que alberga el componente, en metros.
- $N_{tanques\ comp}$ : número de tanques que se utilizan para albergar el componente.
- $V_{tanques\ comp}$ : capacidad máxima del conjunto de tanques de componente, en m<sup>3</sup>.

Si la capacidad del tanque o los tanques debe ser mayor al caudal que se pretende almacenar, se debe cumplir la condición [A.14].

$$V_{tanques\ comp} > V_{comp\ stock} \quad [A.14]$$

#### 4.2.1 Tanque de PEG

El stock de alúmina se repone cada semana. Si se tiene en cuenta que se produce 2 días a la semana (y teniendo en cuenta que la jornada es de 16 horas), esto equivale a 32 horas.

Según el apartado 6.2 de la Memoria, el porcentaje másico del PEG se ha fijado en un 3% en peso de alúmina.

A partir de [A.10] se obtiene la Tabla A.9.

Tabla A.9: Porcentaje másico, densidad, tiempo de almacenamiento y caudal de PEG.

$x_{PEG\ susp}$ (%)	$\rho_{PEG}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$t_{stock\ PEG/hora}$ (h)	$m_{PEG/hora}$ (kg/h)	$m_{PEG/seg}$ (kg/s)
3	1120	32	285	0,08

Con [A.11], [A.12] y [A.13] se confecciona la Tabla A.10 y se comprueba [A.14] (valores en negrita).

Tabla A.10: Volumen producido, dimensiones, cantidad y capacidad de los tanques de PEG.

$Q_{PEG/hora}$ (m <sup>3</sup> /h)	$V_{PEG\ stock}$ (m <sup>3</sup> )	$Al_{tanque\ PEG}$ (m)	$D_{tanque\ PEG}$ (m)	$N_{tanques\ PEG}$ (n° tanques)	$V_{tanques\ PEG}$ (m <sup>3</sup> )
0,26	<b>8,14</b>	1,76	2	3	<b>9,96</b>

#### 4.2.2 Tanque de Darvan C

El Darvan C, a diferencia del PEG y el agua, solo se requiere en muy pocas cantidades. Es por esto por lo que el tiempo que el plazo para su reabastecimiento es superior a 1 semana. Se ha estimado que si se usa un solo tanque el tiempo de stock idóneo es de 12 semanas, o lo que es lo mismo (teniendo en cuenta que se trabaja 2 días a la semana durante 16 horas), 3648 horas. Según el apartado 6.2 de la Memoria, el porcentaje másico del Darvan C se ha fijado en un 0,1% en peso de alúmina.

A partir de [A.10] se elabora la Tabla A.11.

**Tabla A.11: Porcentaje másico, densidad, tiempo de almacenamiento y caudal de Darvan C.**

$x_{Darvan\ susp}$ (%)	$\rho_{Darvan}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$t_{stock\ Darvan/hora}$ (h)	$m_{Darvan/hora}$ (kg/h)	$m_{Darvan/seg}$ (kg/s)
0,1	1120	3648	9,5	$2,64 \cdot 10^{-3}$

Con [A.11], [A.12] y [A.13] se elabora la Tabla A.12 y se comprueba [A.14].

**Tabla A.12: Volumen producido, dimensiones, cantidad y capacidad de los tanques de Darvan C.**

$Q_{Darvan/hora}$ (m <sup>3</sup> /h)	$V_{Darvan\ stock}$ (m <sup>3</sup> )	$Al_{tanque\ Darvan}$ (m)	$D_{tanque\ Darvan}$ (m)	$N_{tanques\ Darvan}$ (n° tanques)	$V_{tanques\ Darvan}$ (m <sup>3</sup> )
$8,55 \cdot 10^{-3}$	<b>3,29</b>	1,76	2	1	<b>3,32</b>

#### 4.2.3 Tanque de agua

El suministro de agua procede de una red externa. Como se puede dar el caso de que haya fugas o cualquier otro problema relacionado con la fuente de abastecimiento se ha decidido mantener un stock de 1 semana, esto es (teniendo en cuenta que se produce durante solo 2 días a la semana y que la jornada es de 16 horas), 32 horas. Según el apartado 6.2 de la Memoria, el porcentaje másico del agua se ha fijado en un 20% en peso de alúmina.

A partir de [A.10] se elabora la Tabla A.13.

**Tabla A.13: Porcentaje másico, densidad, tiempo de almacenamiento y caudal de agua.**

$x_{agua\ susp}$ (%)	$\rho_{agua}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$t_{stock\ agua/hora}$ (h)	$m_{agua/hora}$ (kg/h)	$m_{agua/seg}$ (kg/s)
20	1000	32	1900	0,53

Con [A.11], [A.12] y [A.13] se confecciona la Tabla A.14 y se comprueba [A.14].

**Tabla A.14: Volumen producido, dimensiones, cantidad y capacidad de los tanques de agua.**

$Q_{agua/hora}$ (m <sup>3</sup> /h)	$V_{agua\ stock}$ (m <sup>3</sup> )	$Al_{tanque\ agua}$ (m)	$D_{tanque\ agua}$ (m)	$N_{tanques}$ (n° tanques)	$V_{tanques\ agua}$ (m <sup>3</sup> )
1,9	<b>12,16</b>	1,76	2	5	<b>16,6</b>

### 4.3 Desleidora

Se ha decidido que, para disminuir costes, se usará el modelo de tanque más pequeño del catálogo, el TDT 003 (2,1x4,48m).

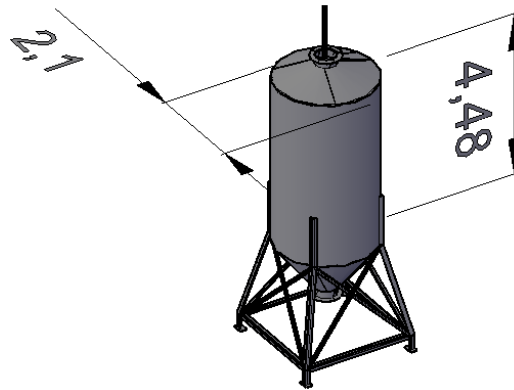


Figura A.4: Modelo 3D de desleidora TDT 003 (dimensiones en metros)

La suspensión está compuesta de: alúmina, agua, PEG y Darvan C. Para conocer el caudal de la suspensión basta con sumar los caudales de cada componente (expresión [A.15]).

$$m_{suspensión/hora} = \sum m_{componente/hora} \quad [A.15]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $m_{suspensión/hora}$ : caudal másico de suspensión el cual se alimenta al atomizador, en horas.
- $m_{componente/hora}$ : caudal másico de componente de la suspensión (agua, PEG o Darvan C), en horas, el cual se alimenta al atomizador.

Sustituyendo cada componente en la ecuación [A.15], la expresión queda como [A.16].

$$m_{suspensión/hora} = m_{al/hora} + m_{agua/hora} + m_{PEG/hora} + m_{Darvan/hora} \quad [A.16]$$

La densidad de la suspensión se calcula con [A.17].

$$\rho_{susp} = \frac{1}{\frac{x_{al\ susp}}{100} \frac{1}{\rho_{real\ al}} + \frac{x_{agua\ susp}}{100} \frac{1}{\rho_{agua}} + \frac{x_{PEG\ susp}}{100} \frac{1}{\rho_{PEG}}} \quad [A.17]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $\rho_{real\ al}$ : densidad de la alúmina excluyendo el volumen hueco de entre los granos, extraída de la bibliografía.
- $\rho_{susp}$ : densidad de la suspensión.

El caudal volumétrico del silo se calcula con [A.18].

$$Q_{susp\ hora} = \frac{m_{susp/hora}}{\rho_{susp}} \quad [A.18]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $Q_{susp/hora}$ : caudal volumétrico de suspensión el cual se alimenta al atomizador, en m<sup>3</sup>/h.

A partir de [A.16], [A.17], [A.18] se elabora la Tabla A.15.

Tabla A.15: Volumen de polvo de pasta almacenado en los silos

$\rho_{real\ al}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_{susp}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$m_{susp/hora}$ (kg/h)	$m_{susp/seg}$ (kg/s)	$Q_{susp/hora}$ (m <sup>3</sup> /h)
3950	2510,56	1,16·10 <sup>4</sup>	3,24	4,65

Según la bibliografía el tiempo de residencia de la suspensión debe ser de 2 horas, con ello se asegura que la mezcla bombeada a la balsa de agitación sea lo suficientemente homogénea, sin apelmazamientos ni gradientes de viscosidad.

Para estimar la capacidad del silo será necesario estimar cuanto caudal de suspensión se puede almacenar según el tiempo en el que resida la suspensión (expresión [A.19]). La capacidad máxima del silo viene dada por las dimensiones del modelo y se estima con [A.20].

$$V_{susp\ desleid} = Q_{susp/hora} \cdot t_{desleid/hora} \quad [A.19]$$

$$V_{max\ TDT\ 003} = \pi \cdot \left(\frac{D_{TDT\ 003}}{2}\right)^2 \cdot Al_{TDT\ 003} \quad [A.20]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $t_{desleid/hora}$ : tiempo de residencia del componente dentro de la desleidora, en horas.
- $V_{susp\ desleid}$ : volumen almacenado de suspensión dentro de la desleidora, en m<sup>3</sup>.
- $D_{TDT\ 003}$ : diámetro del modelo de desleidora, en metros.
- $Al_{TDT\ 003}$ : altura del modelo de desleidora, en metros.
- $V_{max\ TDT\ 003}$ : volumen máximo que puede albergar el modelo de desleidora, en m<sup>3</sup>.

El volumen del desleidora calculado con las dimensiones elegidas del modelo, presente en el catálogo (modelo TDT 003), debe ser mayor al caudal que alberga la desleidora durante 4 horas. Esto se expresa como [A.21].

$$V_{max\ TDT\ 003} > V_{susp\ desleid} \quad [A.21]$$

En la Tabla A.16 se recogen los resultados de las ecuaciones [A.19] y [A.20]; para luego comprobar si se cumple [A.21] (valores en negrita).

Tabla A.16: Potencia de desleidora

$t_{desleid/hora}$ (h)	$V_{susp\ desleid}$ (m <sup>3</sup> )	$Al_{TDT\ 003}$ (m)	$D_{TDT\ 003}$ (m)	$V_{max\ TDT\ 003}$ (m <sup>3</sup> )	$P_{TDT\ 003}$ (W)
2	<b>9,3</b>	4,48	2,1	<b>15,51</b>	37000

Donde los siguientes términos significan:

- $P_{TDT\ 003}$ : potencia del modelo de desleidora, extraído del catálogo, en watts.

#### 4.4 Balsa de agitación de suspensión y agitador

Se pretende que el tiempo de residencia sea de 30 minutos, para asegurar que operando en continuo se extraiga una corriente de composición y temperatura homogénea. Por lo tanto, el volumen necesario que deberá tener la balsa será [A.22].

$$V_{susp\ balsa} = Q_{susp/hora} \cdot t_{balsa\ susp/hora} \quad [A.22]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $t_{balsa\ susp/hora}$ : tiempo de residencia de la suspensión en la balsa, en horas.
- $V_{susp\ balsa}$ : volumen de suspensión que albergará la balsa, en m<sup>3</sup>.

La altura que se usa para calcular la capacidad de la balsa es la máxima altura a la que se pretende mantener la suspensión (0,5 m), obviamente menor a la altura de la balsa construida (1 m). Con esto se pretende evitar fugas provocadas por salpicaduras o turbulencias del vertido y mezcla de la suspensión.

La geometría de balsa responde a 2 prismas hexagonales, de hexágonos regulares, unidos entre sí por una cara lateral ficticia que une ambos prismas (Figura A.5).

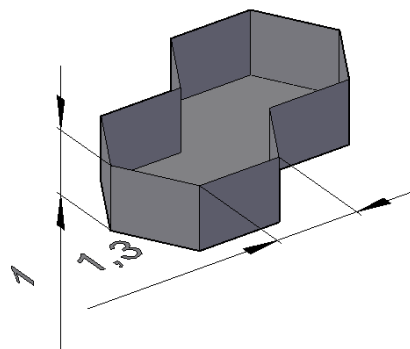


Figura A.5: Modelo 3D de la balsa de agitación (dimensiones en metros)

El volumen se puede calcular con la ecuación [A.23].

$$V_{max\ balsa\ susp} = N_{caras\ hexag} \cdot (2,6 \cdot La_{balsa\ susp}^2 \cdot Al_{balsa\ susp}) \quad [A.23]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $N_{caras\ hexag}$ : número de caras hexagonales de la balsa.
- $La_{balsa\ suspensión}$ : uno de los lados de una de las caras hexagonales de la balsa, en metros.
- $Al_{balsa\ susp}$ : altura a la que se ha decidido que se mantendrá la suspensión como medida de seguridad, en metros.
- $V_{max\ balsa\ susp}$ : capacidad máxima de la balsa, en m<sup>3</sup>.

La capacidad de la balsa de suspensión calculada con las dimensiones elegidas debe ser mayor al volumen que alberga durante 1 hora, esto significa que debe cumplirse [A.24].

$$V_{max\ balsa\ susp} > V_{susp\ balsa} \quad [A.24]$$

En la Tabla A.17 se recogen los resultados de las ecuaciones [A.22] y [A.23]; para comprobar que se cumpla [A.24] (valores en negrita).

Tabla A.17: volumen de balsa de suspensión

$t_{balsa\ susp/hora}$ (h)	$V_{susp\ balsa}$ (m <sup>3</sup> )	$La_{balsa\ susp}$ (m)	$Al_{balsa\ susp}$ (m)	$N_{caras\ hexag}$ (n° caras)	$V_{max\ balsa\ susp}$ (m <sup>3</sup> )
0,5	<b>2,32</b>	1,3	0,5	2	<b>4,39</b>

Donde los siguientes términos significan:

- $V_{susp\ balsa}$ : volumen de suspensión que alberga la balsa, en m<sup>3</sup>.
- $La_{balsa\ susp}$ : lado de las caras hexagonales de la balsa, en metros.
- $Al_{balsa\ susp}$ : altura máxima de la suspensión que puede contener la balsa, en metros.
- $N_{caras\ hexag}$ : número de caras hexagonales que forman la balsa.
- $V_{max\ balsa\ susp}$ : volumen máximo que puede contener la balsa de suspensión, en m<sup>3</sup>.

El agitador se estima a partir del tamaño de los lados de la balsa. A partir de la apotema de un hexágono regular (ecuación [A.25]) se puede estimar el diámetro máximo del agitador que se puede usar en la balsa sin provocar ningún rozamiento u obstaculización con la estructura, con la expresión [A.26].

$$ap = \frac{La_{balsa\ susp}}{2 \cdot tg(30)} \quad [A.25]$$

$$D_{max\ agitador} = 2 \cdot ap \quad [A.26]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $ap$ : apotema de una de las caras hexagonales de la balsa, en metros.
- $D_{max\ agitador}$ : diámetro máximo que puede tener el agitador para evitar colisiones con la balsa, en metros.

El diámetro del modelo de agitador elegido (modelo ASP 204) tiene que ser menor al diámetro máximo del equipo para que no haya colisiones, es decir, se debe cumplir [A.27].

$$D_{ASP204} < D_{max\ agitador} \quad [A.27]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $D_{ASP204}$ : diámetro del modelo de agitador elegido extraído del catálogo, en metros.

En la Tabla A.18 se adjuntan los resultados de las expresiones [A.25] y [A.26]; para comprobar que se cumple [A.27] (valores en negrita). También se adjunta la potencia del modelo elegido.

Tabla A.18: dimensiones de los agitadores

$ap$ (m)	$D_{max\ agitador}$ (m)	$D_{ASP204}$ (m)	$Al_{ASP204}$ (m)	$P_{ASP204}$ (W)
1,13	<b>2,25</b>	<b>2</b>	2,89	3000

Donde los siguientes términos significan:

- $P_{ASP204}$ : potencia del modelo de agitador elegido extraído del catálogo, en watts.

Comprobado que el diámetro del modelo elegido no es superior al máximo para que no haya colisiones con la pared de la balsa, se determina que definitivamente el modelo con el que contará la planta será el ASP 204.

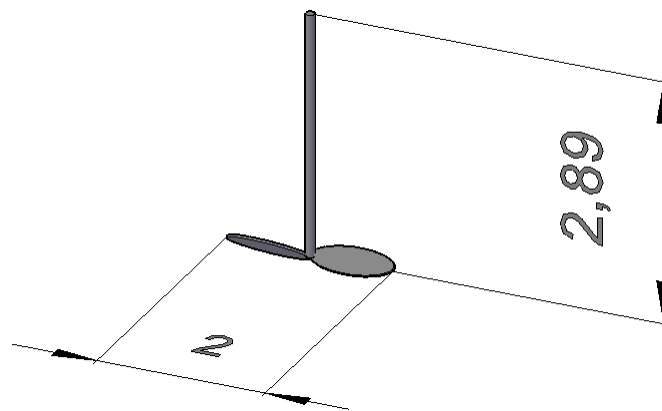


Figura A.6: Modelo 3D del agitador modelo ASP204 (dimensiones en metros)

## 4.5 Atomizador

### 4.5.1 Caudal de polvo atomizado y vapor de agua

Según la bibliografía el PEG puede absorber agua un 90% de su propio peso.

Contando con esto, se conoce: el caudal de suspensión con el que se alimenta el atomizador junto con las fracciones másicas del agua en la suspensión, en el polvo atomizado y la corriente de aire húmedo (donde toda el agua es vapor). Estos valores se recopilan en la Tabla A.19.

Tabla A.19: Caudal de suspensión del atomizador y fracción másica del agua en el polvo atomizado

$m_{PEG/seg}$ (kg/s)	$x_{agua\ PEG}$ (%)	$m_{susp/seg}$ (kg/s)
0,08	90	3,24

Donde los siguientes términos significan:

- $m_{PEG/seg}$ : caudal másico de PEG que se alimenta al atomizador, en kg/s.
- $x_{agua\ PEG}$ : fracción másica de agua en peso de PEG, que retiene el polvo atomizado.
- $m_{susp/seg}$ : caudal másico de suspensión que se alimenta al atomizador, en kg/s.

En la Figura A.7 se representan las corrientes de materia y energía que entran y salen del atomizador, junto con las correspondientes nomenclaturas de flujo másico ( $m$ ) en kg/s, temperatura ( $T$ ) en kelvin y flujo de calor ( $Ah$  y  $q$ ) en kilowatts; para cada compuesto (suspensión, polvo atomizador, alúmina, agua y PEG). Este esquema permite una visión global de las corrientes para facilitar el planteamiento de los balances de materia y energía en el atomizador.

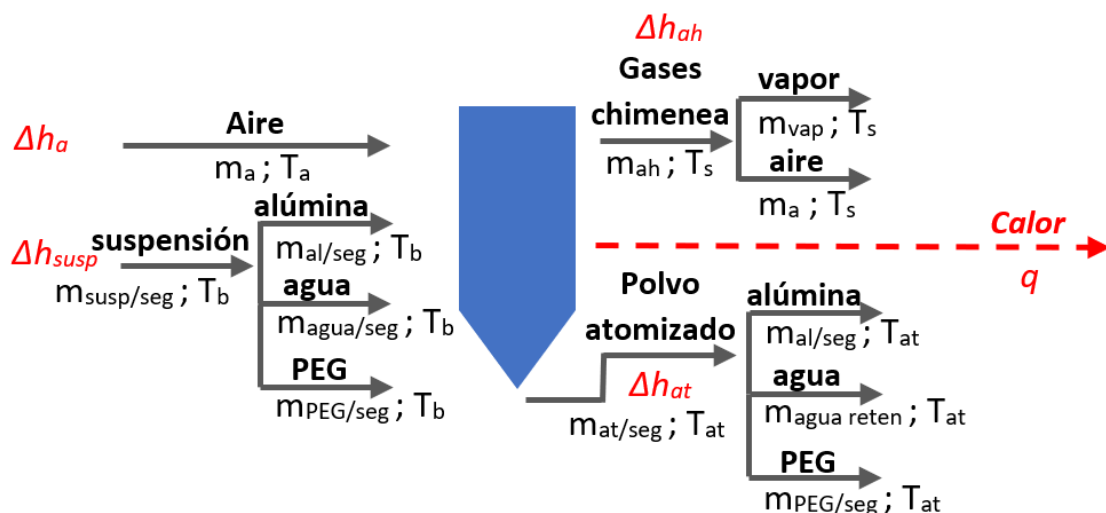


Figura A.7: Corrientes de materia y energía que entran y salen del atomizador



El caudal de agua retenida por el PEG en el polvo atomizado se estima con [A.28]. Realizando 2 balances de materia de componente (uno de la suspensión con [A.29] y otro del agua con [A.30]) se averigua la cantidad de polvo que se obtiene del atomizado, además del vapor de agua que sale de la torre de secado.

$$m_{agua\ reten} = m_{PEG/seg} \cdot \left( \frac{x_{agua\ PEG}}{100} \right) \quad [A.28]$$

$$m_{susp/seg} = m_{at/seg} + m_{vap} \quad [A.29]$$

$$m_{agua/seg} = m_{agua\ reten} + m_{vap} \quad [A.30]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $m_{agua\ reten}$ : caudal de agua que contiene el polvo atomizado y que sale del atomizador, en kg/s.
- $m_{at/seg}$ : caudal másico de polvo atomizado que sale del atomizador, en kg/s.
- $m_{vap}$ : caudal másico de vapor que sale del atomizador, en kg/s.
- $m_{agua/seg}$ : caudal másico de agua que se alimenta al atomizador, en kg/s.

Los caudales de polvo y agua obtenidos de [A.29] y [A.30] se presentan en la Tabla A.20.

Tabla A.20: Caudal de vapor de agua y polvo atomizado del atomizador

$m_{agua\ reten}$ (kg/s)	$m_{vap}$ (kg/s)	$m_{at/seg}$ (kg/s)	$m_{at/día}$ (kg/día)
0,072	0,46	2,78	$1,6 \cdot 10^5$

Donde los siguientes términos significan:

- $m_{at/día}$ : caudal de polvo atomizado que sale del atomizador, en kg/día (teniendo en cuenta que se produce 16 horas al día).

#### 4.5.2 Elección de modelo

Según la producción de polvo atomizado y vapor de agua, se elige el modelo de atomizador.

Conocido:  $m_{at/seg} = 2,78$  kg/s (= 10.008 kg/h);  $m_{vap} = 0,46$  kg/s (= 1656 l/h);  $x_{agua\ susp} = 20\%$

Se elige el modelo del catálogo de atomizadores, el cual se adjunta de la Figura A.8.

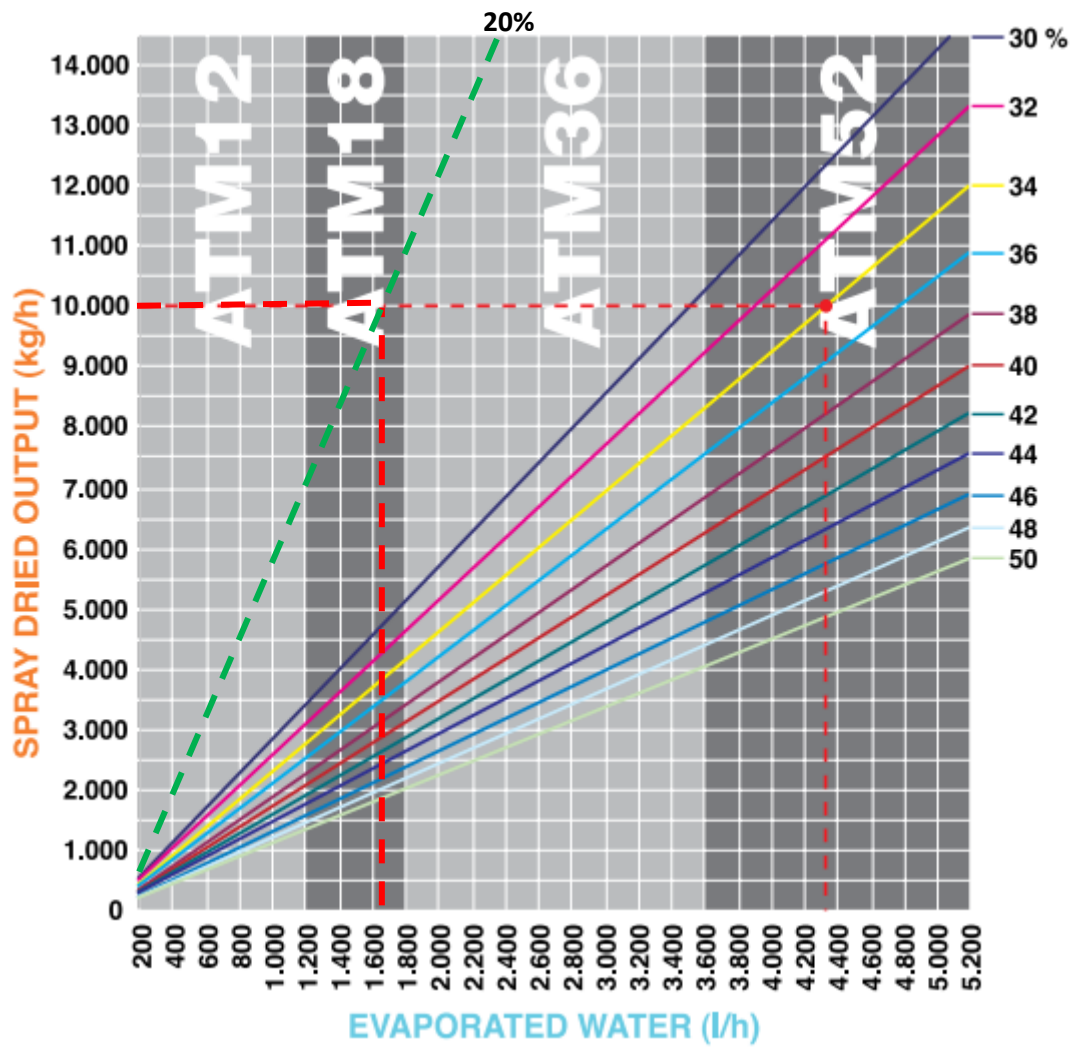


Figura A.8: Modelos de atomizador según capacidad evaporativa, producción y contenido de agua en suspensión

Según la Figura A.9 el modelo ATM18 tiene las prestaciones necesarias para operar en la planta.

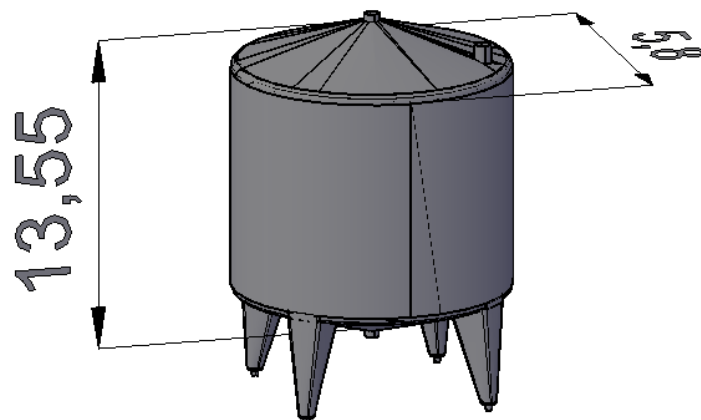


Figura A.9: Modelo 3D del atomizador modelo ATM18 (dimensiones en metros)

### 4.5.3 Caudal de aire

Se necesita conocer la cantidad de aire, a una cierta temperatura, que hay que suministrar al atomizador.

Para conocer la entalpía del aire necesaria para evaporar la masa de agua es necesario realizar un balance de energía.

Para ello se estima primero del calor específico de la suspensión y del polvo atomizado.

$$Cp_{mezcla} = \Sigma Cp_{comp} \cdot \frac{m_{comp}}{m_{mezcla}} \quad [A.31]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $Cp_{mezcla}$ : calor específico de una mezcla, en  $\text{kJ/kg}\cdot\text{k}^{-1}$ .
- $Cp_{comp}$ : calor específico de un componente de la mezcla, en  $\text{kJ/kg}\cdot\text{k}^{-1}$ .
- $m_{comp}$ : caudal másico de un componente que forma parte de la mezcla, en  $\text{kg/s}$ .
- $m_{mezcla}$ : caudal másico de la mezcla, en  $\text{kg/s}$ .

Los componentes de la suspensión son: alúmina, PEG, agua y Darvan C. La cantidad de Darvan C en la suspensión es despreciable, por lo que la expresión queda como [A.32].

$$Cp_{susp} = Cp_{al} \cdot \frac{m_{al/seg}}{m_{susp/seg}} + Cp_{PEG} \cdot \frac{m_{PEG/seg}}{m_{susp/seg}} + Cp_{agua\ líq} \cdot \frac{m_{agua/seg}}{m_{susp/seg}} \quad [A.32]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $Cp_{susp}$ : calor específico de la suspensión que entra en el atomizador, en  $\text{kJ/kg}\cdot\text{k}^{-1}$ .
- $Cp_{al}$ : calor específico de alúmina que entra en el atomizador, en  $\text{kJ/kg}\cdot\text{k}^{-1}$ .
- $Cp_{PEG}$ : calor específico de PEG que entra en el atomizador, en  $\text{kJ/kg}\cdot\text{k}^{-1}$ .
- $Cp_{agua\ líq}$ : calor específico de agua líquida que entra en el atomizador, en  $\text{kJ/kg}\cdot\text{k}^{-1}$ .

Los componentes del polvo atomizado son: alúmina, PEG y agua. A la hora de estimar el calor específico del polvo atomizado se tiene en cuenta la fracción másica de cada componente de la suspensión; excepto el agua, que se evapora parcialmente y el Darvan C que se descompone y evapora completamente.

El polvo atomizado es el resultado de la evaporación del agua y la mayor parte del Darvan C (el poliacrilato de sodio se despolimeriza formando ácido acrílico, componente que se volatiliza a temperaturas superiores de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Quedando solo la alúmina, el PEG y el agua que queda en el aglomerado.

Si se tiene en cuenta que el agua se evapora parcialmente y el Darvan C (poliacrilato de sodio) se elimina en su totalidad en el atomizado, la expresión [A.31] queda de como [A.33].

$$Cp_{at} = Cp_{al} \cdot \frac{m_{al/seg}}{m_{at/seg}} + Cp_{PEG} \cdot \frac{m_{PEG/seg}}{m_{at/seg}} + Cp_{agua\ liq} \cdot \frac{m_{agua\ reten}}{m_{at/seg}} \quad [A.33]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $Cp_{at}$ : calor específico del polvo que sale del atomizador, en  $\text{kJ/kg}\cdot\text{k}^{-1}$ .

A partir de las ecuaciones del Anexo 3 y las expresiones anteriores se obtiene la Tabla A.21.

**Tabla A.21: Volumen de polvo de pasta almacenado en los silos**

$m_{susp/seg}$ (kg/s)	$Cp_{al}$ (kJ/kg·k <sup>-1</sup> )	$Cp_{PEG}$ (kJ/kg·k <sup>-1</sup> )	$Cp_{agua\ liq}$ (kJ/kg·k <sup>-1</sup> )	$Cp_{susp}$ (kJ/kg·k <sup>-1</sup> )	$Cp_{at}$ (kJ/kg·k <sup>-1</sup> )
3,24	0,89	0,97	4,18	1,13	0,84

El calor específico del aire, el calor específico del vapor de agua y el calor de vaporización del agua; han sido calculados con las expresiones del Anexo 3 y se adjuntan en la Tabla A.22.

**Tabla A.22: Calores específicos del aire, del agua según el estado y calor de vaporización**

$Cp_{vap}$ (kJ/kg·k <sup>-1</sup> )	$L_v$ (KJ/kg)	$Cp_a$ (kJ/kg·k <sup>-1</sup> )
1,96	$2,26\cdot 10^3$	1,01

Donde los siguientes términos significan:

- $Cp_{vap}$ : calor específico del vapor de agua que sale del atomizador, en  $\text{kJ/kg}\cdot\text{k}^{-1}$ .
- $L_v$ : calor latente de vaporización del agua, en  $\text{kJ/kg}$ .
- $Cp_a$ : calor específico del aire seco que entra en el atomizador, en  $\text{kJ/kg}\cdot\text{k}^{-1}$ .

Se realiza un balance de energía en el atomizador. El equipo se encuentra en régimen estacionario, por lo que no hay acumulación, quedando la expresión como [A.34].

$$\Sigma\Delta h_{entrada} - \Sigma\Delta h_{salida} = 0 \quad [A.34]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $\Sigma\Delta h_{entrada}$ : sumatorio del flujo de calor que entra del atomizador, en kW.
- $\Sigma\Delta h_{salida}$ : sumatorio del flujo de calor que sale del atomizador, en kW.

El flujo de caudal que entra menos el flujo de caudal que sale es, a su misma vez, la suma de varias corrientes como se aprecia en la Figura A.7. Teniendo en cuenta esto la expresión [A.34] queda como [A.35].

$$\Delta h_a + \Delta h_{susp} - \Delta h_{ah} - \Delta h_{at} - q = 0 \quad [A.35]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $\Delta h_a$ : flujo de energía asociada al aire seco que entra al atomizador, en kW.
- $\Delta h_{susp}$ : flujo de energía asociada a la suspensión que entra al atomizador, en kW.
- $\Delta h_{ah}$ : flujo de energía asociada al aire húmedo que sale del atomizador, en kW.
- $\Delta h_{at}$ : flujo de energía asociada al polvo atomizado que sale del atomizador, en kW.
- $q$ : flujo de energía que se pierde por las paredes del atomizador, en kW.

El flujo de energía que entran y salen del atomizador asociados al aire seco, la suspensión, el aire húmedo y el polvo atomizado; se estiman respectivamente con [A.36], [A.37], [A.38] y [A.39]. Como se puede ver son el resultado del producto de su flujo másico, calor específico y temperatura.

La expresión [A.38], flujo de energía asociado al aire húmedo que sale del atomizador, se ha estimado de la misma forma, aunque se ha descompuesto la corriente en 2: aire seco y vapor de agua que salen de la torre de secado. La suma de este producto se suma el producto del caudal de vapor que sale del atomizador por el calor latente de vaporización (energía para que se produzca el cambio de fase del agua de líquido a gas).

$$\Delta h_a = m_a \cdot Cp_a \cdot T_a \quad [A.36]$$

$$\Delta h_{susp} = m_{susp/seg} \cdot Cp_{susp} \cdot T_b \quad [A.37]$$

$$\Delta h_{ah} = m_{vap} \cdot L_v + m_{vap} \cdot Cp_{vap} \cdot T_s + m_a \cdot Cp_a \cdot T_s \quad [A.38]$$

$$\Delta h_{at} = m_{at} \cdot Cp_{at} \cdot T_{at} \quad [A.39]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $m_a$ : flujo de aire seco que entra en el atomizador, en kg/s.
- $T_a$ : temperatura del aire a la entrada del atomizador, en kelvin.
- $T_b$ : temperatura de la suspensión a la entrada del atomizador, en kelvin.
- $T_s$ : temperatura del vapor de agua a la salida del atomizador, en kelvin.
- $T_{at}$ : temperatura del polvo atomizado a la salida del atomizador, en kelvin.

Las temperaturas de las corrientes en el atomizador y el flujo de calor perdido en el atomizador, según el apartado 6.1.2 de la Memoria, son los siguientes: la temperatura de entrada del aire es de 190 °C (463 K), la de entrada de la suspensión es 20 °C (293 K), la del vapor de agua es de 110 °C (383 K), la del polvo de atomizado a la salida de 60 °C (333 K) y la de vaporización del agua es de 100 °C (373 K). Estas temperaturas se recogen en la Tabla A.23.

**Tabla A.23: Temperatura de corrientes de salida y entrada en el atomizador**

$T_a$ (K)	$T_b$ (K)	$T_s$ (K)	$T_{at}$ (K)	$q$ (kW)
463	293	383	333	800

Sustituyendo la Tabla A.23 y las demás variables ya calculadas, en las expresiones [A.36], [A.37], [A.38] y [A.39], se obtienen los flujos de calor que entran y salen del atomizador. El flujo de calor de aire seco de la entrada y aire húmedo de la salida depende del caudal de aire que entra en el atomizador, variable desconocida por el momento, por lo que estas expresiones quedan en función de este término.

En la Tabla A.24 se recogen los resultados.

**Tabla A.24: Entalpía de las corrientes de salida y entrada en el atomizador**

$\Delta h_a$ (kW)	$\Delta h_{susp}$ (kW)	$\Delta h_{ah}$ (kW)	$\Delta h_{at}$ (kW)
$m_a \cdot 468,56$	$1,07 \cdot 10^3$	$m_a \cdot 387,6 + 1,38 \cdot 10^3$	777,62

Sustituyendo en [A.35] los valores de la Tabla A.24 y el flujo de calor perdido de la Tabla A.23 la ecuación queda como [A.40]. Siendo esta una ecuación de primer grado que puede resolverse fácilmente.

$$m_a \cdot 468,56 + 1,07 \cdot 10^3 - (m_a \cdot 387,6 + 1,38 \cdot 10^3) - 777,62 - 800 = 0 \quad [A.40]$$

La Tabla A.25 recoge el resultado de la ecuación [A.40], cuyo valor corresponde al caudal de aire que entra en el atomizador. Las expresiones que estaban en función del caudal de aire en la Tabla A.24 se han estimado a partir del resultado de la ecuación [40] y se presentan en la Tabla A.25.

**Tabla A.25: Caudal y entalpía del aire que entra en el atomizador; y entalpía del aire húmedo que sale del atomizador**

$m_a$ (kg/s)	$\Delta h_a$ (kW)	$\Delta h_{ah}$ (kW)
14,81	$6,94 \cdot 10^3$	$6,08 \cdot 10^3$

#### 4.6 Quemador de gas

Según la cantidad de aire caliente que se requiera y la composición del gas natural se necesitará un caudal de combustible que se alimente al quemador.

Se emplea gas natural como combustible, cuya composición se conoce.

Conocida la composición del gas natural (extraído de la bibliografía) se puede calcular el poder calorífico inferior a partir de la ecuación [A.47].

$$PCI_{comb} = \Sigma \left( PCI_{gas\ K} \cdot \frac{x_{vol}}{100} \right) \quad [A.41]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $x_{vol}$ : porcentaje volumétrico del componente de gas natural (metano, etano, ...).
- $PCI_{gas\ K}$ : cantidad de calor desprendido en la combustión completa de 1 kg de componente, en kJ/Nm<sup>3</sup>.
- $PCI_{comb}$ : cantidad de calor desprendido en la combustión completa de 1 kg de combustible, en este caso gas natural, en kJ/Nm<sup>3</sup>.

En la Tabla A.26 se adjuntan tanto la composición del gas natural como el resultado de la expresión [A.47]. La composición está basada en el gas natural de Argelia, el cual es el más importado en España y tiene una composición en metano superior al 79%.

Tabla A.26: Composición y poder calorífico del gas natural según la composición

Componente	Fórmula	$x_{vol}$ (%)	$PCI_{gas\ M}$ (MJ/Nm <sup>3</sup> )	$PCI_{gas\ K}$ (kJ/Nm <sup>3</sup> )	$PCI_{comb}$ (kJ/Nm <sup>3</sup> )
Metano	CH <sub>4</sub>	87,00	35,79	$3,57 \cdot 10^4$	4,4 · 10 <sup>4</sup>
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	8,50	64,35	$6,43 \cdot 10^4$	
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	2,50	93,57	$9,35 \cdot 10^4$	
Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,90	123,55	$1,23 \cdot 10^5$	
Iso-Butano		0,00	128,23	$1,28 \cdot 10^5$	
Pentano	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,00	152,6	$1,52 \cdot 10^5$	
Iso-Pentano		0,00	157,76	$1,57 \cdot 10^5$	
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0,90	0	0	
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	0,20	0	0	
Agua	H <sub>2</sub> O	0,00	0	0	

Donde los siguientes términos significan:

- $PCI_{gas\ M}$ : cantidad de calor desprendido en la combustión completa de 1 kg de componente, en MJ/Nm<sup>3</sup>.

Sabiendo la potencia necesaria que debe suministrar el aire, es posible averiguar qué caudal de gas teóricamente tiene que suministrar el quemador con [A.48]. A partir de [A.49], se tiene en cuenta el rendimiento del equipo, estimando el caudal de gas real con el que opera el quemador.

$$Q_{gas\ natural} = \frac{\Delta h_a}{PCI_{gas\ k}} \quad [A.42]$$

$$Q_{gas\ natural\ real/hora} = Q_{gas\ natural} + Q_{gas\ natural} \cdot \left(1 - \frac{\eta_{quemador}}{100}\right) \quad [A.43]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $Q_{gas\ natural}$ : caudal volumétrico de gas natural necesario para que el aire suministre el flujo de energía para el atomizado, en caso de que se produzca una combustión completa, en Nm<sup>3</sup>/h.
- $\eta_{quemador}$ : rendimiento del quemador.
- $Q_{gas\ natural\ real/hora}$ : caudal volumétrico de gas natural necesario para que el aire suministre el flujo de energía para el atomizado, teniendo en cuenta el rendimiento de la combustión, en Nm<sup>3</sup>/h.

En la Tabla A.27 se adjuntan los resultados obtenidos a partir de [A.48] y [A.49].

Tabla A.27: Poder calorífico del gas natural según la composición

$Q_{gas\ natural}$ (Nm <sup>3</sup> /h)	$\eta_{quemador}$ (%)	$Q_{gas\ natural\ real/hora}$ (Nm <sup>3</sup> /h)	$Q_{gas\ natural\ real/seg}$ (Nm <sup>3</sup> /s)	$Q_{gas\ natural\ real/día}$ (Nm <sup>3</sup> /día)
623,52	70	810,57	0,22	1,29·10 <sup>5</sup>

Donde los siguientes términos significan:

- $Q_{gas\ natural\ real/seg}$ : caudal volumétrico de gas natural necesario para que el aire suministre el flujo de energía para el atomizado, teniendo en cuenta el rendimiento de la combustión, en Nm<sup>3</sup>/s.
- $Q_{gas\ natural\ real/día}$ : caudal volumétrico de gas natural necesario para que el aire suministre el flujo de energía para el atomizado, teniendo en cuenta el rendimiento de la combustión, en Nm<sup>3</sup>/día (en un día se produce durante 16 horas).

Según el catálogo, el quemador que permite suministrar el caudal de gas natural calculado (810,57 Nm<sup>3</sup>/h) se corresponde al modelo LMB G 8300 - RE, cuyo caudal máximo de operación según el catálogo es 878 Nm<sup>3</sup>/h.



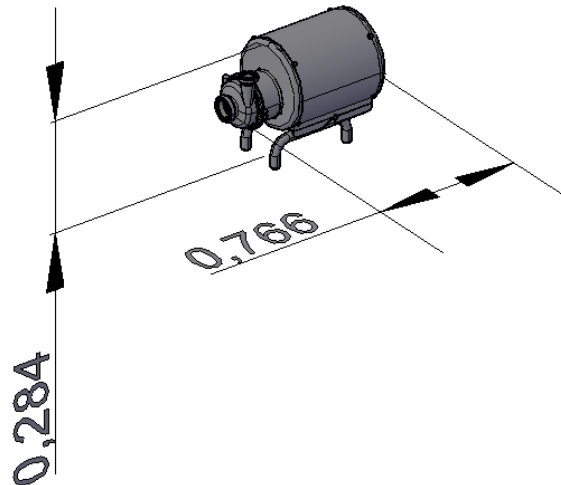


Figura A.10: Modelo 3D del quemador de gas modelo LMB G 8300 - RE (dimensiones en metros)

## 4.7 Multiciclón

### 4.7.1 Medidas de cada ciclón

A partir de la Figura M.72 se obtiene el diámetro y la fracción másica acumulada del polvo atomizado.

La fracción másica acumulada se estima con [A.44].

$$x_{gr\ ac\ n} = x_{gr\ n} + x_{gr\ ac\ (n-1)} \quad [A.44]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $x_{gr\ n}$ : fracción másica de gránulos de un determinado diámetro.
- $x_{gr\ ac\ n}$ : fracción másica acumulada de los gránulos de un determinado diámetro.
- $x_{gr\ ac\ (n-1)}$ : fracción másica acumulada del diámetro anterior a  $x_{gr\ ac\ n}$  sustituido en la ecuación [A.44].

Despejando la expresión [A.44] se obtiene [A.45], esto es, la fracción másica.

$$x_{gr\ n} = x_{gr\ ac\ n} - x_{gr\ ac\ (n-1)} \quad [A.45]$$

En la Tabla A.28 se recogen las fracciones másicas acumuladas y los diámetros, extraídos de la Figura M.85 de la Memoria, junto con los resultados de [A.45].

**Tabla A.28: Fracción másica según el diámetro medio**

$D_{p\ micro}$ ( $\mu\text{m}$ )	1	5	10	20	40	50	70	90
$D_{p\ metro}$ (m)	$1 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$9 \cdot 10^{-5}$
$x_{gr\ ac\ n}$ (%)	0	3	9	18	39	50	80	99,99
$x_{gr\ ac\ (n-1)}$ (%)	0	0	3	9	18	39	50	80
$x_{gr\ n}$ (%)	0	3	6	9	21	11	30	19,99

Donde los siguientes términos significan:

- $D_{p\ micro}$ : diámetro del gránulo, en micrómetros.
- $D_{p\ metro}$ : diámetro del gránulo, en metros.

Existen varios tipos de ciclones, de los cuales (según el apartado 5.5.2 de la Memoria) el más eficaz es el Stairmand, debido a sus dimensiones, aunque a su misma vez suele producir mayores caídas de presión. En este caso se va a elegir este tipo ya que se trabaja con tamaños de grano de pocas micras y recuperar el producto resulta económico incluso teniendo que aumentar la potencia del compresor para vencer la caída de presión.

Según la bibliografía el ciclón Stairmand tiene unos parámetros característicos relativos a sus medidas y características (Figura A.10). Estos valores se recogen en la Tabla A.29.

**Tabla A.29: Parámetros dimensionales y característicos del ciclón Stairmand**

$\frac{a}{D_{ciclón}}$	$\frac{b}{D_{ciclón}}$	$\frac{D_e}{D_{ciclón}}$	$\frac{S}{D_{ciclón}}$	$\frac{h}{D_{ciclón}}$	$\frac{H}{D_{ciclón}}$	$\frac{B}{D_{ciclón}}$	$C$	$z$ (m/h)
0,5	0,2	0,5	0,5	1,5	4	0,37	65,1	5500

Donde los siguientes términos significan:

- $a, b, D_e, S, h, H, B$ : parámetros dimensionales del ciclón.
- $z, C$ : parámetro característico del ciclón.

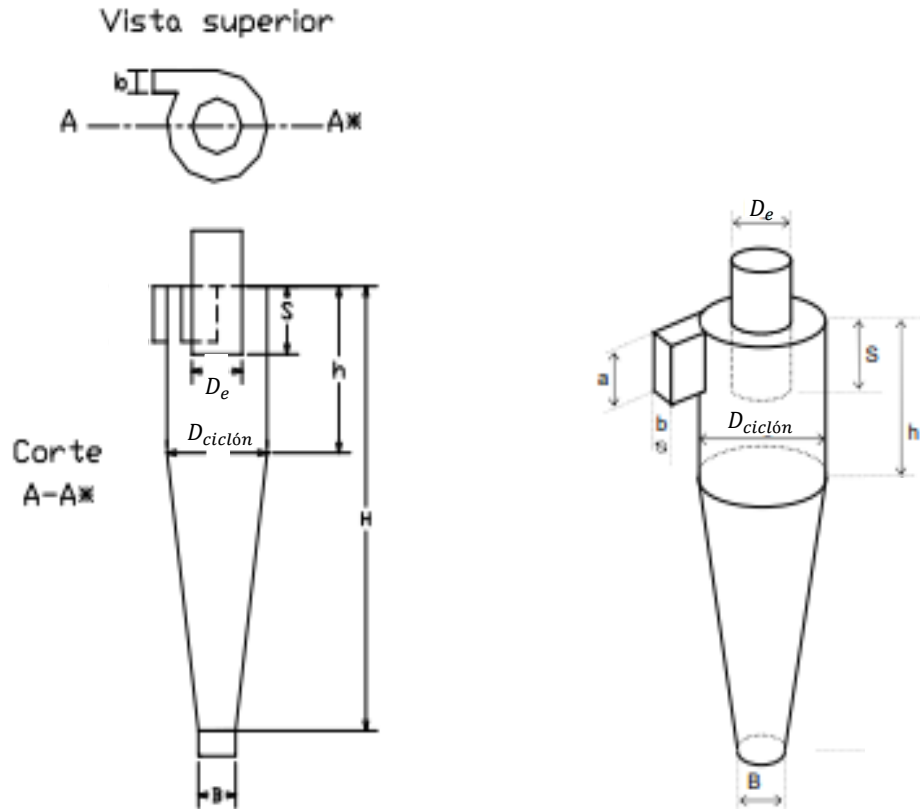


Figura A.10: Parámetros dimensionales del ciclón

Se puede despreciar la corriente de polvo, que circula con el caudal de aire húmedo que pasa por cada ciclón, ya que corresponde a una fracción másica muy pequeña respecto al total.

El caudal con el que opera el multiciclón es la suma del caudal de vapor que sale del atomizador más el aire que se le introduce, calculado a partir de [A.46]. Si se utilizan 8 ciclones dispuestos de forma que el caudal se reparta de forma equitativa (como se ve en la Figura M.60 de la Memoria), el caudal al que opera cada ciclón se expresa como [A.47]. El caudal volumétrico de la corriente de aire húmeda y el diámetro del ciclón se estima con las expresiones [A.48] y [4.59] respectivamente.

$$m_{ah\ seg} = m_{vap} + m_a \quad [A.46]$$

$$m_{ah} = \frac{m_{ah\ hora}}{N_{ciclones}} \quad [A.47]$$

$$Q_{ah} = \frac{m_{ah}}{\rho_{ah}} \quad [A.48]$$

$$D_{ciclón} = \sqrt{\frac{Q_{ah}}{z}} \quad [A.49]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $m_{ah\ seg}$ : caudal másico de aire húmedo que sale del atomizador, en kg/s.
- $m_{ah\ hora}$ : caudal másico de aire húmedo que sale del atomizador, en kg/h.
- $N_{ciclones}$ : número de ciclones en el multiciclón.
- $m_{ah}$ : caudal másico de aire húmedo que entra en un ciclón, en kg/h.
- $\rho_{ah}$ : densidad del aire húmedo, en kg/m<sup>3</sup>.
- $Q_{ah}$ : caudal volumétrico de aire húmedo que entra en un ciclón, en m<sup>3</sup>/h.
- $D_{ciclón}$ : diámetro grande del cuerpo del ciclón, en metros.

En la Tabla A.30 se recoge la densidad del aire húmedo en las condiciones de operación (extraído del Anexo 3), que son 60 °C y 1 atm, y los resultados de [A.46], [A.47], [A.48] y [A.49].

Tabla A.30: Caudal de aire húmedo que entra en un ciclón y diámetro de cada ciclón

$m_{ah\ seg}$ (kg/s)	$m_{ah\ hora}$ (kg/h)	$N_{ciclones}$ (nº ciclones)	$m_{ah}$ (kg/h)	$\rho_{ah}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$Q_{ah}$ (m <sup>3</sup> /h)	$D_{ciclón}$ (m)
15,27	5,49·10 <sup>5</sup>	8	5,49·10 <sup>4</sup>	1,03	1,08·10 <sup>4</sup>	1,41

Las dimensiones  $a$ ,  $b$ ,  $D_e$ ,  $S$ ,  $h$ ,  $H$ ,  $B$  se obtienen de multiplicar los parámetros dimensionales del ciclón Stairmand (Tabla A.30) por el diámetro del ciclón ( $D_{ciclón}$ ). Con [A.50] se obtiene el número de cabezas de velocidad a la entrada del ciclón.

$$NH = \frac{1}{a} + \left( h + \frac{z}{2} \right) \quad [A.50]$$

Donde el siguiente término significa:

- $NH$ : número de cabezas de velocidad a la entrada del ciclón.

En la Tabla A.31 se recogen las dimensiones y el resultado de [A.60].

Tabla A.31: Dimensiones del ciclón

$a$ (m)	$b$ (m)	$D_e$ (m)	$S$ (m)	$h$ (m)	$H$ (m)	$B$ (m)	$NH$
0,703	0,281	0,703	0,703	2,109	5,624	0,527	7,83

#### 4.7.2 Elección de modelo

A partir de las dimensiones y corriente de alimento calculados se elige el ciclón Starmand del catálogo. El modelo elegido es el PC-Cyclone1500#ROT por tener altura, diámetro y caudal de operación similares a los calculados. La altura calculada es 5,625 m; la altura del modelo elegido es 5,674 m; el diámetro calculado es 1,41 m; el diámetro del modelo elegido es 1,5 m; el caudal de operación de cada ciclón es 25000 m<sup>3</sup>/h y el caudal máximo de operación del modelo elegido es 10800 m<sup>3</sup>/h.

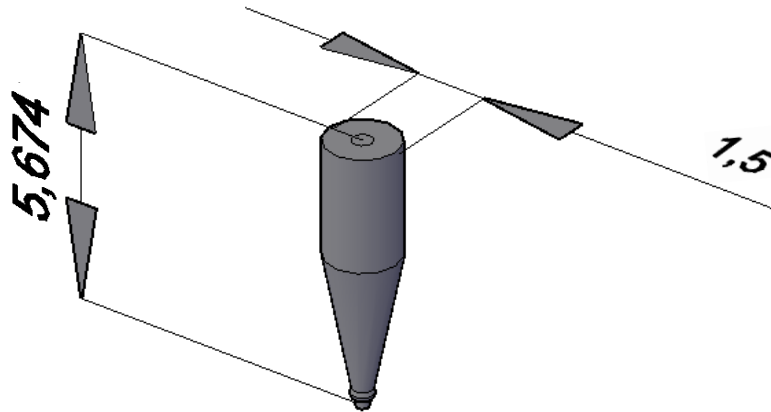


Figura A.11: Modelo 3D del ciclón Starmand modelo PC-Cyclone1500#ROT (dimensiones en metros)

#### 4.7.3 Rendimiento del multiciclón

Del Anexo 3 se obtiene la viscosidad del aire húmedo en las condiciones de operación. La densidad de partícula se puede considerar que es la densidad de la alúmina (cuenta con muy poca cantidad de PEG y humedad remanente comparado con la cantidad de alúmina). Todo esto se recoge en la Tabla A.32.

Tabla A.32: Viscosidad y densidades del aire húmedo y el polvo seco

$\mu_{ah}$ (kg/m·s <sup>-1</sup> )	$\rho_{ah}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_p$ (kg/m <sup>3</sup> )
$1,8 \cdot 10^{-5}$	1,03	3950

Donde los siguientes términos significan:

- $\mu_{ah}$ : viscosidad de aire húmedo, kg/m·s<sup>-1</sup>.
- $\rho_p$ : densidad del polvo atomizado, en kg/m<sup>3</sup>.

La velocidad de salto de un ciclón del multiciclón se calcula con [A.51], [A.52], y [A.53].

$$W = \left( \frac{4 \cdot 9,8 \cdot \mu_{ah} \cdot (\rho_p - \rho_{ah})}{3 \cdot \rho_{ah}^3} \right)^{\frac{1}{3}} \quad [A.51]$$

$$v_i = \frac{\frac{Q_{ah}}{3600}}{\left( \frac{a}{D_{ciclón}} \right) \cdot \left( \frac{b}{D_{ciclón}} \right) \cdot D_{ciclón}^2} \quad [A.52]$$

$$v_s = \frac{4,913 \cdot W \cdot \frac{b}{D_{ciclón}}^{0,4} \cdot D_{ciclón}^{0,067} \cdot (v_i^2)^{\frac{1}{3}}}{(1 - D_{ciclón})^{\frac{1}{3}}} \quad [A.53]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $W$ : velocidad equivalente, en m/s.
- $v_i$ : velocidad de entrada del aire en un ciclón, en m/s.
- $v_s$ : velocidad de salto de un ciclón, en m/s.

Para que los ciclones funcionen de forma eficiente la relación entra la velocidad de entrada y la velocidad de salto debe ser menor de 1,35; es decir, se debe cumplir la expresión [A.54].

$$\frac{v_i}{v_s} < 1,35 \quad [A.54]$$

La Tabla A.33 recoge los resultados de [A.51], [A.52], [A.53] y [A.54].

**Tabla A.33: Relación entre velocidad de entrada y velocidad de salto en un ciclón**

$W$ (m/s)	$v_i$ (m/s)	$v_s$ (m/s)	$v_i/v_s$
1,54	15,28	27,04	0,56

El rendimiento del ciclón se calcula a partir de las expresiones [A.55], [A.56], [A.57], [A.58]. Una vez hecho esto, a partir de [A.59] se estima el rendimiento del multiciclón.

$$T_i = \frac{\rho_p \cdot D_{p\text{ metro}}^2}{18 \cdot \mu_{ah}} \quad [\text{A.55}]$$

$$NG = 0,67 \cdot D_{\text{ciclón}}^{0,14} \quad [\text{A.56}]$$

$$\psi = \frac{D_{p\text{ metro}} \cdot \rho_{ah} \cdot v_i \cdot (NG + 1)}{18 \cdot \rho_{ah} \cdot D_{\text{ciclón}}} \quad [\text{A.57}]$$

$$\eta_i = \left( 1 - e^{(-2 \cdot \psi) \cdot \left( \frac{1}{(2 \cdot NG) + 2} \right)} \right) \cdot 100 \quad [\text{A.58}]$$

$$\eta_T = \Sigma \left( \eta_i \cdot \frac{x_{gr\ ac\ n}}{100} \right) \quad [\text{A.59}]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $T_i$  : tiempo de relajación o tiempo en que la partícula tarda en alcanzar la velocidad terminal de caída de partícula, en segundos.
- $NG$ : exponente de vórtex.
- $\psi$ : velocidad inercial.
- $\eta_i$ : eficiencia de separación del multiciclón operando a un tamaño de partícula, en porcentaje.
- $\eta_T$ : eficiencia global de separación del multiciclón, en porcentaje.

La Tabla A.34 recogen los resultados de [A.55], [A.56], [A.57], [A.58] y [A.59].

**Tabla A.34: Rendimiento del multiciclón**

$D_p \text{ micro}$ ( $\mu\text{m}$ )	1	5	10	20	40	50	70	90
$T_i$ (s)	$1 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$9 \cdot 10^{-5}$
$NG$ (número de giros)	0,7							
$\psi$	0,01	0,03	0,06	0,13	0,26	0,32	0,45	0,58
$\eta_i$ (%)	21,63	70,44	91,26	99,24	99,99	100	100	100
$\eta_i \cdot \frac{x_{gr \text{ ac } n}}{100}$ (%)	0	2,11	5,48	8,93	21	11	30	19,99
$\eta_T$ (%)	98,51							

Con los 8 ciclones se alcanza un rendimiento superior al 98%. Dado que el rendimiento del multiciclón está estimado sobre el caudal de polvo que no se recupera en el atomizador (el atomizador tiene una recuperación del 78%), se puede despreciar la cantidad total no recuperada de polvo. Por lo tanto, en los siguientes cálculos se asume que se recupera completamente el polvo atomizado.

#### 4.7.4 Caída de presión provocada por los ciclones

Para calcular la presión que debe suministrar el compresor para vencer la caída de presión del multiciclón se estiman [A.60] y [A.61].

$$\Delta P_{\text{ciclón}} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{ah} \cdot v_i^2 \cdot NH \quad [A.60]$$

$$\Delta P_{\text{ciclones}} = \Delta P_{\text{ciclón}} \cdot N_{\text{ciclones}} \quad [A.61]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $\Delta P_{\text{ciclón}}$ : caída de presión provocada por un ciclón, en pascales.
- $\Delta P_{\text{ciclones}}$ : caída de presión provocada por el multiciclón, en pascales.



La caída de presión provocada por el multiciclón se puede expresar como la diferencia entre la presión a la que se impulsa el gas y la presión al final del tramo de conducción, esto es, la ecuación [A.62]. En el presente proyecto las presiones de finales son de 1 atm (101325 Pa).

$$\Delta P_{ciclones} = P_1 - 101325 \quad [A.62]$$

Donde el siguiente término significa:

- $P_1$ : presión mínima que tiene que se tiene que suministrar para vencer la caída de presión, en pascales.

Despejando [A.62] se obtiene [A.63], expresión que permite averiguar la presión que debe suministrar el equipo de impulsión de fluidos.

$$P_1 = \Delta P_{ciclón} + 101325 \quad [A.63]$$

La caída de presión de cada ciclón y del multiciclón se adjuntan en la Tabla A.35.

**Tabla A.35: Caída de presión del ciclón, del multiciclón y presión de impulsión**

$\Delta P_{ciclón}$ (Pa)	$\Delta P_{ciclones}$ (Pa)	$P_1$ (Pa)
590,06	4720,49	$1,06 \cdot 10^5$

#### 4.8 Filtro de mangas

Según la bibliografía la velocidad máxima de filtración en filtros limpiados por pulsos de aire a presión y para partículas en suspensión muy pequeñas, como es el caso del proyecto, está comprendida entre 0,035 – 0,042 m/s.

Se va a escoger aproximadamente la mitad de estos valores de referencia (0,0385 m/s) para estimar el área de filtración con la que debe contar el equipo.

Con la expresión [A.64] se estima el área de filtración, que permitirá elegir el modelo del filtro de mangas que requiere la planta.

$$A_{filtración FM} = \frac{\frac{m_{ah}}{\rho_{ah}}}{v_{filtración FM}} \quad [A.64]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $v_{filtración FM}$ : velocidad de filtración del aire húmedo en filtro de mangas, en m/s.
- $A_{filtración FM}$ : área de filtración del filtro de mangas, en m<sup>2</sup>.

Los resultados se adjuntan en la Tabla A.36.

Tabla A.36: Área de filtración del filtro de mangas

$m_{ah}$ (kg/s)	$\rho_{ah}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$v_{filtración FM}$ (m/s)	$A_{filtración FM}$ (m <sup>2</sup> )
15,27	1,03	0,0385	385,07

Según La Tabla A.37 extraída del catálogo, el modelo SET.FM.DAC.0400.N35 tiene un área filtrante similar a la calculada (400 m<sup>2</sup>).

Tabla A.37: Áreas de filtración y dimensiones de cada modelo de filtro de mangas

SET.FM.DAC....I35

MODELO	AREA FILTRANTE (m <sup>2</sup> )	L1 (mm)	L2 (mm)	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	H4 (mm)	H5 (mm)
SET.FM.DAC.0130.N35	130	1792	2438	10100	5100	7900	12100	2200 (*)
SET.FM.DAC.0170.N35	170	2226						
SET.FM.DAC.0200.N35	200	2654						
SET.FM.DAC.0240.N35	240	3082						
SET.FM.DAC.0270.N35	270	3510						
SET.FM.DAC.0300.N35	300	3944						
SET.FM.DAC.0340.N35	340	4372						
SET.FM.DAC.0370.N35	370	4800						
SET.FM.DAC.0400.N35	400	5228						
SET.FM.DAC.0440.N35	440	5662						
SET.FM.DAC.0470.N35	470	6090						
SET.FM.DAC.0500.N35	500	6518						
SET.FM.DAC.0540.N35	540	6946						
SET.FM.DAC.0570.N35	570	7380						
SET.FM.DAC.0600.N35	600	7808						
SET.FM.DAC.0640.N35	640	8236						
SET.FM.DAC.0670.N35	670	8664						
SET.FM.DAC.0700.N35	700	9092						

Dada la complejidad del equipo se ha optado por una representación gráfica minimalista, de forma que sea fácil de ubicar y apreciar el espacio que ocupa en los planos relativos a la planta (Figura A.12).

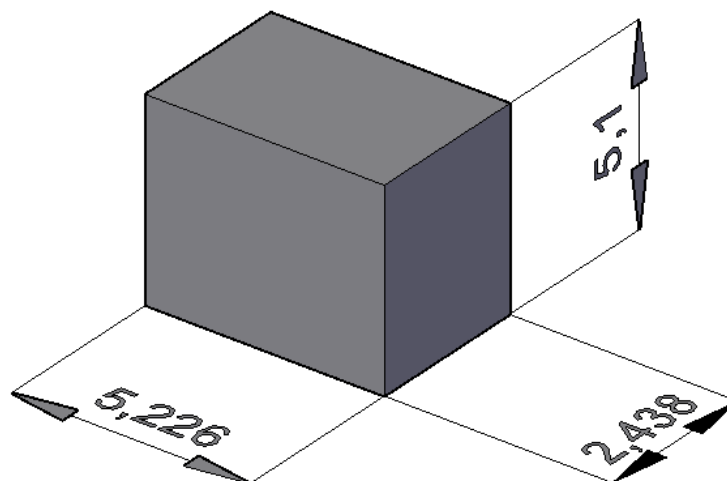


Figura A.12 Modelo 3D simplificado del filtro de mangas modelo SET.FM.DAC.0400.N35 (dimensiones en metros)

## 4.9 Cinta transportadora

### 4.9.1 Densidad aparente del polvo de alúmina y atomizado

Se estima la densidad aparente de la alúmina mediante [A.65], que depende de un parámetro conocido como densidad relativa. La densidad relativa, según la bibliografía, suele tomar el valor de 0,4 para polvos comerciales del tamaño de micras.

$$\rho_{ap\ al} = \rho_{relativa} \cdot \rho_{real\ al} \quad [A.65]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $\rho_{relativa}$ : cociente que relaciona la densidad aparente con la densidad real del polvo.
- $\rho_{real\ al}$ : densidad de la alúmina obviando los huecos entre las partículas, en  $\text{kg/m}^3$ .
- $\rho_{ap\ al}$ : densidad aparente de la alúmina, donde se tiene en cuenta el volumen de la fracción hueca, en  $\text{kg/m}^3$ .

A partir de [A.65] se obtiene la Tabla A.38.

Tabla A.38: Densidad aparente de polvo de alúmina

$\rho_{real\ al}$ ( $\text{kg/m}^3$ )	$\rho_{relativa\ al}$	$\rho_{ap\ al}$ ( $\text{kg/m}^3$ )
3950	0,4	1580

Como se ha mencionado se obtiene un polvo atomizado con muy pocas imperfecciones, es por esto por lo que se puede asumir que el polvo obtenido es esférico. Si además se tiene en cuenta que la variación del tamaño de grano es bastante reducida se puede asumir que su porosidad es del 0,4. A partir de esto se estima cual es la densidad aparente del polvo atomizado.

La porosidad se define como [A.66].

$$\varepsilon = \frac{\rho_{real\ at} - \rho_{ap\ at}}{\rho_{real\ at}} \quad [A.66]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $\rho_{ap\ at}$ : densidad aparente del polvo atomizado, en  $\text{kg/m}^3$ .
- $\varepsilon$ : porosidad del polvo atomizado.

Despejando [A.66] queda [A.67].

$$\rho_{ap\ at} = \rho_{real\ at} \cdot (1 - \varepsilon) \quad [A.67]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $\rho_{real\ at}$ : densidad del polvo atomizado obviando los huecos entre las partículas, en kg/m<sup>3</sup>.

La suspensión de la que proviene el polvo está compuesta de: agua (componente que se evapora parcialmente en el atomizado), PEG (compuesto que forma una capa alrededor de la alúmina y retiene la humedad) y Darvan C (se descompone y evapora mayoritariamente en el atomizado).

La densidad real del polvo atomizado resulta ser prácticamente la misma que la de la alúmina por 2 razones: la cantidad de agua remanente en el aglomerado es despreciable y la cantidad de PEG en el gránulo es menor del 3% en peso. Este razonamiento se expresa como [A.68].

$$\rho_{real\ al} = \rho_{real\ at} \quad [A.68]$$

Sustituyendo [A.67] en [A.68] se obtiene [A.69].

$$\rho_{ap\ at} = \rho_{real\ alúmina} \cdot (1 - \varepsilon) \quad [A.69]$$

Sustituyendo en [A.69] se obtiene la Tabla A.39.

**Tabla A.39: Densidad aparente del polvo atomizado**

$\rho_{real\ alúmina}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\varepsilon$	$\rho_{ap\ polvo\ at}$ (kg/m <sup>3</sup> )
3950	0,4	2370

#### 4.9.2 Requisitos de transporte

Se comprueban si los modelos del catálogo, de menor capacidad y menor coste, cumplen con las exigencias de la planta. Estos modelos son el TKB-06, para el transporte sin variaciones de nivel, y el TKB-10, para elevaciones.

Se compara únicamente el modelo TKB-06 ya que es el que menos capacidades tiene, por ende, si cumple las exigencias, el modelo TKB-10 será también apto para el uso en la nave.

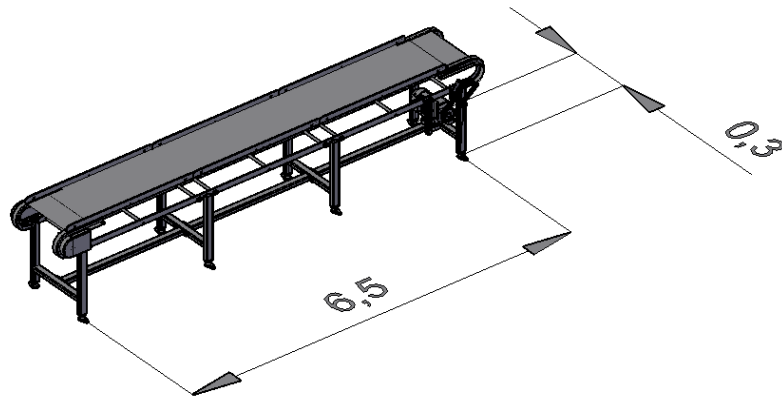


Figura A.13: Modelo 3D de la cinta transportadora TKB-06 (dimensiones en metros)

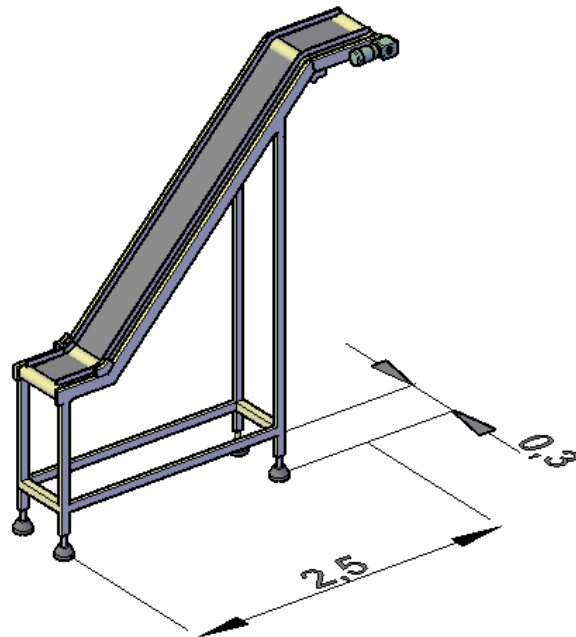


Figura A.14: Modelo 3D de la cinta transportadora TKB-10 (dimensiones en metros)

La cinta transportadora tiene una banda con un volumen determinado que permite transportar el caudal de polvo vertido del atomizador. La capacidad se estima con [A.70] y [A.71].

$$A_{banda} = An_{banda} \cdot La_{banda} \quad [A.70]$$

$$V_{TKB-06} = A_{banda} \cdot PR_{banda} \quad [A.71]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $An_{banda}$  : ancho del modelo de cinta transportadora, en metros.
- $La_{banda}$  : lado del modelo de cinta transportadora, en metros.
- $A_{banda}$  : área del modelo de cinta transportadora, en m<sup>2</sup>.
- $PR_{banda}$  : profundidad de la banda del modelo de cinta transportadora, en metros.
- $V_{TKB-06}$  : capacidad del modelo de cinta transportadora, en m<sup>3</sup>.

En la Tabla A.40 se recogen los resultados de [A.70] y [A.71].

Tabla A.40: Dimensiones y capacidad del modelo de cinta

$An_{banda}$ (m)	$La_{banda}$ (m)	$PR_{banda}$ (m)	$A_{banda}$ (m <sup>2</sup> )	$V_{TKB-06}$ (m <sup>3</sup> )
0,3	6,5	0,05	1,95	$9,7 \cdot 10^{-2}$

El peso por longitud, la carga, y el volumen que tiene que soportar la cinta se estima a partir de [A.72], [A.73], [A.74]. Los cálculos están basados en el transporte del polvo atomizado, ya que, al recuperarse completamente, el caudal y el volumen transportado será mayor al caudal de alúmina.

$$M_{kilo\ metro} = \frac{m_{at\ seg}}{v_{ba\ max\ seg}} \quad [A.72]$$

$$CP_{ba} = M_{kilo\ metro} \cdot La_{banda} \quad [A.73]$$

$$V_{ba} = \frac{CP_{ba}}{\rho_{ap\ ap\ polvo\ at}} \quad [A.74]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $v_{ba\ max\ min/seg}$  : velocidad del modelo de cinta transportadora elegida, extraída del catálogo, en m/s.
- $M_{kilo\ metro}$  : peso por longitud suministrado a la cinta transportadora con el caudal de polvo, en kg/m.
- $CP_{ba}$  : carga de banda suministrada a la cinta transportadora con el caudal de polvo, en kg.
- $V_{ba}$  : volumen de polvo suministrado a la cinta transportadora, en m<sup>3</sup>.

El volumen de la banda necesario para albergar el caudal de polvo debe ser menor a la del modelo seleccionado para asegurar que el producto se transporte sin pérdidas, esta condición se expresa como [A.75].

$$V_{ba} < V_{TKB-06} \quad [A.75]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $V_{TKB-06}$  : volumen máximo que puede transportar el modelo de cinta transportador, en  $m^3$ .

La carga de banda suministrada debe ser menor a la carga de banda máxima del modelo de cinta transportadora elegida, para evitar ralentizar o parar la cinta debido al peso del polvo, esta relación se expresa como [A.76].

$$CP_{ba} < CP_{TKB-06} \quad [A.76]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $CP_{TKB-06}$  : capacidad de carga máxima del modelo de cinta transportadora elegida, extraída del catálogo, en kg.

En la Tabla A.41 se recogen los resultados de [A.72], [A.73], [A.74] y se comprueba que se cumplan [A.75] y [A.76] (valores en negrita en tablas A.40 y A.41).

Tabla A.41: Volumen de polvo que transporta la cinta

$v_{ba \max \min}$ (m/min)	$v_{ba \max \text{seg}}$ (m/s)	$CP_{TKB-06}$ (kg)	$M_{\text{kilo metro}}$ (kg/m)	$CP_{ba}$ (kg)	$V_{ba}$ ( $m^3$ )
60	1	<b>80</b>	2,78	<b>15,56</b>	<b><math>6,5 \cdot 10^{-3}</math></b>

Ambos modelos TKB-06 y TKB-10 cumplen con los requerimientos, por lo que formaran parte del equipamiento de la planta.

#### 4.10 Silos de polvo de materia prima y producto

Hay 2 compuestos en la planta que se almacenan en silos: el polvo de alúmina y el polvo atomizado.

La densidad permite relacionar el caudal másico con el volumétrico, a partir de [A.85].

$$Q_{polvo\ com\ diario} = \frac{m_{com\ día}}{\rho_{ap\ com\ polvo}} \quad [A.77]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $m_{com\ día}$ : caudal másico del compuesto (polvo de alúmina o polvo atomizado) almacenado en los silos, en kg/día.
- $\rho_{ap\ com\ polvo}$ : densidad aparente del compuesto, en kg/m<sup>3</sup>.
- $Q_{polvo\ com\ diario}$ : caudal volumétrico del compuesto, en m<sup>3</sup>/día.

Dependiendo del tiempo que se pretenda almacenar el producto se tendrá un volumen de stock, esto se calcula con [A.86].

$$V_{stock\ com\ silo} = Q_{polvo\ com\ día} \cdot t_{stock\ silo\ com\ día} \quad [A.78]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $t_{stock\ silo\ com\ día}$ : tiempo de residencia del compuesto en el silo, en días.
- $V_{stock\ com\ silo}$ : volumen de compuesto almacenado en el silo, en m<sup>3</sup>.



En el silo de almacenamiento el polvo se apila formando una geometría cilíndrica, donde en la parte superior del cilindro se deposita un montón cuya forma se corresponde a la de un cono equilátero (Figura A.15).

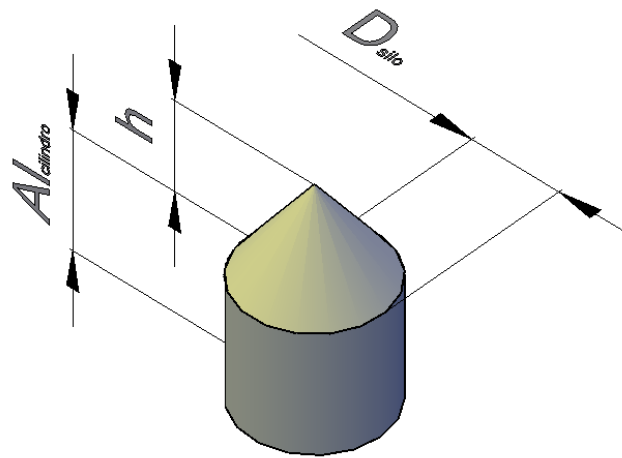


Figura A.15: Forma del polvo almacenado en el silo en forma de cilindro y cono equilátero (dimensiones en metros)

El volumen que almacenan los silos para un tipo de compuesto viene determinado por la suma del volumen del montón de polvo en forma de cilindro y de cono, multiplicado por la cantidad de silos usados. Hay que tener en cuenta que, por su forma geométrica, la altura del cono equilátero es igual a su diámetro (como se aprecia visualmente en la Figura A.16,  $h = D_{silo}$ ).

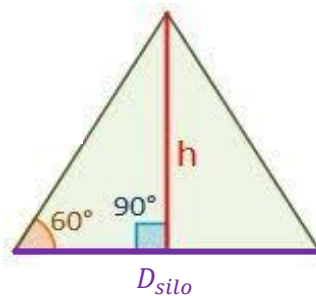


Figura A.16: Relación entre altura y diámetro de cono equilátero

El volumen del silo es la suma del volumen de su cuerpo cilíndrico más el montón cónico de polvo. Si se tiene en cuenta (como se ha visto en la Figura A.16) que la altura del cono es igual al diámetro del silo, el volumen se puede calcular con la ecuación [A.87].

$$V_{max\ silo\ com} = \left( \left( \pi \cdot \left( \frac{D_{silo\ com}}{2} \right)^2 \cdot Al_{cilindro\ com} \right) + \frac{\pi \cdot \left( \frac{D_{silo\ com}}{2} \right)^2 \cdot D_{silo\ com}}{3} \right) \cdot N_{silos\ com} \quad [A.79]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $D_{silo\ com}$ : diámetro del silo que almacena el compuesto que coincide con la altura del cono de polvo que almacena el silo, en metros.
- $Al_{cilindro\ com}$ : altura del cilindro de polvo dentro del silo, en metros.
- $N_{silos\ com}$ : número de silos que almacena el compuesto.
- $V_{max\ silo\ com}$ : volumen que puede albergar el silo que almacena el compuesto, en  $m^3$ .

La altura del cilindro ( $Al_{cilindro\ com}$ ) permite obtener una altura del silo ( $Al_{silo\ com}$ ) con la expresión [A.88]. La suma de la altura del cilindro más la altura del cono (que es igual al diámetro del silo) tiene que corresponder a un valor de un modelo del catálogo (Figura A.17).

Modelos	Número de virolas		1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Altura silos		2,55	3,79	4,99	6,21	7,45	8,65	9,89	11,11	12,34
Diámetro (m)	Altura estructura expedición										
		Camión	Tren								
2,55	7,10	7,40	11	17	22	27	-	-	-	-	-
3,82	7,20	7,50	-	39	52	65	78	91	104	117	130
4,58	7,80	8,10	-	59	78	97	116	135	154	173	192

Figura A.17: Alturas de silos del catálogo

$$Al_{silo\ com} = Al_{cilindro\ com} + D_{silo\ com} \quad [A.80]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $Al_{silo\ com}$ : altura del silo que almacena el componente, en metros.

El volumen del silo deberá ser mayor al volumen que se pretende almacenar durante una semana, para asegurar que no se exceda la capacidad de almacenamiento de polvo, por lo que se debe cumplir [A.89].

$$V_{max\ silo\ com} > V_{stock\ com\ silo} \quad [A.81]$$

#### 4.10.1 Silos de polvo de alúmina

Una vez conocida la producción de polvo de la planta, se estima el volumen que ocupará almacenar el polvo de alúmina.

Los silos deben ser capaces de albergar la alúmina necesaria para 1 día de producción, de forma se asegura un suministro constante de materia prima a la desleidora.

Se ha decidido que dado el caudal de alúmina los silos de 4,99x2,55m son los indicados para no tener más unidades de las necesarias para albergar el volumen de producción, ni tampoco comprar unidades sobredimensionadas que encarecen el presupuesto.

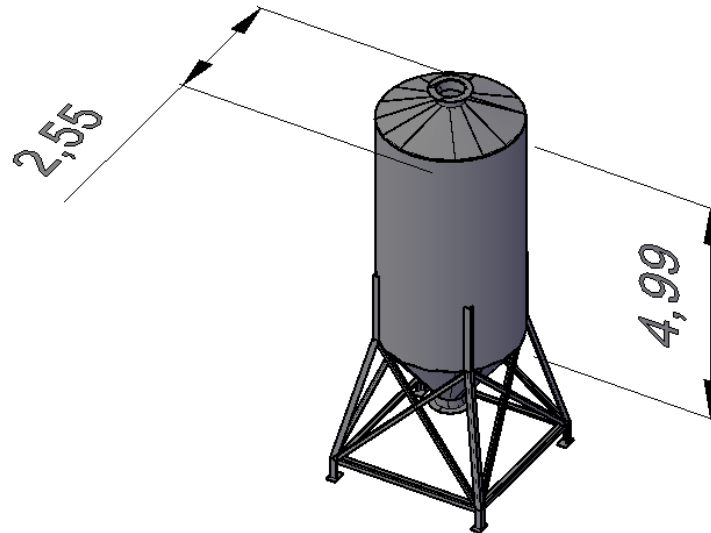


Figura A.18: Modelo 3D del silo de almacenamiento de polvo de alúmina (dimensiones en metros)

A partir de las ecuaciones [A.77] y [A78] se obtiene la Tabla A.42.

Tabla A.42: Volumen del polvo de alúmina almacenado en los silos

$Q_{polvo\ al\ día}$ ( $m^3/día$ )	$t_{stock\ silo\ al\ día}$ (días)	$V_{stock\ silo\ al}$ ( $m^3$ )
96,2	1	96,2

A partir de las ecuaciones [A.79] y [A.80] se obtiene la Tabla A.43, y a su vez, se corrobora que se cumpla [A.81] (valores en negrita).

Tabla A.43: Volumen de los silos de polvo de alúmina

$V_{stock\ silo\ al}$ ( $m^3$ )	$Al_{cilindro\ al}$ (m)	$N_{silos\ al}$ (n° silos)	$D_{silo\ al}$ (m)	$V_{max\ silo\ al}$ ( $m^3$ )	$Al_{silo\ al}$ (m)
<b>96,2</b>	2,44	9	2,55	<b>151,22</b>	4,99

#### 4.10.2 Silos de polvo atomizado

Se usarán las mismas ecuaciones utilizadas para el silo de alúmina con el objetivo de estimar los silos necesarios para contener el polvo atomizado. En este caso se ha decidido tener un stock de 4 horas (0,25 días), tiempo suficiente para retener el producto hasta la llegada de los camiones que se encargan de cargar y transportar el polvo atomizado.

Dado el relativo corto periodo de tiempo, se usarán silos más pequeños y altos (silos de descarga para camiones) que los requeridos en el almacenamiento de la alúmina, de dimensiones 3,79x2,55m.

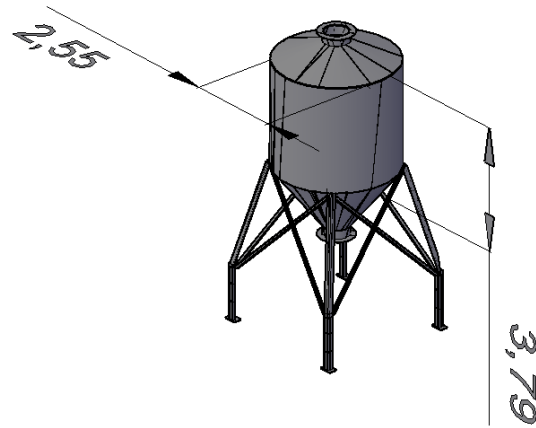


Figura A.20: Modelo 3D del silo de almacenamiento de polvo atomizado (dimensiones en metros)

Los resultados de las ecuaciones [A.77] y [A78] se recogen en la Tabla A.44.

Tabla A.44: Volumen de polvo atomizado almacenado en los silos

$Q_{at \text{ día}}$ (m <sup>3</sup> /día)	$t_{stock \text{ at día}}$ (día)	$V_{stock \text{ silo at}}$ (m <sup>3</sup> )
67,51	0,25	16,87

Los resultados de las expresiones [A.79] y [A.80] se adjuntan en la Tabla A.45; y se corrobora que se cumpla [A.81] (valores en negrita).

Tabla A.45: Volumen de los silos de polvo atomizado

$V_{stock \text{ silo at}}$ (m <sup>3</sup> )	$Al_{cilindro \text{ at}}$ (m)	$N_{silos \text{ at}}$ (n° silos)	$D_{silo \text{ at}}$ (m)	$V_{max \text{ silo at}}$ (m <sup>3</sup> )	$Al_{silo \text{ at}}$ (m)
<b>16,87</b>	1,24	3	2,55	<b>32,02</b>	3,79

#### 4.11 Disposición de equipos y conducciones en la planta

Distribuyendo los equipos usando las dimensiones justificadas, en los apartados del 4.1 al 4.10 del Anexo 4, y de acuerdo con la distribución en planta, del apartado 8 de la Memoria, la planta de producción conformada por los equipos y la red de conducciones queda de la siguiente forma (Figura A.21).

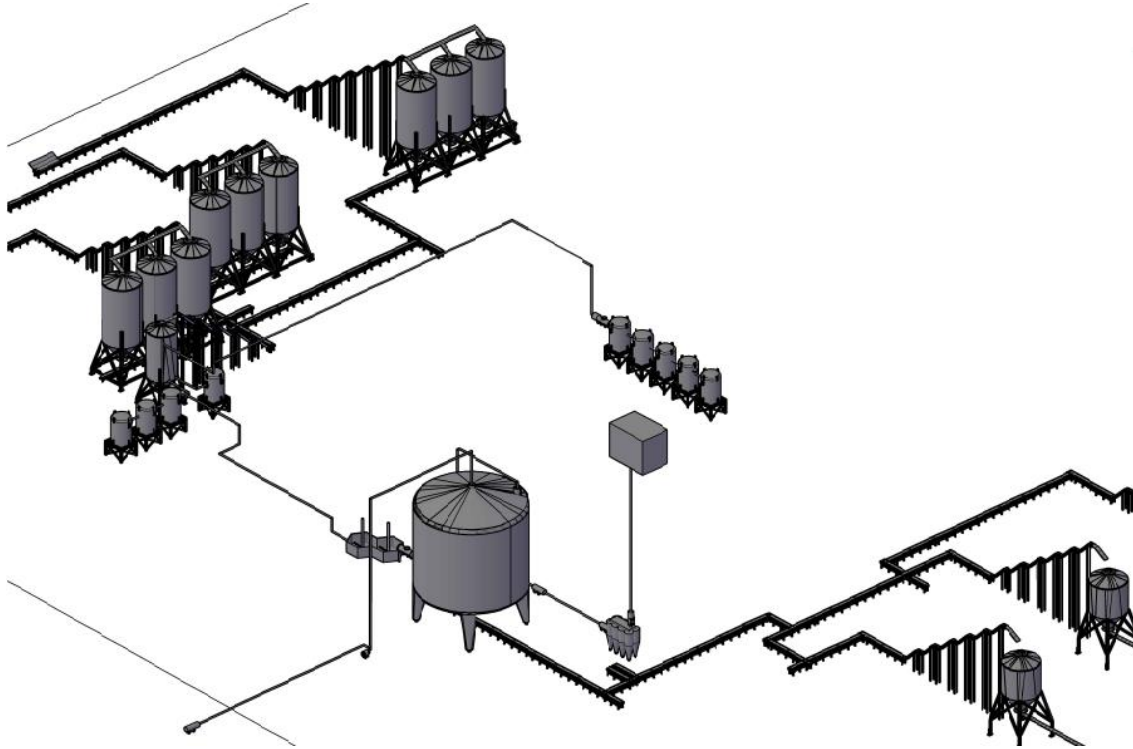


Figura A.21: Diseño de planta de atomizado en 3D con Autocad 2020

A partir de esto se pueden estimar las longitudes de los tramos rectos y la cantidad de codos de 90 ° de las conducciones que conectan los equipos.

Los diámetros de las conducciones han sido representados todos a un mismo tamaño (0,1 m), para que se puedan apreciar en el dibujo. Por lo tanto, no se corresponden con las medidas reales elegidas. Los diámetros y espesores de tubería se encuentran, junto con los cálculos justificativos, en el apartado 4.12.1.3 del Anexo 4, tablas A.63 y A.64 (también se pueden consultar en el apartado 7.7 de la Memoria, Tabla M.21).

## 4.12 Conducciones

Se delimitan 7 tramos en las conducciones donde se decide situar los equipos de impulsión de fluidos:

- Tramo 1: circula aire seco desde el compresor hasta el atomizador.
- Tramo 2: circula aire húmedo desde el atomizador hasta el multiciclón.
- Tramo 3: circula aire húmedo dentro del multiciclón.
- Tramo 4: circula aire húmedo desde el multiciclón hasta el filtro de mangas.
- Tramo 5: circula suspensión desde la desleidora a la balsa de agitación.
- Tramo 6: circula suspensión desde la balsa de agitación al atomizador.
- Tramo 7: circula agua desde los tanques de agua a la desleidora.

### 4.12.1 Equipos para impulsión de gases

#### 4.12.1.1 Presión de impulsión

En primer lugar se eligen las zonas de interés (Figura A.22), de las cuales interesa la presión, longitud entre puntos, etc: se elige la entrada del compresor o zona de succión (punto 0), la salida del compresor donde se impulsa el aire (punto 1) y la zona donde termina la conducción que conecta con el equipo al que se pretende alimentar con el fluido (punto 2).

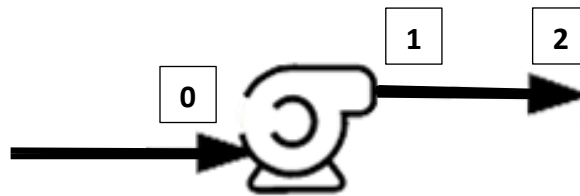


Figura A.22: Puntos de interés en sistema de impulsión de gases

Con la ecuación [A.82], expresión conocida como aproximación de Weymouth, se puede calcular la presión que tiene que suministrar el compresor a un determinado caudal y diámetro de tubería; siempre y cuando se cumpla que la velocidad del gas sea menor de 35 m/s.

$$P_1^2 - P_2^2 = \frac{4 \cdot f \cdot Z \cdot R \cdot T_{flK} \cdot L_{eq} \cdot G_{fl}^2}{M_{fl} \cdot D_{cond}} \quad [A.82]$$

Por lo que si se cumple [A.83] será posible aplicar [A.82].

$$v_{fl} < 35 \frac{m}{s} \quad [A.83]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $v_{fl}$  : velocidad media del fluido a lo largo de todo el tramo, en m/s.

La ecuación de Weymouth utiliza la longitud equivalente ( $L_{eq}$ ), que no es más que la suma de la longitud de los tramos rectos más la longitud de los tramos rectos ficticios. Estos últimos son valores de longitud que equivalen a la pérdida de energía provocada por el rozamiento que el fluido experimenta al pasar por los accidentes.

Estos tramos rectos ficticios equivalentes a los accidentes ( $L_{ac}$ ), extraídos del ajuste lineal de los datos del Anexo 6, se adjuntan en la Tabla A.46.

Tabla A.46: Longitud equivalente de accidentes según el diámetro de conducción

		$D_{cond}$ (m)	
		0,67	0,9
$L_{ac}$ (m)	Válvula de retención tipo bola	39,9	51,9
	Codo de 90° curva media	15,1	19,7

Donde los siguientes términos significan:

- $L_{ac}$  : longitud de tramo recto virtual cuya pérdida de energía generada equivale a la fricción provocada por el paso del fluido en un accidente, en metros.

La velocidad del gas en el conducto se calcula con la ecuación [A.84].

$$v_{fl} = \frac{4 \cdot m_{fl}}{\rho_{fl} \cdot \pi \cdot D_{cond}^2} \quad [A.84]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $m_{fl}$  : caudal másico del fluido que circula por el tramo, en kg/s.
- $\rho_{fl}$  : densidad media del fluido a lo largo de la tubería, en kg/m<sup>3</sup>.
- $D_{cond}$  : diámetro de la tubería, en metros.

Los tramos tienen los siguientes accidentes:

- Tramo 1: 5 codos y 1 válvula de retención.
- Tramo 2: 1 válvula de retención.
- Tramo 3: solo hay un multiciclón, la caída de presión generada por el equipo no se ha calculado con el método de longitudes equivalentes, por lo que no se considerará como accidente.
- Tramo 4: 1 válvula de retención.

El número de Reynolds se estima con [A.85].

$$Re_{fl} = \frac{v_{fl} \cdot D_{cond} \cdot \rho_{fl}}{\mu_{fl}} \quad [A.85]$$

- $\mu_{fl}$  : viscosidad del fluido, en  $\text{kg/m}\cdot\text{s}^{-1}$ .
- $Re_{fl}$  : Reynolds del fluido en las condiciones de salida del conducto.

El factor de fricción ( $f$ ) depende del valor de Reynolds.

En caso de que el Reynolds sea menor de 2000 ( $Re_{fl} < 2000$ ), el régimen de circulación será laminar. En ese caso el factor de fricción se puede calcular con [A.86].

$$f = \frac{64}{Re_{fl}} \quad [A.86]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $f$  : factor de fricción.

Si el Reynolds es mayor de 2000 ( $Re_{fl} > 2000$ ), el régimen será transición o turbulento y el factor de fricción se obtendrá a partir del diagrama de Moody (adjuntado en el Anexo 5), con el que se parte de los valores de número de Reynolds ( $Re$ ) y rugosidad relativa ( $\frac{\varepsilon}{D_{cond}}$ ).

Donde los siguientes términos significan:

- $\varepsilon$  : rugosidad absoluta del acero comercial; cuyo valor es de  $4,572 \cdot 10^{-5}$  m (0,00015 pies).

Finalmente se calcula la velocidad másica con [A.87] y la longitud total con [A.88].

$$G_{fl} = \frac{m_{fl}}{\pi \cdot \left(\frac{D_{cond}}{2}\right)^2} \quad [A.87]$$

$$L_{eq} = L_r + L_{ac} \quad [A.88]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $G_{fl}$  : velocidad másica del fluido, en  $\text{kg/m}\cdot\text{s}^2$ .
- $L_r$  : longitud de las conducciones en los tramos rectos, en metros.
- $L_{eq}$  : longitud que equivale a la fricción provocada por el paso del fluido en los tramos rectos y accidentados de una conducción, en metros.



Despejando la ecuación de Weymouth (expresión [A.82]) se obtiene [A.89]. A partir de esta se estima la presión mínima que tiene que suministrar el compresor. Para evitar problemas relacionados con el funcionamiento del equipo se calcula la presión de seguridad con [A.90], donde se toma un 1,6 de factor de seguridad (valor recomendado por la bibliografía).

$$P_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot f \cdot Z \cdot R \cdot T_{flK} \cdot L_{eq} \cdot G_{fl}^2}{M_{fl} \cdot D_{cond}}} + P_2^2 \quad [A.89]$$

$$P_{1seguridad} = P_1 \cdot 1,6 \quad [A.90]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $Z$  : factor de compresibilidad (se asume una compresión ideal, por lo que es igual a 1).
- $M_{fl}$  : peso molecular del gas, en kg/kmol.
- $R$  : constante de los gases ideales (8314 J/kmol·K<sup>-1</sup>).
- $T_{flC}$  : temperatura del fluido, en Celsius.
- $T_{flK}$  : temperatura del fluido, en Kelvin.
- $P_2$  : presión a la salida del compresor, en pascales (presión atmosférica, 1 atm, 101325 Pa).
- $P_1$  : presión de impulsión mínima que debe suministrar el equipo de impulsión para que se transporte el fluido hasta el final del tramo, en pascales.
- $P_{1seguridad}$  : presión de impulsión a que suministra el equipo y con la que se pretende compensar posibles problemas de rendimiento o fugas, en pascales.

Las tablas A.47 y A.48 recogen las características de las conducciones y el fluido que lo recorre; además del resultado de [A.84], donde se corrobora [A.83]. Los pesos moleculares, densidades y viscosidades de los fluidos a las condiciones de operación se han obtenido del Anexo 3.

**Tabla A.47: Dimensiones, propiedades y condiciones de las conducciones que transportan gases**

Tramo	$L_r$ (m)	$L_{ac}$ (m)	$L_{eq}$ (m)	$D_{cond}$ (m)	$P_2$ (Pa)	$M_{fl}$ (kg/kmol)	Z	R (J/Kmol·K <sup>-1</sup> )
1	150	115,4	265,4	0,67	1,01·10 <sup>5</sup>	28,96	1	8314
2	15	51,9	66,9	0,9	1,01·10 <sup>5</sup>	57,84		
4	35	51,9	86,9	0,9	1,01·10 <sup>5</sup>	57,84		

**Tabla A.48: Propiedades y condiciones de operación de las conducciones que transportan gases**

Tramo	$T_{flC}$ (°C)	$T_{flK}$ (K)	$\rho_{fl}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$m_{fl}$ (kg/s)	$G_{fl}$ (kg/m·s <sup>2</sup> )	$v_{fl}$ (m/s)	$\mu_{fl}$ (kg/m·s <sup>-1</sup> )
1	20	293	1,2	14,81	42	34,89	1,82·10 <sup>-5</sup>
2	60	333	0,71	15,27	24	33,71	2,57·10 <sup>-5</sup>
4	60	333	0,71	15,27	24	33,71	2,57·10 <sup>-5</sup>

Con las ecuaciones [A.85], [A.86] y el diagrama de Moody del Anexo 5 se obtienen los valores del factor de fricción ( $f$ ). Los valores de factor de fricción y las expresiones [A.85] y [A.86] se adjuntan en la Tabla A.49. El tramo 3 no presenta valores relativos al factor de fricción ya que se trata del multiciclón, cuya presión ha sido calculada en apartado 4.7.4 del Anexo 3.

Tabla A.49: Presión de los equipos de impulsión y razón de compresión para cada tramo que opera con gases

Tramo	$Re_{fl}$	$\varepsilon/D_{cond}$	$4 \cdot f$	$f$	$P_1$ (Pa)	$P_{1\text{ seguridad}}$ (Pa)	$P_0$ (Pa)
1	$1,55 \cdot 10^6$	0,0001	0,0185	0,00463	$1,07 \cdot 10^5$	$1,7 \cdot 10^5$	$1,01 \cdot 10^5$
2	$8,41 \cdot 10^5$	0,0001	0,02	0,005	$1,02 \cdot 10^5$	$1,63 \cdot 10^5$	$1,01 \cdot 10^5$
3	—	—	—	—	$1,06 \cdot 10^5$	$1,59 \cdot 10^5$	$1,01 \cdot 10^5$
4	$8,41 \cdot 10^5$	0,0001	0,02	0,005	$1,02 \cdot 10^5$	$1,63 \cdot 10^5$	$1,01 \cdot 10^5$

Donde los siguientes términos significan:

- $P_0$  : presión en punto de succión del equipo de impulsión, en pascales (1 atm, 101325 Pa).

#### 4.12.1.2 Elección del tipo de equipo

Conocidas las presiones es posible estimar la caída de presión a la que se opera, con la ecuación [A.91]. Esto permitirá elegir el equipo necesario para impulsar el gas en cada tramo.

$$\Delta P_{seguridad} = P_{1\text{ seguridad}} - P_2 \quad [A.91]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $\Delta P_{seguridad}$  : caída de presión que tiene que vencer el equipo de presión, en pascales.

Conocido el caudal másico y la presión, se estima el caudal volumétrico con [A.92], parámetro también necesario para poder elegir el tipo de bomba.

$$Q_{fl} = \frac{m_{fl}}{\rho_{fl}} \quad [A.92]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $Q_{fl}$  : caudal volumétrico del fluido, en m<sup>3</sup>/s.

Los equipos de impulsión de gases se clasifican según el caudal volumétrico y la presión a la que trabajan, como se ha visto en el apartado 5.1.2.2 de la Memoria, Tabla M.4.

**Tabla M.4: Caudal volumétrico y caída de presión a la que opera cada equipo de impulsión de gases**

Tipo de equipo de impulsión de gas	$Q_{fl}$ (m <sup>3</sup> /s)	$\Delta P_{seguridad}$ (Pa)
Desplazamiento positivo	0,007 – 2	$1,01 \cdot 10^4 - 1,62 \cdot 10^8$
Centrífugo	0,6 - 110	$1,37 \cdot 10^4 - 1,07 \cdot 10^7$
Flujo axial	70 - 600	$1,37 \cdot 10^4 - 9,11 \cdot 10^5$

En la Tabla A.50 se presentan los caudales volumétricos y las presiones de impulsión de cada tramo donde, teniendo en cuenta la Tabla M.3, se elige el tipo de equipo.

**Tabla A.50: Tipo de equipo de impulsión de gases elegido**

Tramo	$Q_{fl}$ (m <sup>3</sup> /s)	$\Delta P_{seguridad}$ (Pa)	Tipo de equipo
1	12,3	$6,92 \cdot 10^4$	Centrífugo
2	21,45	$6,17 \cdot 10^4$	Centrífugo
3	21,45	$5,77 \cdot 10^4$	Centrífugo
4	21,45	$6,2 \cdot 10^4$	Centrífugo

En la Tabla M.5 (presente en el apartado 5.1.2.2 de la Memoria) se adjuntan las condiciones de presión en las que se usa cada tipo de equipo impulsor de gases centrífugo.

**Tabla M.5: Caída de presión a la que opera cada equipo de impulsión de gases centrífugo**

Tipo de equipo de impulsión de gas centrífugo	$\Delta P_{seguridad}$ (Pa)
Ventilador	$0 - 1,37 \cdot 10^4$
Soplante	$1,37 \cdot 10^4 - 6,89 \cdot 10^4$
Compresor	$> 6,89 \cdot 10^4$

Calculada la caída de presión y teniendo en cuenta la Tabla M.4, se adjunta en la Tabla A.51 que equipos se han elegido para cada tramo.

**Tabla A.51: Tipo de equipo de impulsión de gas centrífugo elegido**

Tramo	$\Delta P_{seguridad}$ (Pa)	Tipo de equipo de impulsión de gas centrífugo
1	$6,92 \cdot 10^4$	Compresor
2	$6,17 \cdot 10^4$	Soplante
3	$5,77 \cdot 10^4$	Soplante
4	$6,2 \cdot 10^4$	Soplante

#### 4.12.1.3 Potencia del equipamiento

Determinada la presión mínima que tiene que suministrar el equipo para que circule el gas a un determinado caudal y la razón de compresión, se puede estimar la potencia a la que opera el equipo de impulsión de gases. La potencia se calcula de forma distinta para soplantes y compresores.

Según la bibliografía la compresión más usada a nivel industrial es la politrópica. La potencia del compresor (para un proceso politrópico) se estima con [A.93], [A.94], [A.95], [A.96], [A.97] y [A.98].

$$\partial = \frac{C_p}{C_v} \quad [A.93]$$

$$\xi = \frac{\partial - 1}{\partial} \cdot \left( \frac{1}{\frac{\eta_{comp}}{100}} \right) \quad [A.94]$$

$$n = \frac{1}{1 - \xi} \quad [A.95]$$

$$\widehat{W}_{comp} = \frac{n}{n - 1} \cdot \frac{R \cdot T_{gas}}{M_{gas}} \cdot \left( 1,5^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right) \quad [A.96]$$

$$W_{comp} = m_{gas} \cdot \widehat{W}_{comp} \quad [A.97]$$

$$W_{comp\ r} = W_{comp} \cdot \left( \frac{1}{\frac{\eta_{comp}}{100}} \right) \quad [A.98]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $C_p$  : calor específico a presión constante del gas, en J/kg·K<sup>-1</sup>.
- $C_v$  : calor específico a volumen constante del gas, en J/kg·K<sup>-1</sup>.
- $\partial$  : coeficiente de dilatación adiabática.
- $\eta_{comp}$  : rendimiento del compresor, en porcentaje.
- $\xi$  : parámetro de cálculo del índice politrópico.
- $n$  : índice politrópico.
- $\widehat{W}_{comp}$  : potencia másica del compresor en el caso ideal de máximo rendimiento, en watts.
- $W_{comp}$  : potencia del compresor en el caso ideal de máximo rendimiento, en watts.
- $W_{comp\ r}$  : potencia del compresor real, teniendo en cuenta el rendimiento del compresor, en watts.

Para estimar la potencia del compresor se realiza el siguiente procedimiento.

Con el fin de determinar si la compresión debe ser escalonada o con un solo compresor se impulsa el fluido sin necesidad de tener un gasto energético excesivo se utiliza la relación de compresión, definida como ecuación [A.99]. Si este parámetro es menor de 5 solo se necesita de un compresor, por lo que, si se pretende usar un único compresor, se debe cumplir la relación [A.100].

$$r = \frac{P_{1 \text{ seguridad}}}{P_0} \quad [\text{A.99}]$$

$$r < 5 \quad [\text{A.100}]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $r$  : razón de compresión.

En la Tabla A.52 se comprueba que se cumpla [A.100] y se recogen los resultados de [A.93], [A.94], [A.95], [A.96], [A.97], [A.98] y [A.99]. Según la razón de compresión obtenida solo se necesitará de un compresor en el tramo 1.

Tabla A.52: Potencia del compresor

Tramo	$r$	$C_p$ (J/kg·K <sup>-1</sup> )	$C_v$ (J/kg·K <sup>-1</sup> )	$\eta_{comp}$ (%)	$\partial$	$\xi$	$n$	$\bar{W}_{comp}$ (W)	$W_{comp}$ (W)	$W_{comp r}$ (W)
1	1,68	1010	717,2	80	1,4	0,36	1,56	$3,67 \cdot 10^4$	$5,44 \cdot 10^5$	$6,8 \cdot 10^5$

Para los soplantes, la potencia se estima con la ecuación [A.101].

$$W_{soplante r} = \frac{(\Delta P_{seguridad} \cdot Q_{fl} \cdot \rho_f)}{\left(\frac{\eta_{soplante}}{100}\right)} \quad [\text{A.101}]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $\eta_{soplante}$  : rendimiento del soplante, en porcentaje.
- $W_{soplante r}$  : potencia del soplante real, teniendo en cuenta el rendimiento del soplante, en watts.

En la Tabla A.53 se recoge el resultado de aplicar la expresión [A.101].

Tabla A.53: Potencia de los soplantes

Tramo	$\Delta P_{seguridad}$ (Pa)	$Q_{fl}$ (m <sup>3</sup> /s)	$\eta_{soplante}$ (%)	$W_{soplante r}$ (W)
2	$6,17 \cdot 10^4$	21,45	80	$1,14 \cdot 10^6$
3	$5,77 \cdot 10^4$	21,45		$1,1 \cdot 10^6$
4	$6,2 \cdot 10^4$	21,45		$1,19 \cdot 10^6$

Para elegir que modelo de compresor/soplante es el más adecuado para la planta se dispone de un catálogo en el que se cuenta con varios modelos que proporcionan varios caudales. La Tabla A.54 es una tabla extraída del catálogo, la cual recoge varios modelos y sus características.

Según la tabla, el caudal máximo al que puede operar el modelo AATVM 1250 (47.810 m<sup>3</sup>/h) es superior al caudal que debe circular en el tramo 1, 44282,39 m<sup>3</sup>/h (12,3 m<sup>3</sup>/s). Siguiendo el mismo razonamiento, el modelo AATVM 1600 puede proporcionar hasta 77.780 m<sup>3</sup>/h, esto es lo suficiente para suministrar los 77.207,86 m<sup>3</sup>/h (21,45 m<sup>3</sup>/s) que deben circular en los tramos 2, 3 y 4.

Tabla A.54: Elección del modelo de compresor o soplante según el caudal máximo de operación

Code	Model	R.P.M min	R.P.M max	Air flow m <sup>3</sup> /h
5065080_R	AATVM 800	1450	3450	16.970
5065090_R	AATVM 900	1250	3200	23.740
5065100_R	AATVM 1000	1250	3200	35.560
5065112_R	AATVM 1120	1150	2800	41.180
5065125_R	AATVM 1250	1000	2500	47.810
5065140_R	AATVM 1400	900	2000	55.750
5065160_R	AATVM 1600	800	1800	77.780
5065180_R	AATVM 1800	750	1650	90.030
5065200_R	AATVM 2000	650	1350	104.430

Las medidas de los modelos de soplantes y compresor se presentan en la Figura A.24.

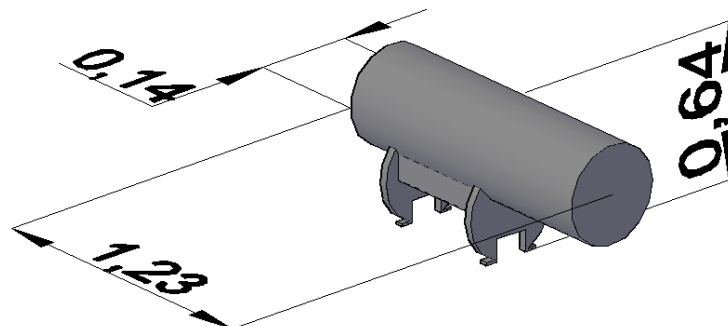


Figura A.24: Modelo 3D del soplante/compresor modelo AATVM 1250 y AATVM 1600 (dimensiones en metros)

#### 4.12.2 Equipos de impulsión de líquidos y suspensiones

##### 4.12.2.1 Presión de impulsión, carga del sistema y carga neta positiva de la bomba

Para estimar la potencia de la bomba en cada tramo se realiza de nuevo un balance de energía para cada caso, donde se obtiene la ecuación para calcular la carga del sistema y la carga neta positiva. En este caso los puntos que se tomarán serán: la salida de la bomba donde se provee de la presión para impulsar el fluido (1), el final de la conducción donde se encuentra el equipo que recibe el fluido transportado (2), el punto de aspiración que está situado en la entrada de la bomba (3) y el punto donde se aspira el fluido situado en el inicio de la conducción (4).

La Figura A.25 representan los puntos mencionados.

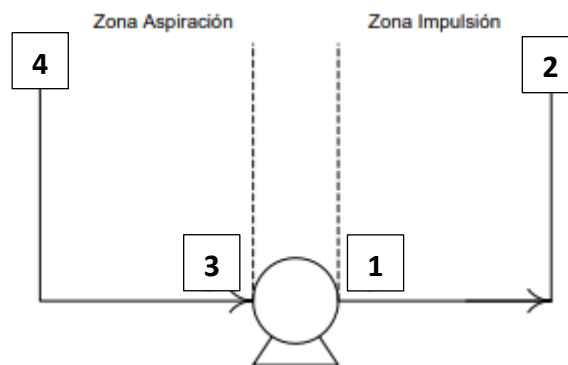


Figura A.25: Puntos de interés en sistema de impulsión de líquidos y suspensiones

Además de calcular la potencia, se tiene que elegir un modelo que pueda tanto, suministrar el caudal necesario, como evitar el fenómeno conocido como cavitación (formación y explosión repentina de burbujas de vapor).

La presión de impulsión tiene que ser lo suficientemente grande para que el líquido pueda ser levantado a una altura igual o mayor a la de la conducción. Para el tramo 5 y 7, una presión de impulsión de 1,5 veces la del final conducto permitirá el transporte del fluido. Se ha determinado que para el tramo 6 (tramo donde se eleva a mayor altura el fluido en comparación con los demás tramos), una presión 5 veces superior a la presión en el final del conducto será suficiente. Esto se expresa como [A.102] y [A.103].

$$\text{Tramo 5 y 7: } P_{1\text{seguridad}} = P_2 \cdot 1,5 \quad [\text{A.102}]$$

$$\text{Tramo 6: } P_{1\text{seguridad}} = P_2 \cdot 5 \quad [\text{A.103}]$$

La velocidad del fluido en el conducto se puede estimar a partir del caudal volumétrico, con [A.104].

$$v_{fl} = \frac{4 \cdot Q_{fl}}{\pi \cdot D_{cond}^2} \quad [A.104]$$

Los tramos tienen los siguientes accidentes:

- Tramo 5: 5 codos y 1 válvula de retención.
- Tramo 6: 3 codos y 1 válvula de retención.
- Tramo 7: 4 codos y 1 válvula de retención.

En la Tabla A.54 se recogen las constantes de rozamiento de los accidentes, extraídas del libro Operaciones básicas de flujo de fluidos de M. D. Rodrigo Carbonell.

**Tabla A.54: Constante de rozamiento de los accidentes**

	<i>k</i>
<b>Codo de 90°</b>	0,75
<b>Válvula de retención de chamela</b>	2

Donde los siguientes términos significan:

- *k* : constante correspondiente a un accidente usada para calcular las pérdidas por el rozamiento del fluido con los accidentes.

Para elegir el modelo de bomba se necesita en primer lugar calcular la presión que tiene suministrar el equipo y la velocidad del fluido, esto se hace con [A.102], [A.103] y [A.104] respectivamente.

La bibliografía (Figura A.26) especifica que la velocidad recomendada de las conducciones depende de la viscosidad del fluido. Para líquidos poco viscosos (agua, benceno, ...) se recomienda 1,2 m/s y viscosos (suspensiones, aceite, ...) 0,15 m/s.



Fluido	Tipo de Flujo	Velocidad	
		ft/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0.5 - 1	0.15 - 0.30
	Entrada de bomba	1 - 3	0.3 - 0.9
	Salida de bomba	4 - 10	1.2 - 3
Líquidos viscosos	Línea de Conducción	4 - 8	1.2 - 2.4
	Entrada de bomba	0.2 - 0.5	0.06 - 0.15
	Salida de bomba	0.5 - 2	0.15 - 0.6
Vapor de Agua		30 - 50	9 - 15
Aire o gas		30 - 100	9 - 30

Figura A.26: Velocidad del fluido recomendada en la conducción según su naturaleza

El diámetro de la conducción se elige acorde a la velocidad recomendada (el diámetro se redondea hacia un valor del catálogo, por lo que la velocidad diferirá un poco de la recomendada). En la Tabla A.55 se recogen los resultados obtenidos de aplicar [A.102], [A.103], [A.92] y [A.104].

Tabla A.55: Caudal volumétrico, diámetro y velocidad de las conducciones

Tramo	$P_2$ (Pa)	$P_{1\text{ seguridad}}$ (Pa)	$m_{fl}$ (kg/s)	$\rho_{fl}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{fl}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{fl\text{ hora}}$ (m <sup>3</sup> /h)	$D_{cond}$ (m)	$v_{fl}$ (m/s)
5	$1,01 \cdot 10^5$	$1,52 \cdot 10^5$	3,24	2510,56	$1,29 \cdot 10^{-3}$	4,65	0,09	0,2
6	$1,01 \cdot 10^5$	$5,07 \cdot 10^5$	3,24	2510,56	$1,29 \cdot 10^{-3}$	4,65	0,09	0,2
7	$1,01 \cdot 10^5$	$1,52 \cdot 10^5$	0,53	1000	$5,3 \cdot 10^{-4}$	1,91	0,035	0,55

Donde los siguientes términos significan:

- $Q_{fl\text{ hora}}$  : caudal volumétrico del fluido, en m<sup>3</sup>/h.

Una vez hecho esto se estima la carga del sistema y la carga neta positiva en aspiración de la que se dispone con [A.105], [A.106], [A.107], [A.108], [A.109] y [A.110].

$$\Delta F_r = 2 \cdot f \cdot v_{fl}^2 \cdot \frac{L_r}{D_{cond}} \quad [A.105]$$

$$\Delta F_{ac} = \Sigma k \cdot \frac{v_{fl}^2}{2} \quad [A.106]$$

$$\Delta F_t = \Delta F_r + \Delta F_{ac} \quad [A.107]$$

$$\Delta F_{asp} = 2 \cdot f \cdot v_{fl}^2 \cdot \frac{L_{asp}}{D_{cond}} \quad [A.108]$$

$$h_s = (z_2 - z_1) + \frac{1}{g} \cdot \left( \frac{P_2 - P_{1 \text{ seguridad}}}{\rho_{fl}} + \frac{v_2^2}{2 \cdot \alpha_1} - \frac{v_1^2}{2 \cdot \alpha_2} + \Delta F_t \right) \quad [A.109]$$

$$NPSH_{disp} = (z_4 - z_3) + \frac{1}{g} \cdot \left( \frac{P_{1 \text{ seguridad}} - P_v}{\rho_{fl}} + \frac{v_1^2}{2 \cdot \alpha_1} - \Delta F_{asp} \right) \quad [A.110]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $\Delta F_r$  : energía pérdida provocada por el rozamiento del fluido con la conducción en los tramos rectos, en watts.
- $\Delta F_{ac}$  : energía pérdida provocada por el rozamiento del fluido con la conducción en los accidentes, en watts.
- $\Delta F_t$  : energía pérdida provocada por el rozamiento en los tramos rectos y accidentes de un tramo, en watts.
- $h_s$  : carga del sistema, diferencia entre las alturas totales de impulsión y de aspiración.
- $L_{asp}$  : longitud del tramo de aspiración (punto 3 al punto 4), en metros.
- $\Delta F_{asp}$  : energía pérdida provocada por el rozamiento del fluido con la conducción en el tramo recto de aspiración situado antes de la bomba, en watts.
- $P_v$  : presión de vapor del agua a la temperatura media de la conducción, en pascales (a 25°C, 3171 Pa).
- $NPSH_{disp}$  : carga neta positiva en aspiración que depende del sistema, en metros.

Los datos y resultados de las ecuaciones [A.85] y [A.86] (donde se obtiene el factor de fricción con el diagrama de Moody), junto con [A.105], se recogen en la Tabla A.56.

**Tabla A.56: Rozamiento en tramos rectos para cada tramo con bomba**

Tramo	$T_{flC}$ (°C)	$T_{flK}$ (K)	$\mu_{fl}$ (Pa·s)	$Re_{fl}$	$\varepsilon/D_{cond}$	$4 \cdot f$	$f$	$\Delta F_r$ (W)
5	20	293	0,1	458	0,0005	—	0,14	72,26
6	20	293	0,1	458	0,0005		0,14	63,23
7	20	293	$8,05 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^4$	0,0013	0,034	0,0085	214,48

Los resultados de las ecuaciones [A.106], [A.107] y [A.109] se recogen en la Tabla A.57.

**Tabla A.57: Rozamiento de accidentes y total; y carga del sistema para cada tramo con bomba**

Tramo	$L_r$ (m)	$\Sigma k$	$\Delta F_{ac}$ (W)	$\Delta F_t$ (W)	$h_s$ (m)
5	40	5,75	0,12	72,38	6,44
6	35	4,25	0,09	63,31	30,93
7	40	5	0,79	215,24	30,13

Por último, con [A.108] y [A.110] se confecciona la Tabla A.58.

**Tabla A.58: Carga neta positiva para cada bomba**

Tramo	$L_{asp}$ (m)	$\Delta F_{asp}$ (W)	$z_1 - z_3$ (m)	$P_v$ (Pa)	$NPSH_{disp}$ (m)
5	0,1	0,18	0	3171	6,03
6	0,1	0,18	0	3171	20,45
7	0,1	0,54	-1,5	3171	8,48

#### 4.12.2.2 Elección del tipo de equipo

Como se ha visto en el apartado 5.5.2.2 de la Memoria, las bombas se clasifican según su velocidad específica (Tabla M.3).

**Tabla M.3: Velocidad específica según el tipo de bomba**

Tipo de bomba	$N_s$
Desplazamiento positivo	0 - 300
Centrífuga	300 - 2500
Helicentrífuga	2500 - 10000
Axial	10000 - 30000

Donde los siguientes términos significan:

- $N_s$  : velocidad específica.

El peso específico y los metros de columna se calculan con [A.111] y [A.112] respectivamente.

$$\gamma = \rho_{fl} \cdot g \quad [A.111]$$

$$H_m = \frac{P_{1\text{ seguridad}} - P_2}{\gamma} \quad [A.112]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $g$  : aceleración gravitatoria (9,8 m/s<sup>2</sup>).
- $\gamma$  : peso específico, en N/m<sup>3</sup>.
- $H_m$  : columna de fluido, en metros.

Con las ecuaciones [A.111] y [A.112] se obtiene la Tabla A.59.

Tabla A.59: Columna de fluido para cada tramo

Tramo	$g$ (m/s <sup>2</sup> )	$\gamma$ (N/m <sup>3</sup> )	$H_m$ (m)
5	9,8	$2,46 \cdot 10^4$	2,06
6		$2,46 \cdot 10^4$	16,49
7		$9,80 \cdot 10^3$	5,17

La Figura M.48 permite obtener la velocidad de rotación de la bomba.

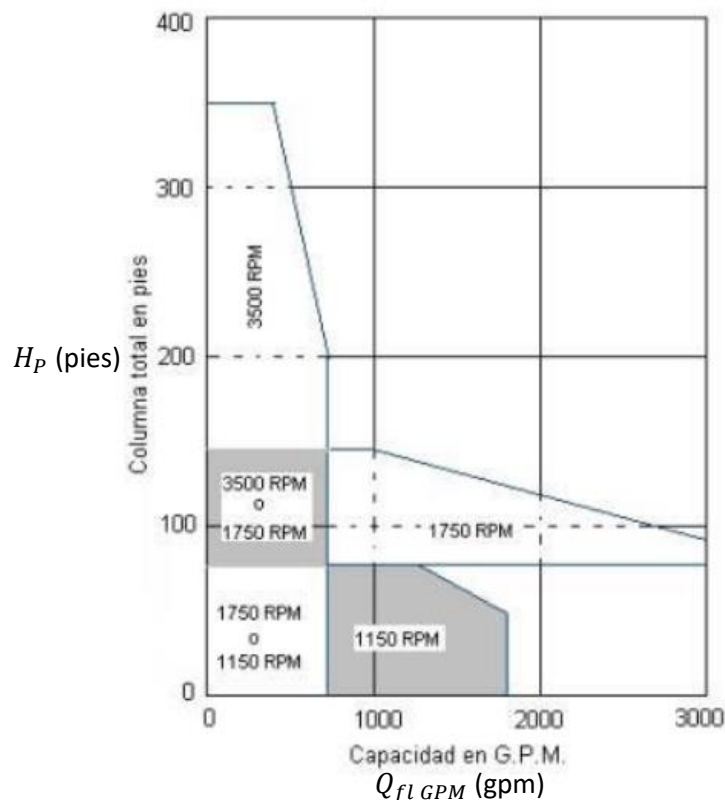


Figura M.48: Velocidad de rotación ( $\tau$ ) en función del caudal y la columna de fluido

La velocidad específica de la bomba se estima con [A.124].

$$N_s = \tau \cdot \frac{\sqrt{Q_{fl\ GPM}}}{H_p^{\frac{3}{4}}} \quad [A.113]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $\tau$  : velocidad de rotación de bomba, en rpm.
- $Q_{fl\ GPM}$  : caudal volumétrico, en gpm.
- $H_p$  : columna de fluido, en pies.

En la Tabla A.60 se recogen los valores de velocidad de rotación obtenidos de la Figura M.48, la columna agua en pies y el caudal en galones por minuto (cambio de unidades de los datos de la Tabla A.59). También se adjunta la velocidad específica, calculada a partir de [A.113], y se elige el tipo de bomba usando como referencia la Tabla M.2.

**Tabla A.60: Tipo de equipamiento para impulsión de líquidos o suspensiones**

Tramo	$H_p$ (pies)	$Q_{fl\ GPM}$ (gpm)	$\tau$ (rpm)	$N_s$	Tipo de bomba
5	6,76	20,45	1150	1240,79	Centrífuga
6	54,1	20,45	1150	260,71	Desplazamiento positivo
7	16,96	8,4	1150	398,76	Centrífuga

Según la bibliografía, para impulsar la suspensión a una presión media (rango de 2,5 a 30 atm aproximadamente), el tipo de bomba de desplazamiento positivo que se usa en estos casos es la bomba de pistón. Esta permite transportar la suspensión sin riesgo de que el sistema sufra un gran desgaste debido a la alta viscosidad o las partículas sólidas de la suspensión. Por lo tanto, el tramo 6 contará con una bomba de pistón. Los tramos 5 y 7 usarán bombas centrífugas.

#### 4.12.2.3 Cavitación y potencia del equipamiento

La curva NPSH es más relevante para las bombas centrífugas y menos relevante para las bombas de desplazamiento positivo, puesto que estas tienen menos probabilidades de operar en condiciones que propician la cavitación.

Según la bibliografía, para asegurar que las bombas de desplazamiento positivo no caviten, es suficiente con tener un NPSH positivo y que la presión de admisión (en este proyecto es igual a la presión de impulsión,  $P_{1\text{seguridad}}$ ) sea mayor a la presión de vapor ( $P_v$ ). Revisando estos valores (presentes en las tablas A.55, A.58 y A.59) se corrobora que se cumple con ambos requisitos y se concluye que para el tramo 6 no hay cavitación. Así mismo se elige el modelo de bomba, que permita suministrar el caudal necesario para este tramo, siendo el PPB110 el idóneo.

Para comprobar que la bomba centrífuga, en el tramo 7, no opera en condiciones de cavitación se precisa de las curvas características del modelo de bomba. En la Figura A.28 se puede observar las curvas características, numeradas del 1 al 5, indicando las posiciones del rodete. Las curvas en la parte superior son las correspondientes a la carga de la bomba ( $h_b$ ), las del medio son la potencia de la bomba ( $P_{bomba\ r}$ ) y las de la parte inferior corresponden a la carga neta positiva en aspiración requerida, la cual depende de la bomba ( $NPSH_{req}$ ).

En este caso se ha elegido el modelo C-200/330 como candidato para ser utilizado en la planta. En la misma Figura A.27 se corrobora, a través de las curvas características, si su funcionamiento será el adecuado en las condiciones a las que se opera. A continuación, se detalla el procedimiento que se ha seguido.

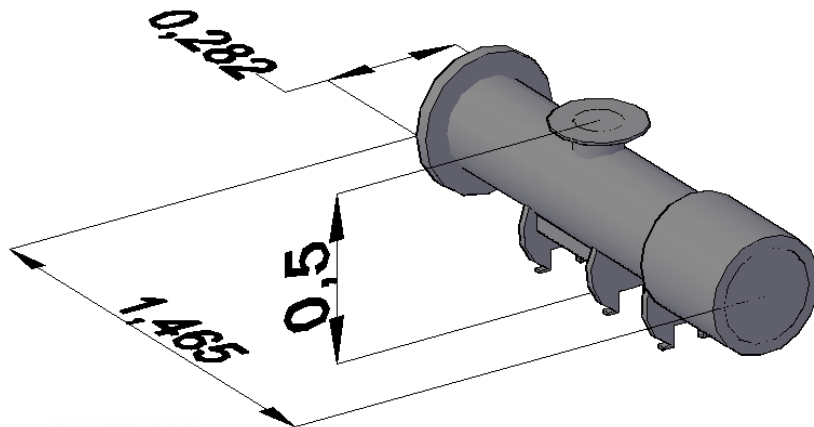


Figura A.26: Modelo 3D de bomba PPB110 y C-200/330 (dimensiones en metros)

Con las curvas características y el cálculo de la carga del sistema ( $h_s$ ) de la Tabla A.57, junto con la carga neta positiva en aspiración del sistema ( $NPSH_{disp}$ ) de la Tabla A.58, es posible saber si la bomba podrá suministrar el caudal que se pretende y si se dará el fenómeno de cavitación.

Realizando los cortes (líneas discontinuas) en la Figura A.27 se puede ver como se obtiene la línea marrón que delimita el máximo caudal que se puede suministrar para el tramo 7. De la misma forma, la línea verde delimita para que valores de caudal no se da la cavitación. Como el caudal suministrado en el tramo 7 ( $Q_{fl\ hora\ 7}$ ) extraído de la Tabla A.55 se encuentra tanto en la zona de caudal que puede ser suministrado como en la zona de no cavitación se puede concluir que el modelo elegido podrá operar de forma correcta. Por otra parte, se obtiene otro corte en la parte media de la figura (línea lila discontinua), donde se estima la potencia a la que opera la bomba ( $W_{bomba\ r\ 7}$ ) según el caudal que suministra.

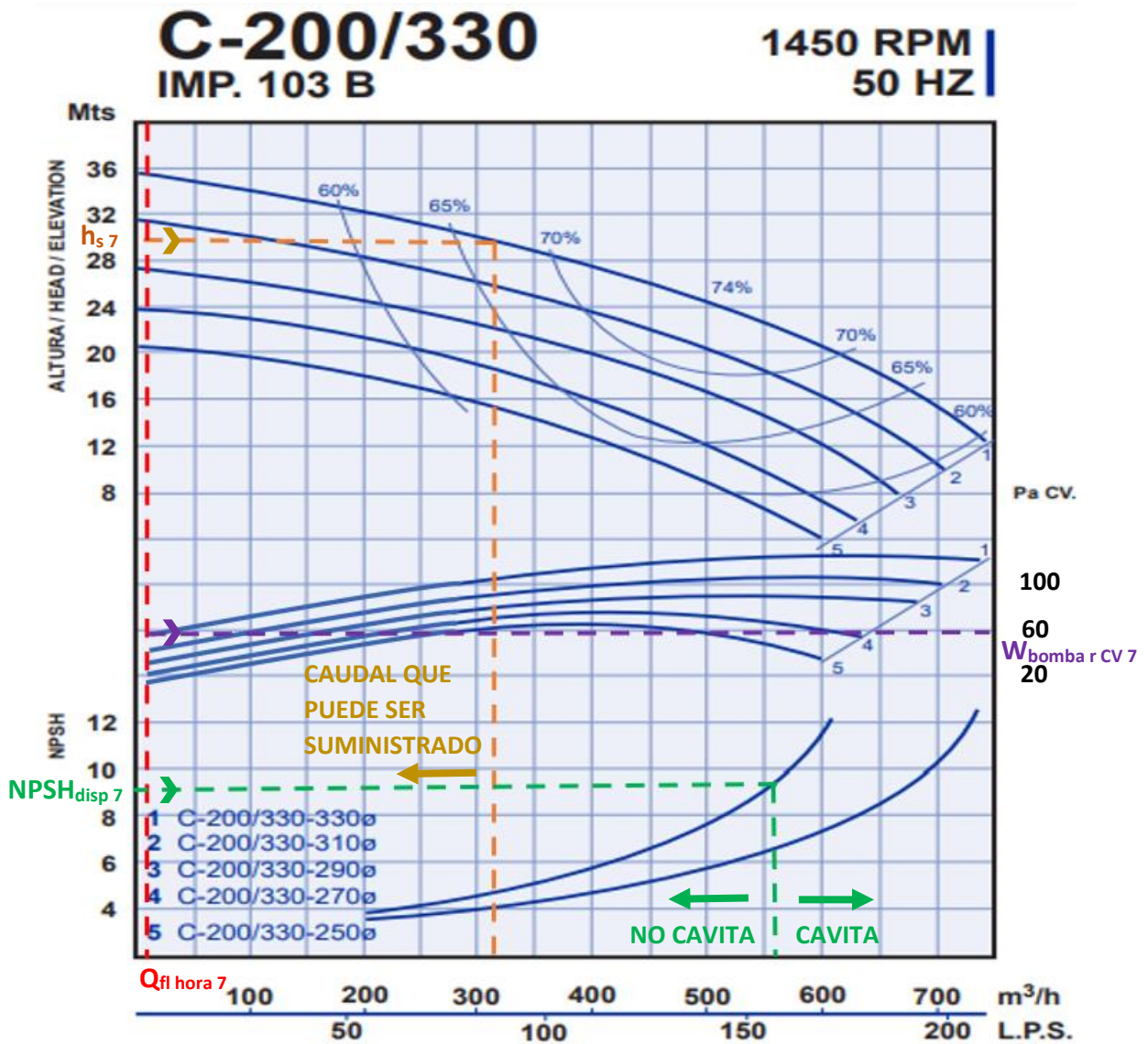


Figura A.27: Curvas características de C-200/330, caudal máximo y potencia de bomba para el tramo 7

Como se puede ver en la Figura A.27, el caudal suministrado es menor al caudal máximo que puede suministrar la bomba y al caudal máximo con el que se evita la cavitación. Por lo que se puede concluir que el modelo C-200/330 opera sin ningún problema en condiciones del tramo 7.

En la Figura A.38 se realiza el mismo procedimiento para el tramo 5.

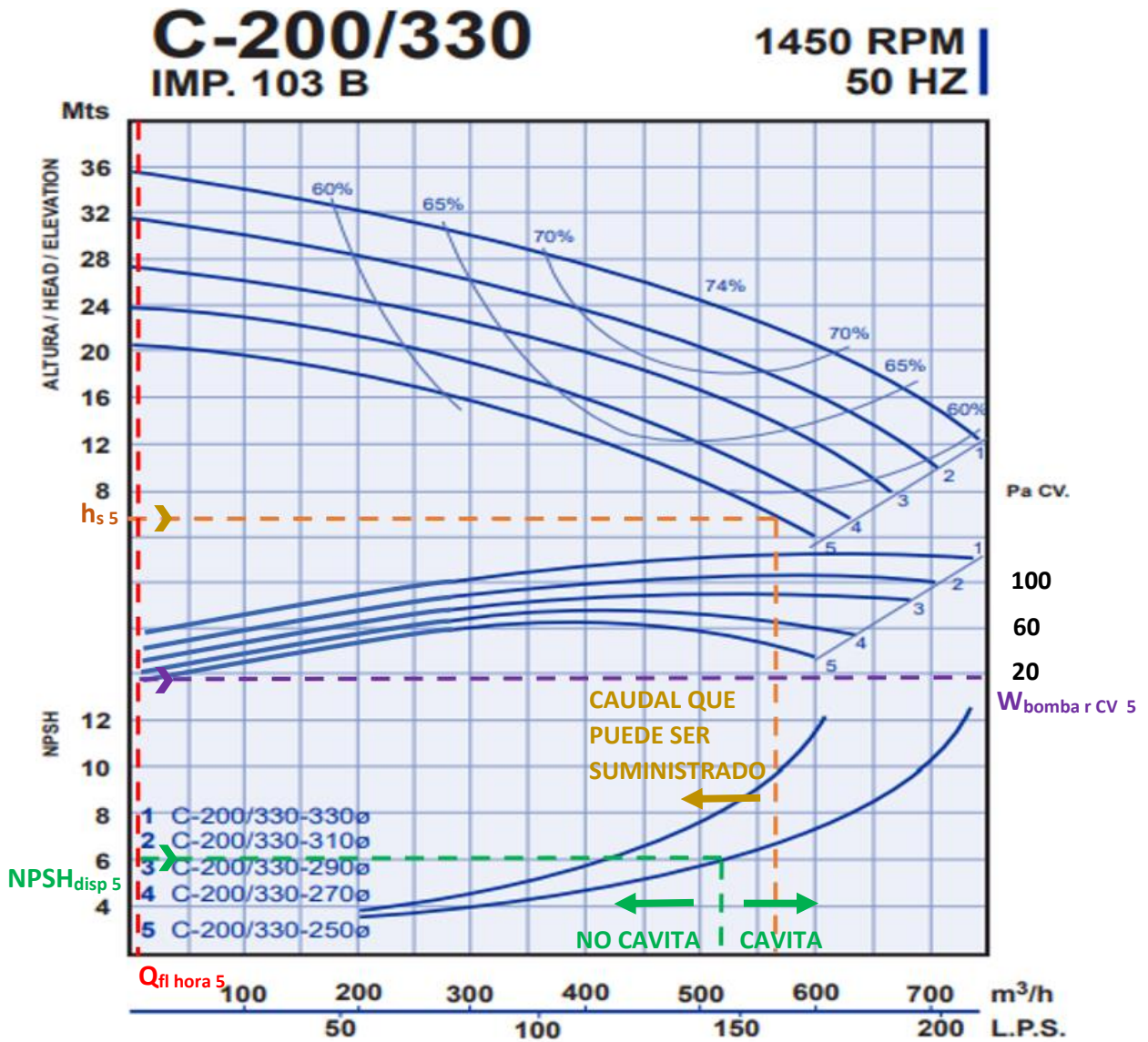


Figura A.28: Curvas características de C-200/330, caudal máximo, potencia de bomba para el tramo 5

Con la Figura A.28 se concluye que la bomba del modelo C-200/330 puede operar en las condiciones del tramo 5.

Las bombas centrífugas medianas y grandes ofrecen eficiencias de 75 a 93%, mientras que las más pequeñas generalmente caen dentro del rango de 50 a 70%. Como se puede apreciar, en las curvas de la parte superior de las Figuras A.27 y A.28, las bombas operan aproximadamente a un 53% de su eficiencia. Dado que 74% es la máxima eficiencia con la cual puede operar el modelo C-200/330, se puede afirmar que la bomba elegida del catálogo es pequeña, por lo que las eficiencias a las que operan las bombas en el tramo 5 y 7 se encuentran dentro de su rango de operación.

Las bombas operan a una eficiencia bastante baja dado que el catálogo del que se dispone ofrece bombas que operan a caudales bastante más altos a los de los tramos 5 y 7.



Las potencias de las bombas centrífugas (obtenidas gráficamente en las figuras A.27 y A.28) y la bomba de pistón (dato extraído del catálogo) se adjuntan en la Tabla A.61.

Tabla A.61: Potencia de cada bomba

Tramo	$W_{bomba\ r\ CV}$ (CV)	$W_{bomba\ r}$ (W)
5	20	19914
6	-	11000
7	60	44742

Donde los siguientes términos significan:

- $W_{bomba\ r\ CV}$  : potencia de la bomba, en CV.
- $W_{bomba\ r}$  : potencia de la bomba, en W.

#### 4.12.3 Espesor de tuberías

Para adecuar el diseño a la norma UNE-EN 13480-3, se determina el espesor mínimo de conducción, mediante la ecuación [A.114]:

$$e_{\text{mínimo}} = \frac{P_c \cdot D_{\text{cond mm}}}{2 \cdot i \cdot z + P_c} \quad [\text{A.114}]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $P_c$  : presión a la que opera la tubería, en megapascales.
- $D_{\text{cond mm}}$  : diámetro externo del tubo, en milímetros.
- $i$  : tensión de diseño.
- $z$  : coeficiente de unión que toma el valor de 0,7 si se asume la situación menos favorable.
- $e_{\text{mínimo}}$  : mínimo espesor que debe tener la tubería para que no se provoquen fugas, en milímetros.

La tensión de diseño se determina mediante la ecuación [A.115].

$$i = \text{mínimo} \left( \frac{\text{Límite de fluencia}}{1,5}, \frac{\text{Resistencia a la tracción}}{2,4} \right) \quad [\text{A.115}]$$

El límite de fluencia depende de la temperatura y se obtiene de unos valores tabulados extraídos de la bibliografía. La resistencia a la tracción depende del material que conforma la conducción (460, valor común para el acero inoxidable AISI 304 L). Estos valores se recogen en la Tabla A.62.

La mayor parte del tramo 1 circula aire a 20 °C, aunque unos pocos metros antes del atomizador, el quemador calienta el fluido hasta los 190 °C. En este apartado, por motivos de seguridad, se van a estimar el espesor del tramo 1 para que opere a 190 °C. De esta forma se evitan soldaduras y diferencias de espesor en la conducción, que podrían dar lugar a fugas debido al detrimento de las instalaciones.

Tabla A.62: Límite de fluencia para cada tramo

Tramo	$T_{seguridad}$ (°C)	Límite de fluencia	Resistencia a la tracción	Límite de fluencia/1,5	Resistencia a la tracción/2,4
1	190	157	460	104,67	191,67
2	60	190		126,66	
4					
5	20	200		133,33	
6					
7					

Donde los siguientes términos significan:

- $T_{seguridad}$  : temperatura de la conducción que se asume por seguridad para estimar el espesor de tubería, en Celsius.

Los datos y resultados de las ecuaciones [A.114] y [A.115] se adjuntan en la Tabla A.63. El tramo 3 no se encuentra en la tabla ya que no es una conducción en sí, sino ciclones previamente ya diseñados para resistir las condiciones de operación.

Tabla A.63: Espesor mínimo para cada tubería

Tramo	$P_{1seguridad}$ (Pa)	$D_{cond}$ (m)	$P_c$ (MPa)	$D_{cond\ mm}$ (mm)	$i$	$z$	$e_{mínimo}$ (mm)
1	$1,7 \cdot 10^5$	0,67	0,17	670	104,67	0,7	0,77
2	$1,63 \cdot 10^5$	0,9	0,16	900	126,66		0,8
4	$1,64 \cdot 10^5$	0,9	0,16	900			
5	$1,52 \cdot 10^5$	0,09	0,15	80	133,33		0,07
6	$5,07 \cdot 10^5$	0,09	0,51	90			0,24
7	$1,52 \cdot 10^5$	0,035	0,15	60			0,02

El espesor de la tubería (conocido como espesor ordinario), necesario para prevenir posibles fugas en el conducto, se estima con [A.116].

$$e_{\text{ordinario mm}} = e_{\text{mínimo}} + c_0 + c_1 + c_2 \quad [\text{A.116}]$$

Donde los siguientes términos significan:

- $c_0$  : corrosión de la tubería (según el fabricante se corresponde a 1).
- $c_1$  : tolerancia de fabricación de la tubería (la tolerancia de la tubería es de  $\pm 1$ , por lo que toma el valor de 1).
- $c_2$ : margen de adelgazamiento (se toma 0 como valor de margen, que es el valor definido para tuberías rectas).
- $e_{\text{ordinario mm}}$ : espesor mínimo que debe tener la tubería para que evitar fugas, en milímetros.
- $e_{\text{ordinario m}}$ : espesor mínimo que debe tener la tubería para que evitar fugas, en metros.

La Tabla A.64 presenta los datos conocidos y resultados de aplicar [A.116].

Tabla A.64: Espesor ordinario de cada tubería

Tramo	$c_0$ (mm)	$c_1$ (mm)	$c_2$ (mm)	$e_{\text{ordinario mm}}$ (mm)	$e_{\text{ordinario m}}$ (m)
1	1	1	0	2,77	$2,78 \cdot 10^{-3}$
2				2,83	$2,83 \cdot 10^{-3}$
4				2,83	$2,83 \cdot 10^{-3}$
5				2,07	$2,07 \cdot 10^{-3}$
6				2,25	$2,25 \cdot 10^{-3}$
7				2,02	$2,02 \cdot 10^{-3}$

Redondeando el espesor de las tuberías calculado a una medida del catálogo se obtiene que el espesor de tubería en todos los tramos es de 3 mm.

## 5. Anexo 5. Ábaco de Moody

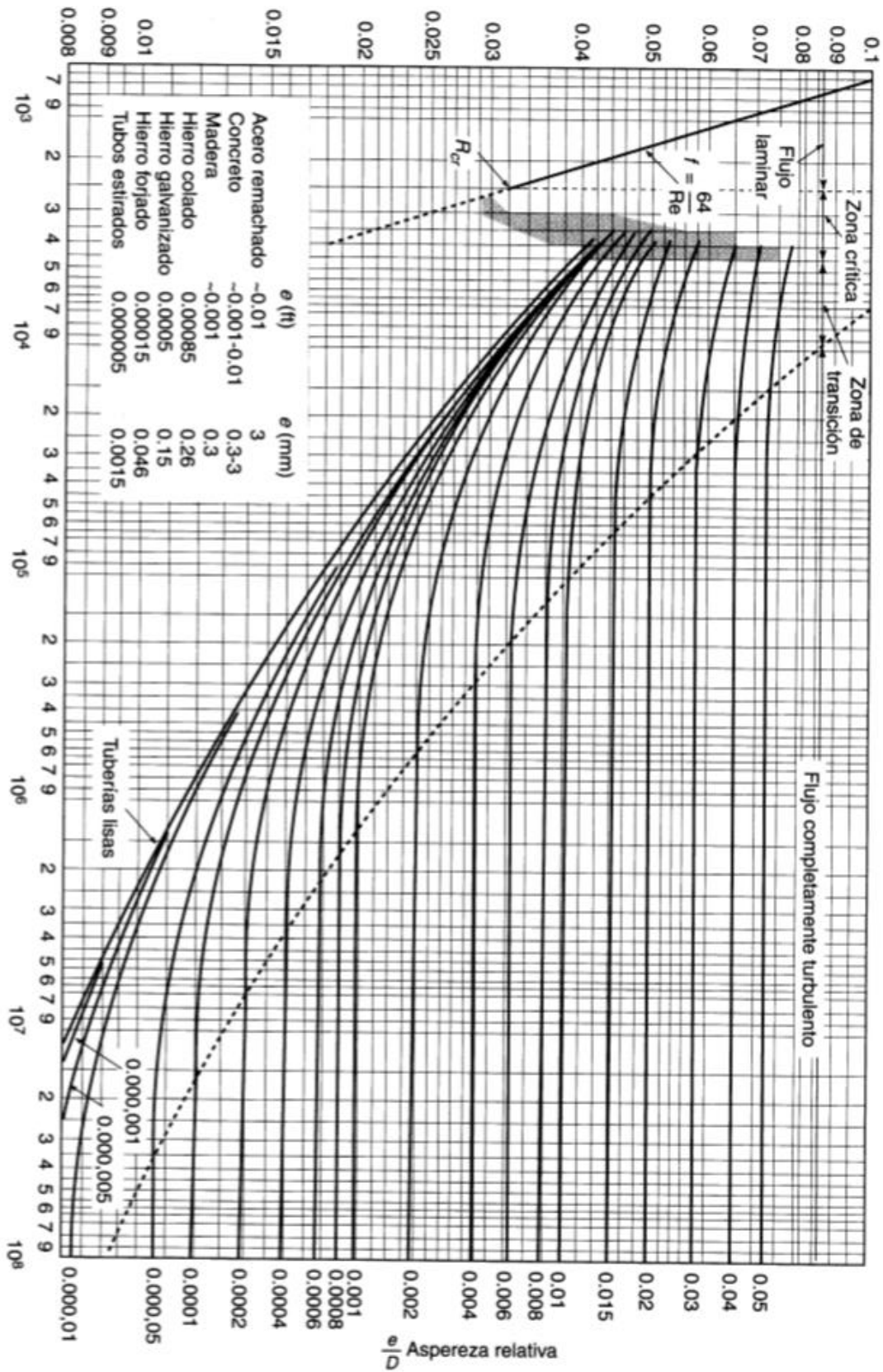





















Figura A.1: ábaco de Moody

6. Anexo 6. Tabla de longitudes equivalentes de accidentes

Largos equivalentes para pérdidas de carga localizadas. (Expresado en metros de tubería recta)\*

DIAMETRO D																					
	mm	pulg																			
13	½	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,4	0,1	4,9	2,6	0,3	1,0	1,0	3,6	0,4	1,1	1,6
19	¾	0,4	0,6	0,7	0,3	0,3	0,4	0,2	0,3	0,3	0,5	0,1	6,7	3,6	0,4	1,4	1,4	5,6	0,5	1,6	2,4
25	1	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3	0,5	0,2	0,3	0,3	0,7	0,2	8,2	4,6	0,5	1,7	1,7	7,3	0,7	2,1	3,2
32	1¼	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4	0,6	0,3	0,4	0,4	0,9	0,2	11,3	5,6	0,7	2,3	2,3	10,0	0,9	2,7	4,0
38	1½	0,9	1,1	1,3	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5	0,5	1,0	0,3	13,4	6,7	0,9	2,8	2,8	11,6	1,0	3,2	4,8
50	2	1,1	1,4	1,7	0,8	0,6	0,9	0,4	0,7	0,7	1,5	0,4	17,4	8,5	1,1	3,5	3,5	14,0	1,5	4,2	6,4
63	2½	1,3	1,7	2,0	0,9	0,8	1,0	0,5	0,9	0,9	1,9	0,4	21,0	10,0	1,3	4,3	4,3	17,0	1,9	5,2	8,1
75	3	1,6	2,1	2,5	1,2	1,0	1,3	0,6	1,1	1,1	2,2	0,5	26,0	13,0	1,6	5,2	5,2	20,0	2,2	6,3	9,7
100	4	2,1	2,8	3,4	1,3	1,3	1,6	0,7	1,6	1,6	3,2	0,7	34,0	17,0	2,1	6,7	6,7	23,0	3,2	6,4	12,9
125	5	2,7	3,7	4,2	1,9	1,6	2,1	0,9	2,0	2,0	4,0	0,9	43,0	21,0	2,7	8,4	8,4	30,0	4,0	10,4	16,1
150	6	3,4	4,3	4,9	2,3	1,9	2,5	1,1	2,5	2,5	5,0	1,1	51,0	26,0	3,4	10,0	10,0	39,0	5,0	12,5	19,3
200	8	4,3	5,5	6,4	3,0	2,4	3,3	1,5	3,5	3,5	6,0	1,4	67,0	34,0	4,3	13,0	13,0	52,0	6,0	16,0	25,0
250	10	5,5	6,7	7,9	3,8	3,0	4,1	1,8	4,5	4,5	7,5	1,7	85,0	43,0	5,5	16,0	16,0	65,0	7,5	20,0	32,0
300	12	6,1	7,9	9,5	4,6	3,6	4,8	2,2	5,5	5,5	9,0	2,1	102,0	51,0	6,1	19,0	19,0	78,0	9,0	24,0	38,0
350	14	7,3	9,5	10,5	5,3	4,4	5,4	2,5	6,2	6,2	11,0	2,4	120,0	60,0	7,3	22,0	22,0	90,0	11,0	28,0	45,0

Los valores indicados para válvulas de globo, también se aplican a grifos, válvulas de duchas y válvulas de descarga.

Figura A.2: tabla de longitudes equivalentes de accidentes

## 7. Anexo 7. Estudios con entidad propia

### 7.1 Ley de prevención de riesgos laborales

Este proyecto cumple la normativa de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales. Publicado en: BOE num. 269, del 10/11/1995.

### 7.2 Impacto ambiental en la industria

En EIA, la Comunidad Valenciana aplica la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental; como legislación básica, junto con la Ley 2/89, de Impacto Ambiental y su reglamento (decreto 162/90) y la Ley 6/14, de Prevención, Calidad y Control de Actividades.

## 8. Anexo 8. Catálogos

### 8.1 Silos de almacenamiento y descarga de materias primas

#### Silos elevados



Están concebidos para el almacenamiento de cereales, semillas, leguminosas, pellets y otros productos que requieren condiciones especiales de almacenamiento. El producto almacenado queda aislado del suelo, evitando de esta forma la humedad y aminorando la rotura del grano.



Con este tipo de silo además del ahorro económico que supone no necesitar barredora se simplifican los trabajos de cimentación, lo cual reduce el coste de la obra civil y agiliza las tareas de montaje considerablemente.

Nuestra gama de silos elevados abarca capacidades que van desde los 43 m<sup>3</sup> hasta los 2.016 m<sup>3</sup> y con diámetros que van desde 3.82 a 10.70 m.

## Detalles técnicos de los silos elevados

### Su estructura soporte,

formada por columnas de perfiles estructurales galvanizadas en caliente y arriostradas entre ellas por perfiles laminados, garantizan una gran resistencia del silo frente a acciones externas.



Para facilitar el montaje, el silo se suministra con anclajes químicos, pudiendo instalarse una vez que el silo está completamente ensamblado, evitando problemas en la ejecución de la obra civil.



### Conos / inclinaciones

Para una correcta descarga del silo y garantizar su limpieza tras cada descarga, se pueden suministrar los conos con inclinación de 45° y 60°. El diseño de nuestros conos es especialmente cuidadoso en este sentido evitando cualquier punto de acumulación de material que pudiera contaminar el producto en posteriores usos.

Las dimensiones de la boca de salida del silo varían entre Ø270 a Ø1200 mm, completándose con una amplia gama de accesorios para ajustar las dimensiones de salida a sus necesidades.

La altura libre entre la descarga del silo y el suelo puede ser de 1 o 1.5 m, en función de lo que cada instalación requiera, pudiéndose particularizar esta altura según demanda.



## Accesorios de silos elevados



### Ventilación de silos elevados

Los conductos interiores de ventilación del silo están formados por cilindros metálicos perforados de alta resistencia. Su número y posición en el cono del silo garantizan la distribución uniforme del aire en la masa de grano almacenado. El diseño de estos conductos ofrece una mínima fricción del grano durante la descarga, disminuyendo las tensiones en el cono del silo y la acumulación de cereal durante la descarga.



### Ventilación contracono / Flujo Másico

Para satisfacer las necesidades de nuestros clientes nuestro equipo técnico ha desarrollado un sistema de descarga FLOW MASS, el cual consiste en un cono central invertido respecto al cono del silo que consigue evitar la formación de canales preferentes de descarga donde sus paredes y la apertura lateral han sido concebidas para compensar los flujos de masa al mismo tiempo que favorece un reparto equilibrado del aire insuflado.

El **fondo vibrante** facilita la descarga de productos almacenados en silos elevados de difícil flujo, tipo harinosos, adormidera granulada, conchilla, carbonato, etc. Recomendable para silos con cono a 60°, cuyo cono se refuerza para adaptarse a la vibración. Está disponible en distintos diámetros y lo adaptamos a diferentes dimensiones de boca de salida del silo.

## Modelos de silos elevados

### Silos elevados a 45°

Modelos	Número de virolas		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Altura cilindro		4,58	5,72	6,86	8,01	9,15	10,30	11,44	12,58	13,73	14,87	16,02	17,16	18,30
	Altura techo	Altura columna 1 m													
4,58	1,26	3,00	95	114	133	151	170	189	208	226	245	264	283	302	320
5,35	1,60	3,60	134	160	185	211	237	262	288	314	339	365	390	416	442
6,11	1,77	3,90	181	214	248	281	314	348	381	415	448	482	515	548	582
6,88	2,08	4,30	237	279	322	364	406	449	491	534	576	618	661	703	745
7,64	2,20	4,60	301	353	406	458	510	562	615	667	719	771	824	876	928
8,40	2,41	5,00	375	438	501	565	628	691	754	817	881	944	1.007	1.070	1.133
9,17	2,64	5,50	460	536	611	686	762	837	912	987	1.063	1.138	1.213	1.289	1.364
10,70	3,11	6,30	663	765	868	971	1.073	1.176	1.278	1.380	1.483	1.585	1.688	1.790	1.893

### Silos elevados a 60°

Modelos	Número de virolas		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Altura cilindro		2,29	3,43	4,58	5,72	6,86	8,01	9,15	10,30	11,44	12,58	13,73	14,87	16,02	17,16	18,30
	Altura techo	Altura columna 1 m															
3,50	1,01	3,60	32	42	52	64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,82	1,03	4,00	-	-	69	82	95	108	121	135	148	-	-	-	-	-	-
4,58	1,26	4,30	-	-	104	123	142	161	180	199	217	236	255	274	293	312	330
5,35	1,60	5,00	-	-	149	175	200	226	252	278	303	329	355	380	406	432	458
6,11	1,77	5,60	-	-	203	237	270	304	337	371	404	438	471	505	538	572	605
6,88	2,08	6,30	-	-	268	311	353	396	439	481	524	566	609	651	694	736	779
7,64	2,20	7,00	-	-	344	397	449	502	554	607	659	712	764	816	869	921	974
8,40	2,41	7,60	-	-	433	496	559	623	686	750	813	876	940	1.003	1.067	1.130	1.193
9,17	2,64	8,30	-	-	535	611	686	762	837	913	988	1.064	1.140	1.215	1.291	1.366	1.442
10,70	3,11	9,70	-	-	782	885	987	1.090	1.193	1.296	1.399	1.502	1.605	1.707	1.810	1.913	2.016

Las capacidades son aproximadas y están expresadas en m<sup>3</sup>

La altura total del silo se obtendrá de sumar la altura de techo + altura cilindro + altura columna (altura columna = altura del suelo a la 1ª virola).  
La altura libre (altura del suelo a la boca del silo) puede ser de 1 m o 1,5 m pudiéndose particularizar esta altura según demanda.

## Silos carga a granel



Los silos de carga a granel sobre estructura están concebidos para el almacenamiento y posterior expedición de productos a granel como granulados, harinas, etc...



Para instalaciones tipo agrícola, fábricas de pienso o harinas, la gama de silos disponibles va desde 2.55 m de diámetro hasta 4.58 m y con capacidades desde 11 m<sup>3</sup> hasta 200 m<sup>3</sup>.



Para instalaciones industriales con silos para expedición a camión o a ferrocarril, recomendamos silos a partir de 4.58 m de diámetro y con capacidades desde 80 a 400 m<sup>3</sup>, bajo petición.

20 **Silos carga a granel**

## Detalles técnicos de los silos carga a granel



Diseñamos y fabricamos silos de expedición con **estructura soporte** para paso de camión o tren. Esta estructura está formada por perfiles de nudos rígidos laminados en doble T y construida en acero S275JR galvanizado en caliente. La altura estándar de la boca de salida del silo al suelo es de 4500 mm con posibilidad de adaptarnos a las necesidades del cliente.



### Opciones

Disponibles en diferentes matrices, desde un silo independiente hasta matrices en diferentes disposiciones para satisfacer la necesidad de su instalación, con opción de añadir plataforma de mantenimiento

y acceso a la boca de descarga del silo. Opcionalmente, ofrecemos posibilidad de cerramiento lateral y superior y también la de añadir un sistema de pesaje mediante células de carga en la estructura.

Silos carga a granel 21

## Modelos de silos carga a granel

Modelos	Número de virolas		1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Altura silos										
Diámetro (m)	Altura estructura expedición		2,55	3,79	4,99	6,21	7,45	8,65	9,89	11,11	12,34
	Camión	Tren									
2,55	7,10	7,40	11	17	22	27	-	-	-	-	-
3,82	7,20	7,50	-	39	52	65	78	91	104	117	130
4,58	7,80	8,10	-	59	78	97	116	135	154	173	192

Las capacidades son aproximadas y están expresadas en m<sup>3</sup>.



## 8.2 Desleidora

### Turbine-mixers

TDT series turbine-mixers for the grinding of ceramic raw materials consist of a cylindrical tank made of thick electro-welded sheet steel with rotor, fixed disperser and an internal cylinder lining made of special wear-resistant steel.  
The drive transmission unit consists of an electric motor, hydraulic coupling and transmission belts connected to a speed reducer; the rotor shaft is attached to the reducer end shaft.

### Turbodissolutori

I turbodissolutori per la macinazione di materie prime ceramiche della Serie TDT sono costituiti da una vasca cilindrica in lamiera di acciaio di grosso spessore elettrosaldata con girante, dispersore fisso e corazza interna al cilindro realizzati in acciaio antiusura. Il gruppo di trasmissione del moto è costituito da motore elettrico, giunto idraulico e cinghie di trasmissione collegate ad un riduttore di velocità, sul cui albero di uscita viene fissato l'albero della girante.

### Turbodiluidores

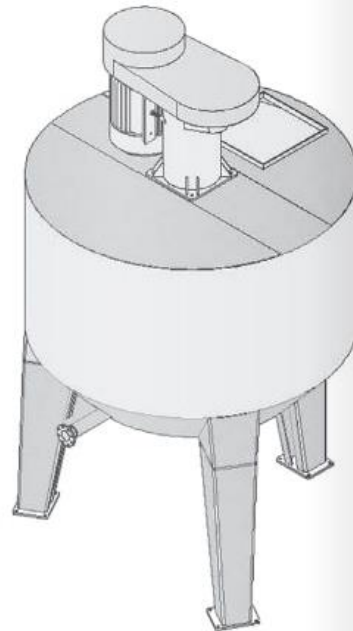
Los turbodiluidores para la molienda de materias primas cerámicas de la Serie TDT están compuestos por un depósito cilíndrico de chapa de acero electrosoldada de grueso espesor con rotor, dispersor fijo y coraza interna al cilindro realizados con acero anti-desgaste.  
El grupo de transmisión del movimiento está compuesto por motor eléctrico, junta hidráulica y correas de transmisión conectadas a un reductor de velocidad, sobre cuyo eje de salida se fija el eje del rotor.

#### TECHNICAL CHARACTERISTICS

#### DATI TECNICI

#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

		TDT 003	TDT 006	TDT 010	TDT 016
Width Larghezza Longitud	mm	2100	2600	3100	3700
Height Altezza Altura	mm	4480	5100	5240	5850
Diameter Diámetro Diámetro	mm	1900	2400	3000	3600
Motor power Potenza motore Potencia motor	kW	37	45	75	90
Speed Velocità Velocidad	r.p.m.	160	140	110	90
D. Turbine D. turbina Diámetro turbina	mm	900	1100	1300	1500
Effective capacity Capacità utile Capacidad útil	m <sup>3</sup>	3	6	10	16
Weight Peso Peso	kg	2800	3900	7200	9000
Weight when fully loaded Peso a pieno carico Peso a plena carga	kg	8000	14500	25000	37000



### 8.3 Agitadores mecánicos

# TDT

Turbine-mixers  
Turbodissolutori  
Turbodiluidores

TDT turbo-mixers for the blunging of ceramic raw materials consist of a cylindrical tank made of thick electro-welded sheet steel with a rotor, fixed disperser and an internal cylinder lining made of special wear-resistant steel. The drive transmission unit consists of an electric motor and a parallel-axes reducer that is designed to withstand the axial and radial loads. The shaft to which the mobile rotor is attached is fixed on the reducer via a rigid coupling. The machine also features, as an optional, start up and speed control by way of an inverter-equipped control panel.

Los turbodiluidores TDT para disolver materias primas cerámicas están constituido por un depósito cilíndrico de chapa de acero electrosoldada, con rotor, dispersor fijo y coraza en el interior del cilindro de acero antidesgaste. El grupo de transmisión del movimiento está constituido por

I turbodissolutori TDT per la scioglitura di materie prime ceramiche sono costituiti da una vasca cilindrica in lamiera di acciaio elettrosaldata, con girante, dispersore fisso e corazza interna al cilindro in acciaio antiusura. Il gruppo di trasmissione del moto è costituito da un motore elettrico ed un riduttore ad assi paralleli idoneo per supportare i carichi assiali e radiali. Mediante un giunto rigido, sul riduttore viene fissato l'albero su cui è montata la girante mobile. La macchina prevede come optional l'avviamento e la regolazione della velocità con un quadro elettrico ad inverter.

un motor eléctrico y un reductor de ejes paralelos, adecuado para soportar cargas axiales y radiales. En el reductor se fija, mediante una unión rígida, el eje en el cual se monta el rotor móvil. La máquina prevé como opcional para el arranque y la regulación de la velocidad, un tablero eléctrico a inverter.



Technical features Caratteristiche tecniche Características técnicas		TDT 007	TDT 010	TDT 016
Width - Larghezza - Longitud	mm	2664	2990	3340
Height - Altezza - Altura	mm	5460	5770	5950
Diameter - Diametro - Diámetro	mm	2500	2800	3150
Motor power - Potenza motore - Potencia motor	kW	45	75	110
Speed - Velocità - Velocidad	r.p.m.	120	115	110
Turbine diameter - Diametro turbina - Diámetro turbina	mm	1080	1160	1300
Effective capacity - Capacità utile - Capacidad útil	m <sup>3</sup>	7	10	16
Weight - Peso - Peso	kg	6950	9050	132000
Weight when fully loaded - Peso a pieno carico - Peso a plena carga	kg	17450	24050	37200



SACMI IMOLA S.C.  
Via Selice Provinciale, 17/A  
40026 Imola BO - Italy

Tel. +39 0542 607111  
Fax +39 0542 642354  
ceramics@sacmi.it - www.sacmi.com

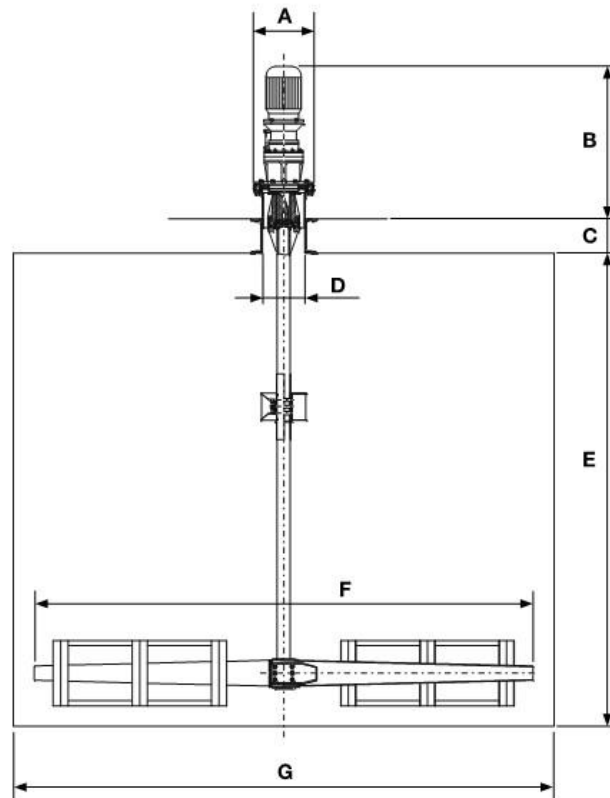
SACMI RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT NOTICE - SACMI SI RISERVA DI APPORTARE MODIFICHE SENZA PREAVVISO - SACMI SE RESERVA EL DERECHO DE LLEVAR A CABO MODIFICACIONES SIN PREVIO AVISO

## ASP slip stirrers Agitatori per barbotina ASP Agitadores para barbotina ASP

These are used to keep water-clay (slip) or water and ground solids in suspension. They consist of a drive unit with a sealed 3-phase electric motor, directly coupled to an epicycloidal speed reduction unit. A high tensile steel shaft carrying two pairs of Aisi 304 stainless steel blades is attached to and rotated by the drive unit.

Vengono utilizzati per mantenere in sospensione miscele d'acqua-argilla (barbotina) o acqua e solidi macinati. Costituiti da: gruppo di moto composto da motore elettrico trifase a costruzione chiusa calettato direttamente ad un gruppo di riduzione della velocità di tipo epicicloidale. Al gruppo di moto è collegato rigidamente e trascinato in rotazione un albero in acciaio ad alta resistenza che porta due coppie di pale in acciaio inox Aisi 304.

Se utilizan para mantener en suspensión mezclas de agua-arcilla (barbotina) o de agua y sólidos triturados. Constan de: un grupo de mando compuesto por motor eléctrico trifásico de construcción cerrada ensamblado directamente en un grupo reductor de la velocidad de tipo epicicloidal. Al grupo de mando está acoplado rigidamente un árbol giratorio en acero de alta resistencia que lleva dos pares de palas de acero inox Aisi 304.





Dimensions - Dimensiones	ASP 204	ASP 210	ASP 225	ASP 250
<b>DIMENSIONI</b> (mm)				
A	380 x 380	460 x 460	630 x 630	950 x 950
B	750	950	1150	1350
C	140	260	260	260
D	260 x 260	325 x 325	400 x 400	710 x 710
E Vasca standard *	2000	3220	3220	3220
F Palettamento in acciaio **	1280 ÷ 2000	2680 ÷ 2780	4130 ÷ 4930	6410 ÷ 6810
G Vasca standard ***	F + 100 ÷ 200	F + 300 ÷ 400	F + 300 ÷ 600	F + 300 ÷ 600

\* Standard tank - Tanque estándar  
 \*\* Steel blades - Pales de acero  
 \*\*\* Standard tank - Tanque estándar

	ASP 204	ASP 210	ASP 225	ASP 250
Potenza motore a 50 Hz (kW) *	3	7,5	11	22
Giri al minuto motore a 50 Hz **	1450	1450	1450	1450
Giri al minuto pale a 50 Hz ***	16	12	9	6
Peso gruppo motoriduttore (c.ca.) <sup>(1)</sup> (kg) ****	500	280	460	800
Capacità della vasca <sup>(2)</sup> (m <sup>3</sup> ) *****	5 ÷ 11	16 ÷ 42	50 ÷ 75	100 ÷ 200

\* Motor power at 50 Hz (kW)  
 Potencia motor a 50 Hz (kW)  
 \*\* Motor RPM at 50 Hz  
 Rev. per minuto motore a 50 Hz  
 \*\*\* Blades RPM at 50 Hz  
 Rev. per minuto pale a 50 Hz  
 \*\*\*\* Geared motor unit weight (c.ca.) (kg)  
 Peso grupo motorreductor (aprox.) (kg)  
 \*\*\*\*\* Tank capacity (m<sup>3</sup>)  
 Capacidad del tanque (m<sup>3</sup>)

• Weights do not include shaft and stirrer blades.  
 • Capacity data is indicative only and may vary as a function of the material to be stirred.

• I pesi si intendono con esclusione dell'albero e del palettamento.  
 • I dati di capacità non sono impegnativi e possono variare in funzione del materiale da agitare.

• Los pesos se entienden con exclusión de árbol y palas.  
 • Los datos relativos a la capacidad no son vinculantes y son susceptibles de variación en función del material a agitar.

## 8.4 Bombas centrífugas



**Bombas Verticales Cardan**  
**Vertical Pumps by Cardan**  
**Pompes Verticales pour Cardan**

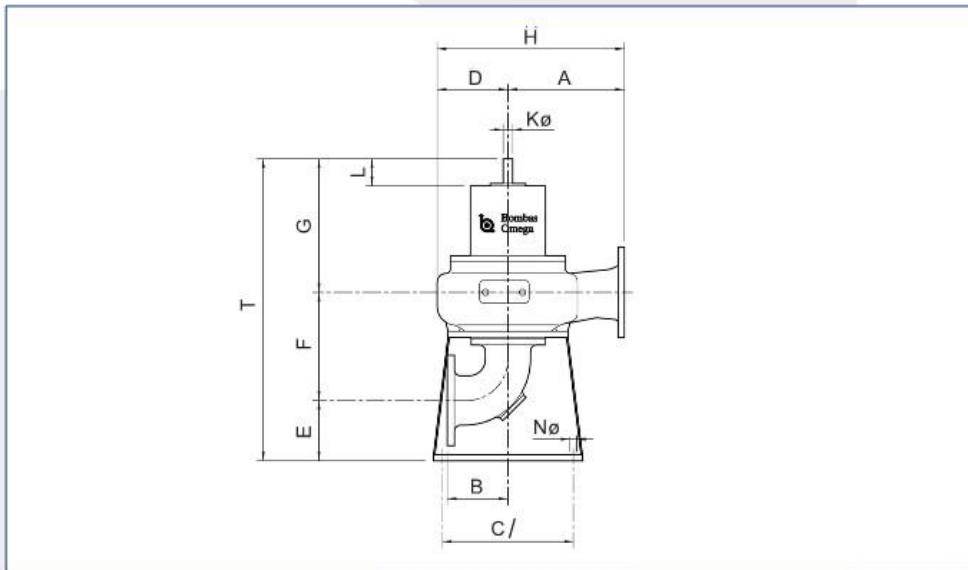


TABLA DE DIMENSIONES SERIE VCC • DIMENSIONS TABLE SERIE VCC • TABLE DE DIMENSIONS SERIE VCC

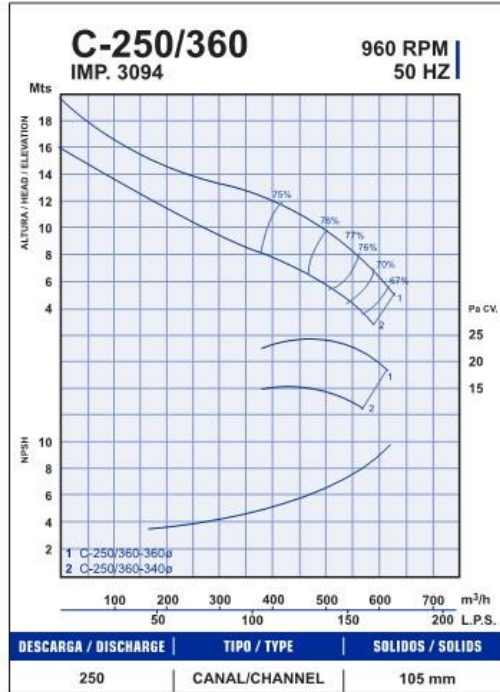
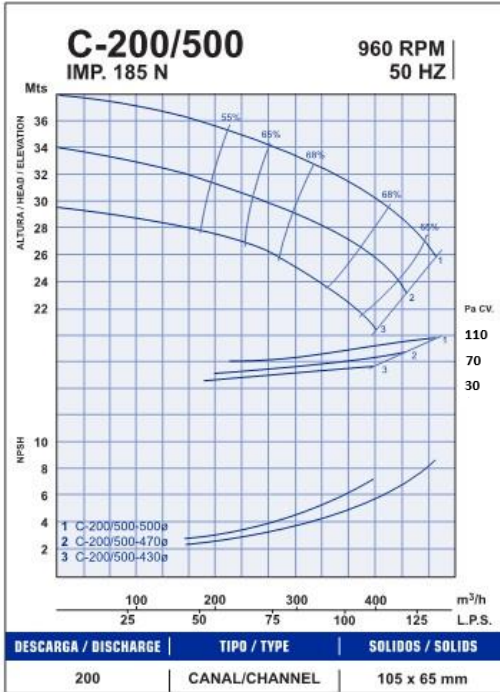
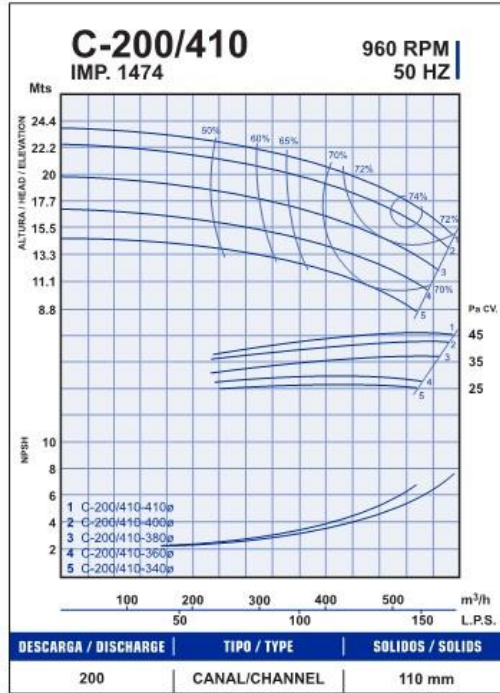
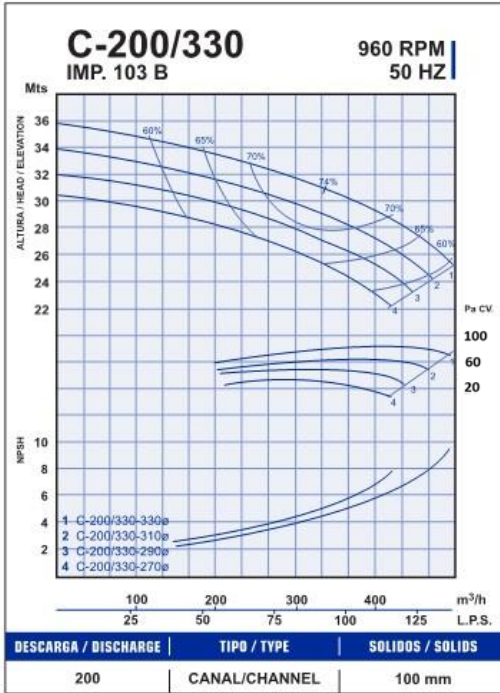
Tipo Bomba Pump Type Pompe Type	Soporte Support Support	ASP / IMP SUCT / DISC ASP / DECH	A	B	C	N	Aguj.	D	E	F	G	H	K	L	T	Peso Weight Poids
100/270	132	100/100	340	150	350	18	4	220	150	270	655	560	32	80	1075	273
100/370	160	100/100	340	150	350	18	4	237	150	255	780	577	42	110	1185	331
100/410	160	100/100	415	150	350	18	4	258	150	260	780	673	42	110	1190	368
125/270	132	125/125	315	190	350	18	4	216	170	330	658	531	32	80	1158	303
125/410	160	125/125	415	190	350	18	4	269	170	323	770	684	42	110	1263	408
150/270	160	150/150	315	225	400	18	4	215	200	390	790	530	42	110	1380	357
150/330	160	150/150	355	225	400	18	4	253	200	365	806	608	42	110	1371	393
150/410	280	150/150	355	225	500	23	4	304	200	350	826	659	52	110	1376	465
150/500	280	150/150	500	225	500	23	4	325	200	355	802	825	52	110	1357	554
200/330	280	200/200	385	300	500	23	4	282	230	425	810	667	52	110	1465	475
200/410	280	200/200	415	300	600	27	4	289	230	450	816	704	52	110	1496	540
200/500	315	200/200	500	300	600	27	4	400	230	430	819	900	65	115	1479	770
250/360	280	250/250	415	375	600	27	4	283	250	615	831	698	52	110	1696	563
250/410	280	250/250	500	375	600	27	4	320	250	480	845	820	52	110	1575	635
250/500	315	250/250	600	375	700	27	4	420	250	600	810	1020	65	115	1660	870
300/500	315	300/300	540	450	800	27	4	460	280	590	824	1000	65	115	1694	994
300/600	355	300/300	700	450	800	27	4	480	280	590	1070	1180	90	130	1940	1310
300/800	355	300/300	700	450	800	27	4	485	280	590	1070	1185	90	130	1940	1370
350/500	315	350/350	700	525	800	27	4	530	310	680	815	1230	65	115	1805	1063
400/500	355	400/350	750	600	900	27	4	545	340	750	1080	1295	90	130	2170	1444

BOMBAS VERTICALES CARDAN / VERTICAL PUMPS BY CARDAN / POMPES VERTICALES POUR CARDAN

*Curvas Características Canal 960/730 r.p.m.*  
*Characteristics Curves Channel 960/730 r.p.m.*  
*Courbes Caractéristiques Canal 960/730 t.p.m.*



CURVAS CARACTERÍSTICAS / CHARACTERISTICS CURVES / COURBES CARACTÉRISTIQUES



8.5 Bomba de pistón

4.1a

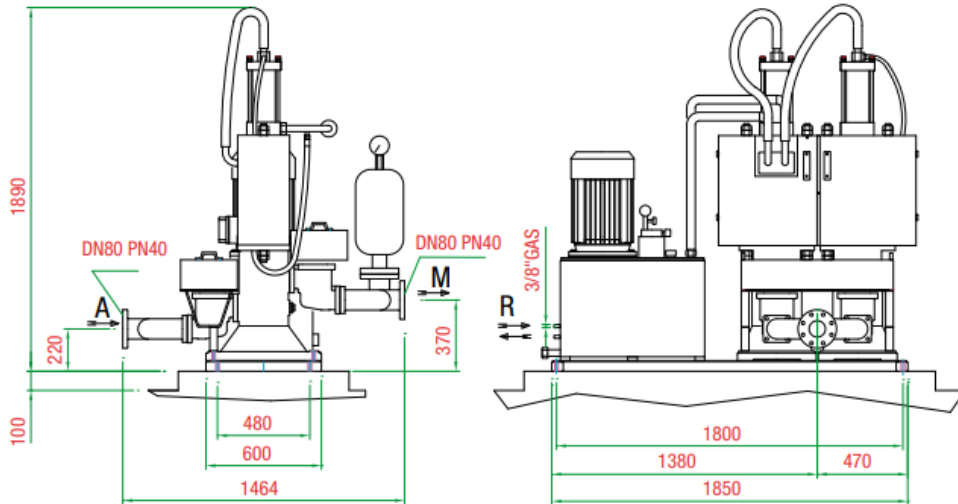
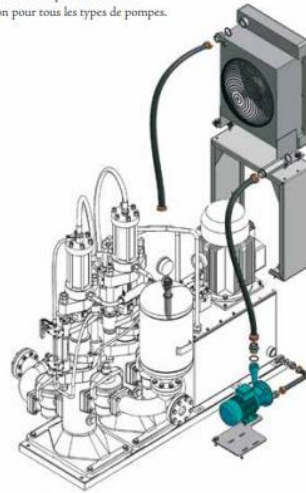
# Pompe a pistoni per barbotine ceramiche tipo PPS

PPS PISTON PUMPS FOR CERAMIC SLIPS

BOMBAS DE PISTONES PARA BARBOTINAS CERÁMICAS DE TIPO PPS

POMPES À PISTONS POUR BARBOTINES CÉRAMIQUES TYPE PPS

Sistema de enfriamiento aceite mod. CHECS 1000, opcional en kit de instalación para todos los tipos de bombas.  
Système de refroidissement huile mod. CHECS 1000, optionnel dans le kit d'installation pour tous les types de pompes.



A= ASPIRAZIONE    M= MANDATA    R= RAFFREDDAMENTO AD ACQUA  
A= SUCTION        M= DELIVERY    R= WATER COOLING  
A= ASPIRACIÓN    M= ENVIO        R= ENFRIAMIENTO CON AGUA  
A= ASPIRATION    M= ENVOIE       R= REFROIDISSEMENT AVEC EAU

PPS 13000 CE

**POMPA A PISTONI TIPO "PPS 9000 CE - PPS 13000 CE" . PISTON PUMP TYPE "PPS 9000 CE - PPS 13000 CE"  
BOMBA DE PISTONES TIPO "PPS 9000 CE - PPS 13000 CE" . POMPE À PISTONS TYPE "PPS 9000 CE - PPS 13000 CE"**

Le pompe a pistoni tuffanti sono studiate per l'alimentazione degli atomizzatori e per il trasporto di barbotine ceramiche e liquidi densi.

Pumps with plunger pistons have been developed for supplying spray dryers and for the transport of ceramic slurries and thick liquids.

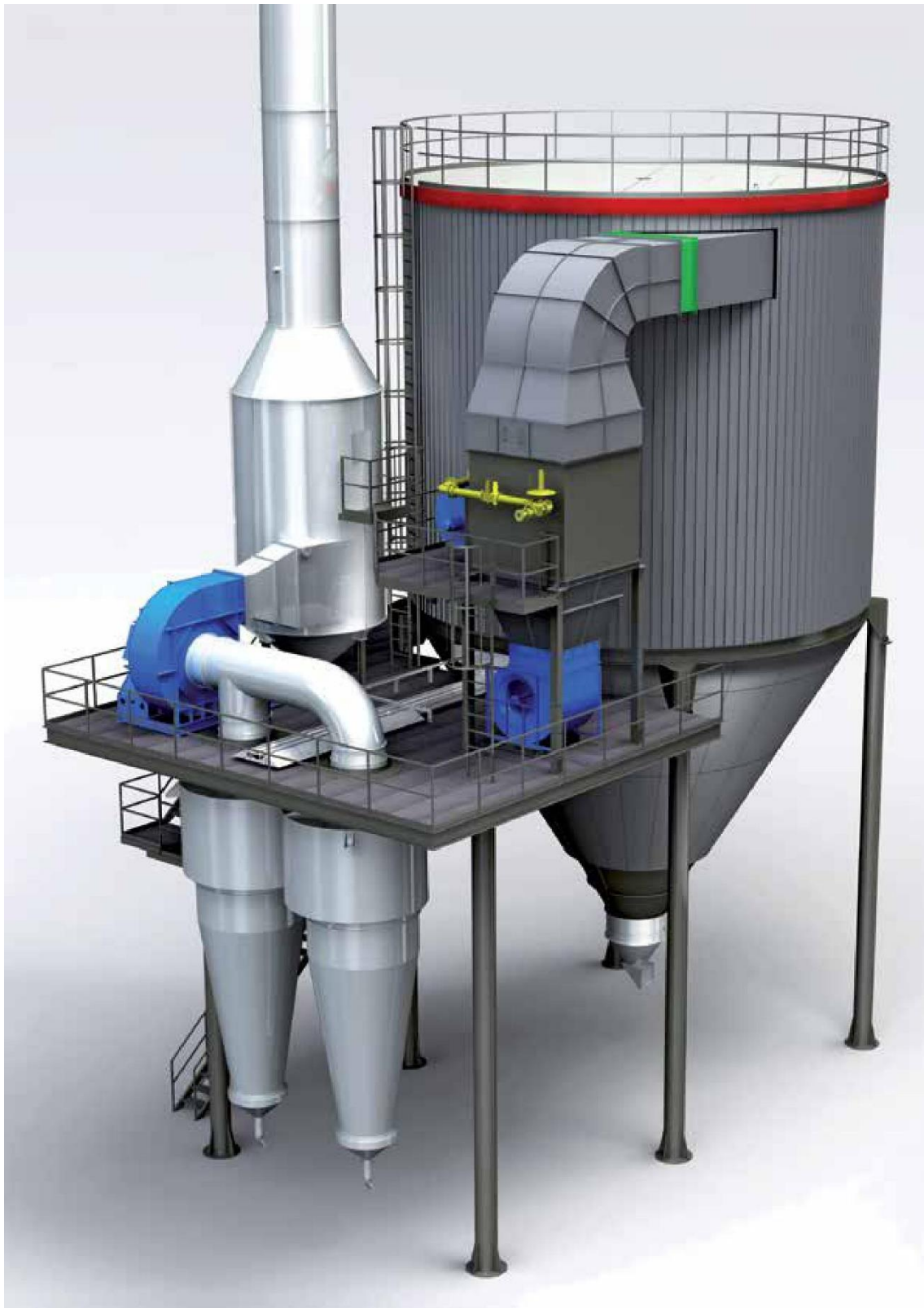
Las bombas de pistones sumergibles están diseñadas para la alimentación de los atomizadores y para el transporte de barbotinas cerámicas y líquidos densos.

Les pompes à pistons submersibles sont conçues pour l'alimentation des atomiseurs et pour le transport de barbotines céramiques et de liquides denses.



DATI TECNICI	TECHNICAL SPECIFICATIONS	DATOS TECNICOS	DONNÉES TECHNIQUES	PPS 9000 PPS 9000 CE	PPS 13000 PPS 13000 CE
Altezza aspirazione (con 1.7 Km/dm <sup>3</sup> )	Max Suction Height (1.7 Km/dm <sup>3</sup> -slip)	Altura aspiración (con 1.7 Km/dm <sup>3</sup> )	Hauteur aspiration (avec 1,7 kg/dm <sup>3</sup> )	3,5mt	3,5mt
Portata nominale pompa	Pumping Capacity	Caudal nominal	Portée nominal de la pompe	9.000lt/h	13.000lt/h
Pressione di lavoro	Working Pressure Range	Presión de trabajo	Pression de service	5/30 bar	5/30 bar
Efficienza volumetrica	Volumetric Efficiency	Eficacia volumetrica	Efficacité volumétrique	90%	90%
Potenza elettrica motore	Motor electrical power	Potencia eléctrica instalada	Puissance électrique installée	15 kw	22 kw
Portata acqua di raffreddamento (20°)	Cooling Water Delivery (20°)	Caudal agua refrigeración	Débit eau de refroidissement (20°C)	20 lt/l	20 lt/l
Connessioni tubazioni raffreddamento	Water Pipings Connections	Conexión tubería de refrigeración	Raccordements des tuyauteries de refroidissement	3/8"gas	3/8"gas
Olio idraulico tipo (viscosità)	Hydraulic Oil Type (Viscosity)	Aceite hidráulico tipo (viscosidad)	Huile hydraulique type (viscosité)	4" Engler	4" Engler
Capacità centralina idraulica	Power unit capacity	Capacidad centralita hidráulica	Capacité central hydraulique	150 lt	150 lt
Pressione massima circuito idraulico	Max hydraulic pressure	Presión máxima circuito hidráulico	Pression maximale du circuit hydraulique	180 bar	180 bar
Pressione lavoro circuito idraulico	Working hydraulic pressure	Presión de trabajo circuito hidráulico	Pression de service du circuit hydraulique	120 bar	120 bar
Peso netto	Net weight	Peso neto	Poids net	1200 kg	1265 kg

## 8.6 Atomizadores



## Choosing the right spray drier Quale atomizzatore? Selección del atomizador

The right type of drier can be identified by determining evaporating capacity (X-axis) as a function of programmed hourly production (Y-axis) and the percentage of water in the slip (coloured lines). The final product is assumed to have a water content of 5.5% (average value between 4% and 7%). Example: with an output of 10,000 kg/h and a slip at 34% (yellow line) an ATM 52 would be the most appropriate.

Si individua il tipo di impianto determinando la capacità evaporativa (dati in ascissa) in funzione della produzione oraria programmata (dati in ordinata) e della percentuale di acqua contenuta nella barbotina (linee colorate). Si assume che il prodotto finale abbia un contenuto d'acqua del 5,5% (valore medio fra 4% e 7%). Esempio: per una produzione di 10.000 kg/h con una barbotina al 34% (linea gialla) serve un ATM 52.

Se localiza el tipo de instalación según la capacidad de evaporación (datos en abscisa) y en función de los programas de producción (datos en ordenada) y del porcentaje de agua contenida en la barbotina (líneas coloreadas). Se asume que el producto final tenga un contenido de agua del 5,5% (valor medio entre 4% y 7%). Ejemplo: para una producción de unos 10.000 kg/h con una barbotina al 34% (línea amarilla) es necesario un ATM 52.

$$H_2O = Pf \frac{U_i - U_f}{100 - U_i}$$

Pf = Powder production (kg/h, including residual moisture)  
 U<sub>i</sub> = Water in the slip (%)  
 U<sub>f</sub> = Water in the spray dried product (%)

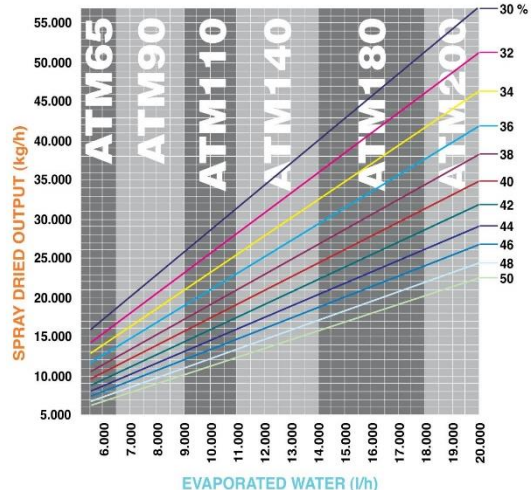
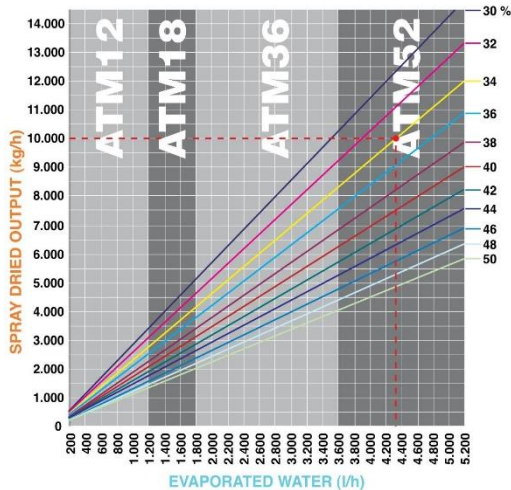
Pf = produzione di atomizzato (kg/h compresa l'umidità residua)  
 U<sub>i</sub> = Acqua nella barbotina (%)  
 U<sub>f</sub> = acqua nel prodotto atomizzato (%)

Pf = Producción de atomizado (kg/h incluida la humedad residual)  
 U<sub>i</sub> = Agua en la barbotina (%)  
 U<sub>f</sub> = Agua en el producto atomizado (%)

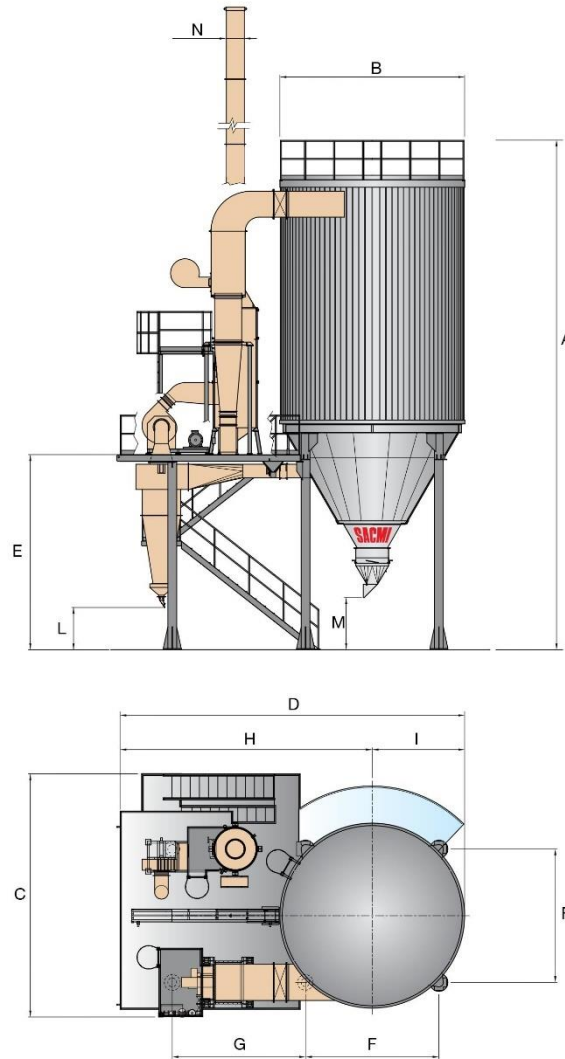
Should installation take place at an altitude that is above seal level, SACMI ensures correct sizing of the spray drier by applying suitable evaporating capacity downgrade factors.

Nel caso in cui l'installazione avvenga ad un'altitudine superiore a quella del mare, SACMI controlla il corretto dimensionamento dell'atomizzatore con opportuni fattori di declassamento della capacità evaporativa.

En caso de que la instalación se efectúe a una altura mayor que la del mar, SACMI controla las dimensiones correctas del atomizador con los factores oportunos de disminución de la capacidad de evaporación.



# ATM 12 - 18



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N
<b>ATM 12</b>	14150 15150 with lances	5100	6700	9550	5400	3700	3700	7000	2550	1200	1450	500
<b>ATM 18</b>	15000 16000 with lances	5800	7300	10650	6050	4140	3700	7750	2900	1200	1450	600



	ATM 12	ATM 18	
Evaporated water maximum (for tableware production) Capacità evaporativa massima (per stoviglie) Capacidad evaporativa máxima (para vajillas)	1200 (670)	1800 (1000)	l/h
Total installed power* - Potenza totale installata* - Potencia total instalada*	42	59	kW
Total unit weight - Peso totale dell'impianto - Peso total de la instalación	25000	29000	kg
<b>HEAT GENERATOR - GENERATORE DI CALORE - GENERADOR DE CALOR</b>			
Thermal power - Potenza termica installata - Potencia térmica instalada	1050000	1500000	kcal/h
Burner electric fan power - Potenza elettroventilatore bruciatore - Potencia electroventilador quemador	1,5	3,0	kW
Pressing electric fan power - Potenza elettroventilatore premente - Potencia ventilador presurización	1,5	2,2	kW
Tower inlet air temperature (for tableware production °C 400+600) Temperatura aria entrata torre (per stoviglie °C 400+600) Temperatura aire entrada torre (para vajillas °C 400+600)	500+600	500+600	°C
<b>SLIP PUMP - POMPA BARBOTTINA - BOMBA BARBOTINA</b>			
Maximum delivery rate - Portata massima - Caudal máximo	3500	8000	l/h
Maximum pressure - Pressione massima - Presion maxima	30	30	bar
Power - Potenza - Potencia	7,5	15	kW
<b>DRYING TOWER - TORRE ATOMIZZAZIONE - TORRE ATOMIZACIÓN</b>			
Max. number of nozzles with crown- Nr. massimo ugelli con corona - Numero máx boquillas con corona	12	15	nr.
Max. number of nozzles with lances- Nr. massimo ugelli con lance - Numero máx boquillas con lanzas	12	14	nr.
Specific thermal consumption (for tableware production 950+1.100) Consumo termico specifico (per stoviglie 950+1.100) Consumo térmico específico (para vajillas 950+1.100)	700+850	700+850	kcal/l H <sub>2</sub> O
Spray-dried powder temperature (for tableware production °C 40+70) Temperatura polvere atomizzata (per stoviglie °C 40+70) Temperatura polvo atomizado (para vajillas °C 40+70)	40+60	40+60	°C
Spray-dried powder moisture content (for tableware production % 2+3) Umidità polvere atomizzata (per stoviglie % 2+3) Humedad polvo atomizado (para vajillas % 2+3)	4+7	4+7	%
<b>EXHAUST AIR - ARIA ESAUSTA - AIRE CONSUMIDO</b>			
Main electric fan - Elettroventilatore principale - Electroventilador principal			
Flow rate - Portata - Caudal	12000	18000	m <sup>3</sup> /h (100 °C; 1 bar)
Power - Potenza - Potencia	30	37	kW
Pressure - Pressione - Presión	400	400	mm H <sub>2</sub> O
Separating cyclones - Cicloni separatori - Ciclones separadores	1	1	nr.
Exhaust air temperature (for tableware production °C70+140) Temperatura aria in uscita (per stoviglie °C70+140) Temperatura aire a la salida (para vajillas °C70+140)	60+130	60+130	°C
<b>DUST SEPARATOR - ABBATTITORE - ABATIDOR 100 et 30 mg/Nm<sup>3</sup></b>			
Minimum water consumption with re-circulation** Consumo minimo acqua con ricircolo** Consumo mínimo de agua con recirculación**	450	660	l/h
Water consumption without re-circulation Consumo acqua senza ricircolo Consumo de agua sin recirculación	10000	14000	l/h

\* With 1 slip pump - Con 1 pompa barbottina - Con 1 bomba de barbotina

\*\* Optional - Opzionale - Opcional

## Planta de obtención de polvo atomizado para el prensado de piezas de alta alúmina

	ATM 36	ATM 52	ATM 65	ATM 90	
Evaporated water max. - Capacità evaporativa massima - Capacidad evaporativa maxima	3600	5200	6500	9000	l/h
Total installed power - Potenza totale installata - Potencia total instalada*	108	137	157	193	kW
Total unit weight - Peso totale dell'impianto - Peso total de la instalación	45000	54000	62000	73000	kg
<b>HEAT GENERATOR - GENERATORE DI CALORE - GENERADOR DE CALOR</b>					
Thermal power - Potenza termica installata - Potencia térmica instalada	3000000	4300000	5500000	7500000	kcal/h
Burner electric fan power Potenza elettroventilatore bruciatore Potencia electroventilador quemador	5,5	7,5	7,5	7,5	kW
Pressing electric fan power Potenza elettroventilatore premente Potencia ventilador presurización	3,0	5,5	7,5	7,5	kW
Tower inlet air temperature Temperatura aria entrata torre Temperatura aire entrada torre	500+600	500+600	500+600	500+600	°C
<b>SLIP PUMP - POMPA BARBOTTINA - BOMBA BARBOTINA</b>					
Maximum delivery rate - Portata massima - Caudal máximo	13000	2x8000	2x8000	2x13000	l/h
Maximum pressure - Pressione massima - Presion maxima	30	30	30	30	bar
Power - Potenza - Potencia	22	2x15	2x15	2x22	kW
<b>DRYING TOWER - TORRE ATOMIZZAZIONE - TORRE ATOMIZACIÓN</b>					
Max. number of nozzles with crown - Nr. massimo ugelli con corona - Numero máx boquillas con corona	20	28	32	32	nr.
Max. number of nozzles with lances - Nr. massimo ugelli con lance - Numero máx boquillas con lanzas	18	20	24	24	nr.
Specific thermal consumption Consumo termico specifico Consumo térmico específico	700+850	700+850	700+850	700+850	kcal/l H <sub>2</sub> O
Spray-dried power temperature Temperatura polvere atomizzata Temperatura polvo atomizado	40+60	40+60	40+60	40+60	°C
Spray-dried powder moisture content Umidità polvere atomizzata Humedad polvo atomizado	4+7	4+7	4+7	4+7	%
<b>EXHAUST AIR - ARIA ESAUSTA - AIRE CONSUMIDO</b>					
Main electric fan - Elettroventilatore principale - Electroventilador principal					
Flow rate - Portata - Caudal	35000	50000	63000	87000	m <sup>3</sup> /h (100 °C; 1 bar)
Power - Potenza - Potencia	75	90	110	132	kW
Pressure - Pressione - Presión	400	400	400	400	mm H <sub>2</sub> O
Separating cyclones - Cicloni separatori - Ciclones separadores	2	2	2	2	nr.
Exhaust air temperature - Temperatura aria in uscita - Temperatura aire a la salida	60+130	60+130	60+130	60+130	°C
<b>DUST SEPARATOR - ABBATTITORE - ABATIDOR 100 et 30 mg/Nm<sup>3</sup></b>					
Minimum water consumption with re-circulation Consumo minimo acqua con ricircolo Consumo mínimo de agua con recirculación	1350	1930	2430	3350	l/h
Water consumption without re-circulation Consumo acqua senza ricircolo Consumo de agua sin recirculación	25000	36000	45000	62000	l/h

\* ATM 36: With 1 slip pump - Con 1 pompa barbotina - Con 1 bombas de barbotina  
 ATM 52 - 65 - 90: With 2 slip pumps - Con 2 pompe barbotina - Con 2 bombas de barbotina

## Planta de obtención de polvo atomizado para el prensado de piezas de alta alúmina

	ATM 110	ATM 140	ATM 180	ATM 200	
Evaporated water max. - Capacità evaporativa massima - Capacidad evaporativa maxima	11000	14000	18000	20000	l/h
Total installed power - Potenza totale installata - Potencia total instalada*	254	348	446	449	kW
Total unit weight - Peso totale dell'impianto - Peso total de la instalación	88000	101000	133000	137000	kg
<b>HEAT GENERATOR - GENERATORE DI CALORE - GENERADOR DE CALOR</b>					
Thermal power - Potenza termica installata - Potencia térmica instalada	9200000	11500000	15000000	16700000	kcal/h
Burner electric fan power Potenza elettroventilatore bruciatore Potencia electroventilador quemador	11	15	18,5	22	kW
Pressing electric fan power Potenza elettroventilatore premente Potencia ventilador presurización	15	15	22	22	kW
Tower inlet air temperature Temperatura aria entrata torre Temperatura aire entrada torre	500+600	500+600	500+600	500+600	°C
<b>SLIP PUMP - POMPA BARBOTTINA - BOMBA BARBOTINA</b>					
Maximum delivery rate - Portata massima - Caudal máximo	3x13000	3x13000	4x13000	4x13000	l/h
Maximum pressure - Pressione massima - Presion maxima	30	30	30	30	bar
Power - Potenza - Potencia	3x22	3x22	4x22	4x22	kW
<b>DRYING TOWER - TORRE ATOMIZZAZIONE - TORRE ATOMIZACIÓN</b>					
Max. number of nozzles with crown - Nr. massimo ugelli con corona - Numero máx boquillas con corona	40	48	48	48	nr.
Max. number of nozzles with lances - Nr. massimo ugelli con lance - Numero máx boquillas con lanzas	30	36	36	36	nr.
Specific thermal consumption Consumo termico specifico Consumo térmico específico	700+850	700+850	700+850	700+850	kcal/l H <sub>2</sub> O
Spray-dried power temperature Temperatura polvere atomizzata Temperatura polvo atomizado	40+60	40+60	40+60	40+60	°C
Spray-dried powder moisture content Umidità polvere atomizzata Humedad polvo atomizado	4+7	4+7	4+7	4+7	%
<b>EXHAUST AIR - ARIA ESAUSTA - AIRE CONSUMIDO</b>					
Main electric fan - Elettroventilatore principale - Electroventilador principal					
Flow rate - Portata - Caudal	105000	134000	173000	190000	m <sup>3</sup> /h (100 °C; 1 bar)
Power - Potenza - Potencia	160	250	315	315	kW
Pressure - Pressione - Presión	400	400	400	400	mm H <sub>2</sub> O
Separating cyclones - Cicloni separatori - Ciclones separadores	4	4	4	4	nr.
Exhaust air temperature - Temperatura aria in uscita - Temperatura aire a la salida	60+130	60+130	60+130	60+130	°C
<b>DUST SEPARATOR - ABBATTITORE - ABATIDOR 100 et 30 mg/Nm<sup>3</sup></b>					
Minimum water consumption with re-circulation Consumo minimo acqua con ricircolo Consumo mínimo de agua con recirculación	4100	5100	6600	7350	l/h
Water consumption without re-circulation Consumo acqua senza ricircolo Consumo de agua sin recirculación	75000	95000	122000	135000	l/h

\* ATM 140: With 3 slip pumps - Con 3 pompe barbotina - Con 3 bombas de barbotina  
 ATM 180 - 200: With 4 slip pumps - Con 4 pompe barbotina - Con 4 bombas de barbotina

RRA: rotating powder cooler (optional)  
RRA: raffreddatore rotante per atomizzato (opzionale)  
RRA: enfriador giratorio para atomizado (opcional)

Designed to cool the ceramic powders after the spray-drier, thus providing the following advantages:

- The spray-drier can work in optimum conditions without a high-performance powder discharger.
- The plant is simpler, costs less and is smaller since belt conveyors are reduced.
- Storage tank interiors are no longer stained.

An RRA cooler is essentially a rotating cylinder which contains a set of specially shaped and positioned stainless steel vanes, which lift the incoming material and feed it forward.

An air flow, drawn from the outside environment, cools the powder by 10-25 °C, depending on ambient temperature and incoming material temperature.

The cylinder is made of stainless steel and protected by a non-stick coating.

In this way it is possible to keep the internal surface free from detrimental stains.

The load hopper can be tilted, in order to simplify inspection and cleaning operations, whereas the unloading hopper has an air intake, a counterweight valve and a wide hatch which lets workers examine the machine and wash its internal parts when necessary.

È concepito per raffreddare le polveri ceramiche a valle dell'atomizzatore con conseguenti significativi vantaggi:

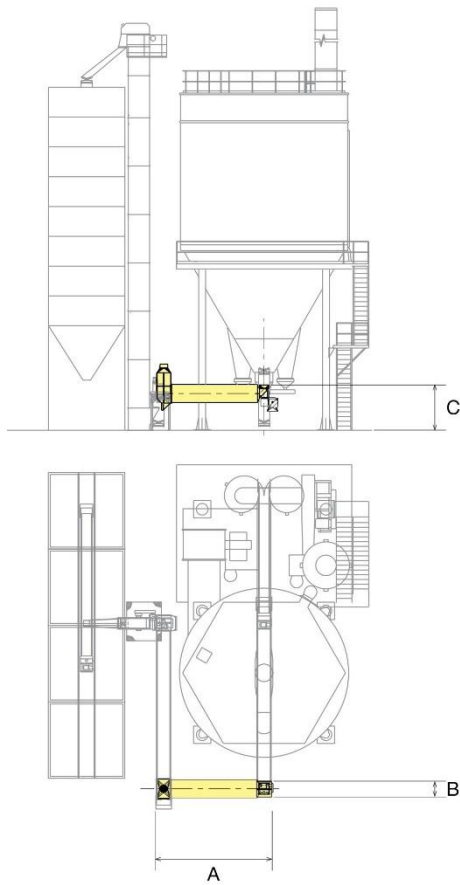
- L'atomizzatore può lavorare in condizioni ottimizzate evitando l'installazione dello scaricatore/raffreddatore polveri maggiorato.
- Possibilità di semplificazione impiantistica, riduzione costi e ingombri con riduzione dei nastri trasportatori.
- Soluzione dei problemi riguardanti sporcature interne dei silos di stoccaggio materiale.

Il raffreddatore RRA è essenzialmente costituito da un cilindro rotante con all'interno una serie di palette in acciaio inox opportunamente posizionate e sagomate che provvedono al sollevamento ed avanzamento del materiale.

Un flusso d'aria aspirato dall'ambiente provvede al raffreddamento della polvere di 10-25 °C in funzione della temperatura aria ambiente e del materiale in ingresso.

Il cilindro è realizzato in acciaio inox e protetto da un rivestimento antiaderente; tale accorgimento permette di mantenere libera la superficie interna da importanti ed indesiderate sporcature. La tramoggia di carico è ribaltabile per facilitare l'ispezione e l'eventuale pulizia, mentre la tramoggia di scarico è completa di presa per aspirazione aria, valvola a contrappeso e ampio portello per l'ispezione della macchina ed eventuali lavaggi all'interno della stessa.





Ha sido ideado para enfriar el polvo cerámico abajo del atomizador, con las siguientes ventajas significativas:

- El atomizador puede trabajar en condiciones óptimas evitando la instalación del descargador de polvo de mayor tamaño.
- Posibilidad de simplificar la instalación, reducción de costos, de espacios, y de cintas transportadoras.
- Solución a los problemas de suciedades interiores de los silos de almacenaje del material atomizado.

El enfriador RRA está esencialmente construido por un cilindro giratorio que lleva en su interior una serie de paletas de acero inoxidable convenientemente situadas y modeladas que elevan e impulsan el material.

Un flujo de aire aspirado del ambiente exterior enfría el polvo atomizado de 10-25 °C, en función siempre de la temperatura del aire exterior y del material a su entrada. El cilindro es de acero inox., y está recubierto por un revestimiento antiadherente; este sistema permite mantener limpia la superficie interior. La tolva de carga es basculante para facilitar la inspección y limpieza, mientras que la tolva de descarga está equipada con una toma para la aspiración del aire, válvula de contrapeso y amplio registro para inspección de la máquina y permitir el lavado interior de la misma.

	A	B	C (min)	Maximum spray-dried material flow rate (kg/h) Portata max atomizzato (kg/h) Caudal máximo de polvo atomizado (kg/h)	Process air flow rate (m³/h at 20°C) Portata aria di processo (m³/h a 20°C) Caudal de aire de proceso (m³/h a 20°C)	Weight empty (Kg) Peso a vuoto (Kg) Peso al vacío (kg)
RRA 50	3680	800	1300	5000	2000	500
RRA 100	4730	1060	1520	10000	4000	900
RRA 200	6160	1280	1650	20000	7500	1400
RRA 350	8440	1670	2180	35000	14000	2600
RRA 500	10250	2000	2600	50000	19000	3800

## 8.7 Ciclones separadores

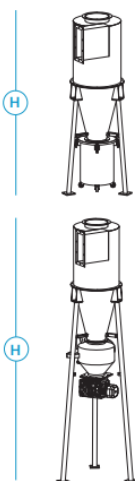


### Applications

- ▶ Sandblasting
- ▶ Carbon
- ▶ Deburring
- ▶ Food manufacturing
- ▶ Dusty materials
- ▶ Aluminium / Zinc manufacturing
- ▶ Grinding
- ▶ Powder coating
- ▶ Dry machining on machine tools
- ▶ Cement
- ▶ Chemical manufacturing
- ▶ Welding smokes
- ▶ Pharmaceutical manufacturing
- ▶ Marble cutting

### Technical Specifications

#### PC\* CYCLONE



HF Code	AIRFLOW* [m³/h]	DIMENSIONS [mm]		ROTARY VALVE	
		Diameter	H	Capacity [m³/h]	Installed Power [kW]
PC-Cyclone500#STD	2500	Ø500	1877	-	-
PC-Cyclone600#STD	4000	Ø600	2125	-	-
PC-Cyclone700#STD	5500	Ø700	2380	-	-
PC-Cyclone800#STD	7000	Ø800	2635	-	-
PC-Cyclone900#STD	9000	Ø900	2960	-	-
PC-Cyclone1000#STD	12000	Ø1000	3165	-	-
PC-Cyclone1200#ROT	16000	Ø1200	4848	3,5	0,37
PC-Cyclone1300#ROT	18000	Ø1300	5137	3,5	0,37
PC-Cyclone1400#ROT	21500	Ø1400	5417	5	0,55
PC-Cyclone1500#ROT	25000	Ø1500	5674	5	0,55
PC-Cyclone1600#ROT	28000	Ø1600	5674	5	0,55
PC-Cyclone1700#ROT	32000	Ø1700	6228	5	0,55

\* Pressure drop 130-95 [mm H2O]

## 8.8 Cinta transportadora

**+K**epack

**TKB-03**

### Transportador de banda para pequeñas cargas



#### DESCRIPCIÓN DE LA CINTA

- Cinta para el transporte de cargas bajas, ideal para la evacuación de sistemas de alimentación y la unión entre máquinas.
- Posibilidad de fabricar la cinta con inclinación.
- Opción de colocar pies de soporte y guías laterales.
- Opción de escoger entre diferentes materiales de bastidor, guías, banda, motorización, pies, etc.

1

[www.maskepack.com](http://www.maskepack.com)

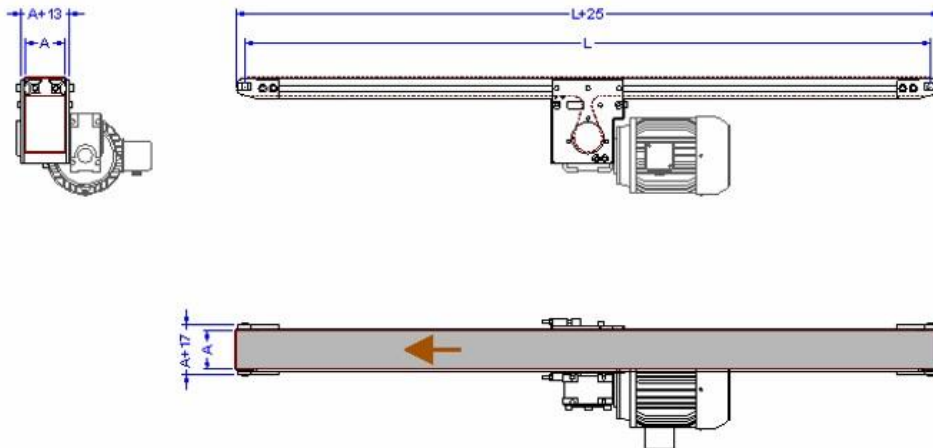
[comercial@maskepack.com](mailto:comercial@maskepack.com)

Tel.: +34 937.729.154

**+Kepak**

**TKB-03**

## Transportador de banda para pequeñas cargas



### CARACTERÍSTICAS DE LA CINTA

· Longitud entre centros de tambores (L)	· 250 a 5.600mm
· Ancho de banda (A)	· 60 a 300mm
· Diámetro de tambor motriz	· 40mm
· Diámetro de tambor tensor	· 25mm
· Motorización	· Central (en posición vertical u horizontal)
· Velocidad	· 2,5 a 50 metros/minuto
· Bastidor	· Aluminio / acero inoxidable
· Guías laterales	· Fijas o regulables
· Capacidad de carga máxima	· 10 Kg
· Pies	· Regulables $\pm 50$ mm.

2

[www.maskepack.com](http://www.maskepack.com)

[comercial@maskepack.com](mailto:comercial@maskepack.com)

Tel.: +34 937.729.154



**+Ke**pack

**TKB-06/03**

**Transportador de banda con extremo cuchilla de diámetro 22mm.**



**Opción:  
Motorización inferior**



#### **DESCRIPCIÓN DE LA CINTA**

- Cinta para el transporte de cargas medias, ideal para la evacuación de maquinas o unión entre ellas.
- Posibilidad de fabricar la cinta con inclinación, añadiendo pretolva de carga y tolva de descarga.
- Opción de colocar pies de soporte y guías laterales.
- Opción de escoger entre diferentes materiales de bastidor, guías, banda, motorización, pies, etc.
- Extremo en cuchilla para el traspaso del producto entre cintas de forma estable.

7

[www.maskepack.com](http://www.maskepack.com)

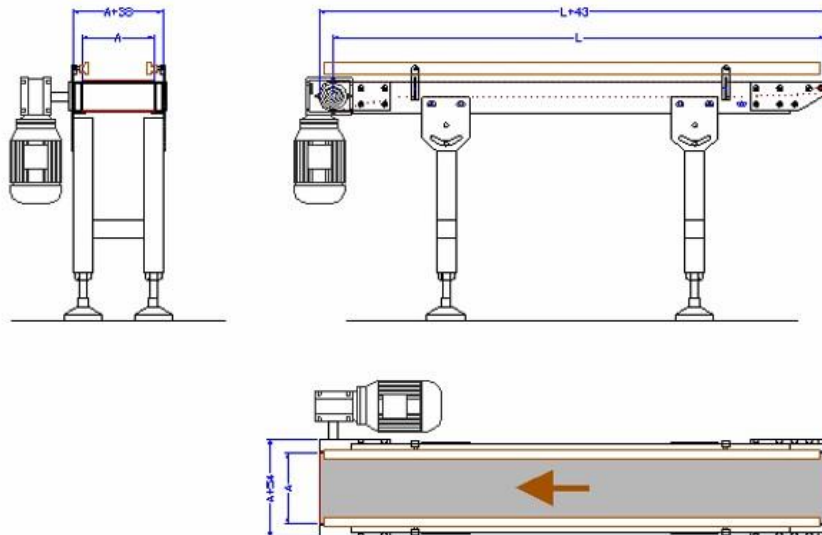
[comercial@maskepack.com](mailto:comercial@maskepack.com)

Tel.: +34 937.729.154

**+K**epack

**TKB-06/03**

**Transportador de banda con extremo cuchilla de diámetro 22mm.**



#### CARACTERÍSTICAS DE LA CINTA

· Longitud entre centros de tambores (L)	· 300 a 8.000mm
· Ancho de banda (A)	· 60 a 800mm
· Diámetro de tambor motriz	· 60mm
· Diámetro de tambor tensor	· 22mm
· Motorización	· Extrema (en posición vertical u horizontal) y central
· Velocidad	· 2,5 a 60 metros/minuto
· Bastidor	· Hierro / Inox / Aluminio
· Guías laterales	· Fijas o regulables
· Capacidad de carga máxima	· 80 Kg
· Pies	· Regulables $\pm 50$ mm.

8

[www.maskepack.com](http://www.maskepack.com)

[comercial@maskepack.com](mailto:comercial@maskepack.com)

Tel.: +34 937.729.154

**+K**epack

**TKB-10**

## Transportador de banda para cargas semipesadas



### DESCRIPCIÓN DE LA CINTA

- Cinta para el transporte de cargas elevadas, ideal para la evacuación de maquinas y la alimentación de molinos de triturado.
- Posibilidad de fabricar la cinta con inclinación o inflexión, añadiendo pretolva de carga y tolva de descarga.
- Opción de colocar pies de soporte y guías laterales.
- Opción de escoger entre diferentes materiales de bastidor, guías, banda, motorización, pies, etc.
- Maquina estándar para la confección de líneas de transporte de paquetería.

11

[www.maskepack.com](http://www.maskepack.com)

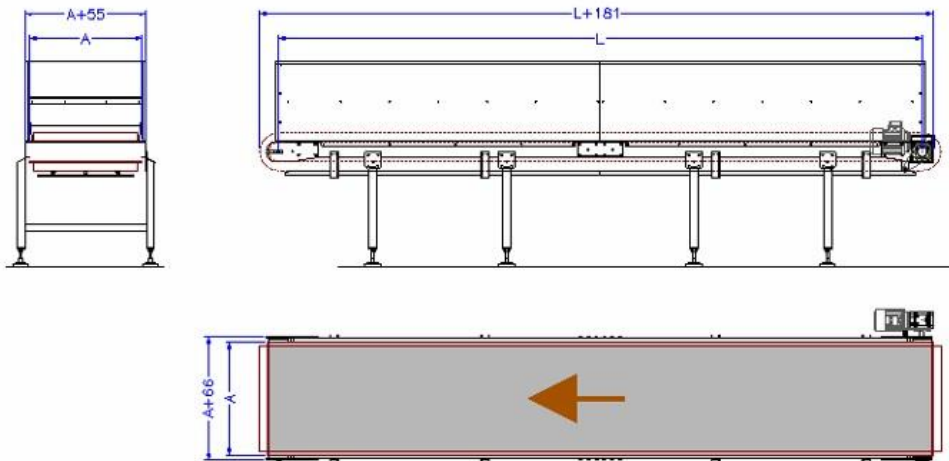
[comercial@maskepack.com](mailto:comercial@maskepack.com)

Tel.: +34 937.729.154

**+K**epack

**TKB-10**

## Transportador de banda para cargas semipesadas



### CARACTERÍSTICAS DE LA CINTA

- |  |   |
|--|---|
| · Longitud entre centros de tambores (L) | · 1000 a 20.000mm                             |
| · Ancho de banda (A)                     | · 500 a 1500mm                                |
| · Diámetro de tambor motriz              | · 100mm                                       |
| · Diámetro de tambor tensor              | · 100mm                                       |
| · Motorización                           | · Extrema (en posición vertical u horizontal) |
| · Velocidad                              | · 5 a 100 metros/minuto                       |
| · Bastidor                               | · Hierro / Inox / Aluminio                    |
| · Guías laterales                        | · Fijas o regulables                          |
| · Capacidad de carga máxima              | · 350 Kg                                      |
| · Pies                                   | · Regulables $\pm 50$ mm.                     |

12

[www.maskepack.com](http://www.maskepack.com)

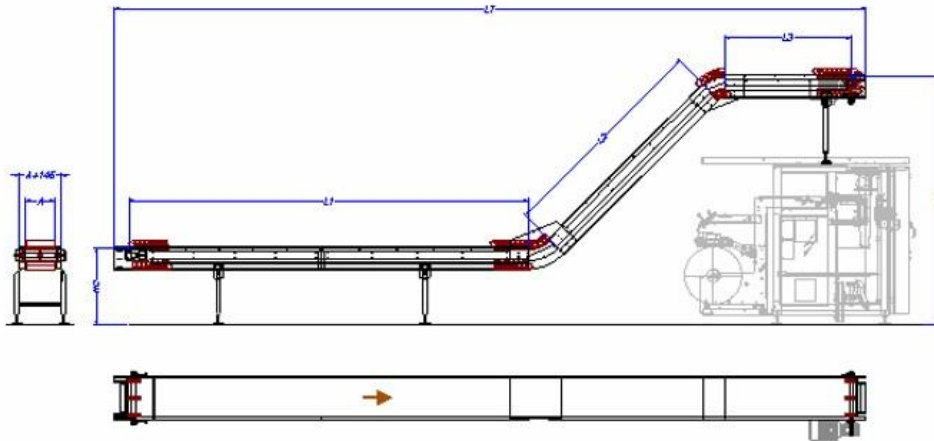
[comercial@maskepack.com](mailto:comercial@maskepack.com)

Tel.: +34 937.729.154

**+Kepak**

**TKBM-10**

**Transportador de banda modular con accionamiento directo**



**CARACTERÍSTICAS DE LA CINTA**

- |  |   |
|--|---|
| · Longitud entre centros de tambores (L) | · 1000 a 18.000mm                             |
| · Ancho de banda (A)                     | · 300 a 1000mm                                |
| · Diámetro de tambor motriz              | · 100mm                                       |
| · Diámetro de tambor tensor              | · 100mm                                       |
| · Motorización                           | · Extrema (en posición vertical u horizontal) |
| · Velocidad                              | · 5 a 40 metros/minuto                        |
| · Bastidor                               | · Hierro / Inox / Aluminio                    |
| · Guías laterales                        | · Fijas o regulables                          |
| · Capacidad de carga máxima              | · 150 Kg                                      |
| · Pies                                   | · Regulables $\pm 50$ mm.                     |

14

[www.maskepack.com](http://www.maskepack.com)

[comercial@maskepack.com](mailto:comercial@maskepack.com)

Tel.: +34 937.729.154

## 8.9 Compresores y soplantes

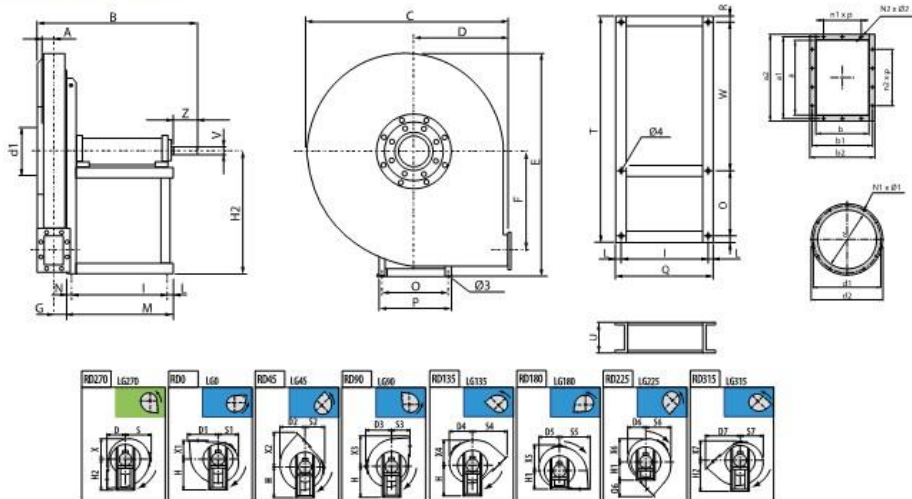
**HIGH PRESSURE CENTRIFUGAL FANS**

**Ventiladores centrífugos de alta presión**



Code	Model	R.P.M min	R.P.M max	Rated Power kW	Air flow m <sup>3</sup> /h	Sound dB (A)	Weight Kg	Connection diagram
5065080_R	AATVM 800	1450	3450	55	16.970	79	(s.1) 285	1
5065090_R	AATVM 900	1250	3200	90	23.740	78	(s.1) 437	1
5065100_R	AATVM 1000	1250	3200	200	35.560	81	(s.1) 690	1
5065112_R	AATVM 1120	1150	2800	200	41.180	85	(s.1) 738	1
5065125_R	AATVM 1250	1000	2500	200	47.810	85	(s.1) 1105	1
5065140_R	AATVM 1400	900	2000	200	55.750	83	(s.1) 1288	1
5065160_R	AATVM 1600	800	1800	315	77.780	84	(s.1) 1713	1
5065180_R	AATVM 1800	750	1650	315	90.030	85	(s.1) 2370	1
5065200_R	AATVM 2000	650	1350	315	104.430	86	(s.1) 3064	1

### DIMENSIONS / dimensiones



MODEL	Ø3	Ø4	A	B	C	D	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	E	F	G	H	H1
AATVM 710	19	20	115	1035	1045	475	610	547	570	522	493	489	767	1123	426	160	630	475
AATVM 800	19	20	127	1070	1170	530	682	622	640	592	555	545	854	1265	481	192,5	710	530
AATVM 900	19	20	140	1240	1315	600	763	696	715	668	628	617	963	1428	542	222	800	600
AATVM 1000	24	25	160	1435	1460	670	849	805	790	765	691	640	1074	1591	607	263	900	670
AATVM 1120	24	24	185	1465	1630	750	951	898	880	857	770	713	1202	1770	684	278,5	860	750
AATVM 1250	24	30	200	1500	1815	840	1059	998	975	944	864	802	1343	1984	765	298	960	840
AATVM 1400	28	30	232	1655	2028	936	1188	1114	1092	1063	963	893	1500	2163	853	349,5	1070	936
AATVM 1600	28	30	257	1915	2310	1060	1334	1271	1250	1218	1110	1033	1693	2510	965	384	1200	1060
AATVM 1800	28	30	404	2000	2607	1210	1498	1425	1397	1357	1238	1145	1915	2788	1090	411	1400	1210
AATVM 2000	30	30	434	2065	2840	1320	1664	1556	1520	1475	1343	1246	2109	3143	1203	462	1500	1320

MODEL	H2	I	J	K	L	M	N	N1 x Ø1	N2 x Ø2	N3	N4	O	O6	P	Q	R	R'	S
AATVM 710	550	526	551	300	629	32	20	8x12	10x12	63	39	551	262	300	110	39	20	570
AATVM 800	620	526	551	325	629	32	30	12x12	10x12	93	39	551	324	325	110	39	30	640
AATVM 900	695	663	607	354	697	36	45	12x12	10x12	116	45	607	363	354	140	45	45	715
AATVM 1000	770	850	760	426	850	55	50	12x14	14x12	112,5	45	760	404	426	140	45	50	790
AATVM 1120	860	1178	760	447	850	45	55	12x14	14x12	106	45	760	452	447	140	45	55	880
AATVM 1250	960	1310	760	486	1010	45	55	12x14	14x12	110	45	760	503	486	140	45	55	975
AATVM 1400	1070	1450	780	569	1010	55	65	16x14	14x12	120	55	780	564	569	170	55	65	1092
AATVM 1600	1200	1640	917	638	1100	60	65	16x14	14x12	120	65	917	633	638	210	65	65	1250
AATVM 1800	1400	1830	917	692	1100	60	65	16x14	14x12	130	65	917	705	692	210	65	65	1397
AATVM 2000	1520	2030	917	754	1100	60	85	24x14	16x12	170	65	917	789	754	210	65	85	1520

MODEL	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	T	T1	U	U'	V	V1	X	X1	X2	X3	X4
AATVM 710	493	489	475	767	610	547	522	32	14	526	570	1010	48	493	475	767	610	547
AATVM 800	555	545	530	854	682	622	592	32	16	526	600	1010	55	555	530	854	682	622
AATVM 900	628	617	600	963	763	696	668	36	18	663	663	1065	65	628	600	963	763	696
AATVM 1000	691	640	670	1074	849	805	765	55	20	850	780	1240	75	691	670	1074	849	805
AATVM 1120	770	713	750	1202	951	898	857	45	20	1178	1178	1066	75	770	750	1202	951	898
AATVM 1250	864	802	840	1343	1059	998	944	45	20	1310	1310	1230	75	864	840	1343	1059	998
AATVM 1400	963	983	936	1500	1188	1114	1063	55	22	1450	1450	1240	80	963	936	1500	1188	1114
AATVM 1600	1110	1033	1060	1693	1334	1271	1218	60	25	1640	1640	1195	90	1110	1060	1693	1334	1271
AATVM 1800	1238	1145	1210	1915	1498	1425	1357	60	28	1830	1830	1295	100	1238	1210	1915	1498	1425
AATVM 2000	1343	1246	1320	2109	1664	1556	1475	60	28	2030	2030	1350	100	1343	1320	2109	1664	1556

MODEL	X5	X6	X7	Y	a	a1	a2	b	b1	b2	d	d1	d2	n1xp	n2xp
AATVM 710	570	522	489	180	288	332	368	205	249	285	360	405	440	1x125	2x125
AATVM 800	640	592	545	180	322	366	402	229	273	309	405	448	485	1x125	2x125
AATVM 900	715	668	617	200	361	405	441	256	300	336	455	497	535	1x125	2x125
AATVM 1000	790	765	640	200	404	448	484	288	332	368	505	551	585	2x125	3x125
AATVM 1120	880	857	713	220	453	497	533	322	366	402	565	629	665	2x125	3x125
AATVM 1250	975	944	802	220	507	551	587	361	405	441	635	698	735	2x125	3x125
AATVM 1400	1092	1063	893	220	569	629	669	404	464	504	715	775	815	2x160	3x160
AATVM 1600	1250	1218	1033	220	638	698	738	453	513	553	805	861	905	2x160	3x160
AATVM 1800	1397	1357	1145	250	715	775	815	507	567	607	905	958	1005	2x160	4x160
AATVM 2000	1520	1475	1246	250	801	871	921	569	639	689	1007	1067	1107	2x200	3x200

## 8.10 Quemador de gas

# LMB G-RE

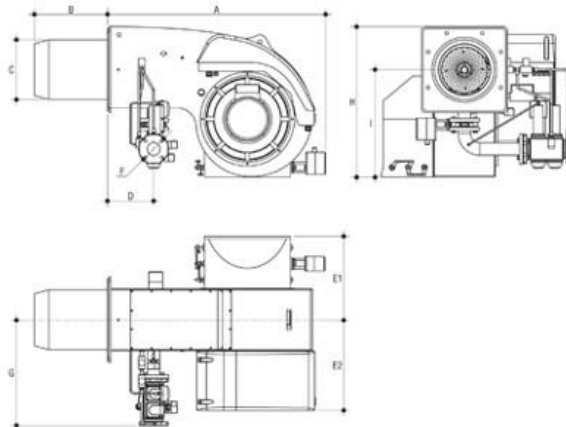
GAS

**QUEMADORES MODULANTES DE GAS CON CONTROL ELECTRÓNICO**

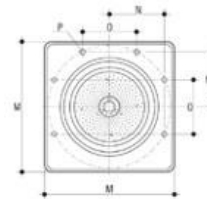


- Cuerpo de chapa de acero con brida para conexión al generador
- Ventilador de alto rendimiento
- Control electrónicos para aire y gas
- Boquilla y cabeza de combustión de acero inoxidable
- Rampa de gas que comprende el control y gestión de la válvula, manómetros de presión mínima/máxima y control de estanqueidad
- Control de modulación
- Control de presencia de llama mediante fotocélula
- Fácil mantenimiento y acceso a la cabeza de combustión
- Manómetro de presión para verificar la presencia de aire de combustión

Dimensiones (mm)



Brida de conexión



MODELO	M	N	O	P
	mm	mm	mm	Ø mm
<b>LMB G 5500 - RE</b>	530	225	220	20
<b>LMB G 6500 - RE</b>	530	225	220	20
<b>LMB G 8300 - RE</b>	620	308	300	20
<b>LMB G 9900 - RE</b>	620	308	300	20

MODELO	A	B	C	D	E1	E2	F				G				H	I
	mm	mm	Ø mm	mm	mm	mm	Ø mm				mm				mm	mm
							DN50	DN65	DN80	DN100	DN50	DN65	DN80	DN100		
<b>LMB G 5500 - RE</b>	1340	560 - 600	369	285	520	560	DN50	DN65	DN80	705	755	775	930	665	930	665
<b>LMB G 6500 - RE</b>	1340	560 - 600	369	285	520	560	DN50	DN65	DN80	705	755	775	930	665	930	665
<b>LMB G 8300 - RE</b>	1555	580 - 630	459	335	610	665	DN65	DN80	DN100	815	835	875	1080	770	1078	770
<b>LMB G 9900 - RE</b>	1555	580 - 630	459	335	610	665	DN65	DN80	DN100	815	835	875	1080	770	1078	770

MODELO	POTENCIA TÉRMICA MÁXIMA	POTENCIA TÉRMICA MINIMA	CAUDAL GAS MÁXIMO	DATOS ELÉCTRICOS MOTOR	PESO	CÓDIGO	PRECIO
	kW	kW	m³/h	V/Hz	Kg		€
<b>LMB G 5500 - RE</b>	5500	1800	582	450/50 Trifásico	325	L524055002	<b>CONSULTAR</b>
<b>LMB G 6500 - RE</b>	6500	2000	688	450/50 Trifásico	333	L524065002	
<b>LMB G 8300 - RE</b>	8300	2700	878	450/50 Trifásico	475	L524083002	
<b>LMB G 9900 - RE</b>	10600	3500	1122	450/50 Trifásico	490	L524099002	

## 8.11 Filtro de mangas



### FILTRO DE MANGAS (12M)

**MODELO:**  
SET.FM.DAC

#### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Los procesos de las industrias modernas generan una gran cantidad de contaminación atmosférica en diversas formas: partículas, gases, vapores y humos.

Quando la concentración de partículas de gases sobrepasa los niveles de seguridad reglamentados, la reducción de estas concentraciones para los niveles legales es algo crucial para el éxito de una empresa.

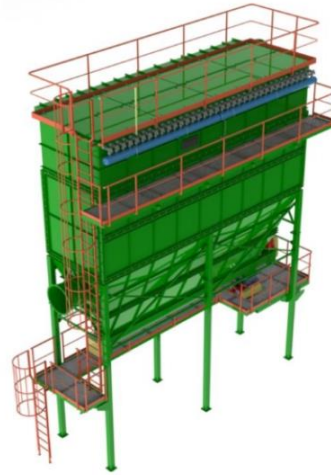
LA SETIMEP presenta una gama estándar de filtros de mangas ajustados a reducir el nivel de emisiones contaminantes a niveles dentro de la ley.

#### TIPO DE CONSTRUCCIÓN

Construcción en acero de construcción S235JR.  
(Fabricación con dimensiones y materiales específicos según pedido)



Versão n.º1: 17/09/2012



#### GAMA DISPONIBLE

Gama diseñada para maximización de la performance y minimización del consumo energético

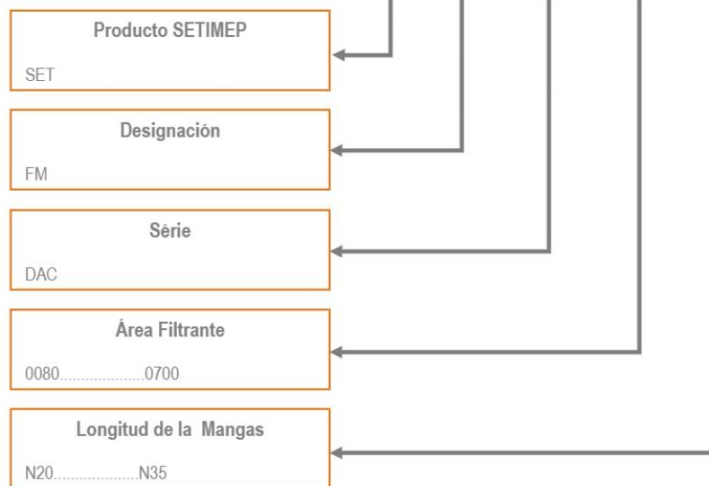
Área filtrante de 80 a 700 m<sup>2</sup> (ver tablas técnicas).

Aplicabilidad universal y de fácil mantenimiento. Puede ser equipado, bajo petición, con los más variados tipos de accesorios y sistemas de extracción (válvulas, sinfines, etc.).

Dimensionamiento adaptado a las necesidades del cliente y de las variables de proceso (temperatura del aire, la naturaleza de las partículas, la frecuencia de uso, etc.).

#### CODIFICACIÓN / REFERENCIA

**SET . FM . DAC . 0580 . N30**



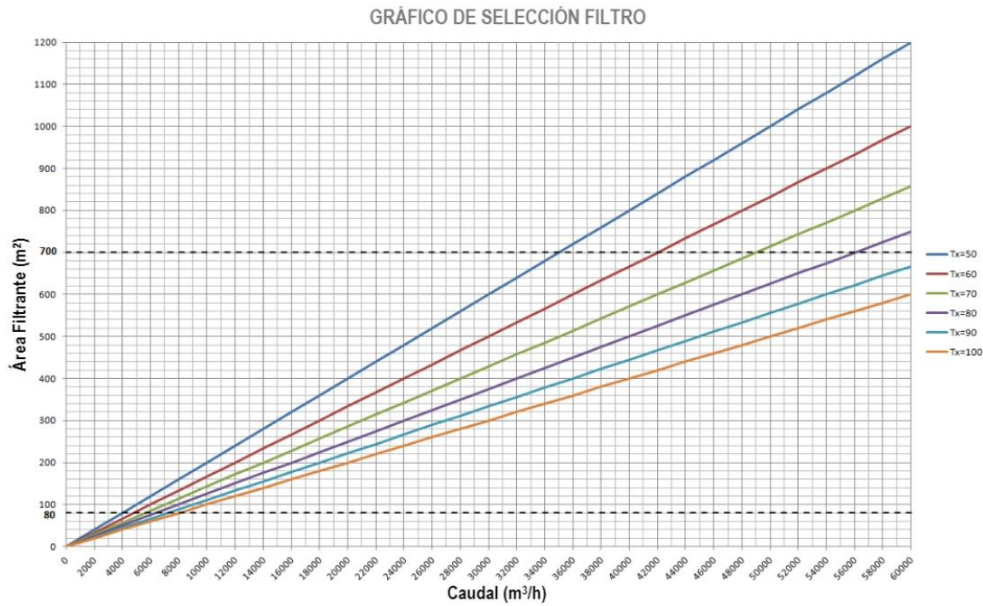
Ex: SET.FM.DAC.0580.N30 → Filtro de mangas con una área filtrante de 580 m<sup>2</sup> con mangas de 3.0 m

**ENGENHARIA • AMBIENTE • ENERGIA**  
**ENGINEERING • ENVIRONMENT • ENERGY**



FILTRO DE MANGAS (12M)

MODELO: SET.FM.DAC



Notas:

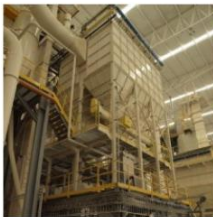
Área filtrante necesaria es obtenido de la intersección del caudal necesario con la relación de filtración (Tx) deseada y debe ser normalizado usando las tablas técnicas que se aplican en las páginas siguientes.

Tx Altas → Filtros de pequeñas dimensiones, Más costos de operación y mantenimiento;

Tx Bajas → filtros más grande, baja de los costos de operación y mantenimiento;

Siempre que el resultado de la intersección es un valor superior o inferior a los límites máximos y mínimos de las tablas, se recomienda consultar los otros catálogos de filtros de mangas disponibles en [www.setimep.com](http://www.setimep.com).

Contacte-nos si tiene cualquier duda o información adicional de que necesite



SETIMEP, LDA  
Rua Óscar Dias Pereira, 84 - Gualtar 4710-081 Braga | T. +351 253 679 469 | F. +351 253 679 478 | info@setimep.com | www.setimep.com  
CAPITAL SOCIAL 50.000 EUROS, MATRICULADA NA CONSERVATÓRIA DO REGISTO COMERCIAL DE BRAGA, SOB Nº 6648 DFE 14/10/99, PESSOAL COL. Nº 503002780

**FILTRO DE MANGAS (12M)**

**MODELO: SET.FM.DAC**

**TABELAS TÉCNICAS**

**SET.FM.DAC....I30**

MODELO	AREA FILTRANTE (m <sup>2</sup> )	L1 (mm)	L2 (mm)	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	H4 (mm)	H5 (mm)
SET.FM.DAC.0120.N30	120	1792	2438	9600	4600	7400	11600	2200 (*)
SET.FM.DAC.0140.N30	140	2226						
SET.FM.DAC.0170.N30	170	2654						
SET.FM.DAC.0200.N30	200	3082						
SET.FM.DAC.0230.N30	230	3510						
SET.FM.DAC.0260.N30	260	3944						
SET.FM.DAC.0290.N30	290	4372						
SET.FM.DAC.0320.N30	320	4800						
SET.FM.DAC.0350.N30	350	5228						
SET.FM.DAC.0370.N30	370	5662						
SET.FM.DAC.0400.N30	400	6090						
SET.FM.DAC.0430.N30	430	6518						
SET.FM.DAC.0460.N30	460	6946						
SET.FM.DAC.0490.N30	490	7380						
SET.FM.DAC.0520.N30	520	7808						
SET.FM.DAC.0550.N30	550	8236						
SET.FM.DAC.0580.N30	580	8664						
SET.FM.DAC.0600.N30	600	9092						

\* Plataforma de acceso al sistema de extracción opcional (distancia al suelo variable)

**SET.FM.DAC....I35**

MODELO	AREA FILTRANTE (m <sup>2</sup> )	L1 (mm)	L2 (mm)	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	H4 (mm)	H5 (mm)
SET.FM.DAC.0130.N35	130	1792	2438	10100	5100	7900	12100	2200 (*)
SET.FM.DAC.0170.N35	170	2226						
SET.FM.DAC.0200.N35	200	2654						
SET.FM.DAC.0240.N35	240	3082						
SET.FM.DAC.0270.N35	270	3510						
SET.FM.DAC.0300.N35	300	3944						
SET.FM.DAC.0340.N35	340	4372						
SET.FM.DAC.0370.N35	370	4800						
SET.FM.DAC.0400.N35	400	5228						
SET.FM.DAC.0440.N35	440	5662						
SET.FM.DAC.0470.N35	470	6090						
SET.FM.DAC.0500.N35	500	6518						
SET.FM.DAC.0540.N35	540	6946						
SET.FM.DAC.0570.N35	570	7380						
SET.FM.DAC.0600.N35	600	7808						
SET.FM.DAC.0640.N35	640	8236						
SET.FM.DAC.0670.N35	670	8664						
SET.FM.DAC.0700.N35	700	9092						

\* Plataforma de acceso al sistema de extracción opcional (distancia al suelo variable)

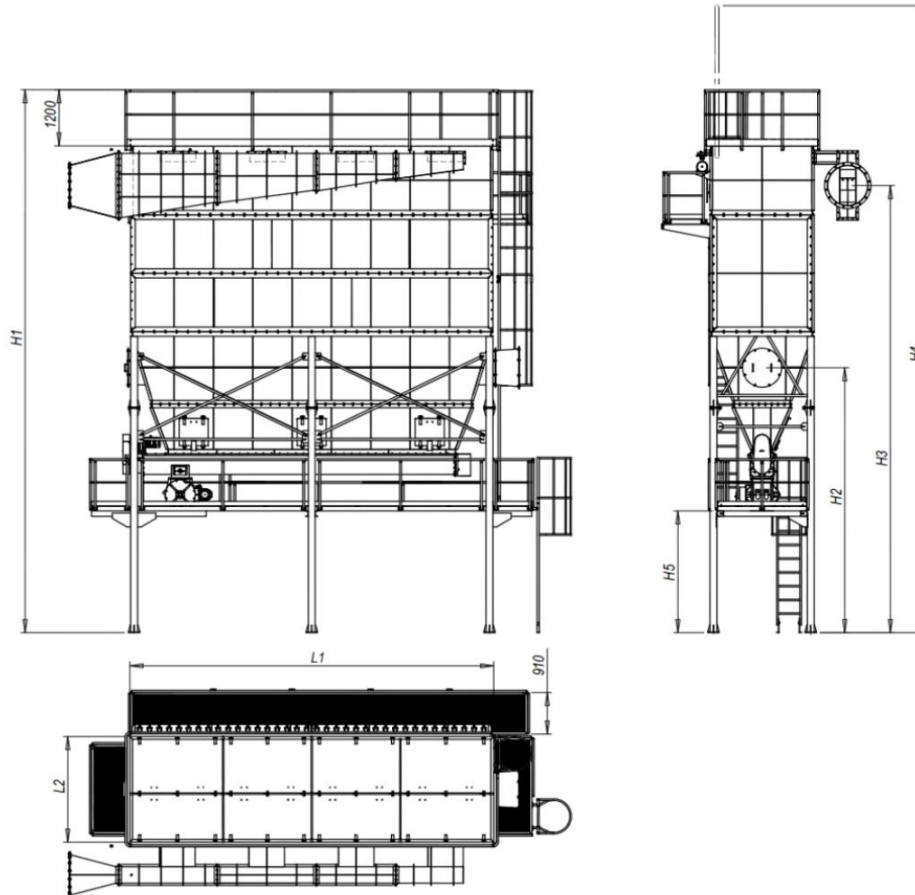
**Nota:** Todas las dimensiones que se muestran son indicativas, para obtener más información, póngase en contacto con nosotros.


**SETIMEP, LDA**  
 Rua Óscar Dias Pereira, 84 - Gualtar 4710-061 Braga | T. +351 253 679 469 | F. +351 253 679 478 | info@setimep.com | www.setimep.com  
 CAPITAL SOCIAL 50.000 EUROS, MATRICULADA NA CONSERVATORIA DO REGISTO COMERCIAL DE BRAGA, SOB N.º 6648 DFE 14/10/99, PESSOAL COL. N.º 503002780

FILTRO DE MANGAS (12M)

MODELO: SET.FM.DAC

DIBUJO TÉCNICO FILTRO



Con más de 30 años de experiencia al servicio de los clientes, tanto nacionales como internacionales (Europa, América del Sur y África), nuestra meta no es sólo el cumplimiento de la legislación en vigor con respecto a las emisiones de partículas contaminantes, como también una fuerte preocupación por el nivel de eficiencia energética, la robustez y uniformización del equipo, con un reflejo directo en la longevidad y la asistencia técnica.

**Nuestra misión es la de incrementar la productividad industrial y la protección del medio ambiente**

Todos los equipos SETIMEP están diseñados y fabricados para ofrecer a sus clientes, robustez, fiabilidad y bajo consumo de energía.

Lo invitamos a conocer nuestras soluciones para extraer el polvo y ventilación industrial completa, diseñado y dimensionado según las necesidades del cliente y las variables de proceso desde los más sencillos hasta los más exigentes y técnicas.

**Póngase en contacto con nosotros! Un equipo de profesionales está a su disposición a trabajar en su próximo proyecto!**



SETIMEP, LDA

Rua Óscar Dias Pereira, 84 - Gualtar 4710-081 Braga | T. +351 253 679 469 | F. +351 253 679 478 | info@setimep.com | www.setimep.com  
CAPITAL SOCIAL 50.000 EUROS, MATRICULADA NA CONSERVATÓRIA DO REGISTO COMERCIAL DE BRAGA, SOB Nº 6648 DFE 14/10/99, PESSOAL COL. Nº 503002780

8.12 Tuberías



DIMENSIONES Y PESOS DE LOS TUBOS SEGUN NORMA DIN EN 10217-7

DN	6	8	10	15	20	25	32	40	50	65	80	103
1.0	0.23	0.31	0.37	0.40	0.51	0.60	0.73	0.77	0.82	0.93	1.03	1.18
1.2	0.27	0.37	0.44	0.48	0.61	0.71	0.87	0.92	0.97	1.10	1.24	1.42
1.6	0.35	0.48	0.57	0.62	0.79	0.93	1.01	1.14	1.21	1.46	1.64	1.91
2.0	0.41	0.57	0.70	0.76	0.97	1.14	1.25	1.41	1.49	1.80	2.02	2.32
2.3	0.65	0.78	0.86	1.10	1.30	1.42	1.60	1.69	1.80	2.05	2.30	2.63
2.6	0.94	1.22	1.45	1.58	1.78	1.89	2.02	2.20	2.30	2.59	2.72	2.97
2.9	1.59	1.73	1.96	2.09	2.22	2.55	2.86	3.01	3.29	3.48	3.70	3.93
3.2	2.13	2.28	2.43	2.77	3.12	3.35	3.61	3.82	4.06	4.31	4.57	4.82
3.6												
4.0												
4.5												
5.0												
5.6												
6.3												
8.0												
10.0												
12.5												

Peso: Kg/m

D0	+ 0.02
D1	+/- 1.5% Mínimo + 0.75
D2	+/- 1% Mínimo + 0.50
D3	+/- 0.75% Mínimo + 0.30
D4	+/- 0.5% Mínimo + 0.10

TOLERANCIA PARA TUBO RECTO

Diferencia admisible para diámetros exteriores

DN	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	900	1000
1.0	114.3	133	139.7	159	168.3	193.7	219.1	244.5	267	273	323.9	355.6	368	406.4	419.0
1.2															
1.6															
2.0	5.61	6.56	6.88	7.84	8.32	9.59	10.8	12.1	13.3	13.6	16.1	17.6	18.2		
2.3	6.44	7.52	7.90	9.00	9.55	11.0	12.5	13.9	15.2	15.6	18.5	20.3	20.9	23.1	23.9
2.6	7.26	8.49	8.91	10.1	10.8	12.4	14.1	15.8	17.2	17.6	20.9	22.9	23.6	26.9	29.4
2.9	8.08	9.45	9.91	11.3	12.0	13.9	15.7	17.6	19.1	19.6	23.3	25.6	26.5	30.0	32.8
3.2	8.88	10.4	10.9	12.5	13.2	15.3	17.3	19.3	21.1	21.6	25.7	28.2	29.2	32.2	33.1
3.6	9.91	11.7	12.3	14.0	14.8	17.2	19.4	21.7	23.7	24.3	28.9	31.7	32.8	36.3	37.4
4.0	11.0	12.8	13.5	15.4	16.5	18.9	21.5	24.1	26.3	26.9	32.0	35.2	36.4	40.3	41.5
4.5	12.3	14.4	15.1	17.3	18.2	21.0	23.9	26.7	29.1	29.8	35.5	39.1	40.4	44.7	46.1
5.0	13.6	15.9	16.8	19.2	20.2	23.4	26.6	29.7	32.5	33.2	39.6	43.5	45.0	49.8	51.4
5.6	15.2	17.8	18.7	21.4	22.5	26.1	29.5	33.0	36.2	37.0	44.0	48.5	50.2	55.4	57.2
6.3	16.9	19.9	20.8	23.9	25.4	29.4	33.4	37.4	40.8	41.8	49.9	54.8	56.8	62.8	64.7
8.0	21.2	24.9	26.2	30.1	31.7	36.7	41.7	46.8	51.2	52.3	62.5	68.7	71.2	78.7	81.3
10.0	30.6	32.3	37.1	39.3	45.6	51.8	58.2	63.7	69.2	77.9	85.7	89.8	98.3	101	111
12.5															

TOLERANCIA PARA TUBO RECTO

Diferencia admisible para espesores de pared

T0	+ 0.20
T1	+ 0.15
T2	+ 0.13
T3	+ 0.10
T4	+ 0.08

Tubos de precisión soldados de acero inoxidable austeníticos

Exp.	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	30	32	35	38	40
1.0	0.13	0.18	0.23	0.28	0.32	0.38	0.43	0.48	0.53	0.60	0.68	0.73	0.78	0.85	0.93	0.98
1.2	0.26	0.33	0.38	0.45	0.51	0.57	0.63	0.72	0.81	0.87	0.93	1.02	1.11	1.17		
1.6	0.32	0.39	0.47	0.54	0.62	0.70	0.77	0.88	1.00	1.07	1.15	1.26	1.37	1.45		
1.8	0.46	0.55	0.64	0.72	0.82	0.91	1.05	1.18	1.28	1.36	1.50	1.64	1.72			
2.0	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.15	1.30	1.42	1.50	1.65	1.82	1.90			
2.2	0.54	0.65	0.76	0.87	0.98	1.09	1.26	1.42	1.53	1.64	1.81	1.97	2.08			
2.5	0.62	0.74	0.86	0.99	1.11	1.24	1.41	1.58	1.75	1.85	2.03	2.22	2.35			

## 9. Anexo 9. Hojas de seguridad

### 9.1 Óxido de aluminio

29/3/2021

ICSC 0351 - ÓXIDO DE ALUMINIO

<b>ÓXIDO DE ALUMINIO</b> Óxido de alfa-aluminio Alúmina Trióxido de aluminio <b>CAS: 1344-28-1</b> <b>CE: 215-691-6</b>	<b>ICSC: 0351</b> <b>Febrero 2000</b>
--	--

	PELIGROS	PREVENCIÓN	LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO Y EXPLOSIÓN</b>	No combustible.		En caso de incendio en el entorno: usar un medio de extinción adecuado.

¡EVITAR LA DISPERSIÓN DEL POLVO!			
	SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS
<b>Inhalación</b>	Tos.	Usar extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo.
<b>Piel</b>		Guantes de protección.	Aclarar y lavar la piel con agua y jabón.
<b>Ojos</b>	Enrojecimiento.	Utilizar gafas de protección de montura integral o protección ocular en combinación con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
<b>Ingestión</b>		No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca.

DERRAMES Y FUGAS	CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO
Protección personal: respirador con filtro para partículas adaptado a la concentración de la sustancia en aire. Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente tapado. Si fuera necesario, humedecer el polvo para evitar su dispersión. Eliminar el residuo con agua abundante.	<b>Conforme a los criterios del GHS de la ONU</b>  <b>Transporte</b> <b>Clasificación ONU</b>
<b>ALMACENAMIENTO</b>	
<b>ENVASADO</b>	



Organización  
Mundial de la Salud

La información original ha sido preparada en inglés por un grupo internacional de expertos en nombre de la OIT y la OMS, con la asistencia financiera de la Comisión Europea.  
© OIT y OMS 2018



European  
Commission

29/3/2021

ICSC 0351 - ÓXIDO DE ALUMINIO

ÓXIDO DE ALUMINIO		ICSC: 0351
<b>INFORMACIÓN FÍSICO-QUÍMICA</b>		
<b>Estado físico; aspecto</b> POLVO BLANCO.  <b>Peligros físicos</b> Sin datos.  <b>Peligros químicos</b> Sin datos.	Fórmula: Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Masa molecular: 101.9 Punto de ebullición: 3000°C Punto de fusión: 2054°C Densidad: 3.97 g/cm <sup>3</sup> Solubilidad en agua: ninguna	
<b>EXPOSICIÓN Y EFECTOS SOBRE LA SALUD</b>		
<b>Vías de exposición</b> La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol.  <b>Efectos de exposición de corta duración</b> La inhalación de concentraciones altas de polvo puede causar irritación de los ojos y el tracto respiratorio.	<b>Riesgo de inhalación</b> La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire.  <b>Efectos de exposición prolongada o repetida</b> La sustancia puede afectar al sistema nervioso central.	
<b>LÍMITES DE EXPOSICIÓN LABORAL</b>		
TLV: 1 mg/m <sup>3</sup> , como TWA; A4 (no clasificado como cancerígeno humano). MAK: cancerígeno: categoría 2		
<b>MEDIO AMBIENTE</b>		
<b>NOTAS</b>		
Existe una diferente forma cristalina y dura de óxido de aluminio que aparece abundantemente en la naturaleza conocida como corindón (CAS 1302-74-5). Otros puntos de fusión: 2015°C (corindón). Se encuentra también como los minerales: bauxita, bayerita, boehmita, diásporo, gibbsita.		
<b>INFORMACIÓN ADICIONAL</b>		
- Límites de exposición profesional (INSHT 2012): VLA-ED: 10 mg/m <sup>3</sup> - <b>Clasificación UE</b>		
		La calidad y exactitud de la traducción o el posible uso que se haga de esta información no es responsabilidad de la OIT, la OMS ni la Comisión Europea. © Versión en español, INSST, 2018

## 9.2 Polietilenglicol

29/3/2021

ICSC 1517 - POLYETHYLENE GLYCOL (200-600)



<b>POLYETHYLENE GLYCOL (200-600)</b>	<b>ICSC: 1517</b>
PEG	<b>April 2004</b>
Oxyethylene polymer	
Poly(oxy-1,2-ethynediyl), alpha-hydro-omega-hydroxy	
<b>CAS #: 25322-68-3</b>	
<b>EC Number: 500-038-2</b>	

	ACUTE HAZARDS	PREVENTION	FIRE FIGHTING
<b>FIRE &amp; EXPLOSION</b>	Combustible.	NO open flames.	In case of fire in the surroundings, use appropriate extinguishing media.

	SYMPTOMS	PREVENTION	FIRST AID
<b>Inhalation</b>		Use ventilation.	Fresh air, rest.
<b>Skin</b>			Rinse skin with plenty of water or shower.
<b>Eyes</b>		Wear safety spectacles.	First rinse with plenty of water for several minutes (remove contact lenses if easily possible), then refer for medical attention.
<b>Ingestion</b>	Diarrhoea. Nausea.	Do not eat, drink, or smoke during work.	Rinse mouth.

SPILLAGE DISPOSAL	CLASSIFICATION & LABELLING
Collect leaking and spilled liquid in covered containers as far as possible. Wash away remainder with plenty of water.	<b>According to UN GHS Criteria</b>  <b>Transportation UN Classification</b>
<b>STORAGE</b>	
Dry. Well closed.	
<b>PACKAGING</b>	



Prepared by an international group of experts on behalf of ILO and WHO, with the financial assistance of the European Commission.  
© ILO and WHO 2017



29/3/2021

ICSC 1517 - POLYETHYLENE GLYCOL (200-600)

POLYETHYLENE GLYCOL (200-600)		ICSC: 1517
<b>PHYSICAL &amp; CHEMICAL INFORMATION</b>		
<b>Physical State; Appearance</b> COLOURLESS VISCOUS SLIGHTLY HYGROSCOPIC LIQUID.	<b>Physical dangers</b>	Formula: HO(C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O) <sub>n</sub> H Molecular mass: 200-600 Boiling point: 250°C Melting point: softening point See Notes.
<b>Chemical dangers</b>		Relative density (water = 1): 1.13 Solubility in water at 20°C: very good Vapour pressure, Pa at 20°C: <10 Flash point: 171-235°C Auto-ignition temperature: ~360°C
<b>EXPOSURE &amp; HEALTH EFFECTS</b>		
<b>Routes of exposure</b>	<b>Effects of short-term exposure</b>	<b>Inhalation risk</b> A nuisance-causing concentration of airborne particles can be reached quickly when dispersed.
		<b>Effects of long-term or repeated exposure</b>
<b>OCCUPATIONAL EXPOSURE LIMITS</b>		
MAK: (inhalable fraction): 200 mg/m <sup>3</sup> ; peak limitation category: II(2); pregnancy risk group: C		
<b>ENVIRONMENT</b>		
<b>NOTES</b>		
This card covers the individual substances polyethylene glycol 200, 300, 400, 600 and the mixture of the polyethylene glycols and is fully applicable for all polyethylenes in the molecular mass range from 200 to 600 g/mol. Softening points for Polyethylene glycols: 200 (-65 to -50°C), 300 (-15 to -10°C), 400 (-6 to 8°C), 600 (17 to 22°C).		
<b>ADDITIONAL INFORMATION</b>		
<b>EC Classification</b>		
All rights reserved. The published material is being distributed without warranty of any kind, either expressed or implied. Neither ILO nor WHO nor the European Commission shall be responsible for the interpretation and use of the information contained in this material.		

See Also:  
[Toxicological Abbreviations](#)



### 9.3 Poliacrilato de sodio


29/3/2021




ICSC 1429 - SAL DE SODIO DEL ÁCIDO POLIACRÍLICO

<b>SAL DE SODIO DEL ÁCIDO POLIACRÍLICO</b>	<b>ICSC: 1429</b>
Poliacrilato sódico Sal de sodio del homopolímero de ácido 2-propenoico Sal sódica del homopolímero de ácido acrílico Sal sódica del polímero de carboxivinilo	<b>Abril 2008</b>
<b>CAS: 9003-04-7</b>	

	PELIGROS	PREVENCIÓN	LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO Y EXPLOSIÓN</b>	Combustible. Las partículas finamente dispersas forman mezclas explosivas en el aire.	Evitar las llamas. Evitar el depósito del polvo.	Usar polvo, espuma resistente al alcohol, agua en grandes cantidades, dióxido de carbono.

¡EVITAR LA DISPERSIÓN DEL POLVO!			
	SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS
<b>Inhalación</b>	Tos.	Usar ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo.
<b>Piel</b>		Guantes de protección.	Quitar las ropas contaminadas.
<b>Ojos</b>	Enrojecimiento.	Utilizar gafas de protección.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
<b>Ingestión</b>		No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca.

DERRAMES Y FUGAS	CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO
Protección personal: respirador con filtro para partículas adaptado a la concentración de la sustancia en aire. Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente tapado. Si fuera necesario, humedecer el polvo para evitar su dispersión. Eliminar el residuo con agua abundante.	<p>Conforme a los criterios del GHS de la ONU</p> <div style="text-align: center;">  <p><b>ATENCIÓN</b></p> <p>Puede provocar daños en los pulmones tras exposiciones prolongadas o repetidas si se inhala</p> <p>Transporte Clasificación ONU</p> </div>
<b>ALMACENAMIENTO</b>	
Separado de oxidantes.	
<b>ENVASADO</b>	

 Organización Internacional del Trabajo	 Organización Mundial de la Salud	<p>La información original ha sido preparada en inglés por un grupo internacional de expertos en nombre de la OIT y la OMS, con la asistencia financiera de la Comisión Europea. © OIT y OMS 2018</p>	 European Commission
---	---	---	--

29/3/2021

ICSC 1429 - SAL DE SODIO DEL ÁCIDO POLIACRÍLICO

SAL DE SODIO DEL ÁCIDO POLIACRÍLICO		ICSC: 1429
<b>INFORMACIÓN FÍSICO-QUÍMICA</b>		
<p><b>Estado físico; aspecto</b> POLVO BLANCO DE OLOR CARACTERÍSTICO.</p> <p><b>Peligros físicos</b> Es posible la explosión del polvo si se encuentra mezclado con el aire en forma pulverulenta o granular. Si está seca, puede cargarse electrostáticamente por turbulencia, transporte neumático, vertido, etc.</p> <p><b>Peligros químicos</b> Reacciona violentamente con oxidantes. Esto genera peligro de incendio y explosión.</p>	<p>Fórmula: <math>(C_3H_3O_2)_n \cdot Na</math> Masa molecular: variable (polímero) Ver Notas. Densidad: 1.1 - 1.4 g/cm<sup>3</sup> Solubilidad en agua: elevada</p>	
<b>EXPOSICIÓN Y EFECTOS SOBRE LA SALUD</b>		
<p><b>Vías de exposición</b> La sustancia se puede absorber por ingestión.</p> <p><b>Efectos de exposición de corta duración</b> Puede causar irritación mecánica.</p>	<p><b>Riesgo de inhalación</b> Puede alcanzarse rápidamente una concentración nociva de partículas suspendidas en el aire cuando se dispersa.</p> <p><b>Efectos de exposición prolongada o repetida</b> La inhalación prolongada o repetida puede afectar a los pulmones.</p>	
<b>LÍMITES DE EXPOSICIÓN LABORAL</b>		
<b>MEDIO AMBIENTE</b>		
<b>NOTAS</b>		
<p>La sustancia es combustible pero no se encuentra referenciado en la bibliografía el punto de inflamación. Las propiedades pueden variar con el peso molecular. Las propiedades físicas hacen referencia a la forma ácida del polímero. Aplicar también las recomendaciones de esta ficha al ácido poliácrico, CAS 9003-01-4.</p>		
<b>INFORMACIÓN ADICIONAL</b>		
<p><b>Clasificación UE</b></p>		
 <p>GOBIERNO DE ESPAÑA</p>	<p>MINISTERIO DE TRABAJO Y ECONOMÍA SOCIAL</p>	 <p>La calidad y exactitud de la traducción o el posible uso que se haga de esta información no es responsabilidad de la OIT, la OMS ni la Comisión Europea. © Versión en español, INSST, 2018</p>

## 9.4 Ácido acrílico

29/3/2021

ICSC 0688 - ÁCIDO ACRÍLICO

<b>ÁCIDO ACRÍLICO</b> Ácido etilencarboxílico Ácido acroleico Ácido 2-propenoico	<b>ICSC: 0688</b>
<b>CAS: 79-10-7</b> <b>N° ONU: 2218 (estabilizado)</b> <b>CE: 201-177-9</b>	<b>Abril 2013</b>

	PELIGROS	PREVENCIÓN	LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO Y EXPLOSIÓN</b>	Inflamable. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes. Por encima de 48°C pueden formarse mezclas explosivas vapor/aire.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. Por encima de 48°C, sistema cerrado, ventilación y equipo eléctrico a prueba de explosión. Los vapores no están inhibidos y pueden polimerizar en las instalaciones de extracción o ventilación, con riesgo de avería.	Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo, dióxido de carbono. En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido.

¡HIGIENE ESTRICTA!			
	SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS
<b>Inhalación</b>	Tos. Dolor de garganta. Sensación de quemazón. Jadeo. Dificultad respiratoria.	Usar ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semiincorporado. Proporcionar asistencia médica.
<b>Piel</b>	¡PUEDE ABSORBERSE! Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras cutáneas graves.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse. Proporcionar asistencia médica.
<b>Ojos</b>	Enrojecimiento. Dolor. Daño corneal.	Utilizar pantalla facial o protección ocular en combinación con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
<b>Ingestión</b>	Sensación de quemazón. Diarrea. Shock o colapso. Pérdida del conocimiento.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.

DERRAMES Y FUGAS	CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO
¡Evacuar la zona de peligro! ¡Consultar a un experto! Protección personal: traje de protección completo incluyendo equipo autónomo de respiración. Ventilar. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes precintables. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte. A continuación, almacenar y eliminar el residuo conforme a la normativa local.	<p>Conforme a los criterios del GHS de la ONU</p>  <p><b>PELIGRO</b></p> <p>Líquido y vapores inflamables Tóxico en caso de ingestión, en contacto con la piel o si se inhala Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares Puede irritar las vías respiratorias Nocivo para los organismos acuáticos</p> <p><b>Transporte</b> <b>Clasificación ONU</b> Clase de Peligro ONU: 8; Peligro Secundario ONU: 3; Grupo de Embalaje/Envase ONU: II</p>
<b>ALMACENAMIENTO</b>	
A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes, bases fuertes, ácidos fuertes y alimentos y piensos. Mantener en la oscuridad. Almacenar solamente si está estabilizado. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas. Las condiciones de almacenamiento pueden variar en función del tipo de inhibidor utilizado. Consultar en las instrucciones del fabricante las condiciones adecuadas de almacenamiento. Ver Notas.	
<b>ENVASADO</b>	
No transportar con alimentos y piensos. Solo puede almacenarse en recipientes de vidrio, acero inoxidable, aluminio o recubiertos con polietileno.	
  <p>La información original ha sido preparada en inglés por un grupo internacional de expertos en nombre de la OIT y la OMS, con la asistencia financiera de la Comisión Europea. © OIT y OMS 2018</p> 	

[https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_card\\_id=0688&p\\_version=2&p\\_lang=es#:~:text=ICSC 0688 - ÁCIDO ACRÍLICO&text=Inflamabl...](https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=0688&p_version=2&p_lang=es#:~:text=ICSC 0688 - ÁCIDO ACRÍLICO&text=Inflamabl...) 1/2

29/3/2021

ICSC 0688 - ÁCIDO ACRÍLICO

ÁCIDO ACRÍLICO		ICSC: 0688
<b>INFORMACIÓN FÍSICO-QUÍMICA</b>		
<p><b>Estado físico; aspecto</b> LÍQUIDO INCOLORO DE OLOR ACRE.</p> <p><b>Peligros físicos</b> Los vapores no están inhibidos y pueden polimerizar en los venteos o apagalamas y bloquearlos.</p> <p><b>Peligros químicos</b> La sustancia polimeriza fácilmente por calentamiento intenso, bajo la influencia de la luz, oxígeno, oxidantes tales como peróxidos u otros activadores (ácido, sales de hierro). Esto genera peligro de incendio o explosión. Se descompone por calentamiento. Esto produce humos tóxicos. La sustancia es moderadamente ácida. Reacciona violentamente con bases fuertes y aminas. Ataca muchos metales incluyendo níquel y cobre.</p>	<p>Fórmula: <math>C_3H_4O_2 / CH_2=CHCOOH</math></p> <p>Masa molecular: 72.07</p> <p>Punto de ebullición: 141°C</p> <p>Punto de fusión: 14°C</p> <p>Densidad relativa (agua = 1): 1.05</p> <p>Solubilidad en agua: miscible</p> <p>Presión de vapor, Pa a 20°C: 413</p> <p>Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2.5</p> <p>Punto de inflamación: 48-55°C c.c.</p> <p>Temperatura de autoignición: 395°C</p> <p>Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 3.9-19.8</p> <p>Coefficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 0.36 (estimado)</p> <p>Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.01</p>	
<b>EXPOSICIÓN Y EFECTOS SOBRE LA SALUD</b>		
<p><b>Vías de exposición</b> La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.</p> <p><b>Efectos de exposición de corta duración</b> La sustancia es corrosiva para los ojos y la piel. Corrosivo por ingestión. El vapor irrita gravemente los ojos y el tracto respiratorio.</p>	<p><b>Riesgo de inhalación</b> Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire, más rápidamente por pulverización o cuando se dispersa.</p> <p><b>Efectos de exposición prolongada o repetida</b> El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. La sustancia puede afectar al tracto respiratorio superior y a los pulmones. Esto puede dar lugar a función pulmonar reducida e hiperreactividad de las vías aéreas. Ver Notas.</p>	
<b>LÍMITES DE EXPOSICIÓN LABORAL</b>		
<p>TLV: 2 ppm como TWA; (piel); A4 (no clasificado como cancerígeno humano).</p> <p>MAK: 30 mg/m<sup>3</sup>, 10 ppm; categoría de limitación de pico: I(1); riesgo para el embarazo: grupo C.</p> <p>EU-OEL: 29 mg/m<sup>3</sup>, 10 ppm como TWA; 59 mg/m<sup>3</sup>, 20 ppm como STEL</p>		
<b>MEDIO AMBIENTE</b>		
<p>La sustancia es nociva para los organismos acuáticos.</p>		
<b>NOTAS</b>		
<p>El ácido acrílico se comercializa estabilizado mediante la adición de inhibidores de la polimerización (ver Peligros Químicos). El ácido acrílico se solidifica por debajo de 14°C causando una disminución localizada del estabilizante. Seguir las instrucciones del fabricante para descongelar.</p> <p>La adición de estabilizantes o inhibidores puede influir sobre las propiedades toxicológicas de esta sustancia; consultar a un experto.</p> <p>Debería considerarse la inmediata administración de una terapia por inhalación adecuada por un médico o persona por él autorizada.</p> <p>Nadie que haya mostrado signos de sensibilización a esta sustancia debería entrar nunca más en contacto con esta sustancia u otros acrilatos.</p>		
<b>INFORMACIÓN ADICIONAL</b>		
<p>- Límites de exposición profesional (INSST 2019): VLA-ED: 10 ppm; 29 mg/m<sup>3</sup> VLA-EC: 20 ppm; 59 mg/m<sup>3</sup> Notas: vía dérmica.</p> <p>- N° de índice (clasificación y etiquetado armonizados conforme al Reglamento CLP de la UE): 607-061-00-8</p> <p>- <b>Clasificación UE</b> Pictograma: C, N; R: 10-20/21/22-35-50; S: (1/2)-26-36/37/39-45-61; Nota: D</p>		
		<p>La calidad y exactitud de la traducción o el posible uso que se haga de esta información no es responsabilidad de la OIT, la OMS ni la Comisión Europea.</p> <p>© Versión en español, INSST, 2018</p>

[https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_card\\_id=0688&p\\_version=2&p\\_lang=es#:~:text=ICSC 0688 - ÁCIDO ACRÍLICO&text=Inflamabl...](https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=0688&p_version=2&p_lang=es#:~:text=ICSC 0688 - ÁCIDO ACRÍLICO&text=Inflamabl...) 2/2

## 9.5 Agua

### Información de seguridad voluntaria apoyándose en el formato de ficha de datos de seguridad conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)



#### Agua desmineralizada, no estéril

número de artículo: **3175**  
 Versión: **3.0 es**  
 Reemplaza la versión de: 24.05.2018  
 Versión: (2)

fecha de emisión: 29.10.2015  
 Revisión: 04.06.2020

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

#### 1.1 Identificador del producto

Identificación de la sustancia	<b>Agua</b>
Número de artículo	3175
Número de registro (REACH)	Según reglamento (CE) n° 1907/2006 [REACH], no es obligatorio de registrar la sustancia
Número CE	231-791-2
Número CAS	7732-18-5

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

**Usos identificados:** producto químico de laboratorio  
 uso analítico y de laboratorio

#### 1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Carl Roth GmbH + Co KG  
 Schoemperlenstr. 3-5  
 D-76185 Karlsruhe  
 Alemania

**Teléfono:** +49 (0) 721 - 56 06 0  
**Fax:** +49 (0) 721 - 56 06 149  
**e-mail:** [sicherheit@carlroth.de](mailto:sicherheit@carlroth.de)  
**Sitio web:** [www.carlroth.de](http://www.carlroth.de)

Persona competente responsable de la ficha de datos de seguridad: : Department Health, Safety and Environment

**e-mail (persona competente):** [sicherheit@carlroth.de](mailto:sicherheit@carlroth.de)

#### 1.4 Teléfono de emergencia

Nombre	Calle	Código postal/ciudad	Teléfono	Sitio web
Servicio de Información Toxicológica Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses	Jose Echegaray nº 4 Las Rozas	28232 Madrid	+34 91 562 0420	

#### 1.5 Importador

**Teléfono:**  
**Fax:**  
**Sitio web:**

**Información de seguridad voluntaria apoyándose en el formato de ficha de datos de seguridad conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)**



Agua desmineralizada, no estéril

número de artículo: 3175

## SECCIÓN 2: Identificación de los peligros

### 2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

**Clasificación según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)**

Esta sustancia no reúne los criterios para ser clasificada conforme al Reglamento no 1272/2008/CE.

### 2.2 Elementos de la etiqueta

**Etiquetado según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)**

no es necesario

**Palabra de advertencia** no es necesario

### 2.3 Otros peligros

No hay información adicional.

## SECCIÓN 3: Composición/información sobre los componentes

### 3.1 Sustancias

Nombre de la sustancia	Agua
Número CE	231-791-2
Número CAS	7732-18-5
Fórmula molecular	H <sub>2</sub> O
Masa molar	18,02 g/mol

## SECCIÓN 4: Primeros auxilios

### 4.1 Descripción de los primeros auxilios



**Notas generales**

Quitar las prendas contaminadas.

**En caso de inhalación**

No hay peligro identificado.

**En caso de contacto con la piel**

No hay peligro identificado.

**En caso de contacto con los ojos**

No hay peligro identificado.

**En caso de ingestión**

No hay peligro identificado.

### 4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

A la fecha no se conocen síntomas y efectos

Información de seguridad voluntaria apoyándose en el formato de ficha de datos de seguridad conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)



Agua desmineralizada, no estéril

número de artículo: 3175

- 4.3 **Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente**  
ninguno

## SECCIÓN 5: Medidas de lucha contra incendios

### 5.1 Medios de extinción



#### Medios de extinción apropiados

El producto en sí no es combustible

#### Medios de extinción no apropiados

sin límite

### 5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

No combustible.

### 5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

Luchar contra el incendio desde una distancia razonable, tomando las precauciones habituales. Llevar un aparato de respiración autónomo.

## SECCIÓN 6: Medidas en caso de vertido accidental

### 6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia



#### Para el personal que no forma parte de los servicios de emergencia

No son necesarias medidas especiales.

### 6.2 Precauciones relativas al medio ambiente

No es necesario.

### 6.3 Métodos y material de contención y de limpieza

#### Consejos sobre la manera de contener un vertido

Cierre de desagües. No son necesarias medidas especiales.

#### Indicaciones adecuadas sobre la manera de limpiar un vertido

Limpiar con materiales absorbentes (p.ej. paño, vellón).

#### Otras indicaciones relativas a los vertidos y las fugas

Colocar en recipientes apropiados para su eliminación.

### 6.4 Referencia a otras secciones

Productos de combustión peligrosos: véase sección 5. Equipo de protección personal: véase sección 8. Materiales incompatibles: véase sección 10. Consideraciones relativas a la eliminación: véase sección 13.

**Información de seguridad voluntaria apoyándose en el formato de ficha de datos de seguridad conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)**



Agua desmineralizada, no estéril

número de artículo: 3175

## SECCIÓN 7: Manipulación y almacenamiento

### 7.1 Precauciones para una manipulación segura

No son necesarias medidas especiales.

#### Recomendaciones sobre medidas generales de higiene en el trabajo

Manténgase lejos de alimentos, bebidas y piensos.

### 7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Mantener el recipiente herméticamente cerrado.

#### Sustancias o mezclas incompatibles

Observe el almacenamiento compatible de productos químicos.

#### Atención a otras indicaciones

##### • Requisitos de ventilación

Utilización de ventilación local y general.

##### • Diseño específico de locales o depósitos de almacenamiento

Temperatura de almacenaje recomendada: 15 - 25 °C.

### 7.3 Usos específicos finales

No hay información disponible.

## SECCIÓN 8: Controles de exposición/protección individual

### 8.1 Parámetros de control

#### Valores límites nacionales

#### Valores límites de exposición profesional (límites de exposición en el lugar de trabajo)

No se dispone de datos.

### 8.2 Controles de exposición

#### Medidas de protección individual (equipo de protección personal)

##### Protección de los ojos/la cara



Llevar gafas de protección contra salpicaduras.

##### Protección de la piel



##### • protección de las manos

Protección de mano no es necesaria.

##### Protección respiratoria



Normalmente no es necesaria protección respiratoria personal.



**Información de seguridad voluntaria apoyándose en el formato de ficha de datos de seguridad conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)**



Agua desmineralizada, no estéril

número de artículo: 3175

**SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas**

**9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas**

**Aspecto**

Estado físico	líquido (fluido)
Color	incolor
Olor	inodoro
Umbral olfativo	No existen datos disponibles

**Otros parámetros físicos y químicos**

pH (valor)	Esta información no está disponible.
Punto de fusión/punto de congelación	0 °C
Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	100 °C a 1.013 hPa
Punto de inflamación	no determinado
Tasa de evaporación	no existen datos disponibles
Inflamabilidad (sólido, gas)	no relevantes (fluido)

Límites de explosividad

- límite inferior de explosividad (LIE) esta información no está disponible
- límite superior de explosividad (LSE) esta información no está disponible

Límites de explosividad de nubes de polvo	no relevantes
Presión de vapor	Esta información no está disponible.
Densidad	1 g/cm <sup>3</sup> a 20 °C
Densidad de vapor	Esta información no está disponible.
Densidad aparente	No es aplicable
Densidad relativa	Las informaciones sobre esta propiedad no están disponibles.

Solubilidad(es)

Hidrosolubilidad	miscible en cualquier proporción
------------------	----------------------------------

Coefficiente de reparto

n-octanol/agua (log KOW)	Esta información no está disponible.
Temperatura de auto-inflamación	Las informaciones sobre esta propiedad no están disponibles.
Temperatura de descomposición	no existen datos disponibles
Viscosidad	
• viscosidad cinemática	0,952 mm <sup>2</sup> /s a 20 °C
• viscosidad dinámica	0,952 mPa s a 20 °C
Propiedades explosivas	No se clasificará como explosiva
Propiedades comburentes	ninguno

**Información de seguridad voluntaria apoyándose en el formato de ficha de datos de seguridad conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)**



Agua desmineralizada, no estéril

número de artículo: 3175

## 9.2 Otros datos

No hay información adicional.

## SECCIÓN 10: Estabilidad y reactividad

### 10.1 Reactividad

Este material no es reactivo bajo condiciones ambientales normales.

### 10.2 Estabilidad química

El material es estable bajo condiciones ambientales normales y en condiciones previsibles de temperatura y presión durante su almacenamiento y manipulación.

### 10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas

Reacciones fuertes con: Metales alcalinos, Carburo, Ácido fuerte

### 10.4 Condiciones que deben evitarse

No se conocen condiciones particulares que deban evitarse.

### 10.5 Materiales incompatibles

No hay información adicional.

### 10.6 Productos de descomposición peligrosos

Productos de combustión peligrosos: véase sección 5.

## SECCIÓN 11: Información toxicológica

### 11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

#### Toxicidad aguda

No se clasificará como toxicidad aguda.

#### Corrosión o irritación cutánea

No se clasificará como corrosivo/irritante para la piel.

#### Lesiones oculares graves o irritación ocular

No se clasificará como causante de lesiones oculares graves o como irritante ocular.

#### Sensibilización respiratoria o cutánea

No se clasificará como sensibilizante respiratoria o sensibilizante cutánea.

#### Resumen de la evaluación de las propiedades CMR

No se clasificará como mutágeno en células germinales, carcinógeno ni tóxico para la reproducción

#### • Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única

No se clasifica como tóxico específico en determinados órganos (exposición única).

#### • Toxicidad específica en determinados órganos - exposición repetida

No se clasifica como tóxico específico en determinados órganos (exposición repetida).

#### Peligro por aspiración

No se clasifica como peligroso en caso de aspiración.

#### Síntomas relacionados con las características físicas, químicas y toxicológicas

##### • En caso de ingestión

no se dispone de datos

**Información de seguridad voluntaria apoyándose en el formato de ficha de datos de seguridad conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)**



**Agua desmineralizada, no estéril**

número de artículo: 3175

• **En caso de contacto con los ojos**

no se dispone de datos

• **En caso de inhalación**

no se dispone de datos

• **En caso de contacto con la piel**

no se dispone de datos

**Otros datos**

No se conocen efectos para la salud

## SECCIÓN 12: Información ecológica

**12.1 Toxicidad**

según 1272/2008/CE: No se clasificará como peligroso para el medio ambiente acuático.

**12.2 Procesos de degradación**

Métodos para determinar la desintegración no se pueden aplicar para materiales inorgánicos.

**12.3 Potencial de bioacumulación**

No se dispone de datos.

**12.4 Movilidad en el suelo**

No se dispone de datos.

**12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB**

No se dispone de datos.

**12.6 Otros efectos adversos**

No se dispone de datos.

## SECCIÓN 13: Consideraciones relativas a la eliminación

**13.1 Métodos para el tratamiento de residuos**



Contactar al eliminador aprobado correspondiente para una eliminación de residuos.

**Información pertinente para el tratamiento de las aguas residuales**

No tirar los residuos por el desagüe.

**13.2 Disposiciones sobre prevención de residuos**

La coordinación de los números de clave de los residuos/marcas de residuos según CER hay que efectuarla específicamente de ramo y proceso.

**13.3 Observaciones**

Los residuos se deben clasificar en las categorías aceptadas por los centros locales o nacionales de tratamiento de residuos. Por favor considerar las disposiciones nacionales o regionales pertinentes.

**Información de seguridad voluntaria apoyándose en el formato de ficha de datos de seguridad conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)**



Agua desmineralizada, no estéril

número de artículo: 3175

**SECCIÓN 14: Información relativa al transporte**

- |             |   |  |
|-------------|---|--|
| <b>14.1</b> | Número ONU  | (no está sometido a las reglamentaciones de transporte)  |
| <b>14.2</b> | Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas  | no relevantes  |
| <b>14.3</b> | Clase(s) de peligro para el transporte<br>Clase   | no relevantes<br>-   |
| <b>14.4</b> | Grupo de embalaje   | no relevantes no se le atribuye a un grupo de embalaje   |
| <b>14.5</b> | Peligros para el medio ambiente   | ninguno (no peligroso para el medio ambiente conforme al reglamento para el transporte de mercancías peligrosas) |
| <b>14.6</b> | <b>Precauciones particulares para los usuarios</b><br>No hay información adicional.   |  |
| <b>14.7</b> | <b>Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio MARPOL y del Código IBC</b><br>El transporte a granel de la mercancía no está previsto.   |  |
| <b>14.8</b> | <b>Información para cada uno de los Reglamentos tipo de las Naciones Unidas</b><br><ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Transporte de mercancías peligrosas por carretera, por ferrocarril o por vía navegable (ADR/RID/ADN)</b><br/>No está sometido al ADR, RID y al ADN.</li> <li>• <b>Código marítimo internacional de mercancías peligrosas (IMDG)</b><br/>No está sometido al IMDG.</li> <li>• <b>Organización de Aviación Civil Internacional (OACI-IATA/DGR)</b><br/>No está sometido a la OACI-IATA.</li> </ul> |  |

**SECCIÓN 15: Información reglamentaria**

- 15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla**  
**Disposiciones pertinentes de la Unión Europea (UE)**
- **Reglamento 649/2012/UE relativo a la exportación e importación de productos químicos peligrosos (PIC)**  
No incluido en la lista.
  - **Reglamento 1005/2009/CE sobre las sustancias que agotan la capa de ozono (SAO)**  
No incluido en la lista.
  - **Reglamento 850/2004/CE sobre contaminantes orgánicos persistentes (POP)**  
No incluido en la lista.
  - **Restricciones conforme a REACH, Anexo XVII**  
no incluido en la lista
  - **Restricciones conforme a REACH, Título VIII**  
Ninguno.
  - **Lista de sustancias sujetas a autorización (REACH, Anexo XIV)/SVHC - lista de candidatos**  
no incluido en la lista

**Información de seguridad voluntaria apoyándose en el formato de ficha de datos de seguridad conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)**



Agua desmineralizada, no estéril

número de artículo: 3175

• **Directiva Seveso**

2012/18/UE (Seveso III)			
No	Sustancia peligrosa/categorías de peligro	Cantidades umbral (en toneladas) de aplicación de los requisitos de nivel inferior e superior	Notas
	no asignado		

• **Directiva 75/324/CEE sobre los generadores de aerosoles**

**Lote de producción**

**Directiva sobre pinturas decorativas (2004/42/CE)**

Contenido de COV	0 % -0 <sup>9</sup> / <sub>1</sub>
------------------	---------------------------------------

**Directiva sobre emisiones industriales (COVs, 2010/75/UE)**

Contenido de COV	0 %
Contenido de COV Contenido de agua fue descontado	-0 <sup>9</sup> / <sub>1</sub>

**Directiva 2011/65/UE sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos (RoHS) - Anexo II**

no incluido en la lista

**Reglamento 166/2006/CE relativo al establecimiento de un registro europeo de emisiones y transferencias de contaminantes (PRTR)**

no incluido en la lista

**Directiva 2000/60/CE por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas**

no incluido en la lista

**Reglamento 98/2013/UE sobre la comercialización y la utilización de precursores de explosivos**

no incluido en la lista

**Reglamento 111/2005/CE por el que establecen normas para la vigilancia del comercio de precursores de drogas entre la Comunidad y terceros países**

no incluido en la lista

**Catálogos nacionales**

La sustancia es enumerada en los siguientes inventarios nacionales:

País	Catálogos nacionales	Estatuto
AU	AICS	la sustancia es enumerada
CA	DSL	la sustancia es enumerada
CN	IECSC	la sustancia es enumerada
EU	ECSI	la sustancia es enumerada
JP	CSCL-ENCS	la sustancia es enumerada
KR	KECI	la sustancia es enumerada
MX	INSQ	la sustancia es enumerada

**Información de seguridad voluntaria apoyándose en el formato de ficha de datos de seguridad conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)**



**Agua desmineralizada, no estéril**

número de artículo: 3175

País	Catálogos nacionales	Estatuto
NZ	NZIoC	la sustancia es enumerada
PH	PICCS	la sustancia es enumerada
TW	TCSI	la sustancia es enumerada
US	TSCA	la sustancia es enumerada

**Leyenda**

AICS	Australian Inventory of Chemical Substances
CSCL-ENCS	List of Existing and New Chemical Substances (CSCL-ENCS)
DSL	Domestic Substances List (DSL)
ECIS	CE inventario de sustancias (EINECS, ELINCS, NLP)
IECSC	Inventory of Existing Chemical Substances Produced or Imported in China
INSQ	Inventario Nacional de Sustancias Químicas
KECI	Korea Existing Chemicals Inventory
NZIoC	New Zealand Inventory of Chemicals
PICCS	Philippine Inventory of Chemicals and Chemical Substances
TCSI	Taiwan Chemical Substance Inventory
TSCA	Ley de Control de Sustancias Tóxicas

**15.2 Evaluación de la seguridad química**

No se ha realizado una evaluación de la seguridad química de esta sustancia.

**SECCIÓN 16: Otra información**

**Indicación de modificaciones (ficha de datos de seguridad revisada)**

Sección	Inscripción anterior (texto/valor)	Inscripción actual (texto/valor)	Relevante para la seguridad
1.1	Número de registro (REACH): Esta información no está disponible.	Número de registro (REACH): Según reglamento (CE) n.º 1907/2006 [REACH], no es obligatorio de registrar la sustancia	sí
14.4	Grupo de embalaje: no relevantes	Grupo de embalaje: no relevantes no se le atribuye a un grupo de embalaje	sí

**Abreviaturas y los acrónimos**

Abrev.	Descripciones de las abreviaturas utilizadas
ADN	Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par voies de navigation intérieures (Acuerdo Europeo sobre Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Vías Navegables Interiores)
ADR	Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (Acuerdo europeo relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera)
CAS	Chemical Abstracts Service (número identificador único carente de significado químico)
CLP	Reglamento (CE) no 1272/2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado (Classification, Labelling and Packaging) de sustancias y mezclas
CMR	Carcinógeno, Mutágeno o tóxico para la Reproducción
COV	compuestos orgánicos volátiles
DGR	Dangerous Goods Regulations (reglamento para el transporte de mercancías peligrosas, véase IATA/DGR)
EINECS	European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances (catálogo europeo de sustancias químicas comercializadas)
ELINCS	European List of Notified Chemical Substances (lista europea de sustancias químicas notificadas)

**Información de seguridad voluntaria apoyándose en el formato de ficha de datos de seguridad conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)**



**Agua desmineralizada, no estéril**

número de artículo: 3175

Abrev.	Descripciones de las abreviaturas utilizadas
IATA	Asociación Internacional de Transporte Aéreo
IATA/DGR	Dangerous Goods Regulations (DGR) for the air transport (IATA) (Reglamento para el transporte de mercancías peligrosas por aire)
IMDG	International Maritime Dangerous Goods Code (código marítimo internacional de mercancías peligrosas)
MARPOL	el convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques (abr. de "Marine Pollutant")
mPmB	muy persistente y muy bioacumulable
NLP	No-Longer Polymer (ex-polímero)
OACI	Organisation de l'Aviation Civile International
PBT	Persistente, Bioacumulable y Tóxico
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (registro, evaluación, autorización y restricción de las sustancias y preparados químicos)
RID	Règlement concernant le transport International ferroviaire des marchandises Dangereuses (Reglamento referente al transporte internacional por ferrocarril de mercancías peligrosas)
SGA	"Sistema Globalmente Armonizado de clasificación y etiquetado de sustancias químicas" elaborado por Naciones Unidas
SVHC	Substance of Very High Concern (sustancia extremadamente preocupante)

**Principales referencias bibliográficas y fuentes de datos**

- Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH), modificado por 2015/830/UE
- Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP, UE SGA)
- Dangerous Goods Regulations (DGR) for the air transport (IATA) (Reglamento para el transporte de mercancías peligrosas por aire)
- Código marítimo internacional de mercancías peligrosas (IMDG)

**Frasas pertinentes (código y texto completo como se expone en el capítulo 2 y 3)**

no relevantes.

**Cláusula de exención de responsabilidad**

La información en ésta hoja de datos de seguridad corresponden al leal saber de nuestros conocimiento el día de impresión. Las informaciones deben de ser puntos de apoyo para un manejo seguro de productos mencionados en esta hoja de seguridad para el almacenamiento, elaboración, transporte y eliminación. Las indicaciones no se pueden traspasar a otros productos. Mientras el producto sea mezclado o elaborado con otros materiales, las indicaciones de esta hoja de seguridad no se pueden traspasar así al agente nuevo.

## 9.6 Acetato de calcio

31/5/2021

ICSC 1092 - ACETATO DE CALCIO

<b>ACETATO DE CALCIO</b>	<b>ICSC: 1092</b>
Sal de calcio del ácido acético	<b>Octubre 2002</b>
<b>CAS: 62-54-4</b>	
<b>CE: 200-540-9</b>	

	PELIGROS	PREVENCIÓN	LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO Y EXPLOSIÓN</b>	Combustible en condiciones específicas.	Evitar las llamas.	Usar agua pulverizada, polvo.

¡EVITAR LA DISPERSIÓN DEL POLVO!			
	SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS
<b>Inhalación</b>	Tos. Dolor de garganta.	Usar extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo.
<b>Piel</b>	Enrojecimiento.	Guantes de protección.	Aclarar y lavar la piel con agua y jabón.
<b>Ojos</b>	Enrojecimiento. Dolor.	Utilizar gafas de protección.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
<b>Ingestión</b>	Diarrea. Vómitos.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. Dar a beber uno o dos vasos de agua. Proporcionar asistencia médica.

DERRAMES Y FUGAS	CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO
Protección personal: respirador con filtro para partículas adaptado a la concentración de la sustancia en aire. Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente tapado. Eliminar el residuo con agua abundante.	<b>Conforme a los criterios del GHS de la ONU</b>  <b>Transporte</b> <b>Clasificación ONU</b>
<b>ALMACENAMIENTO</b>	
Separado de ácidos fuertes. Seco. Bien cerrado.	
<b>ENVASADO</b>	



Organización  
Internacional  
del Trabajo



Organización  
Mundial de la Salud

La información original ha sido preparada en inglés por un grupo internacional de expertos en nombre de la OIT y la OMS, con la asistencia financiera de la Comisión Europea.  
© OIT y OMS 2018



31/5/2021

ICSC 1092 - ACETATO DE CALCIO

ACETATO DE CALCIO		ICSC: 1092
<b>INFORMACIÓN FÍSICO-QUÍMICA</b>		
<p><b>Estado físico; aspecto</b> CRISTALES DE BLANCOS A MARRONES O GRISES DE OLOR CARACTERÍSTICO.</p> <p><b>Peligros físicos</b></p> <p><b>Peligros químicos</b> Se descompone por encima de 160°C. Esto produce vapor de acetona y carbonato de calcio. Reacciona violentamente con ácidos fuertes. Esto produce humos de ácido acético.</p>	<p>Fórmula: <math>C_4H_6O_4 \cdot Ca / (CH_3OO)_2Ca</math></p> <p>Masa molecular: 158.2</p> <p>Se descompone a 160°C</p> <p>Densidad: 1.5 g/cm<sup>3</sup></p> <p>Solubilidad en agua: muy elevada</p>	
<b>EXPOSICIÓN Y EFECTOS SOBRE LA SALUD</b>		
<p><b>Vías de exposición</b> La sustancia se puede absorber por inhalación y por ingestión.</p> <p><b>Efectos de exposición de corta duración</b> La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio.</p>	<p><b>Riesgo de inhalación</b> Puede alcanzarse rápidamente una concentración molesta de partículas suspendidas en el aire cuando se dispersa.</p> <p><b>Efectos de exposición prolongada o repetida</b></p>	
<b>LÍMITES DE EXPOSICIÓN LABORAL</b>		
<b>MEDIO AMBIENTE</b>		
<b>NOTAS</b>		
<b>INFORMACIÓN ADICIONAL</b>		
<p><b>Clasificación UE</b></p>		
<p>La calidad y exactitud de la traducción o el posible uso que se haga de esta información no es responsabilidad de la OIT, la OMS ni la Comisión Europea. © Versión en español, INSST, 2018</p>		

## 9.7 Carbonato de calcio

31/5/2021

ICSC 1193 - CARBONATO DE CALCIO

<b>CARBONATO DE CALCIO</b>	<b>ICSC: 1193</b>
Sal de calcio del ácido carbónico	<b>Junio 2012</b>
<b>CAS: 471-34-1</b>	
<b>CE: 207-439-9</b>	

	PELIGROS	PREVENCIÓN	LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO Y EXPLOSIÓN</b>	No combustible.		En caso de incendio en el entorno: usar un medio de extinción adecuado.

	SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS
<b>Inhalación</b>	Tos.	Evitar la inhalación de polvo. Usar extracción localizada.	Aire limpio.
<b>Piel</b>		Guantes de protección.	Aclarar la piel con agua abundante o ducharse.
<b>Ojos</b>	Enrojecimiento.	Utilizar gafas de protección de montura integral.	Enjuagar con agua abundante (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad).
<b>Ingestión</b>		No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca.

DERRAMES Y FUGAS	CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO
Protección personal: respirador con filtro para partículas adaptado a la concentración de la sustancia en aire. Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente tapado.	<b>Conforme a los criterios del GHS de la ONU</b>
<b>ALMACENAMIENTO</b>	Sin clasificación de peligro conforme a los criterios del GHS
Separado de ácidos, aluminio, sales de amonio, flúor y magnesio.	<b>Transporte</b>
<b>ENVASADO</b>	<b>Clasificación ONU</b>



La información original ha sido preparada en inglés por un grupo internacional de expertos en nombre de la OIT y la OMS, con la asistencia financiera de la Comisión Europea.  
© OIT y OMS 2018



31/5/2021

ICSC 1193 - CARBONATO DE CALCIO

CARBONATO DE CALCIO		ICSC: 1193
<b>INFORMACIÓN FÍSICO-QUÍMICA</b>		
<p><b>Estado físico; aspecto</b> LENTEJAS O POLVO BLANCO.</p> <p><b>Peligros físicos</b> Sin datos.</p> <p><b>Peligros químicos</b> Se descompone por encima de 825°C. Esto produce humos corrosivos de óxido de calcio. Reacciona con ácidos, aluminio, sales de amonio, flúor y magnesio.</p>	<p>Fórmula: CaCO<sub>3</sub> Masa molecular: 100.1 Se descompone a 825°C Densidad: 2.8 g/cm<sup>3</sup> Solubilidad en agua, mg/l a 25°C: 14 (muy escasa)</p>	
<b>EXPOSICIÓN Y EFECTOS SOBRE LA SALUD</b>		
<p><b>Vías de exposición</b></p> <p><b>Efectos de exposición de corta duración</b> Puede causar irritación mecánica en el tracto respiratorio y los ojos.</p>	<p><b>Riesgo de inhalación</b> Puede alcanzarse rápidamente una concentración molesta de partículas suspendidas en el aire cuando se dispersa, especialmente si está en forma de polvo.</p> <p><b>Efectos de exposición prolongada o repetida</b> Se han investigado los efectos de esta sustancia sobre la salud pero no se ha encontrado ninguno.</p>	
<b>LÍMITES DE EXPOSICIÓN LABORAL</b>		
<b>MEDIO AMBIENTE</b>		
No se han investigado adecuadamente los efectos de esta sustancia sobre el medio ambiente.		
<b>NOTAS</b>		
Se encuentra en la naturaleza como minerales aragonita, vaterita y calcita (y en piedra caliza, creta, mármol).		
<b>INFORMACIÓN ADICIONAL</b>		
<b>Clasificación UE</b>		
 <p>La calidad y exactitud de la traducción o el posible uso que se haga de esta información no es responsabilidad de la OIT, la OMS ni la Comisión Europea. © Versión en español, INSST, 2018</p>		

## 9.8 Dióxido de carbono





31/5/2021

ICSC 0021 - DIÓXIDO DE CARBONO

<b>DIÓXIDO DE CARBONO</b>	<b>ICSC: 0021</b>
Gas carbónico Anhídrido carbónico	<b>Octubre 2006</b>
<b>CAS: 124-38-9</b>	
<b>Nº ONU: 1013</b>	
<b>CE: 204-696-9</b>	

	PELIGROS	PREVENCIÓN	LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO Y EXPLOSIÓN</b>	No combustible.		En caso de incendio en el entorno: usar un medio de extinción adecuado. En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido.

	SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS
<b>Inhalación</b>	Vértigo. Dolor de cabeza. Presión sanguínea elevada. Ritmo cardíaco acelerado. Asfixia. Pérdida del conocimiento.	Usar ventilación.	Aire limpio, reposo. Puede ser necesaria respiración artificial. Proporcionar asistencia médica.
<b>Piel</b>	EN CONTACTO CON GAS O HIELO SECO: CONGELACIÓN.	Guantes aislantes del frío.	EN CASO DE CONGELACIÓN: aclarar con agua abundante, NO quitar la ropa. Proporcionar asistencia médica.
<b>Ojos</b>		Utilizar gafas de protección.	
<b>Ingestión</b>			

DERRAMES Y FUGAS	CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO
Protección personal: equipo autónomo de respiración. Ventilar. No utilizar agua.	Conforme a los criterios del GHS de la ONU
<b>ALMACENAMIENTO</b>	 <p><b>ATENCIÓN</b></p> <p>Contiene gas refrigerado; puede provocar quemaduras o lesiones criogénicas Puede ser nocivo si se inhala</p> <p><b>Transporte</b> <b>Clasificación ONU</b> Clase de Peligro ONU: 2.2</p>
A prueba de incendio, si está en local cerrado. Fresco. Ventilación a ras del suelo.	
<b>ENVASADO</b>	
  <p>La información original ha sido preparada en inglés por un grupo internacional de expertos en nombre de la OIT y la OMS, con la asistencia financiera de la Comisión Europea. © OIT y OMS 2018</p>	

[https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_lang=es&p\\_card\\_id=0021&p\\_version=2](https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=es&p_card_id=0021&p_version=2)

1/2

31/5/2021

ICSC 0021 - DIÓXIDO DE CARBONO

DIÓXIDO DE CARBONO		ICSC: 0021
<b>INFORMACIÓN FÍSICO-QUÍMICA</b>		
<p><b>Estado físico; aspecto</b> GAS INODORO INCOLORO COMPRIMIDO LICUADO.</p> <p><b>Peligros físicos</b> El gas es más denso que el aire y puede acumularse en las zonas más bajas produciendo una deficiencia de oxígeno. Las pérdidas de líquido condensan formando hielo seco extremadamente frío.</p> <p><b>Peligros químicos</b> Se descompone por encima de 2000°C. Esto produce monóxido de carbono tóxico.</p>	<p>Fórmula: CO<sub>2</sub></p> <p>Masa molecular: 44,0</p> <p>Punto de sublimación: -79°C</p> <p>Solubilidad en agua, ml/100ml a 20°C: 88</p> <p>Presión de vapor, kPa a 20°C: 5720</p> <p>Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1.5</p> <p>Coefficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 0.83</p>	
<b>EXPOSICIÓN Y EFECTOS SOBRE LA SALUD</b>		
<p><b>Vías de exposición</b> La sustancia se puede absorber por inhalación.</p> <p><b>Efectos de exposición de corta duración</b> La evaporación rápida del líquido puede producir congelación. La inhalación de concentraciones altas puede causar pérdida del conocimiento. Asfixia.</p>	<p><b>Riesgo de inhalación</b> Al producirse pérdidas en zonas confinadas, esta sustancia puede originar riesgo grave de asfixia.</p> <p><b>Efectos de exposición prolongada o repetida</b> La sustancia puede afectar al metabolismo.</p>	
<b>LÍMITES DE EXPOSICIÓN LABORAL</b>		
<p>TLV: 5000 ppm como TWA; 30000 ppm como STEL. MAK: 9100 mg/m<sup>3</sup>, 5000 ppm; categoría de limitación de pico: II(2). EU-OEL: 9000 mg/m<sup>3</sup>, 5000 ppm como TWA</p>		
<b>MEDIO AMBIENTE</b>		
<b>NOTAS</b>		
<p>El dióxido de carbono se libera en muchos procesos de fermentación (vino, cerveza, etc.) y es un componente mayoritario en los gases de combustión. Altas concentraciones en el aire producen una deficiencia de oxígeno con riesgo de pérdida de conocimiento o muerte. Comprobar el contenido de oxígeno antes de entrar en la zona. A concentraciones tóxicas no hay alerta por el olor. Otros números ONU: ONU 1845 dióxido de carbono, sólido (Hielo seco); ONU 2187 dióxido de carbono líquido refrigerado.</p>		
<b>INFORMACIÓN ADICIONAL</b>		
<p>- Límites de exposición profesional (INSHT 2011): VLA-ED: 5000 ppm; 9150 mg/m<sup>3</sup> - <b>Clasificación UE</b></p>		
 <p>GOBIERNO DE ESPAÑA</p>	<p>MINISTERIO DE TRABAJO Y ECONOMÍA SOCIAL</p>	 <p>insst Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo</p>
<p>La calidad y exactitud de la traducción o el posible uso que se haga de esta información no es responsabilidad de la OIT, la OMS ni la Comisión Europea. © Versión en español, INSST, 2018</p>		

## 4. Planos



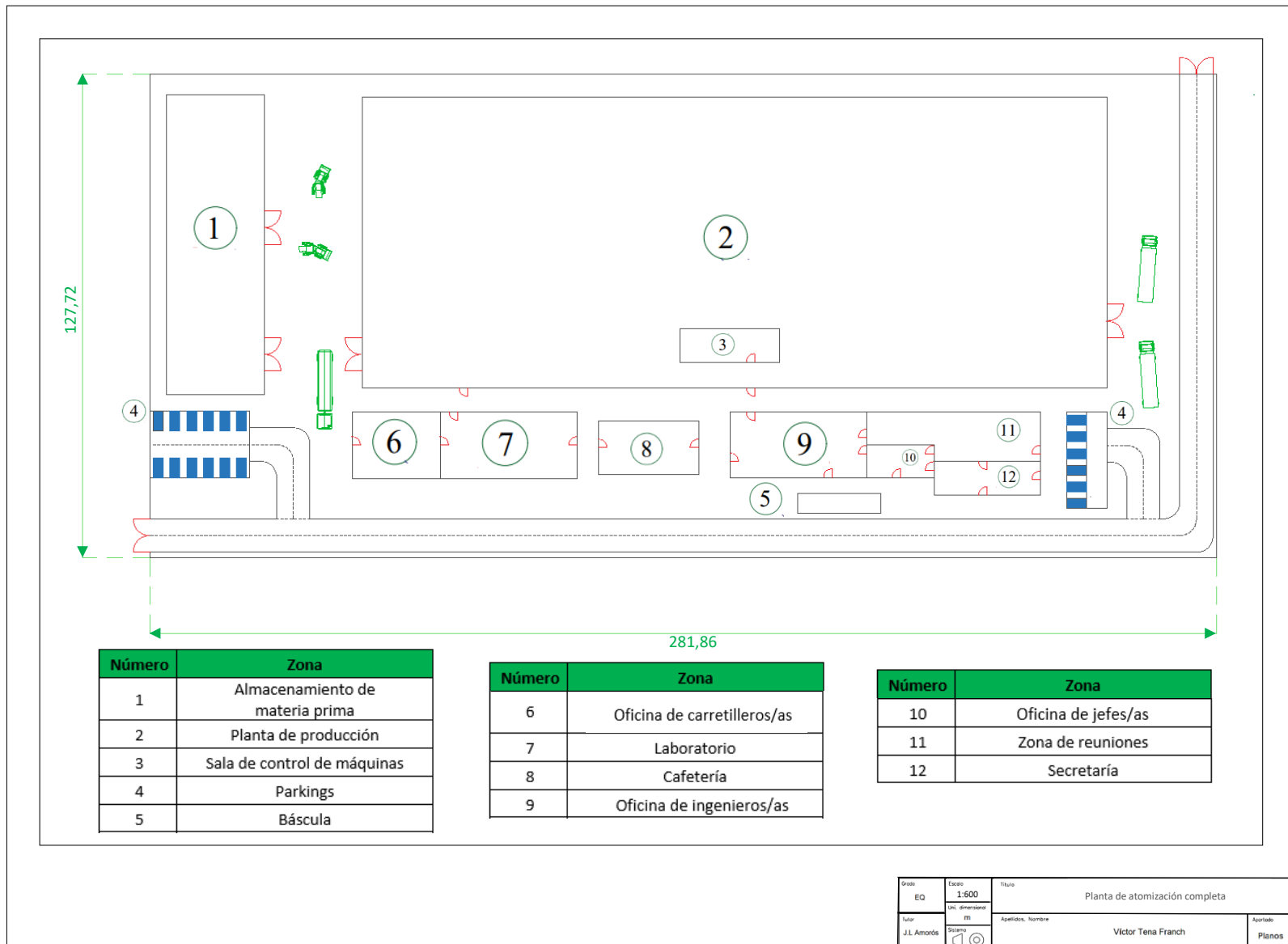
## Índice

1.	PLANTA DE ATOMIZADO COMPLETA .....	1
2.	PLANTA DE PRODUCCIÓN 2D (ALZADO) .....	2
3.	PLANTA DE PRODUCCIÓN 3D .....	3

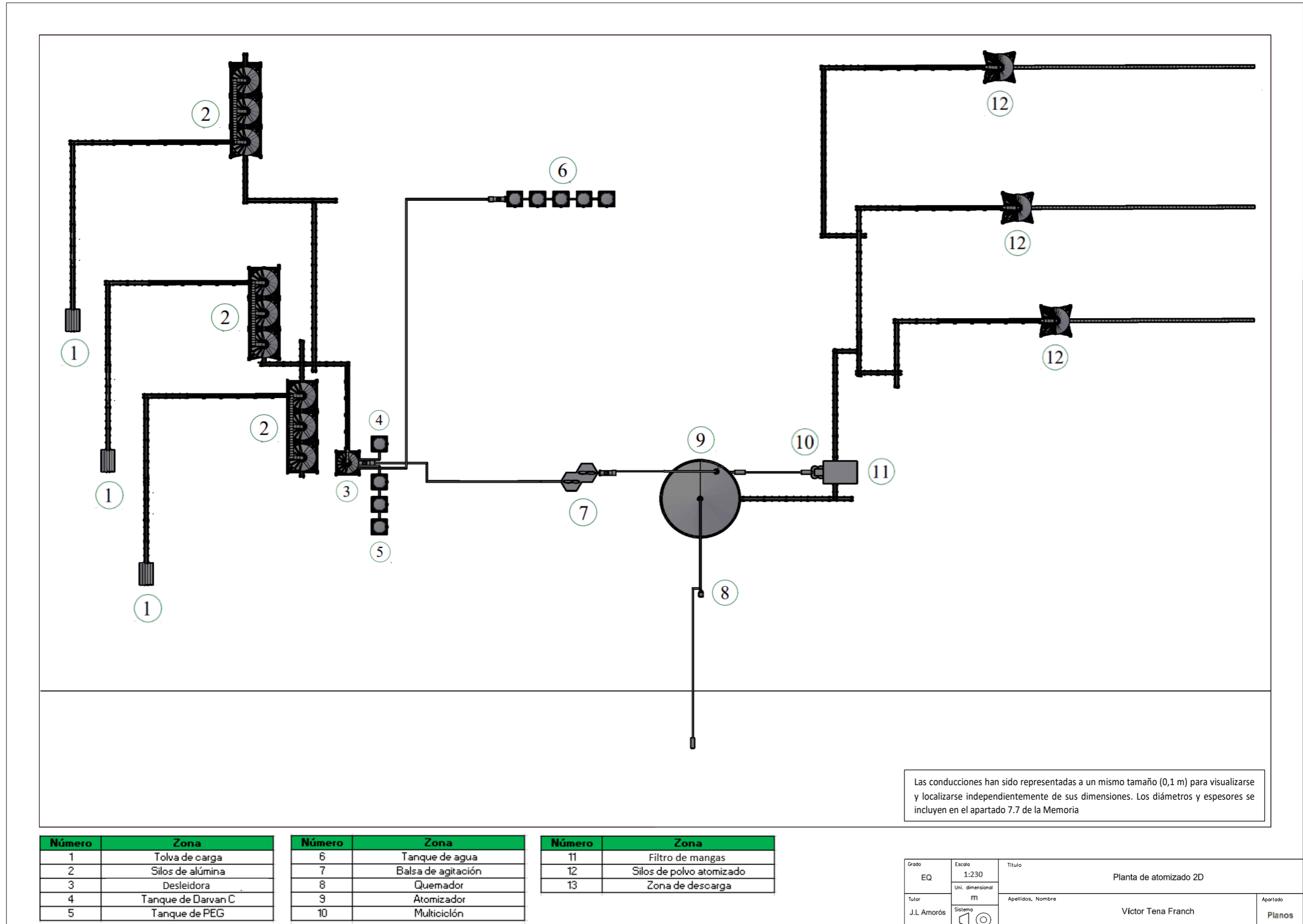




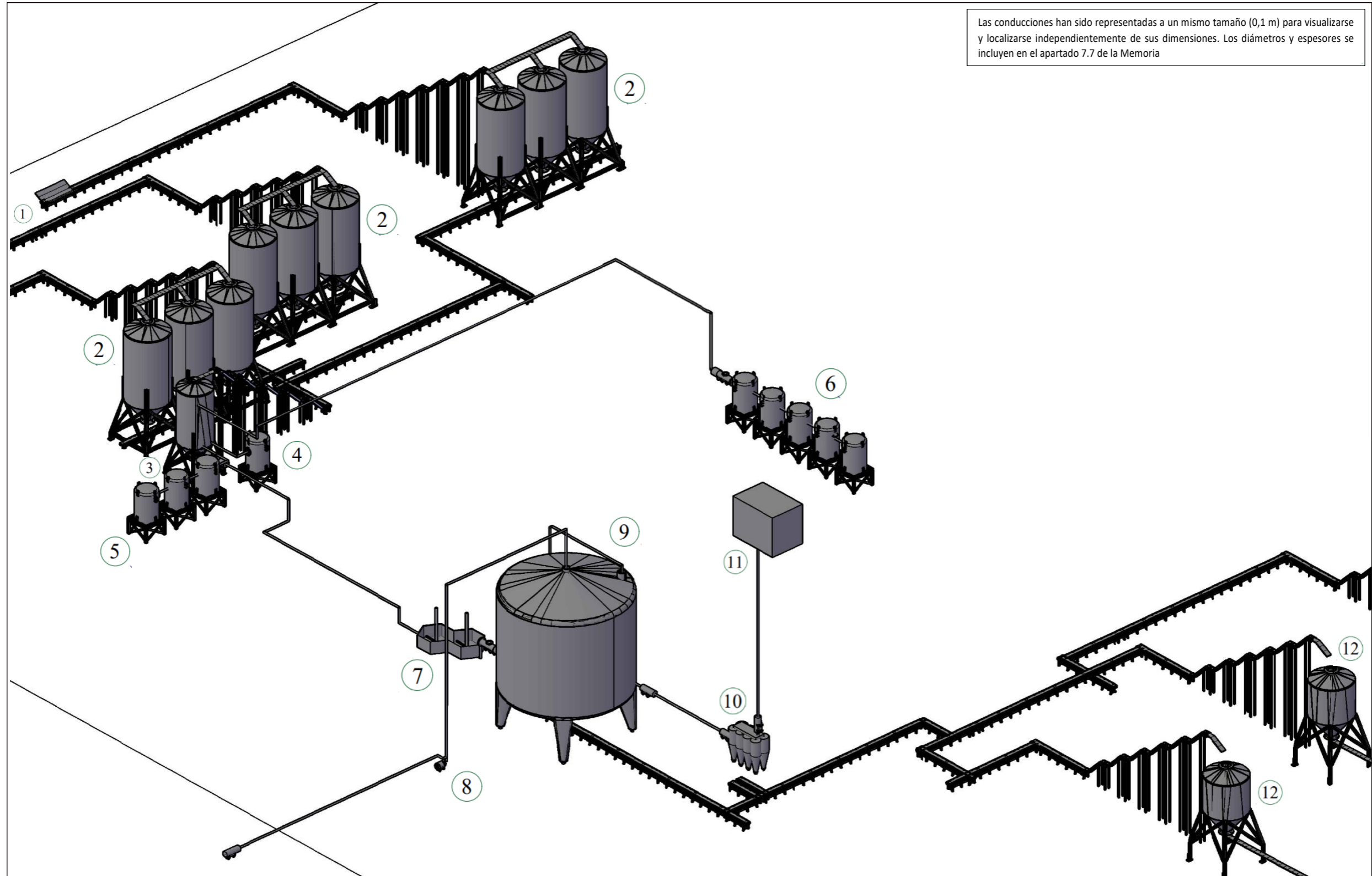
1. Planta de atomizado completa



2. Planta de producción 2D (alzado)



3. Planta de producción 3D



Número	Zona
1	Tolva de carga
2	Silos de alumina
3	Desleidora
4	Tanque de Darvan C
5	Tanque de PEG

Número	Zona
6	Tanque de agua
7	Balsa de agitación
8	Quemador
9	Atomizador
10	Multiciclón

Número	Zona
11	Filtro de mangas
12	Silos de polvo atomizado

Grado	Escola	Titulo	
EQ	Unl. dimensional	Planta de atomizado 3D	
Tutor	m	Apellidos, Nombre	Apartado
J.L. Amorós	Sistema	Víctor Tena Franch	Planos

## 5. Pliego de condiciones



## Índice

<b>1. DISPOSICIONES GENERALES.....</b>	<b>1</b>
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.1 <i>Objeto del Pliego de Condiciones</i> .....	1
1.1.2 <i>Documentación</i> .....	1
1.2 CONDICIONES LEGALES.....	1
1.2.1 <i>Contrato de obra</i> .....	1
1.2.2 <i>Documentación del contrato de obra</i> .....	1
1.2.3 <i>Proyecto Arquitectónico</i> .....	2
1.2.4 <i>Reglamentación urbanística</i> .....	2
1.2.5 <i>Formalización del Contrato de Obra</i> .....	2
1.2.6 <i>Jurisdicción competente</i> .....	3
1.2.7 <i>Ejecución de las obras y responsabilidad del contratista</i> .....	3
1.2.8 <i>Accidentes de trabajo</i> .....	3
1.2.9 <i>Anuncios y carteles</i> .....	4
1.2.10 <i>Copia de documentos</i> .....	4
1.2.11 <i>Causas de rescisión del contrato de obra</i> .....	4
1.2.12 <i>Efectos de rescisión del contrato de obra</i> .....	5
<b>2. DISPOSICIONES FACULTATIVAS .....</b>	<b>5</b>
2.1 DEFINICIÓN, ATRIBUCIONES Y OBLIGACIONES DE LOS AGENTES DE LA EDIFICACIÓN .....	5
2.1.1 <i>El promotor</i> .....	6
2.1.2 <i>El proyectista</i> .....	6
2.1.3 <i>El constructor o contratista</i> .....	6
2.1.4 <i>El director de obra</i> .....	6
2.1.5 <i>El director de la ejecución de la obra</i> .....	6
2.1.6 <i>Los suministradores de productos</i> .....	7
2.2 OBLIGACIONES DE LOS AGENTES INTERVINIENTES.....	7
2.2.1 <i>El promotor</i> .....	7
2.2.2 <i>El proyectista</i> .....	8
2.2.3 <i>El constructor o contratista</i> .....	8
2.2.4 <i>El director de obra</i> .....	9
2.2.5 <i>El director de la ejecución de la obra</i> .....	10
2.2.6 <i>Las entidades y los laboratorios de control de calidad de la edificación</i> .....	11
2.2.7 <i>Los suministradores de productos</i> .....	11
<b>3. DISPOSICIONES ECONÓMICAS .....</b>	<b>11</b>
3.1 DEFINICIÓN.....	11
3.2 CONTRATO DE OBRA .....	12
3.3 FIANZAS .....	12
3.3.1 <i>Ejecución de trabajos con cargo a la fianza</i> .....	13
3.3.2 <i>Devolución de las fianzas</i> .....	13
3.3.3 <i>Devolución de la fianza en el caso de efectuarse recepciones parciales</i> .....	13
3.4 PRECIOS.....	13
3.4.1 <i>Presupuesto de Ejecución Material (PEM)</i> .....	13
3.4.2 <i>Reclamación de aumento de precios</i> .....	14
3.4.3 <i>De la revisión de los precios contratados</i> .....	14
3.4.4 <i>Acopio de materiales</i> .....	14
3.5 VALORACIÓN Y ABONO DE LOS TRABAJOS .....	14
3.5.1 <i>Forma y plazos de abono de las obras</i> .....	14
3.5.2 <i>Relaciones valoradas y certificaciones</i> .....	15

3.6	INDEMNIZACIONES MUTUAS.....	15
3.6.1	<i>Indemnización por retraso del plazo de terminación de las obras</i> .....	15
3.6.2	<i>Demora de los pagos por parte del promotor</i> .....	15
3.6.3	<i>Plazos de ejecución: Planning de obra</i> .....	15
3.6.4	<i>Liquidación económica de las obras</i> .....	16
3.7	LIQUIDACIÓN FINAL DE LA OBRA .....	16
<b>4.</b>	<b>DISPOSICIONES LEGALES .....</b>	<b>16</b>
4.1	RECONOCIMIENTO DE MARCAS REGISTRADAS .....	16
4.2	DERECHOS DE AUTOR .....	16
<b>5.</b>	<b>CONDICIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS.....</b>	<b>17</b>
5.1	ESPECIFICACIONES DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA .....	17
5.2	ESPECIFICACIONES DE LA INSTALACIÓN DE FONTANERÍA.....	17
5.3	INSTALACIÓN DE LA MAQUINARIA .....	17



## 1. Disposiciones generales

### 1.1 Introducción

#### 1.1.1 Objeto del Pliego de Condiciones

La finalidad de este Pliego es la de fijar los criterios de la relación que se establece entre los agentes que intervienen en las obras definidas en el presente proyecto y servir de base para la realización del contrato de obra entre el promotor y el contratista.

#### 1.1.2 Documentación

El presente pliego forma parte de la documentación del proyecto, que se cita y regirá en las obras para la realización del mismo.

La Dirección Facultativa podrá suministrar los planos o documentos de obra que considere necesarios a lo largo de la misma, y en el Libro de Órdenes y Asistencias, que estará en todo momento en la obra, podrá fijar cuantas órdenes o instrucciones crea oportunas con indicación de la fecha y la firma de dicha Dirección, así como la del enterado del contratista, encargado o técnico que lo represente.

### 1.2 Condiciones legales

#### 1.2.1 Contrato de obra

Se recomienda la contratación de la ejecución de las obras por unidades de obra, con arreglo a los documentos del proyecto y en cifras fijas. A tal fin, el director de obra ofrece la documentación necesaria para la realización del contrato de obra.

#### 1.2.2 Documentación del contrato de obra

Integran el contrato de obra los siguientes documentos, relacionados por orden de prelación atendiendo al valor de sus especificaciones, en el caso de posibles interpretaciones, omisiones o contradicciones:

- Las condiciones fijadas en el contrato de obra.
- El presente Pliego de Condiciones.

- La documentación gráfica y escrita del Proyecto: planos generales y de detalle, memorias, Anexos, mediciones y presupuestos.

En el caso de interpretación, prevalecen las especificaciones literales sobre las gráficas y las cotas sobre las medidas a escala tomadas de los planos.

### 1.2.3 Proyecto Arquitectónico

El Proyecto Arquitectónico se define como el conjunto de documentos que definen y determinan las exigencias técnicas, funcionales y estéticas de las obras contempladas en la "Ley 38/1999. Ley de Ordenación de la Edificación". En él se justificará técnicamente las soluciones propuestas de acuerdo con las especificaciones requeridas por la normativa técnica aplicable.

Los documentos complementarios al Proyecto serán:

- Los planos.
- El Libro de Órdenes y Asistencias.
- El Programa de Control de Calidad de Edificación y su Libro de Control.
- El Estudio de Seguridad y Salud o Estudio Básico de Seguridad y Salud en las obras.
- El Plan de Seguridad y Salud en el Trabajo, elaborado por cada contratista.
- Estudio de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición.
- Licencias y otras autorizaciones administrativas.

### 1.2.4 Reglamentación urbanística

La obra a construir se ajustará a todas las limitaciones del proyecto aprobado por los organismos competentes, especialmente las que se refieren al volumen, alturas, emplazamiento y ocupación del solar, así como a todas las condiciones de reforma del proyecto que pueda exigir la Administración para ajustarlo a las Ordenanzas, a las Normas y al Planeamiento Vigente.

### 1.2.5 Formalización del Contrato de Obra

Los Contratos se formalizarán, en general, mediante documento privado, que podrá elevarse a escritura pública a petición de cualquiera de las partes. El cuerpo de estos documentos contendrá:

- La comunicación de la adjudicación.

- La copia del recibo de depósito de la fianza (en caso de que se haya exigido).
- La cláusula en la que se exprese, de forma categórica, que el Contratista se obliga al cumplimiento estricto del contrato de obra, conforme a lo previsto en este Pliego de Condiciones, junto con la Memoria y sus Anexos, el Estado de Mediciones, Presupuestos, Planos y todos los documentos que han de servir de base para la realización de las obras definidas en el presente Proyecto.

#### 1.2.6 Jurisdicción competente

En el caso de no llegar a un acuerdo cuando surjan diferencias entre las partes, ambas quedan obligadas a someter la discusión de todas las cuestiones derivadas de su contrato a las Autoridades y Tribunales Administrativos con arreglo a la legislación vigente, renunciando al derecho común y al fuero de su domicilio, siendo competente la jurisdicción donde estuviese ubicada la obra.

#### 1.2.7 Ejecución de las obras y responsabilidad del contratista

Las obras se ejecutarán con estricta sujeción al proyecto que sirve de base al contrato y conforme a las instrucciones que la Dirección Facultativa de las obras diere al contratista. El contratista es responsable de la ejecución de las obras y de todos los defectos que en la construcción puedan advertirse durante el desarrollo de las obras y hasta que se cumpla el plazo de garantía, en las condiciones establecidas en el contrato y en los documentos que componen el Proyecto. En consecuencia, quedará obligado a la demolición y reconstrucción de todas las unidades de obra con deficiencias o mal ejecutadas, sin que pueda servir de excusa el hecho de que la Dirección Facultativa haya examinado y reconocido la construcción durante sus visitas de obra, ni que hayan sido abonadas en liquidaciones parciales.

#### 1.2.8 Accidentes de trabajo

Es de obligado cumplimiento el "Real Decreto 1627/1997. Disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción" y demás legislación vigente que, tanto directa como indirectamente, inciden sobre la planificación de la seguridad y salud en el trabajo de la construcción, conservación y mantenimiento de edificios. 1.10 Daños y perjuicios a terceros 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 colindantes o contiguas. Será por tanto de su cuenta el abono de las indemnizaciones a quien corresponda y cuando a ello hubiere lugar, y de todos los daños y perjuicios que puedan ocasionarse o causarse en las operaciones de la ejecución de las obras. Asimismo, será responsable de los daños y perjuicios directos o indirectos que se puedan ocasionar frente a terceros como consecuencia de la obra, tanto en ella como en sus alrededores, incluso los que se produzcan por omisión o negligencia del personal a su cargo, así como los que se deriven de los subcontratistas e industriales que intervengan en la obra. Es de su responsabilidad mantener

vigente durante la ejecución de los trabajos una póliza de seguros frente a terceros, en la modalidad de "Todo riesgo al derribo y la construcción", suscrita por una compañía aseguradora con la suficiente solvencia para la cobertura de los trabajos contratados. Dicha póliza será aportada y ratificada por el promotor, no pudiendo ser cancelada mientras no se firme el Acta de Recepción Provisional de la obra.

#### 1.2.9 Anuncios y carteles

Sin previa autorización del promotor, no se podrán colocar en las obras ni en sus vallas más inscripciones o anuncios que los convenientes al régimen de los trabajos y los exigidos por la policía local.

#### 1.2.10 Copia de documentos

El contratista, a su costa, tiene derecho a sacar copias de los documentos integrantes del Proyecto.

#### 1.2.11 Causas de rescisión del contrato de obra

Se considerarán causas suficientes de rescisión de contrato:

- La muerte o incapacitación del contratista.
- La quiebra del contratista.
- Las alteraciones del contrato por las causas siguientes:
  - a. La modificación del proyecto en forma tal que represente alteraciones fundamentales del mismo a juicio del director de obra y, en cualquier caso, siempre que la variación del Presupuesto de Ejecución Material, como consecuencia de estas modificaciones, represente una desviación mayor del 20%.
  - b. Las modificaciones de unidades de obra, siempre que representen variaciones en más o en menos del 40% del proyecto original, o más de un 50% de unidades de obra del proyecto reformado.
- La suspensión de obra comenzada, siempre que el plazo de suspensión haya excedido de un año y, en todo caso, siempre que por causas ajenas al contratista no se dé comienzo a la obra adjudicada dentro del plazo de tres meses a partir de la adjudicación. En este caso, la devolución de la fianza será automática.
- La suspensión de la iniciación de las obras por plazo superior a cuatro meses.
- Que el contratista no comience los trabajos dentro del plazo señalado en el contrato.
- La demora injustificada en la comprobación del replanteo.

- La suspensión de las obras por plazo superior a ocho meses por parte del promotor.
- El incumplimiento de las condiciones del Contrato cuando implique descuido o mala fe, con perjuicio de los intereses de las obras.
- El vencimiento del plazo de ejecución de la obra.
- El desistimiento o el abandono de la obra sin causas justificadas.
- La mala fe en la ejecución de la obra.

#### 1.2.12 Efectos de rescisión del contrato de obra

La resolución del contrato dará lugar a la comprobación, medición y liquidación de las obras realizadas con arreglo al proyecto, fijando los saldos pertinentes a favor o en contra del contratista. Si se demorase injustificadamente la comprobación del replanteo, dando lugar a la resolución del contrato, el contratista sólo tendrá derecho por todos los conceptos a una indemnización equivalente al 2% del precio de la adjudicación, excluidos los impuestos. En el supuesto de desistimiento antes de la iniciación de las obras, o de suspensión de la iniciación de las mismas por parte del promotor por plazo superior a cuatro meses, el contratista tendrá derecho a percibir por todos los conceptos una indemnización del 3% del precio de adjudicación, excluidos los impuestos. En caso de desistimiento una vez iniciada la ejecución de las obras, o de suspensión de las obras iniciadas por plazo superior a ocho meses, el contratista tendrá derecho por todos los conceptos al 6% del precio de adjudicación del contrato de las obras dejadas de realizar en concepto de beneficio industrial, excluidos los impuestos.

## 2. Disposiciones facultativas

### 2.1 Definición, atribuciones y obligaciones de los agentes de la edificación

Las atribuciones de los distintos agentes intervinientes en la edificación son las reguladas por la "Ley 38/1999. Ley de Ordenación de la Edificación". Se definen agentes de la edificación todas las personas, físicas o jurídicas, que intervienen en el proceso de la edificación. Sus obligaciones quedan determinadas por lo dispuesto en la "Ley 38/1999. Ley de Ordenación de la Edificación" y demás disposiciones que sean de aplicación y por el contrato que origina su intervención. Las definiciones y funciones de los agentes que intervienen en la edificación quedan recogidas a continuación.

### 2.1.1 El promotor

Es la persona física o jurídica, pública o privada, que individual o colectivamente decide, impulsa, programa y financia con recursos propios o ajenos, las obras de edificación para sí o para su posterior enajenación, entrega o cesión a terceros bajo cualquier título. Asume la iniciativa de todo el proceso de la edificación, impulsando la gestión necesaria para llevar a cabo la obra proyectada, y se hace cargo de todos los costes necesarios. Según la legislación vigente, a la figura del promotor se equiparán también las de gestor de sociedades cooperativas, comunidades de propietarios, u otras análogas que asumen la gestión económica de la edificación.

### 2.1.2 El proyectista

Es el agente que, por encargo del promotor y con sujeción a la normativa técnica y urbanística correspondiente, redacta el proyecto.

### 2.1.3 El constructor o contratista

Es el agente que asume, contractualmente ante el promotor, el compromiso de ejecutar con medios humanos y materiales, propios o ajenos, las obras o parte de las mismas con sujeción al Proyecto y al Contrato de obra. Cabe efectuar especial mención de que la ley señala como responsable explícito de los vicios o defectos constructivos al contratista general de la obra, sin perjuicio del derecho de repetición de éste hacia los subcontratistas.

### 2.1.4 El director de obra

Es el agente que, formando parte de la dirección facultativa, dirige el desarrollo de la obra en los aspectos técnicos, estéticos, urbanísticos y medioambientales, de conformidad con el proyecto que la define, la licencia de edificación y demás autorizaciones preceptivas, y las condiciones del contrato, con el objeto de asegurar su adecuación al fin propuesto.

### 2.1.5 El director de la ejecución de la obra

Es el agente que, formando parte de la Dirección Facultativa, asume la función técnica de dirigir la Ejecución Material de la Obra y de controlar cualitativa y cuantitativamente la construcción y calidad de lo edificado. Para ello es requisito indispensable el estudio y análisis previo del proyecto de ejecución una vez redactado por el director de obra, procediendo a solicitarle, con antelación al inicio de las obras, todas aquellas aclaraciones, subsanaciones o documentos complementarios que, dentro de su competencia y atribuciones legales, estimare necesarios para poder dirigir de manera solvente la ejecución de las mismas.

### 2.1.6 Los suministradores de productos

Se consideran suministradores de productos los almacenistas, importadores o vendedores de productos de construcción. Se entiende por producto de construcción aquel que se Planta para su incorporación permanente en una obra, incluyendo materiales, elementos semielaborados, componentes y obras o parte de las mismas, tanto terminadas como en proceso de ejecución.

## 2.2 Obligaciones de los agentes intervinientes

### 2.2.1 El promotor

Ostentar sobre el solar la titularidad de un derecho que le faculte para construir en él, para el presente proyecto, UBE. Facilitar la documentación e información previa necesaria para la redacción del proyecto, así como autorizar al director de obra, al director de la ejecución de la obra y al contratista posteriores modificaciones del mismo que fueran imprescindibles para llevar a buen fin lo proyectado. Elegir y contratar a los distintos agentes, con la titulación y capacitación profesional necesaria, que garanticen el cumplimiento de las condiciones legalmente exigibles para realizar en su globalidad y llevar a buen fin el objeto de lo promovido, en los plazos estipulados y en las condiciones de calidad exigibles mediante el cumplimiento de los requisitos básicos estipulados para los edificios. Gestionar y hacerse cargo de las preceptivas licencias y demás autorizaciones administrativas procedentes que, de conformidad con la normativa aplicable, conlleva la construcción de edificios, la urbanización que procediera en su entorno inmediato, la realización de obras que en ellos se ejecuten y su ocupación. Garantizar los daños materiales que el edificio pueda sufrir, para la adecuada protección de los intereses de los usuarios finales, en las condiciones legalmente establecidas, asumiendo la responsabilidad civil de forma personal e individualizada, tanto por actos propios como por actos de otros agentes por los que, con arreglo a la legislación vigente, se deba responder. La suscripción obligatoria de un seguro, de acuerdo a las normas concretas fijadas al efecto, que cubra los daños materiales que ocasionen en el edificio el incumplimiento de las condiciones de habitabilidad en tres años o que afecten a la seguridad estructural en el plazo de diez años, con especial mención a las viviendas individuales en régimen de autopromoción, que se registrarán por lo especialmente legislado al efecto. Suscribir el acta de recepción final de las obras, una vez concluidas éstas, haciendo constar la aceptación de las obras, que podrá efectuarse con o sin reservas y que deberá abarcar la totalidad de las obras o fases completas. En el caso de hacer mención expresa a reservas para la recepción, deberán mencionarse de manera detallada las deficiencias y se deberá hacer constar el plazo en que deberán quedar subsanados los defectos observados. Entregar al adquirente y usuario inicial, en su caso, el denominado Libro del Edificio que contiene el manual de uso y mantenimiento del mismo y demás documentación de obra ejecutada, o cualquier otro documento exigible por las Administraciones competentes.

### 2.2.2 El proyectista

Redactar el proyecto por encargo del promotor, con sujeción a la normativa urbanística y técnica en vigor y conteniendo la documentación necesaria para tramitar tanto la licencia de obras y demás permisos administrativos -proyecto básico- como para ser interpretada y poder ejecutar totalmente la obra, entregando al promotor las copias autorizadas correspondientes, debidamente visadas por su colegio profesional. Ostentar la propiedad intelectual de su trabajo, tanto de la documentación escrita como de los cálculos de cualquier tipo, así como de los planos contenidos en la totalidad del proyecto y cualquiera de sus documentos complementarios.

### 2.2.3 El constructor o contratista

Tener la capacitación profesional o titulación que habilita para el cumplimiento de las condiciones legalmente exigibles para actuar como constructor. Organizar los trabajos de construcción para cumplir con los plazos previstos, de acuerdo al correspondiente Plan de Obra, efectuando las instalaciones provisionales y disponiendo de los medios auxiliares necesarios. Elaborar, y exigir de cada subcontratista, un plan de seguridad y salud en el trabajo en el que se analicen, estudien, desarrollen y complementen las previsiones contenidas en el estudio o estudio básico, en función de su propio sistema de ejecución de la obra. En dichos planes se incluirán, en su caso, las propuestas de medidas alternativas de prevención propuestas, con la correspondiente justificación técnica, que no podrán implicar disminución de los niveles de protección previstos en el estudio o estudio básico. Comunicar a la autoridad laboral competente la apertura del centro de trabajo en la que incluirá el Plan de Seguridad y Salud al que se refiere el "Real Decreto 1627/1997. Disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción". Adoptar todas las medidas preventivas que cumplan los preceptos en materia de Prevención de Riesgos laborales y Seguridad y Salud que establece la legislación vigente, redactando el correspondiente Plan de Seguridad y ajustándose al cumplimiento estricto y permanente de lo establecido en el Estudio de Seguridad y Salud, disponiendo de todos los medios necesarios y dotando al personal del equipamiento de seguridad exigibles, así como cumplir las órdenes efectuadas por el Coordinador en materia de Seguridad y Salud en la fase de Ejecución de la obra. Supervisar de manera continuada el cumplimiento de las normas de seguridad, tutelando las actividades de los trabajadores a su cargo y, en su caso, relevando de su puesto a todos aquellos que pudieran menoscabar las condiciones básicas de seguridad personales o generales, por no estar en las condiciones adecuadas. Examinar la documentación aportada por los técnicos redactores correspondientes, tanto del Proyecto de Ejecución como de los proyectos complementarios, así como del Estudio de Seguridad y Salud, verificando que le resulta suficiente para la comprensión de la totalidad de la obra contratada o, en caso contrario, solicitando las aclaraciones pertinentes. Facilitar la labor de la Dirección Facultativa, suscribiendo el Acta de Replanteo, ejecutando las obras con sujeción al Proyecto de Ejecución que deberá haber examinado previamente, a la legislación aplicable, a las Instrucciones del director de obra y del director de la ejecución material de la obra, a fin de alcanzar la calidad exigida en el proyecto. Efectuar las obras siguiendo los criterios al uso que son propios de la correcta construcción, que tiene la obligación de conocer y poner en práctica, así como de las leyes generales de los materiales o *lex artis*, aun cuando estos criterios no estuvieran específicamente reseñados en



su totalidad en la documentación de proyecto. A tal efecto, ostenta la jefatura de todo el personal que intervenga en la obra y coordina las tareas de los subcontratistas. Supervisar personalmente y de manera continuada y completa la marcha de las obras, que deberán transcurrir sin dilación y con adecuado orden y concierto, así como responder directamente de los trabajos efectuados por sus trabajadores subordinados, exigiéndoles el continuo autocontrol de los trabajos que efectúen, y ordenando la modificación de todas aquellas tareas que se presenten mal efectuadas. Asegurar la idoneidad de todos y cada uno de los materiales utilizados y elementos constructivos, documentación mínima exigible o documentos de idoneidad requeridos por las normas de aplicación, debiendo recabar de la Dirección Facultativa la información que necesite para cumplir adecuadamente su cometido. Poner a disposición del director de ejecución material de la obra los medios auxiliares y personal necesario para efectuar las pruebas pertinentes para el Control de Calidad, recabando de dicho técnico el plan a seguir en cuanto a las tomas de muestras, traslados, ensayos y demás actuaciones necesarias. Facilitar a los directores de obra los datos necesarios para la elaboración de la documentación final de obra ejecutada. Suscribir las garantías de obra que se señalan en la "Ley 38/1999. Ley de Ordenación de la Edificación" y que, en función de su naturaleza, alcanzan periodos de 1 año (daños por defectos de terminación o acabado de las obras), 3 años (daños por defectos o vicios de elementos constructivos o de instalaciones que afecten a la habitabilidad) o 10 años (daños en cimentación o estructura que comprometan directamente la resistencia mecánica y la estabilidad del edificio).

#### 2.2.4 El director de obra

Dirigir la obra coordinándola con el Proyecto de Ejecución, facilitando su interpretación técnica, económica y estética a los agentes intervinientes en el proceso constructivo. Detener la obra por causa grave y justificada, que se deberá hacer constar necesariamente en el Libro de Órdenes y Asistencias, dando cuenta inmediata al promotor. Redactar las modificaciones, ajustes, rectificaciones o planos complementarios que se precisen para el adecuado desarrollo de las obras. Es facultad expresa y única la redacción de aquellas modificaciones o aclaraciones directamente relacionadas con la adecuación de la cimentación y de la estructura proyectadas a las características geotécnicas del terreno, el cálculo o recálculo del dimensionado y armado de todos y cada uno de los elementos principales y complementarios de la cimentación y de la estructura vertical y horizontal y los que afecten sustancialmente a la distribución de espacios. Asistir a las obras a fin de resolver las contingencias que se produzcan para asegurar la correcta interpretación y ejecución del proyecto, así como impartir las soluciones aclaratorias que fueran necesarias, consignando en el Libro de Ordenes y Asistencias las instrucciones precisas que se estimara oportunas reseñar para la correcta interpretación de lo proyectado, sin perjuicio de efectuar todas las aclaraciones y órdenes verbales que estimare oportuno. Firmar el Acta de replanteo o de comienzo de obra y el Certificado Final de Obra, así como firmar el visto bueno de las certificaciones parciales referidas al porcentaje de obra efectuada y, en su caso y a instancias del promotor, la supervisión de la documentación que se le presente relativa a las unidades de obra realmente ejecutadas previa a su liquidación final, todo ello con los visados que en su caso fueran preceptivos. Informar puntualmente al promotor de aquellas modificaciones sustanciales que, por razones técnicas o normativas, conllevan una variación de lo construido con respecto al proyecto básico y de ejecución y que afecten o puedan afectar al contrato suscrito entre el promotor y los destinatarios finales de

las viviendas. Redactar la documentación final de obra, en lo que respecta a la documentación gráfica y escrita del proyecto ejecutado, incorporando las modificaciones efectuadas. Para ello, los técnicos redactores de proyectos y/o estudios complementarios deberán obligatoriamente entregarle la documentación final en la que se haga constar el estado final de las obras y/o instalaciones por ellos redactadas, supervisadas y realmente ejecutadas, siendo responsabilidad de los firmantes la veracidad y exactitud de los documentos presentados. Al Proyecto Final de Obra se anexará el Acta de Recepción Final; la relación identificativa de los agentes que han intervenido en el proceso de edificación, incluidos todos los subcontratistas y oficios intervinientes; las instrucciones de Uso y Mantenimiento del Edificio y de sus instalaciones, de conformidad con la normativa que le sea de aplicación.

### 2.2.5 El director de la ejecución de la obra

Corresponde al director de ejecución material de la obra, según se establece en la "Ley 38/1999. Ley de Ordenación de la Edificación" y demás legislación vigente al efecto, las atribuciones competenciales y obligaciones que se señalan a continuación: La Dirección inmediata de la Obra. Verificar personalmente la recepción a pie de obra, previo a su acopio o colocación definitiva, de todos los productos y materiales suministrados necesarios para la ejecución de la obra, comprobando que se ajustan con precisión a las determinaciones del proyecto y a las normas exigibles de calidad, con la plena potestad de aceptación o rechazo de los mismos en caso de que lo considerase oportuno y por causa justificada, ordenando la realización de pruebas y ensayos que fueran necesarios. Dirigir la ejecución material de la obra de acuerdo con las especificaciones de la memoria y de los planos del Proyecto, así como, en su caso, con las instrucciones complementarias necesarias que recabara del director de obra. Anticiparse con la antelación suficiente a las distintas fases de la puesta en obra, requiriendo las aclaraciones al director de obra o directores de obra que fueran necesarias y planificando de manera anticipada y continuada con el contratista principal y los subcontratistas los trabajos a efectuar. Comprobar los replanteos, los materiales, hormigones y demás productos suministrados, exigiendo la presentación de los oportunos certificados de idoneidad de los mismos. Verificar la correcta ejecución y disposición de los elementos constructivos y de las instalaciones, extendiéndose dicho cometido a todos los elementos de cimentación y estructura horizontal y vertical, con comprobación de sus especificaciones concretas de dimensionado de elementos, tipos de viguetas y adecuación a ficha técnica homologada, diámetros nominales, longitudes de anclaje y adecuados solape y doblado de barras. Observancia de los tiempos de encofrado y desencofrado de vigas, pilares y forjados señalados por la Instrucción del Hormigón vigente y de aplicación. Asistir a la obra con la frecuencia, dedicación y diligencia necesarias para cumplir eficazmente la debida supervisión de la ejecución de la misma en todas sus fases, desde el replanteo inicial hasta la total finalización del edificio, dando las órdenes precisas de ejecución al contratista y, en su caso, a los subcontratistas. Consignar en el Libro de Ordenes y Asistencias las instrucciones precisas que considerara oportuno reseñar para la correcta ejecución material de las obras. Detener la Obra si, a su juicio, existiera causa grave y justificada, que se deberá hacer constar necesariamente en el Libro de Ordenes y Asistencias, dando cuenta inmediata a los directores de obra que deberán necesariamente corroborarla para su plena efectividad, y al promotor. Supervisar las pruebas pertinentes para el Control de Calidad, respecto a lo especificado por la normativa vigente, en cuyo cometido y obligaciones tiene legalmente competencia exclusiva,

programando bajo su responsabilidad y debidamente coordinado y auxiliado por el contratista, las tomas de muestras, traslados, ensayos y demás actuaciones necesarias de elementos estructurales, así como las pruebas de estanqueidad de fachadas y de sus elementos, de cubiertas y sus impermeabilizaciones, comprobando la eficacia de las soluciones. Tras la oportuna comprobación, emitir las certificaciones parciales o totales relativas a las unidades de obra realmente ejecutadas, con los visados que en su caso fueran preceptivos. Elaborar y suscribir responsablemente la documentación final de obra relativa a los resultados del Control de Calidad y, en concreto, a aquellos ensayos y verificaciones de ejecución de obra realizados bajo su supervisión relativos a los elementos de la cimentación, muros y estructura, a las pruebas de estanqueidad y escorrentía de cubiertas y de fachadas, a las verificaciones del funcionamiento de las instalaciones de saneamiento y desagües de pluviales y demás aspectos señalados en la normativa de Control de Calidad. Suscribir conjuntamente el Certificado Final de Obra, acreditando con ello su conformidad a la correcta ejecución de las obras y a la comprobación y verificación positiva de los ensayos y pruebas realizadas.

#### 2.2.6 Las entidades y los laboratorios de control de calidad de la edificación

Prestar asistencia técnica y entregar los resultados de su actividad al agente autor del encargo y, en todo caso, al director de la ejecución de la obra. Justificar la capacidad suficiente de medios materiales y humanos necesarios para realizar adecuadamente los trabajos contratados, en su caso, a través de la correspondiente acreditación oficial otorgada por la Comunidad Valenciana.

#### 2.2.7 Los suministradores de productos

Realizar las entregas de los productos de acuerdo con las especificaciones del pedido, respondiendo de su origen, identidad y calidad, así como del cumplimiento de las exigencias que, en su caso, establezca la normativa técnica aplicable. Facilitar, cuando proceda, las instrucciones de uso y mantenimiento de los productos suministrados, así como las garantías de calidad correspondientes, para su inclusión en la documentación de la obra ejecutada.

### 3. Disposiciones económicas

#### 3.1 Definición

Las condiciones económicas fijan el marco de relaciones económicas para el abono y recepción de la obra. Tienen un carácter subsidiario respecto al contrato de obra, establecido entre las partes que intervienen, promotor y contratista, que es en definitiva el que tiene validez.

### 3.2 Contrato de obra

Se aconseja que se firme el contrato de obra, entre el promotor y el contratista, antes de iniciarse las obras, evitando en lo posible la realización de la obra por administración. A la Dirección Facultativa (director de obra y director de ejecución de la obra) se le facilitará una copia del contrato de obra, para poder certificar en los términos pactados. El contrato de obra deberá prever las posibles interpretaciones y discrepancias que pudieran surgir entre las partes, así como garantizar que la Dirección Facultativa pueda, de hecho, coordinar, dirigir y controlar la obra, por lo que es conveniente que se especifiquen y determinen con claridad, como mínimo, los siguientes puntos:

- Documentos a aportar por el contratista.
- Condiciones de ocupación del solar e inicio de las obras.
- Determinación de los gastos de enganches y consumos.
- Responsabilidades y obligaciones del contratista: Legislación laboral. • Responsabilidades y obligaciones del promotor.
- Presupuesto del contratista.
- Revisión de precios (en su caso).
- Forma de pago: Certificaciones.
- Plazos de ejecución: Planning.
- Retraso de la obra: Penalizaciones.
- Recepción de la obra: Provisional y definitiva.
- Litigio entre las partes.

Criterio general Todos los agentes que intervienen en el proceso de la construcción, definidos en la "Ley 38/1999. Ley de Ordenación de la Edificación", tienen derecho a percibir puntualmente las cantidades devengadas por su correcta actuación con arreglo a las condiciones contractualmente establecidas, pudiendo exigirse recíprocamente las garantías suficientes para el cumplimiento diligente de sus obligaciones de pago.

### 3.3 Fianzas

El contratista presentará una fianza con arreglo al procedimiento que se estipule en el contrato de obra.

### 3.3.1 Ejecución de trabajos con cargo a la fianza

Si el contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, el director de obra, en nombre y representación del promotor, los ordenará ejecutar a un tercero, o podrá realizarlos directamente por administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones a que tenga derecho el promotor, en el caso de que el importe de la fianza no bastase para cubrir el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fuesen de recibo.

### 3.3.2 Devolución de las fianzas

La fianza recibida será devuelta al contratista en un plazo establecido en el contrato de obra, una vez firmada el Acta de Recepción Definitiva de la obra. El promotor podrá exigir que el contratista le acredite la liquidación y finiquito de sus deudas causadas por la ejecución de la obra, tales como salarios, suministros y subcontratos.

### 3.3.3 Devolución de la fianza en el caso de efectuarse recepciones parciales

Si el promotor, con la conformidad del director de obra, accediera a hacer recepciones parciales, tendrá derecho el contratista a que se le devuelva la parte proporcional de la fianza.

## 3.4 Precios

El objetivo principal de la elaboración del presupuesto es anticipar el coste del proceso de construir la obra. Se descompondrá el presupuesto en unidades de obra, componente menor que se contrata y certifica por separado, y basándonos en esos precios, calcularemos el presupuesto.

### 3.4.1 Presupuesto de Ejecución Material (PEM)

Es el resultado de la suma de los precios unitarios de las diferentes unidades de obra que la componen. Se denomina Presupuesto de Ejecución Material al resultado obtenido por la suma de los productos del número de cada unidad de obra por su precio unitario y de las partidas alzadas. Es decir, el coste de la obra sin incluir los gastos generales, el beneficio industrial y el impuesto sobre el valor añadido.

### 3.4.2 Reclamación de aumento de precios

Si el contratista, antes de la firma del contrato de obra, no hubiese hecho la reclamación u observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error u omisión reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirva de base para la ejecución de las obras.

### 3.4.3 De la revisión de los precios contratados

El presupuesto presentado por el contratista se entiende que es cerrado, por lo que no se aplicará revisión de precios. Sólo se procederá a efectuar revisión de precios cuando haya quedado explícitamente determinado en el contrato de obra entre el promotor y el contratista.

### 3.4.4 Acopio de materiales

El contratista queda obligado a ejecutar los acopios de materiales o aparatos de obra que el promotor ordene por escrito. Los materiales acopiados, una vez abonados por el propietario, son de la exclusiva propiedad de éste, siendo el contratista responsable de su guarda y conservación.

## 3.5 Valoración y abono de los trabajos

### 3.5.1 Forma y plazos de abono de las obras

Se realizará por certificaciones de obra y se recogerán las condiciones en el contrato de obra establecido entre las partes que intervienen (promotor y contratista) que, en definitiva, es el que tiene validez. Los pagos se efectuarán por el promotor en los plazos previamente establecidos en el contrato de obra, y su importe corresponderá precisamente al de las certificaciones de la obra conformadas por el director de ejecución de la obra, en virtud de las cuáles se verifican aquéllos. El director de ejecución de la obra realizará, en la forma y condiciones que establezca el criterio de medición en obra incorporado en las Prescripciones en cuanto a la Ejecución por Unidad de Obra, la medición de las unidades de obra ejecutadas durante el período de tiempo anterior, pudiendo el contratista presenciar la realización de tales mediciones. Para las obras o partes de obra que, por sus dimensiones y características, hayan de quedar posterior y definitivamente ocultas, el contratista está obligado a avisar al director de ejecución de la obra con la suficiente antelación, a fin de que éste pueda realizar las correspondientes mediciones y toma de datos, levantando los planos que las definan, cuya conformidad suscribirá el contratista. A falta de aviso anticipado, cuya existencia corresponde probar al contratista, queda este obligado a aceptar las decisiones del promotor sobre el particular.

### 3.5.2 Relaciones valoradas y certificaciones

En los plazos fijados en el contrato de obra entre el promotor y el contratista, éste último formulará una relación valorada de las obras ejecutadas durante las fechas previstas, según la medición practicada por el Director de Ejecución de la Obra. Las certificaciones de obra serán el resultado de aplicar, a la cantidad de obra realmente ejecutada, los precios contratados de las unidades de obra. Sin embargo, los excesos de obra realizada en unidades, tales como excavaciones y hormigones, que sean imputables al contratista, no serán objeto de certificación alguna. Los pagos se efectuarán por el promotor en los plazos previamente establecidos, y su importe corresponderá al de las certificaciones de obra, conformadas por la Dirección Facultativa. Tendrán el carácter de documento y entregas a buena cuenta, sujetas a las rectificaciones y variaciones que se deriven de la Liquidación Final, no suponiendo tampoco dichas certificaciones parciales la aceptación, la aprobación, ni la recepción de las obras que comprenden. Las relaciones valoradas contendrán solamente la obra ejecutada en el plazo a que la valoración se refiere. Si la Dirección Facultativa lo exigiera, las certificaciones se extenderán a origen.

## 3.6 Indemnizaciones mutuas

### 3.6.1 Indemnización por retraso del plazo de terminación de las obras

Si, por causas imputables al contratista, las obras sufrieran un retraso en su finalización con relación al plazo de ejecución previsto, el promotor podrá imponer al contratista, con cargo a la última certificación, las penalizaciones establecidas en el contrato, que nunca serán inferiores al perjuicio que pudiera causar el retraso de la obra.

### 3.6.2 Demora de los pagos por parte del promotor

Se regulará en el contrato de obra las condiciones a cumplir por parte de ambos.

### 3.6.3 Plazos de ejecución: Planning de obra

En el contrato de obra deberán figurar los plazos de ejecución y entregas, tanto totales como parciales. Además, será conveniente adjuntar al respectivo contrato un Planning de la ejecución de la obra donde figuren de forma gráfica y detallada la duración de las distintas partidas de obra que deberán conformar las partes contratantes.

### 3.6.4 Liquidación económica de las obras

Simultáneamente al libramiento de la última certificación, se procederá al otorgamiento del Acta de Liquidación Económica de las obras, que deberán firmar el promotor y el contratista. En este acto se dará por terminada la obra y se entregarán, en su caso, las llaves, los correspondientes boletines debidamente cumplimentados de acuerdo a la Normativa Vigente, así como los proyectos Técnicos y permisos de las instalaciones contratadas. Dicha Acta de Liquidación Económica servirá de Acta de Recepción Provisional de las obras, para lo cual será conformada por el promotor, el contratista, el director de obra y el director de ejecución de la obra, quedando desde dicho momento la conservación y custodia de las mismas a cargo del promotor. La citada recepción de las obras, provisional y definitiva, queda regulada según se describe en las Disposiciones Generales del presente Pliego.

### 3.7 Liquidación final de la obra

Entre el promotor y contratista, la liquidación de la obra deberá hacerse de acuerdo con las certificaciones conformadas por la Dirección de Obra. Si la liquidación se realizara sin el visto bueno de la Dirección de Obra, ésta sólo mediará, en caso de desavenencia o desacuerdo, en el recurso ante los Tribunales.

## 4. Disposiciones legales

### 4.1 Reconocimiento de marcas registradas

El autor de este proyecto, así como su promotor, reconocen las marcas registradas que han aparecido a lo largo del desarrollo y ejecución, además de los derechos de autor recogidos en la bibliografía consultada y citada en el mismo.

### 4.2 Derechos de autor

Los derechos de autor de este proyecto serán los estipulados por la legislación y reglamentación vigente en el momento del comienzo del proyecto, a excepción de posibles correcciones legales resultantes de los recursos legales que se hayan interpuesto contra las mencionadas leyes y reglamentos.



## 5. Condiciones técnicas de los equipos

### 5.1 Especificaciones de la instalación eléctrica

Las instalaciones eléctricas serán ejecutadas por la Empresa especializada, en posesión de todos los requisitos que establece la legislación vigente. Toda la documentación acreditativa será presentada por el Director de Obra para que pueda emitir la oportuna autorización de comienzo de los trabajos.

Todo el personal que intervenga en cualquier ejecución en cualquier parte de las instalaciones eléctricas, aunque sea accesoria, deberá estar en posesión de los oportunos certificados de calificación profesional. Será condición necesaria para que la dirección autorice su intervención en los trabajos, la entrega de una copia, autenticada por la empresa especializada, de los certificados mencionados, así como la justificación de estar de alta en el Libro de Matrícula. Antes de iniciar la obra, el Contratista presentará unos planos de detalle que indiquen preferentemente una situación real de los recorridos de canalizaciones y conductores. Al finalizar la obra, presentará los mismos planos corregidos en la forma como se hizo.

### 5.2 Especificaciones de la instalación de fontanería

Las tuberías serán del tipo, diámetro y presión de servicio que se indican en las Mediciones y Presupuestos de este proyecto y cumplirán las especificaciones contenidas dichos documentos. Las piezas especiales, serán capaces de soportar presiones de prueba y trabajo iguales a las tuberías en que hayan de instalarse. El cuerpo principal de estos elementos será del material que garantice el Plantante de reconocida solvencia nacional, previa aprobación del Director de Obra, quien también ha de autorizar los modelos a utilizar.

En todo caso, el acabado de las piezas especiales, será perfecto y de funcionamiento, durabilidad y resistencia. Deberán acreditarse mediante los oportunos certificados oficiales. La superficie interior de cualquier elemento, sea tubería o pieza especial, será lisa, no pudiendo admitirse otros defectos de regularidad que los de carácter accidental o local que queden dentro de las tolerancias prescritas y que no representen ninguna merma de la calidad de circulación de agua. La reparación de tales desperfectos no se realizará sin la previa autorización del Director de Obra. Los tubos y demás elementos de las conducciones y redes, estarán bien terminados, con espesores regulares y cuidadosamente trabajados y deberán resistir sin daños todos los esfuerzos que estén llamados a soportar en servicio y durante las pruebas.

### 5.3 Instalación de la maquinaria

Todas las partes de la maquinaria que deben estar en contacto con los elementos a tratar, serán de material inalterable, con superficie lisa y fácil de limpiar. 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 Anexo del operador. Si en condiciones de trabajo normales una máquina, con fuerza de acondicionamiento suficiente y manejada de acuerdo con las instrucciones, no diera el rendimiento garantizado, se comunicará a la casa vendedora para que comunique las deficiencias y haga las modificaciones oportunas.

Si en el plazo de un mes, estas deficiencias no fueran subsanadas, la casa se hará cargo de la maquinaria, puesta, embalada en la estación más próxima a la residencia del cliente, devolviendo el mismo importe que haya pagado, o suministrándole a elección de éste, en sustitución de la maquinaria retirada, otra de rendimiento correcto. Serán de cuenta de la casa suministradora el transporte, embalaje, derechos de aduanas, riesgos, seguros e impuestos hasta que la maquinaria se encuentre en el lugar de su emplazamiento. El montaje será por cuenta de la casa vendedora, si bien el promotor proporcionará las escaleras, instalación eléctrica, herramienta gruesa y material de albañilería, carpintería y cerrajería necesaria para el montaje, así como personal auxiliar para ayudar al especializado que enviará la empresa suministradora. El plazo que para la entrega de maquinaria pacte el promotor con el vendedor de la misma, no podrá ser ampliado más que por causa de fuerza mayor, como huelgas, lockout, movilización del ejército, guerra o revolución.

Si el retraso es imputable a la casa vendedora, el promotor tendrá derecho a un 1% de rebaja en el precio por cada semana de retraso como compensación por los perjuicios ocasionados. Será por cuenta de la entidad vendedora suministrar los aparatos y útiles precisos para ejecutar las pruebas de las máquinas y verificar las comprobaciones necesarias, siendo de su cuenta los gastos que originen éstas. En cada máquina o grupo de máquinas, se establecerá una fecha de prueba con el objeto de poder efectuar la recepción provisional, para el plazo mínimo de garantía de un año, en el cual su funcionamiento ha de ser perfecto, comprometiéndose la empresa suministradora a reponer por su cuenta las piezas que aparezcan deterioradas a causa de una defectuosa construcción o instalación y a subsanar por su cuenta las anomalías o irregularidades de funcionamiento que impidan su uso normal.

## 6. Estado de mediciones



## Índice

<b>1. ESTADO DE MEDICIONES .....</b>	<b>1</b>
1.1 PARTIDA 1: EQUIPOS.....	1
1.2 PARTIDA 2: CONDUCCIONES .....	2
1.3 PARTIDA 3: ACCESORIOS.....	2
1.4 PARTIDA 4: OBRA CIVIL.....	2
1.5 PARTIDA 5: MANO DE OBRA .....	3

## 1. Estado de mediciones

El estado de mediciones es el sexto documento básico del proyecto. La finalidad del documento es determinar y definir las unidades de obra que constituyen la instalación a diseñar. En este documento se determinan tanto las partidas como las unidades y características de cada unidad de obra. El presente documento servirá como punto de partida para la elaboración del presupuesto del proyecto. Se comprende como unidad de obra cada una de las distintas partes en las que puede dividirse un proyecto y pueden medirse. Las partidas que componen el presente proyecto son: Partida 1 (equipos), Partida 2 (conducciones), Partida 3 (accesorios), Partida 4 (obra civil) y Partida 5 (mano de obra).

### 1.1 Partida 1: equipos

En la Tabla EM.1 se muestra el estado de mediciones de los equipos que componen la instalación.

**Tabla EM.1: Equipos**

<b>Equipos</b>	<b>Unidades</b>
Silos de almacenamiento, de mezcla y descarga	13
Tanques de agua y defloculante	9
Agitador	3
Balsa de agitación y recuperación	2
Atomizador	1
Quemador	1
Ciclones	8
Filtro de mangas	1
Cinta de transporte	180
Soplante	3
Compresor	1
Bomba	3
Compresor	1

## 1.2 Partida 2: conducciones

En la Tabla EM.2 se muestra el estado de mediciones de las conducciones que componen la instalación.

**Tabla EM.2: Conducciones**

<b>Conducciones</b>	<b>Longitud (m)</b>
Conexión de tanque de defloculante y de ligante a desleidora	3
Tramo 1 (D = 0,67 m)	150
Tramo 2 (D = 0,9 m)	15
Tramo 4 (D = 0,9 m)	35
Tramo 5 (D = 0,09 m)	40
Tramo 6 (D = 0,09 m)	35
Tramo 7 (D = 0,035 m)	40

## 1.3 Partida 3: accesorios

En la tabla EM.3 se muestra el estado de mediciones de los accesorios que componen la instalación.

**Tabla EM.3: Accesorios**

<b>Accesorios</b>	<b>Unidades</b>
Codo 90°	17
Válvula de retención de chamela	6

## 1.4 Partida 4: obra civil

En la tabla EM.4 se muestra el estado de mediciones de la superficie de la parcela necesaria para la instalación.

**Tabla EM.4: obra civil**

<b>Obra civil</b>	<b>Terreno (m<sup>2</sup>)</b>
Adquisición de terreno rústico urbanizable	36.000
Instalación de fontanería	2.500
Instalación eléctrica de alumbrado	2.500
Instalación de incendios	2.500

### 1.5 Partida 5: mano de obra

En la tabla EM.5 se muestra la mano de obra necesaria para la planta industrial.

**Tabla EM.5: Mano de obra**

<b>Mano de obra</b>	<b>Personal</b>
Jefe/a de planta	2
Ingeniero/a de planta	2
Carretillero/a	2
Secretario/a	2
Proyectista	1
Mantenimiento	1



# 7. Presupuesto



## Índice

<b>1.</b>	<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DE MATERIAL (PEM)</b> .....	<b>1</b>
1.1	PEM PARCIAL .....	1
1.1.1	<i>Partida 1: equipos</i> .....	1
1.1.2	<i>Partida 2: conducciones</i> .....	2
1.1.3	<i>Partida 3: accesorios</i> .....	2
1.1.4	<i>Partida 4: obra civil</i> .....	3
1.1.5	<i>Partida 5: mano de obra</i> .....	3
1.2	PEM TOTAL.....	4
<b>2.</b>	<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)</b> .....	<b>4</b>
<b>3.</b>	<b>PRESUPUESTO TOTAL</b> .....	<b>4</b>
<b>4.</b>	<b>PRESUPUESTO DE EXPLOTACIÓN</b> .....	<b>5</b>
4.1	GASTOS DIRECTOS .....	5
4.2	AMORTIZACIONES .....	7
4.3	GASTOS INDIRECTOS .....	8
4.4	GASTOS TOTALES .....	9
4.5	BENEFICIOS.....	9
4.6	FLUJO DE CAJA.....	10
4.7	VALOR ACTUAL NETO (VAN).....	11
4.8	TASA INTERNA DE RENTABILIDAD (TIR) .....	11
4.9	PERIODO DE RETORNO (PR).....	12
4.10	CONCLUSIÓN.....	13



## 1. Presupuesto de ejecución de material (PEM)

### 1.1 PEM parcial

El Presupuesto de Ejecución de Material representa el coste del objeto del proyecto, lo que le cuesta al contratista ejecutar la obra.

A continuación, se exponen las distintas partidas que componen el Presupuesto de Ejecución de Material del presente proyecto.

#### 1.1.1 Partida 1: equipos

La primera partida del Presupuesto de Ejecución de Material está formada por los distintos equipos que forman la instalación. En la Tabla P.1 se recoge la primera partida.

Tabla P.1: Precio de los equipos

Equipos	Unidades	Precio unitario (€/unidad)	Precio total (€)	Precio equipos (€)
Silos de almacenamiento, de mezcla y descarga	13	2.500	32.500	158.600
Tanques de agua y defloculante	9	3.500	31.500	
Agitador	3	2.500	7.500	
Balsa de agitación y recuperación	2	3.500	7.000	
Atomizador	1	12.000	12.000	
Quemador	1	6.000	6.000	
Ciclones	8	600	4.800	
Filtro de mangas	1	4.000	4.000	
Cinta de transporte	180	100	18.000	
Soplante	3	1.500	4.500	
Bomba	3	2.000	6.000	
Compresor	1	2.500	2.500	
Dosificadores de defloculante y ligante	2	500	1.000	

### 1.1.2 Partida 2: conducciones

La segunda partida del Presupuesto de Ejecución de Material está formada por las distintas conducciones que forman la instalación. En la Tabla P.2 se recoge la segunda partida.

**Tabla P.2: Precio de conducciones**

Conducciones	Longitud (m)	Precio longitud (€/m)	Precio total (€)	Precio conducciones (€)
Conexión de tanque de defloculante y de ligante a desleidora	3	3,33	9,99	4.828,24
Tramo 1 (D = 0,67 m)	150	21,5	3.225	
Tramo 2 (D = 0,9 m)	15	24,21	363,15	
Tramo 4 (D = 0,9 m)	35	24,21	847,35	
Tramo 5 (D = 0,09 m)	40	3,33	133,2	
Tramo 6 (D = 0,09 m)	35	3,33	116,55	
Tramo 7 (D = 0,035 m)	40	3,33	133,2	

### 1.1.3 Partida 3: accesorios

La tercera partida del Presupuesto de Ejecución de Material está formada por los distintos accesorios que forman la instalación. En la Tabla P.3 se recoge la tercera partida.

**Tabla P.3: Precio de accesorios**

Accesorios	Unidades	Precio unitario (€/unidad)	Precio total (€)	Precio accesorios (€)
Codo 90°	17	15	255	435
Válvula de retención de chamela	6	30	180	

1.1.4 Partida 4: obra civil

La cuarta partida del Presupuesto de Ejecución de Material está formada por la obra civil e instalaciones necesarias para que la instalación pueda operar (Tabla P.4).

Tabla P.4: Precio de obra civil

Obra civil	Terreno (m <sup>2</sup> )	Precio superficie (€/m <sup>2</sup> )	Precio total (€)	Precio obra civil (€)
Adquisición de terreno rústico urbanizable	36.000	53,96	1.942.560	1.980.000
Instalación de fontanería	2.500	4,992	12.480	
Instalación eléctrica de alumbrado	2.500	4,992	12.480	
Instalación de incendios	2.500	4,992	12.480	

1.1.5 Partida 5: mano de obra

A la hora de elaborar el presupuesto es importante tener en cuenta los costes de mano de obra, para ello, se define una quinta partida. Teniendo en cuenta las estimaciones proporcionadas por el Colegio de Ingenieros Industriales de la Comunidad Valenciana se define como un 15% de la primera partida, equipos. En esta partida se incluyen los honorarios del proyectista y se tiene en cuenta que la jornada semanal es de días (8 horas/día). Todo esto se recoge en la Tabla P.5.

Tabla P.5: Precio de mano de obra

Mano de obra	Personal
Jefe/a de planta	2
Ingeniero/a de planta	2
Carretillero/a	2
Secretario/a	2
Proyectista	1
Mantenimiento	1

## 1.2 PEM total

El Presupuesto de Ejecución de material Total se define como el sumatorio de las distintas partidas que componen el Presupuesto de Ejecución de material Parcial (Tabla P.6).

Tabla P.6: PEM total

Partida	Precio (€)	PEM (€)
1. equipos	158.600	2.270.509,39
2. conducciones	4.828,24	
3. accesorios	435	
4. obra civil	1.980.000	
5. mano de obra	126.646,15	

## 2. Presupuesto de ejecución por contrata (PEC)

Para determinar el Presupuesto de Ejecución por Contrata, se debe tener en cuenta el PEM, a partir de este, se determinan los Gastos Generales (gastos de licencias, seguridad y salud; 20% del PEM) y el Beneficio Industrial (6% del PEM). Esto se recoge en la Tabla P.7.

Tabla P.7: PEC

Elemento	Coste (€)	PEC (€)
PEM	2.270.509,39	2.860.841,83
Gastos generales	454.101,88	
Beneficio industrial	136.230,56	

## 3. Presupuesto total

El Presupuesto total, el equivalente a la Inversión Inicial ( $I_0$ ), se determina aplicando el IVA (21%) al Presupuesto de Ejecución por Contrata determinado (Tabla P.8).

Tabla P.8: Presupuesto total

Elemento	Coste (€)	Presupuesto total
PEC	2.860.841,83	3.461.618,62
IVA (21%)	600.776,78	

El presupuesto total del proyecto *Planta de obtención de polvo atomizado para el prensado de piezas de alta alúmina* es de **TRES MILLONES CUATROCIENTOS SESENTA Y UNO MIL SEISCIENTOS DIECIOCHO CON SESENTA Y DOS CÉNTIMOS.**



## 4. Presupuesto de explotación

El Presupuesto de Explotación detalla los gastos totales anuales de la instalación. Se divide en gastos directos e indirectos.

Se debe tener en cuenta que el valor del dinero varía con el tiempo, de modo que se emplea la siguiente ecuación para determinar el valor característico para cada año de explotación.

$$Concepto = Concepto_{año0} \cdot \left(1 + \frac{IPC}{100}\right)^{año} - 1 \quad [P.1]$$

Donde las siguientes expresiones significan:

- *Concepto*: concepto de contabilidad cuyo valor varía con el tiempo
- *IPC*: Índice de Precios al Consumo = 2,5%
- *in*: Interés nominal = 4%
- *ir*: Interés real =  $\frac{in}{IPC} = 1,6\%$
- *año*: año de amortización, iniciándose en 1 y acabando en el tiempo de amortización
- *año0*: año de amortización anterior al año en que se está calculando el concepto (en año 1 vale cero)

### 4.1 Gastos directos

El término gastos directos o variables, hace referencia a aquellos gastos que están relacionados con el volumen de producción. En el caso de la instalación, los gastos directos son la alúmina, el agua, el defloculante, el ligante y el gas natural.

Para realizar el estudio económico es importante conocer la cantidad de materias primas que se requieren para la operación de la planta en continuo. Para llevar a cabo este cálculo se ha considerado que la planta opera de forma ininterrumpida las 24 horas del día, 240 días efectivos al año. En la Tabla P.9 se recogen los consumos anuales de la instalación.

Tabla P.9: Gastos directos de materias primas

Materias primas	Consumo
Alúmina	15.808 ton/año
Agua	3.344 ton/año
PEG	501,6 ton/año
Darvan C	16,72 ton/año
Gas natural	1.348.795,28 m <sup>3</sup> /año

Además de estos, se incluye el consumo eléctrico de los equipos (Tabla P.10).

**Tabla P.10: Consumo eléctrico de los equipos**

Equipo	Potencia (kW)	Consumo (kW·h/año)	Consumo eléctrico de equipos (kW·h/año)
Dosificadores de defloculante y ligante	1,5	12.240	36.113.304
Bomba y compresor del atomizador	37	301.920	
Quemador	42,9	350.064	
Desleidora	18,3	149.328	
Cinta transportadora	15,3	124.848	
Bomba 1	19,91	162.465,6	
Bomba 2	11	89.760	
Bomba 3	44,74	365.078,4	
Soplante 2	1140	9.302.400	
Soplante 3	1100	8.976.000	
Soplante 4	1190	9.710.400	
Compresor 1	680	5.548.800	
Filtro de mangas	125	1.020.000	

El precio de la electricidad se ha determinado a partir de la cuota para instalaciones industriales. Hay una cuota diurna y una nocturna, teniendo en cuenta que la planta está cada día activa durante 16 horas en horario diurno se aplica el precio de la potencia correspondiente (Tabla P.11).

**Tabla P.11: Coste de electricidad**

	Precio (€/kW·h)
Cuota diurna	0,05

Los precios de todas las materias primas han sido extraídos de la bibliografía. Los gastos directos para el primer año de operación se recogen en la Tabla P.12.

Tabla P.12: Gastos directos totales

Gastos directos	Consumo	Precio	Coste (€/año)
Alúmina	15.808 ton/año	542,54 €/ton	8.576.472,32
Agua	3.344 ton/año	1,15 €/ton	3.845,6
PEG	501,6 ton/año	856,5 €/ton	429.620,4
Darvan C	16,72 ton/año	1270,38 €/ton	21.240,75
Gas natural	1.348.795,28 m <sup>3</sup> /año	1,63 €/m <sup>3</sup>	2.198.536,31
Electricidad	36.113.304 kW·h/año	0,05 €/kW·h	1.805.665,2
Gastos directos totales		13.035.380,58	

Una vez determinados los gastos directos totales, se debe tener en cuenta que el valor del dinero varía con el tiempo. Para determinar la variación de los gastos directos totales con el tiempo se emplea la ecuación [P.1].

#### 4.2 Amortizaciones

La amortización se define como la pérdida de valor que tiene un bien físico con el tiempo, pero es complicado cuantificarlo, la administración es la que regula las pérdidas de valor de la maquinaria, es una cantidad que se va restando del valor vigente según la legislación. Debido a la pérdida de valor, se va reservando la parte equivalente a las pérdidas de valor de un equipo anualmente para que en el caso de tener que cambiarla porque se haya amortizado, se pueda comprar un equipo que valga por lo menos lo que costó la otra inicialmente.

La amortización se puede determinar como el cociente de la inversión inicial y el número de años que se requieren para amortizar. En este proyecto se ha fijado un tiempo de amortización para todos los equipos de 15 años.

Así pues, la amortización para el primer año se estima con [P.2].

$$Amortización = \frac{I_0}{tiempo\ de\ amortización} \quad [P.2]$$

Sustituyendo los valores en [P.2] se obtiene:

$$Amortización = \frac{3.461.618,62}{15} = 230.774,57 \frac{€}{año}$$

Una vez determinada la amortización, se debe tener en cuenta que el valor del dinero varía con el tiempo. Para determinar la variación de la amortización con el tiempo se emplea la ecuación [P.1]. La variación de la amortización se adjunta en la Tabla P.19.

### 4.3 Gastos indirectos

Los gastos indirectos o fijos hacen referencia a todos aquellos gastos que no están relacionados con el volumen de producción, como pueden ser los operarios.

El gasto previsto en cuanto a personal se muestra en la Tabla P.13. Se prevé el personal necesario, teniendo en cuenta que la planta produce 2 días a la semana, 16 horas al día, durante todo el año. Se fijan 2 turnos de 8 horas. En la Tabla P.13 figuran la cantidad de trabajadores de la planta y cuanto cobran.

Tabla P.13: Gasto en personal

Mano de obra	Personal	Sueldo anual (€/persona-año)	Precio total (€/año)	Coste (€/año)
Jefe/a de planta	2	15.507,69	31.015,38	126.646,15
Ingeniero/a de planta	2	12.553,85	25.107,69	
Carretillero/a	2	8.123,08	16.246,15	
Secretario/a	2	9.230,77	18.461,54	
Proyectista	1	28.800	28.800	
Mantenimiento	1	7.015,37	7.015,38	

Además de los gastos de personal se deben incluir los gastos de iluminación (Tabla P.14). Como únicamente se requiere iluminación de día, cuando el personal se encuentra en la planta, se aplica el coste diurno (0,05 €/kW·h) como se establece en la Tabla P.11.

Tabla P.14: Iluminación de la planta

Consumo (kW·h/año)	Coste (€/año)
24.000	1.200

En la Tabla P.15, se recogen todos los gastos indirectos ajenos al personal.

Tabla P.15: Gastos ajenos al personal

Gastos ajenos al personal	Coste (€/año)
Limpieza	8.000
Iluminación	1.200
<b>Total</b>	<b>9.200</b>

La suma del gasto en personal (126.646,15 €/año) y en los gastos ajenos a la plantilla (9.200 €/año) son los gastos indirectos totales, que ascienden a 135.846,15 €/año.

Una vez determinados los gastos indirectos totales, se debe tener en cuenta que el valor del dinero varía con el tiempo. Para determinar la variación de los gastos indirectos totales con el tiempo se emplea la ecuación [P.1].

#### 4.4 Gastos totales

El presupuesto de explotación anual es la suma de gastos directos e indirectos, de modo que los gastos anuales previstos ascienden 41.683.587,46 €. En la Tabla P.16 se recoge el valor de cada uno de los gastos que componen los gastos totales.

Tabla P.16: Gastos totales

Gastos	Coste (€/año)
Gastos directos	13.035.380,58
Gastos indirectos	135.846,15
Total	13.171.326,73

#### 4.5 Beneficios

El principal objetivo de una empresa es obtener beneficios, estos son una parte importante del estudio de la viabilidad económica de un proyecto, pero se deben distinguir 2 tipos de beneficio:

- Beneficio bruto: Se define el beneficio bruto como la diferencia entre los ingresos reales de la empresa y la suma de los gastos totales que esta genera, obviando los impuestos y la amortización.
- Beneficio neto: Se define como el beneficio bruto una vez aplicado el impuesto de sociedades del 25%.

Para poder determinar los beneficios de la empresa, es necesario calcular los ingresos, estos vienen derivados de la venta del principal producto.

El caudal de polvo de alúmina atomizada que se genera es de 17.600 ton/año, con un precio de venta de 800 €/ton, arrojando unos ingresos anuales de 14.080.000 €/año.

Una vez determinados los ingresos y los gastos totales, se pueden determinar el beneficio bruto y el beneficio neto:

- Beneficio bruto: como se ha mencionado en el párrafo anterior, para el cálculo del beneficio bruto se aplica el índice de precios al consumo (IPC), que se fija en el 2,5%. El beneficio bruto se obtiene por tanto restando los gastos totales y la amortización a los ingresos.

$$\text{Beneficio bruto} = 14.080.000 - 13.171.326,73 - 230.774,57 = 677.998,70 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

- Beneficio neto: para el cálculo del del beneficio neto, se resta al beneficio bruto un 25% por el impuesto de sociedades.

$$\text{Beneficio neto} = 677.998,70 - 0,25 \cdot 677.998,70 = 508.499,02 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

Una vez determinados los beneficios tanto brutos como netos, se debe tener en cuenta que el valor del dinero varía con el tiempo. Para determinar la variación de beneficios con el tiempo se emplea la ecuación anteriormente mencionada.

#### 4.6 Flujo de caja

El flujo de caja (FC) representa los flujos económicos de entrada y salida anuales en una empresa. El flujo de caja en el primer año se determina mediante la ecuación [P.3].

$$FC = \text{Beneficio neto} + \text{Amortización} \quad [\text{P.3}]$$

Sustituyendo se obtiene que para el primer año de funcionamiento de la planta:

$$FC = 508.499,02 + 230.774,57 = 739.273,60 \text{ €/año}$$

Una vez determinado el flujo de caja, se debe tener en cuenta que el valor del dinero varía con el tiempo. Para determinar el flujo de caja en los siguientes años en que la planta este funcionando se emplea la ecuación [P.3] anteriormente mencionada.

#### 4.7 Valor Actual Neto (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN) es un indicador de la rentabilidad del proyecto que representa el desembolso de la inversión inicial más el valor actual de los flujos de caja futuros. Se pueden tener tres situaciones:

- VAN < 0: Indica que el proyecto no es rentable para el periodo de tiempo establecido.
- VAN = 0: Indica que el proyecto no genera ganancias, pero tampoco pérdidas.
- VAN > 0: Indica que el proyecto es rentable, las ganancias son mayores que los costes.

Para el cálculo del VAN se emplea la ecuación [P.4].

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^{n=15} \left( \frac{FC}{(1 + i_r)^n} \right) \quad [P.4]$$

El VAN para un horizonte temporal de 15 años es de 8.156.319,89 €, es decir, es mayor que 0. Esto indica que el proyecto es ampliamente rentable.

#### 4.8 Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)

La Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto. El TIR se calcula haciendo 0 el VAN. Interesa realizar aquellos proyectos cuyo TIR sea superior al interés nominal. Cuanto mayor sea el valor del porcentaje más viable será el proyecto.

El TIR se determina mediante la ecuación [P.5].

$$0 = -I_0 + \sum_{n=1}^{n=15} \left( \frac{FC}{(1 + i_r)^n} \right) \quad [P.5]$$

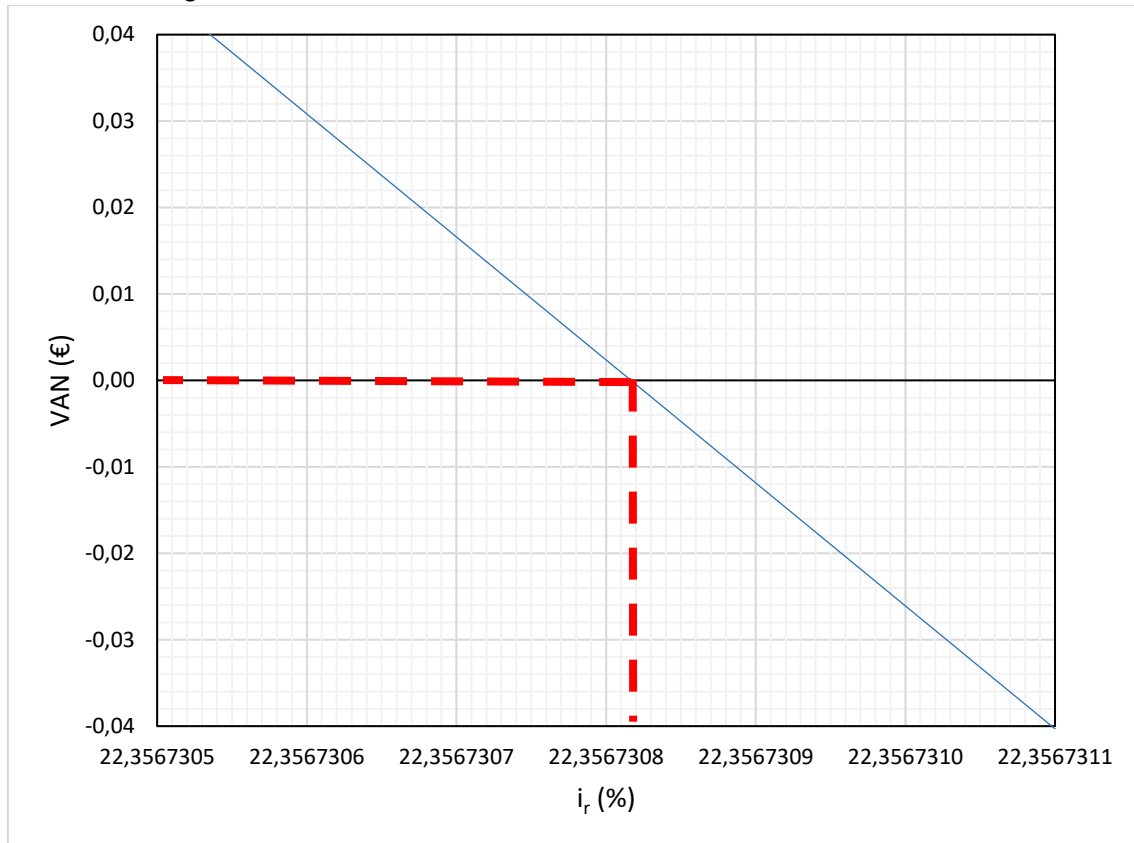
La Tabla P.17 muestra distintos valores del VAN en función del interés real obtenido de [P.4].

**Tabla P.17: variación del VAN con el interés real**

$i_r$ (%)	VAN (€)
22,3567305	0,0426845
22,3567306	0,0284563
22,3567307	0,0142282
22,3567309	-0,0142282
22,3567310	-0,0284563
22,3567311	-0,0426845

Con la Tabla P.17 se confecciona la siguiente gráfica (Figura P.1).

Figura P.1: Determinación del TIR a través de variación del VAN con el interés real



A partir de la Figura P.1 se determina el valor del TIR. Como se puede apreciar, esta tasa es del 22,36% (22,35673082%), muy superior al valor del interés nominal, lo que es indicativo de la amplia rentabilidad del proyecto.

#### 4.9 Periodo de Retorno (PR)

El periodo de retorno se define como el tiempo aproximado que se tarda en recuperar la inversión inicial del proyecto. Se obtiene del cociente de la inversión inicial y el flujo de caja medio, empleando la ecuación [P.6].

$$PR = \frac{I_0}{FC_{medio}} \quad [P.6]$$

Sustituyendo en los datos conocidos en la ecuación [P.6] se obtiene:

$$PR = \frac{3.461.618,62}{810.773,33} = 3,92 \text{ años} \approx 3 \text{ años y } 11 \text{ meses}$$



#### 4.10 Conclusión

Tras la realización del estudio de viabilidad económica, una vez determinados los tres indicadores económicos (VAN, TIR, PR), que se muestran en la Tabla P.18, se puede concluir que el proyecto resulta rentable con creces, en base al valor del VAN, ampliamente mayor que 0.

El TIR obtenido es muy superior al interés nominal, siendo cinco veces más grande, y el periodo de retorno se considera bastante reducido, puesto que es tres veces más pequeño que el tiempo de amortización.

**Tabla P.18: Resumen de índices económicos**

<b>VAN (€)</b>	<b>TIR (%)</b>	<b>PR (años)</b>
8.156.319,89	22,36	3,92

La Tabla P.19 muestra la variación de cada uno de los conceptos relativos a la contabilidad hasta alcanzar el tiempo de amortización (horizonte temporal fijado en 15 años).

Tabla P.19: Viabilidad económica

Tiempo (años)	Gastos Directos (€)	Gastos Indirectos (€)	Amortización (€)	Ingresos (€)	Beneficio bruto (€)	Beneficio neto (€)	Flujo de caja (€)	FC/(1+ir) <sup>n</sup>
1	13.035.380,58	135.846,15	230.774,57	14.080.000,00	677.998,70	508.499,02	739.273,60	727.631,49
2	13.361.265,09	139.242,30	236.543,93	14.432.000,00	694.948,67	521.211,50	757.755,43	734.077,05
3	13.695.296,72	142.723,36	242.457,53	14.792.800,00	712.322,38	534.241,79	776.699,32	740.579,70
4	14.037.679,14	146.291,45	248.518,97	15.162.620,00	730.130,44	547.597,83	796.116,80	747.139,95
5	14.388.621,12	149.948,73	254.731,95	15.541.685,50	748.383,70	561.287,78	816.019,72	753.758,32
6	14.748.336,65	153.697,45	261.100,24	15.930.227,64	767.093,30	575.319,97	836.420,22	760.435,31
7	15.117.045,06	157.539,89	267.627,75	16.328.483,33	786.270,63	589.702,97	857.330,72	767.171,45
8	15.494.971,19	161.478,38	274.318,44	16.736.695,41	805.927,40	604.445,55	878.763,99	773.967,26
9	15.882.345,47	165.515,34	281.176,40	17.155.112,80	826.075,58	619.556,69	900.733,09	780.823,27
10	16.279.404,11	169.653,23	288.205,81	17.583.990,62	846.727,47	635.045,60	923.251,42	787.740,01
11	16.686.389,21	173.894,56	295.410,96	18.023.590,38	867.895,66	650.921,74	946.332,70	794.718,02
12	17.103.548,94	178.241,92	302.796,23	18.474.180,14	889.593,05	667.194,79	969.991,02	801.757,85
13	17.531.137,66	182.697,97	310.366,14	18.936.034,65	911.832,87	683.874,66	994.240,80	808.860,03
14	17.969.416,10	187.265,42	318.125,29	19.409.435,51	934.628,70	700.971,52	1.019.096,82	816.025,13
15	18.418.651,51	191.947,05	326.078,43	19.894.671,40	957.994,41	718.495,81	1.044.574,24	823.253,70