

# Trabajo Fin de Grado

Instalación de aspiración y filtrado de polvo de  
granza de polietileno

## MEMORIA

*Autor/es*

Miguel Pena Puértolas

*Director/es*

Santiago Jiménez Torrecilla

*Ponente/es*

Esteban Calvo Bernad

*Facultad / Escuela*

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

*Año*

Noviembre 2015



TRABAJOS DE FIN DE GRADO / FIN DE MÁSTER



Escuela de Ingeniería y Arquitectura  
Universidad Zaragoza

DECLARACIÓN DE AUTORIA Y ORIGINALIDAD

El presente documento debe acompañar a Trabajo Fin de Grado (TFG) / Trabajo Fin de Máster (TFM), cuando sea depositado para su evaluación.

D./Dña. MIGUEL PENA PUERTOCLAS

con nº de DNI 18057933 N en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza.

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster) Grado, (Título del Trabajo) Instalación de aspiración y filtrado de polvo de granza de polietileno

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 18/11/2015

Fdo: Miguel Pena Puertoclas

## INSTALACIÓN DE ASPIRACION Y FILTRADO DE POLVO DE GRANZA DE POLIETILENO

### RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad el diseño y dimensionado de un sistema de aspiración y filtrado de emisiones pulverulentas. Estas emisiones están presentes en una instalación de transporte y manipulación de granza de polietileno.

Actualmente la instalación dispone de un dispositivo para despaletizar sacos para su posterior transporte neumático a dos estaciones de almacenamiento de granza. Mediante la instalación diseñada se busca limitar la emisión de partículas de polvo contaminantes a la atmósfera.

Con este sistema de aspiración y filtrado compuesto por la red de conductos, un separador ciclónico y un filtro de mangas se ha conseguido disminuir las emisiones al medioambiente en un 99%, quedando de esta manera por debajo de los límites establecidos por normativa y consiguiendo un ambiente de trabajo mucho más limpio y saludable.

**INDICE**

1-INTRODUCCIÓN.....	6
2-DESCRIPCION DE LA INSTALACIÓN .....	7
2.1 Material utilizado .....	9
2.2 Ubicación.....	9
3-METODOS DE CÁLCULO .....	10
3.1 Cálculos para la distribución del caudal por la red de tuberías. ....	10
3.1.1 Métodos para el cálculo de las pérdidas de carga en el sistema. ....	11
3.2 Cálculos relativos al ciclón.....	13
3.3 Métodos de diseño del filtro de mangas .....	14
3.4 Métodos para la selección del ventilador .....	15
4- RESULTADOS .....	16
4.1 Concentración y distribución de tamaños de partículas de polvo .....	16
4.2 Cálculo de la red de tuberías en las dos líneas de aspiración. ....	17
4.3 Cálculo del ciclón.....	19
4.4 Diseño del filtro de mangas.....	21
4.5 Selección del ventilador. ....	23
5- PLANO DE LA INSTALACIÓN .....	24
6- PRESUPUESTO .....	26
7- CONCLUSIONES.....	27
8- BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS .....	28

## 1-INTRODUCCIÓN

Este proyecto tiene como objetivo el diseño óptimo, presupuestado y constructivo de una instalación de aspiración y filtrado de polvo de granza de polietileno, que proviene de un área de despaletizado y transporte neumático. Con este sistema se consigue una disminución de la contaminación del entorno de trabajo y de la polución al exterior, mejorando las condiciones y calidad tanto del ambiente como del producto, además de recuperar producto valioso y reducir costes de mantenimiento de los equipos. Para ello, se busca establecer un marco teórico, fundamentado en la consulta bibliográfica, que sustente el proyecto; elaborar la propuesta adaptándose a los requerimientos y necesidades existentes, al menor costo; conseguir permanecer por debajo del límite de emisiones exigido por la legislación estatal, relativo a la mejora de la calidad del aire [1]; y por último, se pretende también lograr el título de Graduado de Ingeniería Mecánica, en la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de Zaragoza, por parte del alumno Miguel Pena Puértolas, con N.I.F 18057933N.

Para llevarlo a cabo, en primer lugar, se analiza el tipo de material a transportar, lo que se define como "input" del proyecto. Para ello, se han analizado tres muestras de polietileno de diferentes características. El estudio ha consistido en obtener las concentraciones y la distribución de tamaños de las partículas, por medio de un equipo basado en la difracción láser, denominado "Malvern Mastersizer 2600" [2].

En segundo lugar, se define el "output" del proyecto como la normativa sobre la que hay que regirse, para dimensionar la instalación de manera que no se sobrepase los límites de emisiones establecidos por decreto. Esta ley, está basada en la concesión de autorizaciones por parte del INAGA, con límites establecidos de manera personalizada para cada empresa.

En tercer lugar, se lleva a cabo el estudio, cálculo y diseño de la instalación. Por un lado, se comienza por la red de tuberías y campanas, cuya función es la captación y transporte de las emisiones pulverulentas. Se distinguen dos líneas o ramales que funcionan de manera alternativa, terminando ambos caminos en un punto común, donde encontramos el primer dispositivo de colección de partículas, el ciclón. Por otro lado, se estudia y dimensiona el ciclón para ser capaz de recolectar partículas hasta un determinado diámetro de corte por debajo del cual se hace necesario otro dispositivo más preciso para acabar de captar el resto. Por lo que una vez obtenida la eficiencia del ciclón, se estudia la posibilidad de añadir al final del proceso un filtro de mangas, con el cual, acabar de captar las partículas de menor tamaño y así cumplir con los límites de emisión proporcionados por la normativa. En última instancia se presupuesta el diseño y construcción del proyecto, atendiendo a los costos de material y mano de obra.

## 2-DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

La instalación de partida cuenta con varios dispositivos para el manejo y transporte de la granza. Se pueden encontrar, desde el comienzo del proceso, un despaletizador, donde se rompen los sacos de granza para ser transportados mediante la soplante del transporte neumático en fase diluida, hasta dos estaciones de almacenamiento, por medio de dos líneas diferenciadas y de funcionamiento alternativo (nunca simultáneo) que se bifurcan por acción de dos electroválvulas. Una estación será un silo de almacenamiento de la granza, para conseguir un proceso en continuo en el proceso posterior. El otro destino se trata de una estación de llenado de big bags, estas bolsas sirven para almacenar el producto a granel para ser usados en otros procesos posteriores, (para más información sobre la planta inicial, ver el anexo II). Este proceso trata de estar operando durante toda la jornada de trabajo, por lo que si no hay demanda para el llenado del silo, se llevaría a cabo el llenado de big bags de manera continua. De esta manera se puede diferenciar dos líneas de aspiración que van desde cada estación anterior hasta llegar al proceso de separación y filtrado del aire. (Ver figura 1).

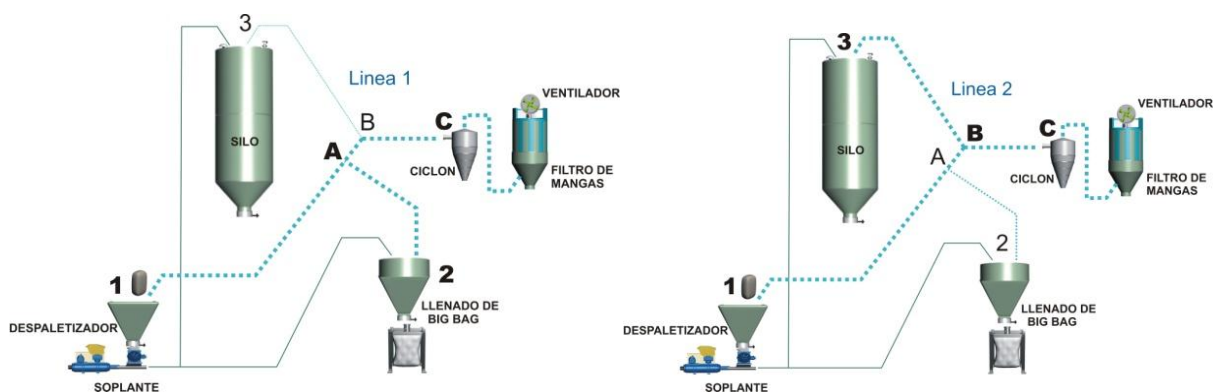
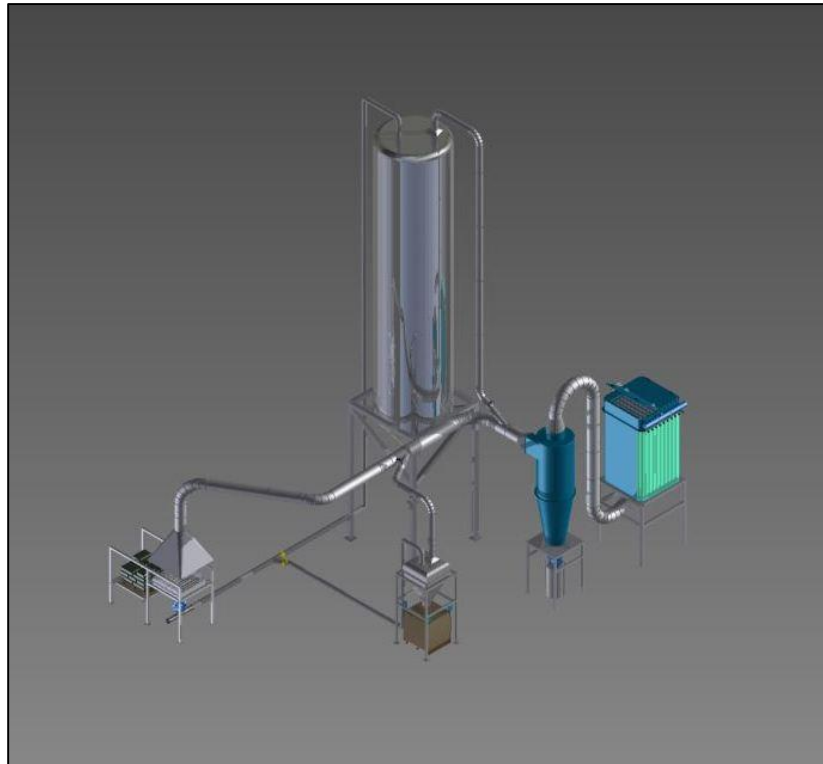


FIGURA 1 Representación de las líneas 1 y 2

El material a transportar llega en forma de granza (gránulos) de polietileno, dentro de sacos y paletizados, estos materiales son sometidos al proceso de transporte o de despaletizado, donde el roce entre ellos o con otras superficies mas abrasivas producen en su exterior un desgaste, que acaba en polvo. Además se ha observado a partir de las muestras analizadas, que también se forman otros residuos, como son las virutas del mismo material, provenientes del proceso de formación de los gránulos. Estos residuos, si no se eliminan, producirían una disminución de la calidad del producto tras el proceso final (inyección, extrusión, moldeo...).



**FIGURA 2 Representación de la instalación en 3D.**

Para eliminar dichos residuos, se ha diseñado la instalación ya mencionada anteriormente, la cual cuenta con cuatro partes fundamentales que además, se pueden observar en la figura 2:

La red de tuberías, cuyos puntos de aspiración se encuentran en los focos de emisión de partículas residuales en el proceso. Estas tuberías se componen de diferentes tramos longitudinales, codos a distintos ángulos, bifurcaciones convergentes, compuertas de mariposa y campanas de captación de partículas. La unión de estas dos líneas converge en un punto, donde se encuentra el colector ciclónico.

El colector ciclónico, se trata de un dispositivo el cual se vale del efecto centrífugo que induce un tubo cilíndrico acabado en forma de cono invertido, creando un doble movimiento en espiral en el interior de su geometría, para separar las partículas de polvo, usualmente gruesas, del aire, sin utilizar partes móviles. Además de la sección troncocónica comentada, el colector ciclónico consta de una entrada tangencial para el flujo de alimentación, de un conducto para el efluente superior el cual se extiende por debajo de la entrada tangencial y un conducto para la descarga en la parte inferior.

El filtro de mangas, trata de un sistema compuesto por mangas de tejido, a través de las cuales se evita el paso de las partículas con tamaños muy reducidos. De esta manera, tras el separador ciclónico, las partículas que hayan escapado, serán capturadas en este dispositivo. El filtro opera cíclicamente alternando periodos relativamente largos de filtración y cortos de limpieza, denominado filtro pulse-jet. De tal manera el aire expulsado a la salida del filtro a través del ventilador de impulsión, estará casi completamente limpio, puesto que los filtros de mangas tienen eficiencias superiores al 99%.



El ventilador, consiste en una turbomáquina centrífuga [3], capaz de generar una depresión justa y suficiente, para suplir la caída de presión formada por todos los dispositivos que hay en la línea de la instalación.

## 2.1 Material utilizado

El material seleccionado para la fabricación y compra de todos los elementos que componen esta instalación es el acero inoxidable. Este material ha sido elegido por su alta calidad, gran resistencia a la corrosión y alta resistencia mecánica. Todas aquellas piezas comerciales que no sean de acero inoxidable, estarán perfectamente pintadas o preferentemente galvanizados. Y toda la tornillería se rige por la norma DIN.

## 2.2 Ubicación

Esta planta se ubica en una nave industrial la cual está situada en un emplazamiento parcelario de la localidad de Barbastro (Huesca) a Latitud  $42^{\circ} 0' 29.94''N$ , Longitud  $0^{\circ}7'10.17''E$  a una altitud de 340m sobre el nivel del mar. A partir de las dimensiones de esta nave industrial junto con los parámetros de salida del transporte neumático se ha llevado a cabo los cálculos del diseño de la instalación. De esta manera se ha asegurado que todos los dispositivos que se vayan a incorporar al proceso no interfieran ni perjudiquen el funcionamiento de los dispositivos ya existentes. Para más información sobre la ubicación de la instalación, ver el anexo III.

### 3-MÉTODOS DE CÁLCULO

En este apartado se va a explicar los métodos de cálculo elegidos para el diseño de cada apartado del proyecto junto con las diferentes alternativas que podrían haber sido escogidas y el razonamiento de cada elección. Como ya se ha comentado anteriormente, las distintas partes que componen la instalación son la red de tuberías, el colector ciclónico, el filtro de mangas y el ventilador centrífugo. Cada una de estas partes necesita un método de cálculo, el cual será explicado con detalle en los siguientes apartados.

#### 3.1 Cálculos para la distribución del caudal por la red de tuberías.

En primer lugar se exponen los métodos de diseño para la red de conductos. La documentación y guía a seguir para obtener la información necesaria sobre estos métodos de cálculo ha sido el Manual de Ventilación Industrial [4] (MVI). En lo que sigue y por brevedad, se hace frecuentes referencias a este manual, citando directamente epígrafes, figuras y ecuaciones del mismo. Este manual también está disponible en internet.

Por un lado, se encuentran dos métodos para el diseño de un sistema de aspiración que permiten obtener un dimensionamiento del sistema de conductos adecuado para alcanzar la distribución de flujo de aire deseada en cada ramal. Estos son el método de equilibrado por diseño y el método de equilibrado por compuertas, descritos en los puntos 5.6.4 y 5.6.5.

Según el método de equilibrado por diseño, los caudales no han de ser necesariamente ajustados por los trabajadores; de esta manera te aseguras que siempre va a funcionar de la misma manera una vez montada la instalación. Por el contrario, por el método de equilibrado por compuertas, si ha habido algún error en el diseño o en el montaje, te permitiría regular la instalación, en caso de una falta de aspiración o captar cantidades excesivas de material en algún punto.

Otro punto a resaltar sería que si se ajustan los cálculos a las exigencias del momento en planta, se ahorra en costos de energía y elementos intermedios pero por contra no existe la posibilidad de cambios, pequeñas correcciones de caudal dentro de unos márgenes o ampliaciones futuras.

Como conclusión de este apartado, para este proyecto, se ha escogido el Método de balance por presión estática o equilibrado por diseño, para optimizar y reducir costes, evitando el sobredimensionamiento del ventilador y conductos, principalmente. Aunque al finalizar con el cálculo de la instalación, se va a añadir una compuerta en cada línea para salvaguardar los posibles errores del diseño y/o montaje, teniendo siempre la posibilidad de reajustes en planta.

En segundo lugar, se encuentran también dos factores muy importantes a tener en cuenta en los inicios del diseño de un sistema de aspiración de polvo:

-Velocidad mínima de transporte, que marca la menor velocidad en el diseño con la que el material debe de transportarse para que no se aposente y pueda producir taponamientos. Este parámetro se ha escogido de la tabla 3.2, donde se muestran distintos valores experimentales para diferentes materiales. Para este caso, según la naturaleza del

material, se selecciona el rango de Polvo seco (virutas ligeras), Velocidad de diseño  $v=15-20$  m/s, de modo que se estima en 18m/s teóricos.

-El factor de densidad, depende del entorno (temperatura, humedad relativa y altitud). Se tiene en cuenta cuando estos factores son muy distintos a las condiciones estándar. En caso contrario se puede despreciar. Aquí, la altitud si es significativa y su efecto se tiene en cuenta.

### 3.1.1 Métodos para el cálculo de las pérdidas de carga en el sistema.

En todo diseño de sistemas de colección de polvo, el cálculo de las pérdidas de carga en el sistema resulta fundamental para la correcta selección del ventilador y en el balance de caudales en el mismo. Se presenta dos métodos para su cálculo, el método de presión dinámica y el método de longitud equivalente, que son definidos ampliamente en el punto 5.4 del MIV.

El método que se ha utilizado en el proyecto para realizar los diferentes cálculos de pérdidas de carga, ha sido el de la presión dinámica, haciendo uso de la ecuación de la energía mecánica aplicada en cada una de las líneas (escrita en términos de presión) y la ecuación de la conservación de la masa aplicada a los nodos de la instalación. Todo ello, suponiendo régimen incompresible. De tal manera que ha permitido que todas las pérdidas de carga, por rozamiento en conductos y resistencia en forma por desprendimientos en accesorios, son función de la presión dinámica, y pueden ser calculadas multiplicando la presión dinámica por un factor. Es preferible este método por varias razones:

- generalmente es más rápido, y trata todas las perdidas, incluyendo las entradas a la campana, de forma similar.
- tiene la ventaja de que los reajustes de los cálculos del tamaño de los conductos al usar el método de equilibrado por diseño son más sencillos.

#### 3.1.1.1 Pérdidas en la campana

La selección de campanas y la consecuente determinación del flujo de aire requerido en una zona de dispersión de polvo, parten del principio de encerrar el área de dispersión lo máximo posible; de esta manera se reduce la demanda de aire en el sistema. En total, encontraremos dos tipos de pérdidas, la asociada a la aceleración del fluido desde el estado de reposo inicial y la que sufre el aire al atravesar la vena contracta, donde parte de la presión dinámica se transforma en estática. La variable más importante para el diseño de las campanas y determinación del caudal es la velocidad de captura ( $V_c$ ), que es la velocidad de aire necesaria en el punto de dispersión del polvo para transportar las partículas hasta el conducto. Este valor se obtiene de la tabla 3.1 del MIV, que arroja valores dependiendo de la naturaleza del material. Para este caso se ha seleccionado el valor de 1 m/s puesto que el material es liberado de manera intermitente y a baja velocidad en un ambiente moderadamente tranquilo. Si esta velocidad fuera demasiado elevada correríamos el riesgo de llevarnos el material de trabajo (la granza milimétrica) al mismo tiempo.

#### 3.1.1.2 Pérdidas por fricción

Las pérdidas de presión,  $h_d$  [mmca] derivadas de la fricción del aire en el conducto es una función de muchas variables: velocidad, densidad y viscosidad de aire, y por último, pero no menos importante, la rugosidad de la superficie y el diámetro del conducto. Los efectos combinados de la mayoría de estas variables están presentes en el número de Reynolds ( $R_e$ ).

Para obtener dicho coeficiente de fricción  $f$ , se usa la correlación de Churchill para los datos recogidos por el diagrama de Moody [5].

$$f = 8 \left[ \left( \frac{8}{Re} \right)^{12} + (A+B)^{-3/2} \right]^{1/12}$$

donde A y B son:

$$A = \left\{ -2,457 \ln \left[ \left( \frac{7}{Re} \right)^{0,9} + \left( \frac{k}{3,7d} \right) \right] \right\}^{16}$$

$$B = \left( \frac{37530}{Re} \right)^{16}$$

$k$  se define como la rugosidad del material del conducto en [m] y la  $d$  indica el diámetro de la tubería en [m].

### 3.1.1.3 Pérdidas singulares

Estas pérdidas son producidas por los accesorios presentes en las líneas tales como codos, entrados de ramales (bifurcaciones convergentes), válvulas, etc. y están dadas por un factor de pérdida multiplicado por la presión dinámica en el conducto.

A continuación, se nombran los coeficientes de pérdidas de los accesorios más comunes, que se desarrollaran ampliamente en el anexo correspondiente:

- Codos: el factor de pérdidas del codo dependerá del número de partes del mismo (sucesivos tramos de 15°) y de su radio de curvatura. Los factores de pérdidas relacionados con los codos se presentan en la figura 5-16.
- Bifurcaciones convergentes: consiste en la convergencia de dos ramales en un punto, por lo que las pérdidas dependerán del ángulo de incidencia del ramal. Los factores de pérdidas asociados a las bifurcaciones se pueden encontrar en la figura 5-17. En ocasiones, en una bifurcación convergente, la velocidad del conducto principal excede las velocidades ponderadas de los dos ramales. Para obtener este aumento de la energía cinética del fluido, se requiere de un gasto de presión estática, lo que ocasiona pérdidas.
- Válvulas: las válvulas de mariposa son esenciales para regular el flujo y aun cuando su posición es la de mínimo efecto sobre el flujo, ésta ofrece una cierta resistencia en forma de pérdidas. Para este diseño, el factor de pérdidas añadido a la compuerta será un factor de 0,1.
- Pérdidas y ganancias por contracciones y expansiones: es común encontrarse con los llamados “conos” en los sistemas de tuberías, salidas de los ciclones y cambios de sección de algunas campanas. Cuando son contracciones se tiene una pérdida de presión y cuando se trata de expansiones se tiene una ganancia de presión.

### 3.2 Cálculos relativos al ciclón

Es importante tener en cuenta, para entender el funcionamiento de un ciclón, que este es esencialmente una cámara de sedimentación: un tanque casi siempre metálico, compuesto por un cuerpo cilíndrico unido a otro cuerpo troncocónico. La corriente de la mezcla aire-producto a la velocidad de transporte, entra horizontal y tangencialmente contra la pared interior; la aceleración radial, resultado de la fuerza centrífuga desarrollada al adaptarse el chorro a la trayectoria circular de la pared del tanque hace separar las partículas de producto del aire. Las partículas de mayor masa se sedimentan en la parte inferior del cono y las de menor masa son arrastradas por la corriente de aire a la parte superior. Para el diseño del ciclón de la instalación, se han tenido en cuenta las tres grandes familias de ciclones de entrada tangencial: de alta eficiencia, convencionales y de alta capacidad.

La documentación y guía a seguir para el diseño del ciclón ha sido la Encyclopedia of fluid mechanics [6] (EFM).

Los parámetros clave de un ciclón son su eficiencia y su pérdida de carga; estos parámetros son función de su diámetro principal **D**, el cual, se calcula por medio de una ecuación obtenida de forma experimental, que depende del caudal **Q**. Esta ecuación se encuentra en la EFM, (pag. 1296, ec. 41).

$$D[m] = \frac{Q^{1/2}[\frac{m^3}{h}]}{80}$$

Una vez determinado este diámetro, atendiendo a unas correlaciones predefinidas según el tipo y familia de ciclón escogido, se obtienen el resto de dimensiones geométricas. Estas correlaciones se muestran en la tabla 3 de la EFM (pag.1296).

Para el cálculo de la pérdida de carga, se hace uso de la ecuación 3 de la EFM, (pag.1284), que depende principalmente de la velocidad  $v_g$  y la densidad del gas  $\rho_g$ , así como de un factor geométrico  $\Delta H$ , adimensional, que se puede obtener a partir de diferentes ecuaciones desarrolladas por distintos científicos (ver tabla 1, pag 1286 EFM).

$$\Delta P[mmca] = \frac{\rho_g v_g^2 \Delta H}{2g\rho_1}$$

Donde, los parámetros  $g$  (gravedad) y  $\rho_1$  (densidad del agua), se incluyen en la ecuación, para obtener directamente la caída de presión en mmca.

Para la obtención de la eficiencia de captura de partículas, se ha seguido el modelo de Leith and Licht [7], que da la siguiente ecuación (pag. 1292, ec. (38)):

$$\eta = 1 - \exp(-\alpha d^\beta)$$

Donde,  $\beta$ , está relacionado con el exponente de vórtice, como se indica en la EFM.  $d$ , es el diámetro principal del ciclón. Y  $\alpha$ , se tiene que obtener a partir del  $D_{50}$ , diámetro de partícula para el cual la eficiencia del ciclón es del 50%.

### 3.3 Métodos de diseño del filtro de mangas

El funcionamiento de un filtro de mangas consiste básicamente en forzar el paso de la corriente de gas a través del medio filtrante (tejido). Las mangas producen el efecto filtrante y a la vez de soporte para la capa de polvo que se acumula sobre ellas. A medida que la capa de polvo va creciendo, la caída de presión lo hace también. En este momento se ha de proceder a la limpieza de las mangas. Un filtro contiene varias series de filas de mangas, dentro de un compartimento estanco, lo que permite que mientras una fila está en fase de limpieza, las demás están en servicio.

Para la selección de un filtro de mangas para un sistema de colección de polvo, resulta preciso conocer el caudal total del sistema ( $Q_t$ ) y las características propias del contaminante, principalmente. Sin embargo, la clave para diseñar un filtro de mangas es determinar la velocidad de filtración, que nos da el equilibrio óptimo entre la caída de presión y el tamaño del cuerpo de la maquina. Este tamaño se reduce a medida que la velocidad de filtración aumenta. Como se puede ver en la ecuación siguiente. Sin embargo, a mayores relaciones de velocidad, se incrementa la caída de presión.

$$A_{NETA} = \frac{Q_t}{V_f}$$

Para realizar un diseño de tipo pulse-jet (chorro a pulsos) para el sistema de limpieza, es necesario integrar un sistema de control por electroválvulas que permita el soplado a contracorriente en el interior de las mangas. Este soplado se realiza con aire limpio a elevada presión, lo que conlleva unas pérdidas de carga añadidas al sistema. Con la siguiente ecuación se calculan las pérdidas de carga del sistema. En ella, se incluyen parámetros tanto de las condiciones del flujo a la entrada ( $C_e$ , concentración a la entrada,  $V_f$  velocidad de filtración), como del sistema de limpieza ( $P_j$ , presión en el chorro de limpieza,  $t_f$ , tiempo entre chorros y  $K_2$ , coeficiente de resistencia específica del polvo)

$$\Delta P = 6.08 * V_f * P_j^{-0.65} + K_2 * V_f^2 * C_e * t_f$$

En relación al tipo de material para las mangas, se selecciona el tipo de tejido adecuado dependiendo del material a filtrar. Este tejido nos delimita el rango sobre el que debe moverse la velocidad de filtración. Las mangas son proporcionadas por una casa comercial, que variando la porosidad y tamaños de la perforación de la tela, permite jugar con el factor de diseño. Para este caso, el tejido adecuado es el poliéster antiestático, que nos asegura un correcto funcionamiento para la filtración del polvo de polietileno.

Para realizar los cálculos, se ha utilizado como guía el Capítulo 1 “Filtros y Casas de Bolsas”, de la EPA [8].

### 3.4 Métodos para la selección del ventilador

El ventilador es una turbomáquina utilizada para producir una corriente o flujo de aire. Es de gran importancia dentro de los sistemas de colección de polvo, ya que le transfiere energía necesaria al aire contaminado para vencer todas las pérdidas de energía o resistencias al flujo en el sistema.

El comportamiento de un ventilador viene indicado en un gráfico de caudal contra presión, llamado curva característica o curva Q-p.

Existen diversos tipos, pero se puede indicar que el ventilador más empleado en este tipo de instalaciones sería un ventilador centrífugo de álabes rectos, debido a que las características, velocidad y caudal de este tipo de ventilador son intermedias entre los ventiladores de álabes curvados hacia delante y hacia atrás. La disposición de los álabes evita la acumulación de materiales sobre las mismas, lo que hace ideal, para aquellos ambientes con mucho polvo o elementos suspendidos en el aire.

Para seleccionar el ventilador, primero se han tenido que calcular las pérdidas totales producidas en el conjunto de la instalación. Por un lado, se han obtenido las pérdidas en la red de conductos, seguidamente, tras la captura de partículas en el ciclón por acción centrífuga del gas, aparece otro término de pérdidas al que falta de añadir la caída de presión generada en el sistema de filtrado por mangas. Para curarse en salud, habría que escoger siempre un ventilador con unas características un poco por encima de la sollicitación calculada.

La elección del ventilador en esta instalación se ha realizado analizando las curvas Q-p para varios tipos de ventiladores centrífugos a partir de un programa propiedad de un proveedor y fabricante de ventiladores “Sodeca Quickfan”. De esta manera, a partir de los parámetros principales como son la densidad del aire de trabajo, el caudal y la caída de presión de la instalación, se obtiene el punto de operación, y a partir de este, se ajusta la curva del ventilador más adecuada para satisfacer las necesidades. Para elegir la mejor opción al mejor precio, se ha realizado el mismo procedimiento en catálogos de otros fabricantes, tales como Mundo fan y Soler y Palau.

## 4- RESULTADOS

### 4.1 Concentración y distribución de tamaños de partículas de polvo

En primer lugar, se analizan tres muestras de polvo de granza. La primera proviene de un filtro de mangas, otra de un filtro de cartucho y la última de un conjunto de gránulos (granza), a la que se le ha separado el polvo de su superficie por medio de un lavado. De cada muestra anterior, se obtiene una distribución de tamaños de las partículas. Estos datos, son recogidos en unas tablas, como puede observarse en el anexo III.

Para caracterizar el “Input” de la instalación, se elige una de las muestras anteriores, en concreto la muestra 20150617-1 (procedente del lavado del conjunto de gránulos), por ser la más conservadora de las tres, es decir, la que en su distribución contenía una mayor proporción de partículas finas, siendo estas más difíciles de retener que las gruesas. Con los datos recogidos, se genera una gráfica donde se representa el volumen ocupado en %, por la clase de tamaño en  $\mu\text{m}$ , como puede verse en la figura 3.

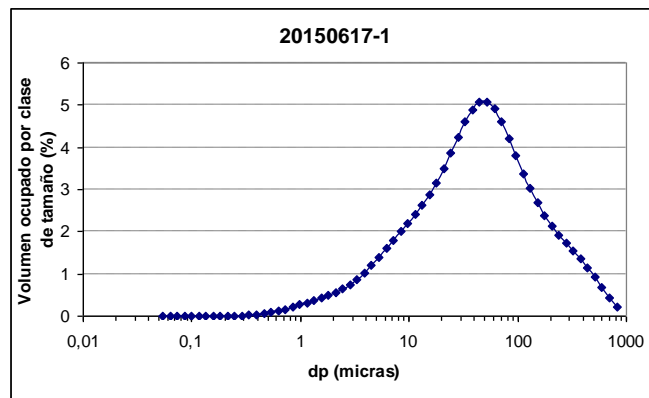


FIGURA 3 Distribución de tamaños para la muestra 20150617-1

A partir de estos datos obtenidos con el equipo de difracción láser, junto con otros parámetros de diseño de la instalación, se ha estimado la concentración de polvo a la entrada del ciclón. Para ello, ha sido necesario lavar una cantidad determinada de la muestra de granza en etanol, separando el polvo, de los gránulos de granza. Una vez separado, teniendo en cuenta la cantidad de granza lavada y la cantidad de etanol en el que está diluido el polvo, se establece una relación de gramos de polvo por kilogramos de granza lavada. Con esta relación, el caudal de aire aspirado y la cantidad de masa a transportar, se obtiene el resultado, como puede comprobarse en el anexo IV-2. En este caso, la  $C_e$  (concentración a la entrada) ha sido  $400 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$ . Como se ha indicado en la introducción, la normativa establece un límite de  $50 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$ . Por ello, se hace necesario para cumplir el objetivo, realizar el cálculo y diseño de las siguientes estaciones de separación y filtrado del polvo.



#### 4.2 Cálculo de la red de tuberías en las dos líneas de aspiración.

Para el cálculo y la determinación de la red de tuberías se ha necesitado la ayuda de una hoja de cálculo. En la siguiente tabla Excel se muestran los valores obtenidos para la línea 1 de la instalación. La explicación de estos cálculos se desglosa en el Anexo V, donde se incluye también la hoja de cálculo de la línea 2, cuyo procedimiento será el mismo que el realizado para la línea 1. En esta hoja se señalan los valores más importantes para el desarrollo del proyecto.

1	Identificación del tramo		1-A	2-A	A-C	1-A	
2	Caudal teórico	m3/s	1,708	0,522	2,230	1,708	
2'	Caudal a ro Barbastro (De operación)	m3/s	1,793	0,522	2,316	1,883	
3	Velocidad mínima de transporte	m/s	18	18	18	18	
4	Diámetro del conducto	mm	356,260	192,223	404,810		
5	Sección del conducto	m2	0,100	0,029	0,129		
4'	Diámetro del conducto Real	mm	325	175	400	325	
5'	Sección del conducto Real	m2	0,083	0,024	0,126	0,083	
6	Velocidad real en el conducto	m/s	21,629	21,717	18,436	22,711	
7	Presión dinámica	mmca	27,414	27,638	19,916	30,224	
8	SUCCION CAMPANA						
9	Factor de pérdida entrada		0,15	0,15		0,15	
10	Factor de aceleración						
11	Factor tot. de pérdidas en entrada PD 9+10		1,15	1,15	-	1,15	
12	Perdida en la entrada Items 7x11	mmca	31,526	31,784	-	34,757	
13	Otras pérdidas	mmca					
14	Pres Estática en campana items 12+13	mmca	31,526	31,784	0,000	34,757	
15	Longitud de conducto recto	m	9,554	4,986	4,968	9,554	
16	Factor de pérdidas (Hf) Fig.5-18		0,056	0,119	0,044	0,056	
17	fact. Perdidas por PD items 15x16		0,533	0,593	0,218	0,531	
18	Nº de codos 90º		1,667	1,667	1,000	1,667	
19	fact. Perdida en codos en PD; item 18xfactor		0,450	0,450	0,270	0,450	
20	Nº uniones			1			
21	fact. Perdida en uniones en PD; Item 26x factor			0,180			
22	Fact. De pérdidas en accesorios especiales		0,1	0,1			
23	Perdidas en tramo en PD; Items 17+19+21+22		1,083	1,323	0,488	0,981	
24	Perdidas en el tramo; item 7x23	mmca	29,693	36,576	9,714	29,652	
25	Perdida de PE en tramo; item 14+24	mmca	61,219	68,359	9,714	64,410	
26	PE acumulada	mmca	-61,219	-68,359	-9,714		
27	PE controlante	mmca			-78,073		
28	Caudal corregido	m3/s					
29	Otras Perdidas (Ciclón, filtro...)	mmca					

TABLA 1 Hoja de cálculo para la Línea 1 de la red de tuberías de aspiración.

En la tabla 1, se destaca en color violeta la presión acumulada para cada tramo de línea. La idea y objetivo del diseño consta de que la caída de presión en cada nodo de unión, sea lo más equilibrada posible. En caso, de que la relación entre las dos presiones a la entrada esté entre el 0,95 y 1,0, la corrección del caudal es menor al 2,5% y por tanto se puede despreciar. En caso contrario, es necesario rediseñar el conducto con la presión estática más baja. Para ello, se juega con tres factores distintos. Uno de ellos, son los cambios de sección en tuberías, enmarcado en azul, estos tamaños dependen de fábrica (catálogo), por lo que son una aproximación de la sección teórica calculada. Otro factor sería el diseño de la campana de aspiración, enmarcado en rojo, que dependiendo del ángulo de diseño, se generan más o menos pérdidas a la entrada. Y por último, queda la opción de aumentar el caudal del conducto con menor resistencia en función a la siguiente relación:

$$Q_{\text{corregido}} = Q_{\text{diseño}} \sqrt{\frac{PE \text{ en la unión}}{PE \text{ calculada en el tramo}}}$$

Con esta ecuación, como se puede observar en la tabla 2, se ha recalculado el caudal del tramo 1-A. Para conseguir equilibrar las presiones estáticas en el nodo A, por debajo del 2,5%.

A estas pérdidas se le suman las del tramo A-C, para conseguir la caída de presión total en "C", es decir, a la entrada del ciclón. A este punto, también se llega desde la línea 2, realizando el mismo procedimiento, como puede observarse en el anexo V, apartado 1. Pero, las pérdidas totales, enmarcadas en naranja, no son exactamente iguales por la línea 1 (78,07 mmca) que por la línea 2 (75,86 mmca); existe una pequeña diferencia de aproximadamente 2 mmca, que puede despreciarse. Pero, en caso de ser mayor esta diferencia, daría lugar a fluctuaciones en el régimen de trabajo del ventilador. Por este motivo, las líneas se han ajustado desde el primer momento para que cuando hubiera un cambio de funcionamiento entre las dos líneas, no se produjera ningún desajuste.

A partir de este punto se añaden las pérdidas de presión generadas en los dispositivos de colección de polvo, ciclón y filtro. Pero, todavía queda añadir un tramo de tubería que conduce el flujo desde la salida del ciclón hasta la entrada del filtro. Ese incremento de caída de presión se calcula con el mismo procedimiento empleado para el resto de tuberías. Ascendiendo este valor a 25,5 mmca, que se añaden al total.

### 4.3 Cálculo del ciclón.

Para determinar el ciclón, se ha necesitado la ayuda de una hoja de cálculo, cuyos resultados se muestran en la tabla 2, resaltando los valores más importantes. En este dispositivo se recolectan parte de las partículas de polvo, disminuyendo en gran medida la concentración de polvo, dado el alto grado de eficiencia. Estos cálculos vienen desglosados en el anexo V-2, incluyendo también la comparativa entre los tres tipos de ciclones analizados. De la que finalmente se ha escogido el tipo convencional, debido, a que entre la poca diferencia que ofrecían las eficiencias, el tipo convencional, ofrecía una caída de presión algo menor, y puesto que en el último paso se va a instalar un filtro de mangas, es preferible, disminuir las pérdidas de carga a disminuir el diámetro de corte unas décimas de micra.

	Convencional	
Caudal	m <sup>3</sup> /s	2,32
Diámetro	m	1,142
Área de entrada	m <sup>2</sup>	0,163
Velocidad entrada	m/s	14,22
$\Delta H$		7,6
$\Delta P$	mmca	90,105
temperatura	K	294,150
Exponente vórtice (n)		0,679
Paramet. Geom. C		47,700
$\rho$ (granza polietileno)	kg/m <sup>3</sup>	900
D <sub>50</sub>	m	3,24E-06
$\beta$		0,596
$\alpha$		-0,5

Tabla 2 Hoja de cálculo para el ciclón

En la tabla 2, aparece encuadrado en verde, la pérdida de presión generada en el ciclón, ésta se calcula como ya se ha explicado en el apartado de métodos. A esta pérdida, se le suma la pérdida de carga generada por la red de tuberías y a la que se le añadirá posteriormente la pérdida originada en la estación de filtrado. El diámetro del cuerpo principal, enmarcado en naranja, se calcula en función del caudal, según una relación empírica que ofrece la EFM. A partir del diámetro principal, se obtienen el resto de dimensiones del ciclón, ya que las correlaciones que se extraen directamente de la tabla de familias de ciclones en la pag. 1296 de la EFM, son todas en función de este diámetro.

Otro parámetro muy importante a calcular, que no viene expresado en la tabla 2, es la eficiencia.

Para calcularla, se atiende por un lado al  $D_{50}$ , diámetro de partícula para el cual la eficiencia es el 50%, resultado mostrado en la tabla 2, y por otro, la forma funcional para la eficiencia en función del diámetro, que se obtiene del modelo de Leith and Licht [7]. De manera que si hacemos pasar esta forma funcional para la eficiencia por el punto comentado ( $D_{50}, 0,5$ ), nos queda representada la curva de la eficiencia, (ver figura 4).

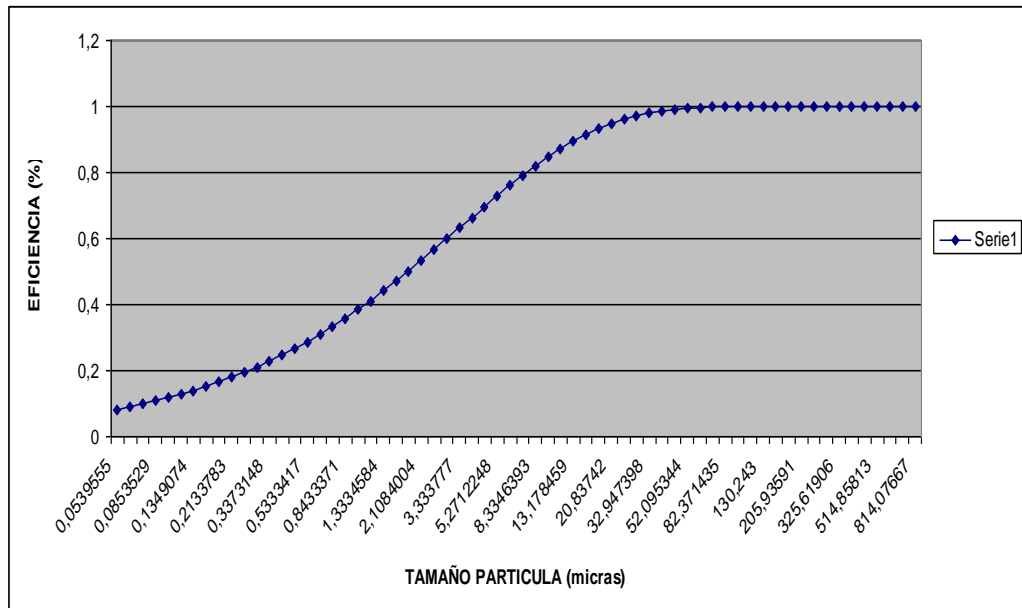


FIGURA 4 Curva de la eficiencia en la retención del ciclón.

A continuación, se ha representado gráficamente las concentraciones antes y después del ciclón en función de la distribución de tamaños, para ello, se ha obtenido por un lado la concentración fraccionada a la entrada al ciclón (azul), es decir los  $400 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$  repartidos en función del porcentaje que le corresponde a cada tamaño de partícula, y la concentración fraccionada a la salida tras haberle aplicado la eficiencia de retención.

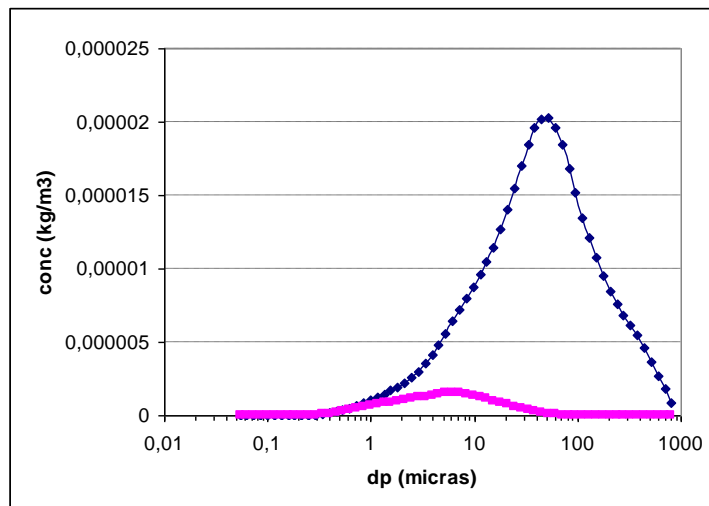


FIGURA 5 Concentraciones antes y después del ciclón

Como se puede observar en la figura 5, la concentración tras el ciclón, queda representada por el área bajo la curva que marca la línea rosa, quedando reducida a  $28,13 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$ , lo que supone una eficiencia global de retención en el ciclón de (92,96%). Las emisiones quedarían reducidas por debajo del límite permitido ( $50 \text{ mg/m}^3$ ); sin embargo, debido a la similitud entre la concentración estimada en emisiones y el límite, y a que las emisiones podrían presentar picos asociados a un funcionamiento discontinuo de la planta, se ha considerado conveniente incluir en el diseño un filtro de mangas que asegure el cumplimiento de la ley.

#### 4.4 Diseño del filtro de mangas.

En la última etapa, se procede a determinar el filtro de mangas, donde se acaban de recolectar el resto de las partículas de polvo. La eficiencia de este dispositivo es superior al 99%, por lo que la concentración a su salida se estima cercana a  $0,5 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$ . De esta manera se consigue no sólo estar por debajo de los límites permitidos, sino acabar con aproximadamente el 100% de partículas emitidas al exterior.

En primer lugar, se ha de conocer el material a tratar y las condiciones de entrada al filtro. Para este caso, como el material a tratar es el polietileno, el tejido recomendado para las mangas es el poliéster antiestático. Una vez conocido el material de la manga, se determina la velocidad de filtración. Según el rango experimental ofrecido por la EPA [8], el valor ha de contenerse entre 1,2 y 1,8 m/min. Para este diseño se escoge un valor intermedio de 1,5 m/min para asegurarnos que ni va a haber un consumo de energía excesivo, ni le va a faltar fuerza de aspiración al ventilador.

Según el proveedor (Filtratex), las mangas estándares son de  $\varnothing 127\text{mm}$  por una longitud de 2500mm, es decir, de  $1\text{m}^2$ . Para la determinación del número de mangas, hay que obtener primero el área de filtrado total. Partiendo el caudal total de la instalación por la velocidad de filtración, se obtiene el área total o neta de filtrado, si se divide ésta por el área de una sola manga se obtienen **93** mangas, para este caso. A partir del número de mangas, ya se pueden empezar a definir las dimensiones del cuerpo del filtro.

$$N_{mangas} = \frac{A_{neta}}{A_{manga}} = 93_{mangas}$$

Las 93 mangas, se disponen a una distancia de 163mm entre centros, ya que el diámetro superior de cada jaula es de 160mm, y formando un cuadrado de diez filas por diez columnas sobre la superficie donde van ancladas.

El sistema pulse-jet, es el encargado de la limpieza de las mangas cuando estas se obturan tras un periodo de tiempo de trabajo. Para que la limpieza se lleve a cabo de manera correcta, hay que tener en cuenta que por cada soplado tiene que cubrir 1 fila de 10 mangas repartidas en 10 filas, excepto en 7 filas que solo hay 9 mangas. Para ello, se selecciona un calderín acorde con la cantidad de caudal que tiene que expulsar por las toberas. Es decir, se ha escogido un calderín cilíndrico de 6" que alberga una capacidad de 36 litros de aire limpio a una presión de 5,52 bar. Esta elección es debida a que las electroválvulas seleccionadas son de 1" y permiten un flujo de  $0,0368 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ , es decir, en un segundo puede vaciar la capacidad del calderín. Pero, como la duración del soplado, es decir, el tiempo de apertura de las electroválvulas, para este caso son 0,15 segundos (parámetro de diseño), nunca llega a vaciarse por completo.

Este soplado a contracorriente por el interior de las mangas es controlado desde un pequeño procesador con temporizador, que de manera eléctrica emite pulsos a las electroválvulas de membrana y estas son las que permiten el paso al flujo de aire. Además, este soplado, provoca una pérdida de presión añadida que se tiene en cuenta en el cálculo de

la misma, según la ecuación que se ha visto en el apartado de métodos, obteniéndose una caída de presión total en el filtro de 60mmca.

Una vez que el chorro de aire ha actuado, la capa de polvo que se había acumulado, queda libre, y por gravedad se va depositando en una tolva situada en la parte inferior del filtro. Donde se ha incorporado una compuerta para proceder a la recogida de los deshechos a través de un bidón. El diseño de este filtro se puede observar en el anexo VI donde se sitúan los planos.

#### 4.5 Selección del ventilador.

Para finalizar con el diseño de la instalación, se ha de seleccionar el ventilador que genere la depresión suficiente para aspirar la cantidad estimada de aire en cada punto de la instalación. Para ello, hay que sumar todas las caídas de presión generadas en todos y cada uno de los dispositivos calculados anteriormente.

Recogiendo las caídas de presión obtenidas en cada apartado de la instalación se tiene:

- $\Delta P$  tuberías= 78 (Línea 1, más desfavorable)+25 (tramo ciclón-filtro) =103 mmca
  - $\Delta P$  ciclón = 90 mmca
  - $\Delta P$  filtro de mangas = 60 mmca
- 
- $\Delta P$  total = 253 mmca

Con este dato, junto con el caudal de la instalación  $Q=8352 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ , hay que introducirse en las curvas del catálogo de ventiladores para ajustar la curva de la instalación a la mejor opción de ventilador que cumpla con las condiciones exigidas. Además, tras mirar en catálogos de tres fabricantes distintos (Sodeca, Soler&Palau y Mundofan), para ventiladores con características muy similares, el precio que más se ha acotado a nuestras exigencias ha sido el fabricante Sodeca.

El modelo de ventilador es: CMR-1650-2T Ventilador centrífugo de media presión y simple aspiración, de gran robustez, equipado con turbina de álabes hacia atrás. De 9,24 Kw. Para más información sobre el ventilador, se incluye la ficha técnica en el anexo VII.

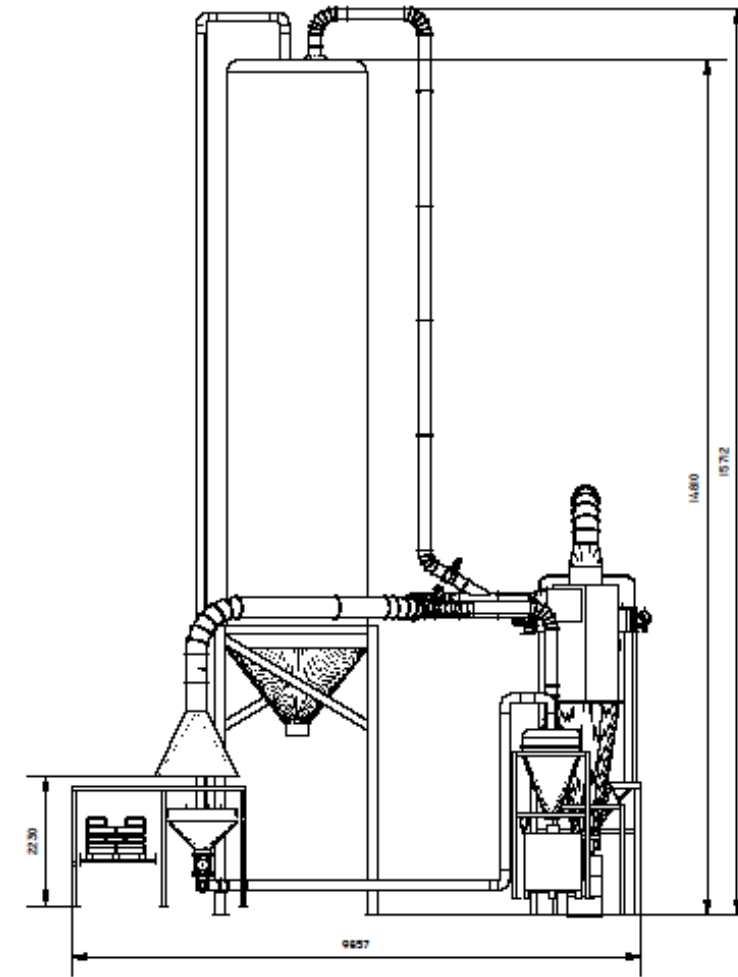
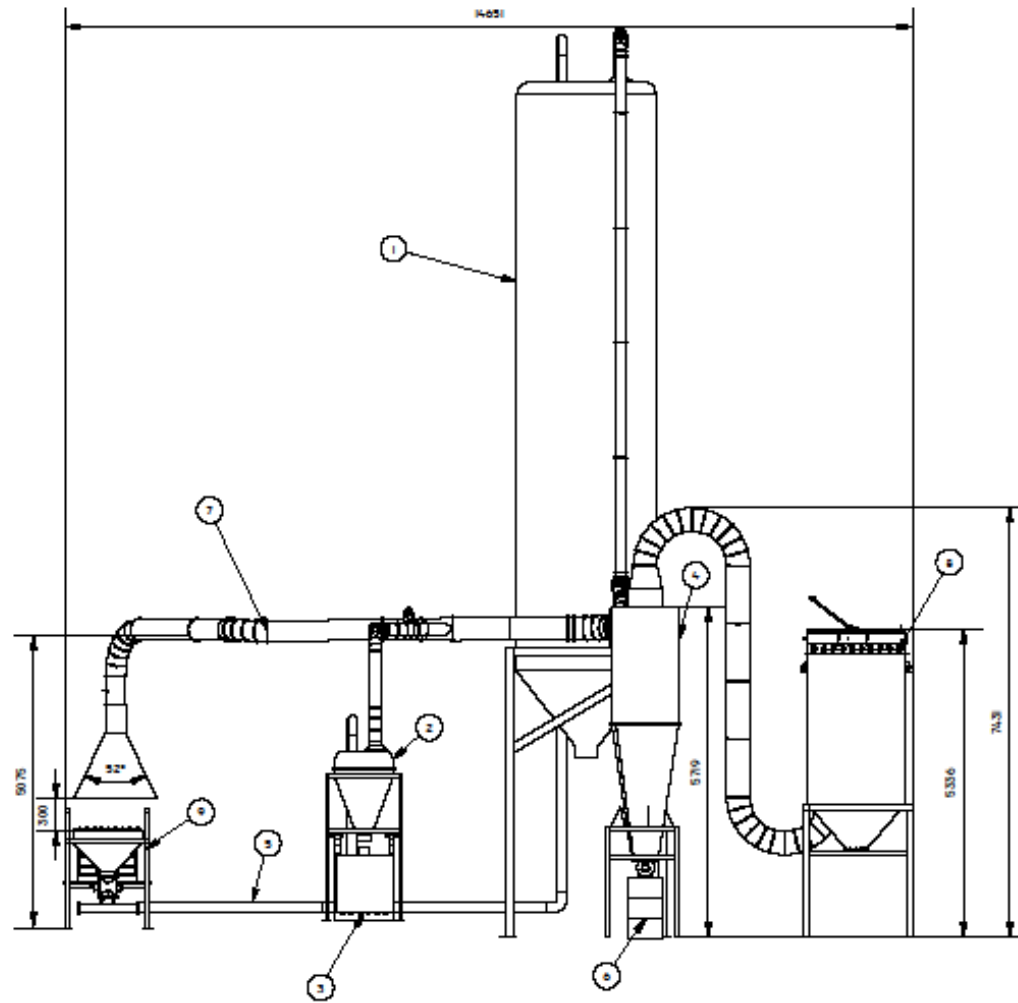
## 5- PLANO DE LA INSTALACION

En este apartado, se muestra el plano general de la instalación, donde se representa tanto la planta de trabajo existente, como el sistema de aspiración y filtrado diseñado. En él, (figura 6) quedan señaladas todas las partes, dimensiones y dispositivos de la planta.

En el anexo VI, se muestran los planos desglosados de los subconjuntos con los despieces de cada parte para su fabricación. Hay que destacar, que para la fabricación y montaje de la instalación, se precisa, tanto de piezas comerciales como de materiales para ser procesados, que requieren ser cortados, soldados y/o atornillados.

El acero que se va a emplear en la fabricación de los dispositivos es el acero inoxidable 304, por su alta resistencia al impacto y a la corrosión. Y el material de unión o aportación es el hilo de acero inoxidable 308 de  $\varnothing=1.2\text{mm}$ . En cuanto a la tornillería, seguirán la norma DIN, y el material va a ser el acero inoxidable. El resto de piezas comerciales que no sean en acero inoxidable, estarán perfectamente pintadas o preferiblemente galvanizadas.





LISTA DE PIEZAS			
NÚMERO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	NÚMERO PLANO/CODIGO
1	1	CONJUNTO SILO	EXISTENTE
2	1	CONJUNTO LLENADO BIB BAG	EXISTENTE
3	1	BIB BAG	EXISTENTE
4	1	ENSAMBLAJE CICLON	MPP 02000 626245
5	1	TRAZADO DE TUBERIAS TRANSPORTE NEUMATICO	EXISTENTE
6	1	SILO DE RECOBIDA DE POLVO	EXISTENTE
7	1	MONTAJE DE TUBERIAS INSTALACION	MPP 01000 626245
8	1	FILTRO DE MANEAS	MPP 03000 626245
9	1	DESPALETIZADOR MUYO	


	Fecha	Nombre	Firma	
Dibujado	27/09/2015	MIGUEL PENA PUERTOLAS		 <b>Universidad</b> Zaragoza
Comprobado				
Escala	Título			Nº Alumno 626245
1/100	PLANO DE CONJUNTO DE LA INSTALACION PROYECTO INSTALACION DE ASPIRACION DE POLVO DE GRANZA DE POLIETILENO			Curso 2014-2015
				Plano Nº MPP 00000 626245

FIGURA 6 Representación en 2D del conjunto de la instalación

## 6- PRESUPUESTO

Gasto en piezas comerciales y material	Cantidad	Coste
Plancha acero inoxidable e=3mm 3000x1500 (107Kg/Ud.)	6m <sup>2</sup>	325,75€
Plancha acero inoxidable e=2,5mm 3000x1500 (92,75Kg/Ud.)	7,2m <sup>2</sup>	336,58€
Plancha acero inoxidable e=4mm 3000x1500 (136Kg/Ud.)	0,35m <sup>2</sup>	53,2€
Plancha acero inoxidable e=5mm 3000x1500 (136Kg/Ud.)	0,11m <sup>2</sup>	36,3€
Hilo de aportación acero inoxidable 308 Ø=1.2mm	1 rollo	148,70€
Válvulas de membrana en L de 1" con bobina y conector	10	350,50€
Calderín D6" con 10 salidas full inmersión	1 ud.	1008,00€
Asa acero inoxidable soldable	4 udes.	32,12€
Tornillo DIN 912 M-10x50 inoxidable A4	35 udes.	32,5€
Tornillo DIN 912 M-10x35 inoxidable A4	42 udes.	38,6€
Arandela DIN 125 A10 inoxidable	84 udes.	30€
Tuerca DIN 934 M-10 inox.	42 udes.	34,53
Arandela ranurada de seguridad inox DIN 6789 A10	42 udes.	37,2€
Jaula porta mangas con venturi	1m2	18.5€
Tubo redondo inoxidable 1"	15m	8,36€
Racor pasamuro 1"H- 1"H rosca interior 3/4	10 udes.	13,55€
Tubo soldado acero inoxidable D325 L2000	2 udes.	175,8€
Tubo soldado acero inoxidable D325 L1000	1 ud.	99,5€
Tubo soldado acero inoxidable D325 L500	2 udes.	56,8€
Tubo soldado acero inoxidable D325 L200	2 udes.	27,1€
Tubo soldado acero inoxidable D325 L50	1 ud.	18,5€
Tubo soldado acero inoxidable D400 L1000	2 udes.	126,8€
Tubo soldado acero inoxidable D400 L500	1 ud.	74,6€
Tubo soldado acero inoxidable D400 L200	1 ud.	39,00€
Tubo soldado acero inoxidable D175 L1000	2 udes.	58,6
Tubo soldado acero inoxidable D175 L200	6 udes.	38,9€
Tubo soldado acero inoxidable D200 L2000	4 udes.	120,1€
Tubo soldado acero inoxidable D200 L1000	2 udes.	63,0€
Tubo soldado acero inoxidable D200 L200	5 udes.	55,4€
Codo 90º D325 Curvatura=2D	1 ud.	372,9€
Codo 90º D400 Curvatura=2D	1 ud.	454,8€
Codo 90º D200 Curvatura=2D	2 udes.	140,7€
Codo 90º D175 Curvatura=2D	1 ud.	140,7€
Bifurcación cónica 30º 400/325/175	1 ud.	399,1€
Bifurcación recta 30º 400/400/200	1 ud.	350,2€
Codo 60º D325 Curvatura=2D	1 ud.	274,5€
Codo 60º D200 Curvatura=2D	1 ud.	110,1€
Codo 60º D175 Curvatura=2D	1 ud.	90,4€
Abrazadera D400	11 udes.	25,09€
Abrazadera D325	18 udes.	23,2€
Abrazadera D200	28 udes.	14,7€
Abrazadera D175	20 udes.	14,4€
Compuerta mariposa neumática D200 con junta silicona	1 ud.	1062,2€
Compuerta mariposa neumática D175 con junta silicona	1 ud.	996,5€
Compuerta mariposa manual D350	1 ud.	365,5€
Ventilador centrífugo	1 ud.	3000,00€
<b>Total</b>		<b>10.924,58€</b>

Gasto mano de obra	Horas	Coste
Mano de obra oficina	40	1000€
Mano de obra taller	60	5000€
Mano de obra montaje	16	2800€
<b>Total</b>		<b>8800€</b>

Coste total: 19.724,58€

## 7- CONCLUSIONES

La planta expuesta tenía un problema de emisiones, que ascendían de lo permitido. Para solventarlo y asegurar que el proceso en planta se realiza bajo la certeza de no exceder el límite de emisiones permitidas, se ha caracterizado el polvo de la granza de polietileno, se han calculado las tuberías y accesorios para la captación de estas emisiones y se han diseñado dispositivos intermedios como son el ciclón y el filtro de mangas para el tratamiento y saneamiento del aire del proceso.

Por ello el resultado de este proyecto ha sido una propuesta presupuestada y constructiva que cumple con los objetivos y da una solución al problema.

## 8- BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

- [1] Ley 11/2914 de 4 de Diciembre, de Prevención y protección Ambiental de Aragón.
- [2] Malvern Mastersizer 2600, equipo basado en la difracción láser.
- [3] Jesus Lahidalga Serna, Ventiladores centrífugos, artículo científico-técnico. Revista Acta. Disponible también en internet.1998
- [4] J.J. Loeffler, Industrial Ventilation. 20th Edition of recommended practice, 1988 (“Ventilación industrial”, 1ª Edición traducida al Castellano por Eduardo Montesinos Chilet,1992)
- [5] Diagrama de Moody, figura 1.6, pag. 1-9, del manual Industrial Ventilation. [4]
- [6] Nicholas P.Cheremisinoff. Editor Encyclopedia of Fluid mechanics Volume 4, 1986.
- [7] Leith, D. and Licht, W. “The collection efficiency of cyclone type particle collectors. – A new theoretical Approach”, 1972
- [8] James H. Turner, EPA 452/B-02-002 Capítulo 1, Filtros y casas de bolsas, sección 6 controles de materia particulada, Diciembre de 1998.