



INSTITUTO NACIONAL DE SILICOSIS

**MEMORIA**  
**ELIMINACIÓN DEL POLVO EN MOLINOS DE IMPACTO, EN**  
**LAS PLANTAS DE ÁRIDOS**



CONVENIO ENTRE LA ADMINISTRACIÓN GENERAL DEL ESTADO (MITC, SECRETARÍA GENERAL DE ENERGÍA) Y LA C. A. DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS (CONSEJERÍA DE SALUD Y SERVICIOS SANITARIOS), SOBRE FINANCIACIÓN A FAVOR DEL INS PARA EL CUMPLIMIENTO DE SUS FINES DE REFERENCIA NACIONAL DE PREVENCIÓN TÉCNICO-SANITARIA EN EL ÁMBITO DE LA SEGURIDAD MINERA.

**INSTITUTO NACIONAL DE SILICOSIS**

DICIEMBRE 2008

**ELIMINACIÓN DEL POLVO EN MOLINOS DE  
IMPACTO, EN LAS PLANTAS DE ÁRIDOS**

**INSTITUTO NACIONAL DE SILICOSIS**

DICIEMBRE 2008

# INDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	3
2.	ANTECEDENTES .....	5
3.	OBJETIVO .....	7
4.	DESARROLLO.....	9
4.1.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRITURACIÓN Y MOLIENDA DE LA CANTERA SELECCIONADA .....	9
4.2.	DESCRIPCIÓN DEL MOLINO SELECCIONADO.....	11
4.3.	SITUACIÓN PREVIA .....	12
4.4.	FASES DEL PROYECTO .....	14
4.4.1.	Muestreo de polvo inicial.....	14
4.4.2.	Prueba del prototipo de la campana de captación.....	18
4.4.3.	Construcción de cerramiento y campana de captación.....	18
4.4.4.	Construcción de elementos de recogida y filtrado del polvo aspirado... ..	19
4.4.5.	Evacuación del polvo del ciclón y del filtro .....	24
4.4.6.	Montaje en la cantera: cerramiento, campana de aspiración y unidades de filtrado y recogida del polvo.....	24
4.4.7.	Muestreo final del polvo.....	26
5.	MATERIALES.....	27
5.1.	CERRAMIENTO .....	27
5.2.	CAMPANA DE CAPTACIÓN.....	27
5.3.	CICLÓN .....	28

5.4.	UNIDAD DE FILTRADO .....	30
5.5.	VENTILADOR .....	30
5.6.	LIMPIEZA DEL FILTRO.....	30
5.7.	EVACUACIÓN DEL POLVO DEL CICLÓN Y DEL FILTRO .....	31
6.	SECUENCIAS DEL MONTAJE .....	32
7.	MUESTREO FINAL.....	34
8.	CONCLUSIONES.....	36
	ANEXO FOTOGRÁFICO .....	38

# 1. INTRODUCCIÓN

La eliminación del polvo en las plantas de molienda y clasificación de áridos puede abordarse partiendo de dos principios diferentes:

- Estableciendo como principio la no incorporación de humedad al producto o,
- Asumiendo un determinado porcentaje de humedad en el producto final.

El primer sistema obliga a utilizar tratamientos en seco, es decir, aspiración de los polvos y posterior filtrado de los mismos. El segundo sistema exige la incorporación de cierta cantidad de agua al producto a tratar, ya es precisamente la humedad la base para la eliminación del polvo.

Hay que tener presente que el agua es más eficaz cuando se trata de evitar la formación de polvo que cuando se trata de lograr la precipitación del que ya está en suspensión en el aire. Ciertamente se pueden utilizar pulverizadores y nebulizadores de agua para eliminar concentraciones de polvo, pero su eficacia es dudosa cuando se trata de eliminar muy altas concentraciones de polvo que se desplaza a gran velocidad, como sucede en las fases de la molienda si se utilizan molinos impactores.

Las elevadas concentraciones de polvo que en fases sucesivas deben ser tratadas, conllevan, para que su eliminación esté garantizada, la utilización de importantes volúmenes de agua, nebulizada o pulverizada, que al precipitarse junto con las partículas de polvo sobre los materiales molidos, hace que estos adquieran una humedad que es perjudicial por dificultar su posterior clasificación. También se afecta la calidad del árido cuando es destinado a la fabricación de hormigón, pues se nota la presencia de gran cantidad de finos adheridos en las caras del árido de tamaño superior a 12 mm.

Por otra parte, en épocas calurosas y, sobre todo, en zonas ventosas, el polvo que ha sido precipitado, al secar pierde su carga de humedad y fácilmente es puesto de nuevo en suspensión a lo largo de los siguientes procesos que sufre el árido (remolienda, cribado, transporte, transvases, etc.).

Un sistema de prevención eficaz es aquel que no solo impide que el polvo se ponga en suspensión sino que, además, sea evacuado y eliminado sin posibilidad de que en posteriores fases del trabajo pueda de nuevo ser puesto en suspensión.

En la actualidad, este principio solo se cumple en la fase de perforación cuando se usan carros perforadores que utilizan la captación y conducción del polvo desde donde se genera hasta la unidad de filtrado.

## **2. ANTECEDENTES**

Aunque en las instalaciones de molienda y clasificación que utilizan sistemas de captación y filtrado de polvo, se tiene como objetivos la captación, evacuación y eliminación del mismo, el sistema falla siempre en la fase de la captación debido a una serie de factores:

- velocidad de las partículas de polvo,
- potencia de la aspiración,
- distancia de la campana al foco productor de polvo,
- cerramiento,
- canalización, y
- forma de la campana

Siendo este último el factor más importante que, junto con el cerramiento, garantizan la eficacia del sistema. Actualmente, en las instalaciones de molienda, las campanas de captación se colocan perpendiculares a la corriente de polvo que sale de los molinos. Esta ubicación hace que para conseguir efectividad en la captación sea necesario crear grandes depresiones de aire en la boca de la campana que permitan captar las partículas de polvo más alejadas, ya que el caudal de aspiración necesario aumenta con el cuadrado de la distancia al foco de polvo. Para crear estos grandes caudales de aspiración se necesita instalar ventiladores de gran potencia, grandes unidades de filtrado y, como consecuencia, inversiones costosas.

Por otra parte, los manuales de ventilación industrial establecen la premisa de que:

*”Cuando exista un fluido que contenga y transporte partículas de polvo a gran velocidad, la campana de captación debe colocarse en la dirección de dicha emisión”.*

Basándose en este principio se ha proyectado el diseño de una campana de captación que sea efectiva y capte la totalidad del polvo que se produce en una instalación de molienda, aprovechando la velocidad que este lleva.



### 3. OBJETIVO

El presente Proyecto tiene por objeto el estudio e implantación de un sistema que permita la eliminación del polvo en las plantas de molienda y clasificación de áridos.



*Figura 1 Ambiental de la zona de estudio*

Para ello se ha estudiado uno de los puntos más conflictivos: la salida de la molienda secundaria, y se ha desarrollado el proyecto en dos fases.

Por un lado se ha diseñado un modelo de campana de captación que, aprovechando la dirección y la velocidad de desplazamiento de las partículas de polvo, las capte eficazmente, evitando que estas se pongan en suspensión a la salida del molino.

Por otro, para evitar que estas partículas captadas se viertan a la atmósfera directamente, se ha fabricado un sistema eficaz de eliminación del polvo captado por la campana diseñada y se ha implantado a la salida de la misma.

De esta manera, tras la implantación real del sistema, se ha podido comprobar que el diseñado cumple con los requisitos necesarios para reducir la emisión de una gran cantidad de polvo, generado en un molino.

## **4. DESARROLLO**

Para realizar el proyecto se ha elegido la cantera denominada **La Belonga**, situada a unos 6 km de Oviedo, que explota roca caliza para la obtención de áridos.

### **4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRITURACIÓN Y MOLIENDA DE LA CANTERA SELECCIONADA**

El “todo-uno” obtenido en las voladuras y cuyo tamaño sea inferior a los 4000 Kg, máximo admitido por la alimentación, es transportado por medio de Dumpers, capaces de transportar hasta 50 t de material, al alimentador metálico, cuya tolva se halla situada a 12,20 metros sobre la plaza inferior de los frentes de arranque, considerado ésta como el nivel 0,00 m.

Del alimentador metálico el material es volcado en un precribador de discos 100/300, el cual entrega el material mayor de 80 mm a un molino impactor centrífugo, marca Larón CL-2, que de una sola pasada lo reduce a un tamaño comprendido entre 0 y 120 mm, depositándolos a continuación sobre una cinta transportadora de 76,5 metros de longitud.

El objeto de la criba rotativa de discos, es la de separar el producto por debajo de los 80 mm que viene mezclado con la zahorra natural, evitando así que las tierras y la arcilla se incorporen al circuito que trata los áridos. Este material juntamente con las tierras y menudos que puedan caer durante el proceso de alimentación y que son recogidos por la cinta, cuya longitud es de 8 m, pasan a un transportador de 20 m de largo, el cual entrega este producto a una criba vibrante, tipo C-15.40.2b, equipada con tamices de 40

y 60 mm de luz. Con este cribado se obtienen tres tamaños: el inferior a 40 mm es depositado en el suelo, al nivel 0,00 m por medio de una cinta de 15 m de longitud, siendo este producto considerado como estériles y, por su composición, de difícil comercialización. Los otros dos tamaños producidos en este cribado, comprendidos entre 40 y 80 milímetros, son incorporados por el transportador de 15,5 metros, a la cinta transportadora reseñada con anterioridad.

El material 0-120 mm transportado por la cinta, es distribuido por medio de un pantalón a dos cribas vibrantes tipo C-24.60.3b, equipadas con tamices de 20, 35 y 60 mm, obteniéndose con ellos las granulometrías de 0-20, 20-35, 35-60 y mayor de 60 mm. El tamaño más grueso pasa directamente a la cinta transportadora de 103 metros de largo. Los otros dos tamaños intermedios, 20-35 y 35-60, son distribuidos en sus respectivos silos metálicos, pudiendo incorporar, a voluntad, a la mencionada cinta el tamaño 35-60 mm.

El material por debajo de los 20 mm, es recogido por un transportador de 21 m de largo, y distribuido por medio de otro pantalón en dos nuevas cribas vibrantes de tipo C-24.60.2b, con tamices de 6 y 10 mm, obteniendo los productos 0-5, 6-10 y 10-20 mm pasando todos a los cuatro silos correspondientes, teniendo en cuenta que el 0-5 dispone de dos de ellos para su almacenamiento. Todas las granulometrías almacenadas en estos silos pueden ser cargadas directamente en camiones mediante la apertura de las boquillas de salida correspondientes. Para la carga de los tamaños comprendidos entre 0 y 35 mm, se emplea una cinta transportadora, de 28 m de longitud, que se acciona al poner en funcionamiento los alimentadores vibrantes ABS 50/90, situados bajo cada una de las tolvas correspondientes.

Las granulometrías comprendidas entre 5 y 35 mm por medio de los alimentadores vibrantes correspondientes, pueden ser incorporados a un circuito cerrado de reciclaje pasando este material a la cinta horizontal de 18,5 m de longitud, la cual deposita el producto en otro transportador de 50,5 m de largo que lo descargará en una trituradora AB 13T. Una vez triturados estos áridos son depositados en la mencionada cinta, quedando así cerrado el circuito de reciclaje.

El producto mayor de 60 mm, y opcionalmente el de 35-60 mm, es apilado en el suelo al nivel 0,00 m, formando un stock con una capacidad máxima de unas 15.000 t, siendo la capacidad útil de 6.000 t.

En la parte inferior de este almacenamiento existen dos alimentadores vibrantes ABS 80/120, que efectúan la entrega de este material a la cinta transportadora de 35 m de longitud, pasando al molino de impactos IM-13, continuando el material su paso por dos molinos areneros tipo CL-2 y LAV-6 para quedar reducidos al tamaño 0-2,5 mm.

## **4.2. DESCRIPCIÓN DEL MOLINO SELECCIONADO**

Para desarrollar el proyecto se ha elegido uno de los molinos impactores centrífugos empleados en la instalación para la trituración del material inferior a 80 mm que sale de los alimentadores vibrantes descritos en el último párrafo del apartado anterior. Estos molinos son de la marca Larón y tienen las siguiente características:

- Modelo: Larón CL-2
- Producción 100 – 140 t/hora
- Potencia motor: 160 Kw
- Peso: 6.300 Kg
- Caudal de aire en la descarga: 6.000 m<sup>3</sup>/ hora. (1,66 m<sup>3</sup>/seg.)
- Cinta transportadora: Banda de 500 mm.



*Figura 2 Instalaciones Cantera La Belonga*

Los trabajos de construcción y montaje de todos los elementos diseñados han sido realizados por la empresa de construcciones metálicas y mantenimiento “**TRAMERCA, S.A.** especializada en instalaciones y mantenimiento en este sector industrial.

### **4.3. SITUACIÓN PREVIA**

La situación ambiental en la zona del molino, previa al desarrollo del proyecto, puede estimarse como deficiente debido a las grandes concentraciones de polvo existentes en todo el entorno próximo al mismo (Ver *Figura 1* y *Anexo Fotográfico*). Esto es debido a que no existe ninguna medida de prevención que trate de eliminar el polvo, pues a pesar de que el material se humedece antes de entrar en el molino, el efecto sobre la producción de polvo es inapreciable, ya que gran parte de la humedad incorporada a los materiales desaparece en el proceso de la molienda, por la energía calorífica generada en el interior del molino.

Por otra parte, en toda la gama de molinos impactores se produce un fenómeno común a todos ellos, cuando el molino se arranca y hasta alcanzar su régimen de funcionamiento,

trabaja en vacío, y durante el tiempo que dura esa situación, el molino expulsa, por su boca de alimentación y por su boca de descarga, gran cantidad de polvo, a pesar de estar sin carga. Las vibraciones y las turbulencias de aire que provoca el rotor al girar hacen que el polvo, que se ha pegado en distintas partes del interior del molino, salga al exterior indistintamente por la boca de entrada o por la de descarga.



*Figura 3 Ambiente de la zona previo al proyecto*

Sin embargo, cuando un molino está en carga, el polvo siempre sale, a gran velocidad, por la boca de descarga. Esto es debido a que el flujo del material, ya molido, al salir del molino provoca una depresión en su interior que hace que el aire entre por la boca de alimentación.

Para conducir el polvo y evitar que se disperse por todo el entorno del molino, la instalación cuenta con un cierre, o cajón de chapa, que se apoya sobre la cinta transportadora y protege la descarga. El cierre conduce el polvo unos 4 m, hasta donde comienza el carenado de la cinta.

Las dimensiones del cierre son de 0,380 m de ancho y 0,210 m de alto, dando una sección de 0,080 m<sup>2</sup>. Al ser esta sección pequeña el polvo circula a gran velocidad (21,25 m/seg.) haciendo, por una parte, muy difícil su control y, por otra, provoca un aumento de presión en el cajón que origina escapes de polvo por todo el perímetro del

cierre, en parte favorecido porque la cinta es antigua y algunos de los rodillos que sujetan la banda no ruedan y están muy espaciados, haciendo pandear la banda y dejando huecos entre el cierre y la banda por los que escapa parte de material molido (arena y polvo). Estas condiciones de la cinta se mantendrán durante las pruebas, aunque las condiciones más idóneas serían, más anchura de banda .y con los rodillos, en la zona de cierre, más juntos

#### **4.4. FASES DEL PROYECTO**

El proyecto se ha desarrollado en las siguientes etapas o fases de trabajo:

- Muestreo de polvo previo al proyecto.
- Prueba del prototipo inicial de la campana de captación.
- Construcción del cerramiento y de la campana de captación
- Construcción de los elementos de recogida y filtrado del polvo aspirado.
- Evacuación del polvo del ciclón y del filtro:
- Montaje en la cantera de: cerramiento, campana de aspiración y unidades de filtrado y recogida del polvo.
- Muestreo final del polvo

A continuación se pasa a describir cada una de ellas.

##### **4.4.1. Muestreo de polvo inicial.**

La primera fase del trabajo fue la de conocer las concentraciones del polvo existentes en el área del molino antes de aplicar las medidas de prevención proyectadas. Para ello, se utilizaron 6 aparatos personales, compuestos por una bomba de aspiración conectada,



por medio de un tubo flexible, a un ciclón en el que se realiza la clasificación del polvo respirable definido en la Norma Europea UNE-EN-481:1995, «*Atmósferas en los puestos de trabajo. Definición de las fracciones por el tamaño de las partículas para la medición de aerosoles*».



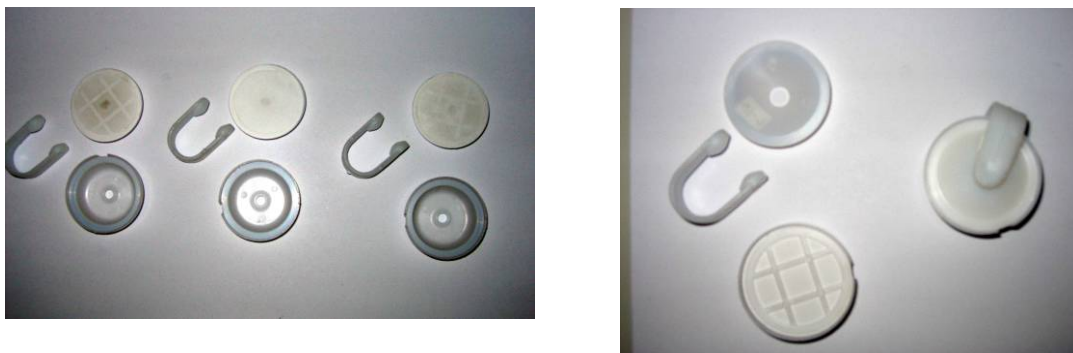
*Figura 1 Aparatos de toma de muestras: APEX standard*

Los aparatos fueron calibrados a 2,2 litros de aire por minuto, de manera que se permitiera la separación de la fracción respirable por medio de un ciclón Dewell Higgins.



*Figura 2 Ciclón Dewell Higgins*

En la parte superior del ciclón, se colocaba una membrana de PVC (GLA-5000) de dos caras iguales, con 37 mm de diámetro y 5 micrómetros de porosidad, que recogía la fracción respirable de la nube de polvo ambiental.



*Figura 3 Filtros de PVC (GLA-5000) para aparatos personales*

Estos **aparatos de captación de polvo respirable**, fueron colocados de la siguiente manera:

- Dos en la plataforma del molino
- Dos a lados de la cinta transportadora para cubrir la posible influencia que pueda tener el viento, por cambios de dirección, en esa zona del molino.

También se colocaron dos **aparatos ambientales**, del mismo tipo, pero sin ciclón clasificador, de manera que el polvo captado se corresponde con el total existente en el ambiente.

Las medias de los resultados obtenidos se representan en el cuadro adjunto:

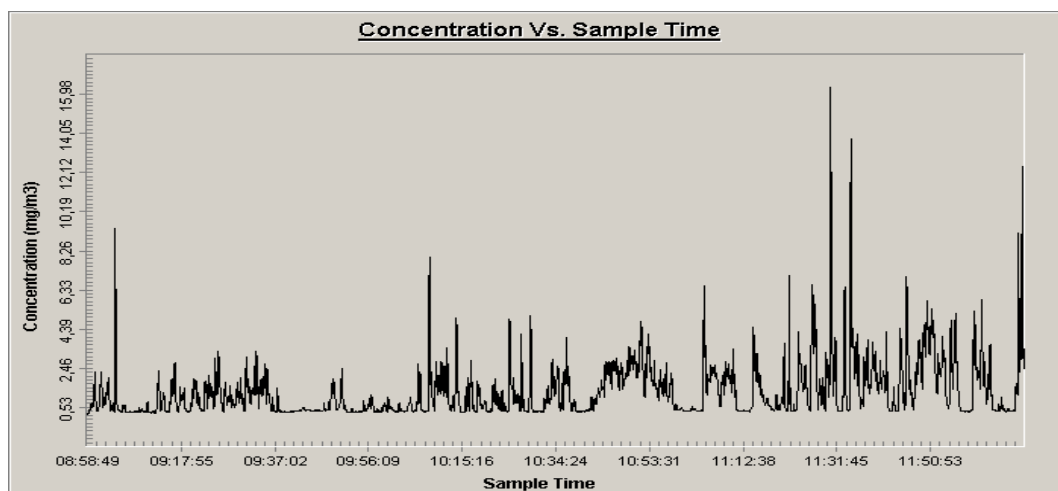
SITUACIÓN APARATOS	NÚMERO MUESTRAS	MEDIA mg/m <sup>3</sup>
AMBIENTAL POLVO TOTAL	8	116,3
PLATAFORMA POLVO RESPIRABLE	12	16,8

Por último, también se ha utilizado un aparato medidor de materia particulada en continuo, por medio de detector de infrarrojos HAZ DUST IV con accesorios para la determinación de la fracción respirable. Este aparato capta directamente la cantidad de polvo presente en el ambiente y registra los datos cada segundo obteniéndose una gráfica que indica la evolución y distribución del polvo a lo largo de la jornada de medición.



*Figura 4 Medidor en continuo HAZ DUST IV*

En la siguiente gráfica se muestra la distribución del polvo a lo largo de las mediciones.



*Figura 5 Gráfica de la medición en continuo*

#### **4.4.2. Prueba del prototipo de la campana de captación.**

Antes de proceder a la construcción e instalación del sistema definitivo de captación se construyó como equipo de pruebas un prototipo de campana de captación, que lleva partes móviles y que se ha colocado en el cierre o cajón que la instalación tenía. Para ello se adaptó, mediante tornillos, el prototipo inicial de campana al extremo del cierre y se conectó a ella una tubería flexible que también conectaba con un ventilador centrífugo de 10 CV.

Esta prueba ha permitido corregir posibles problemas que pudieran surgir en la campana en cuanto a estanqueidad y modo de conducción del polvo. Una vez que estos problemas fueron subsanados se construyó la campana definitiva.



*Figura 4 Prueba inicial realizada con campana prototipo*

#### **4.4.3. Construcción de cerramiento y campana de captación.**

Con las pruebas previas realizadas se procedió a la construcción del cierre del molino y de la campana de captación definitiva.

El cierre antiguo del molino se eliminó y fue sustituido por uno nuevo con una sección mayor (400 mm x 500 mm), que hará que una gran parte las partículas más gruesas de polvo, superiores a 100 micras, se decanten en su interior.



*Figura 5 Conjunto de cierre y campana en construcción*

La campana de captación instalada es de un tamaño inferior al prototipo y con mejor accesibilidad a su cara trasera móvil. Esta parte móvil en forma de trampilla o persiana, regulable en altura, permite la salida del material por la cinta, pero impide la salida del polvo

#### **4.4.4. Construcción de elementos de recogida y filtrado del polvo aspirado.**

Para la recogida del polvo se puede optar por dos soluciones:

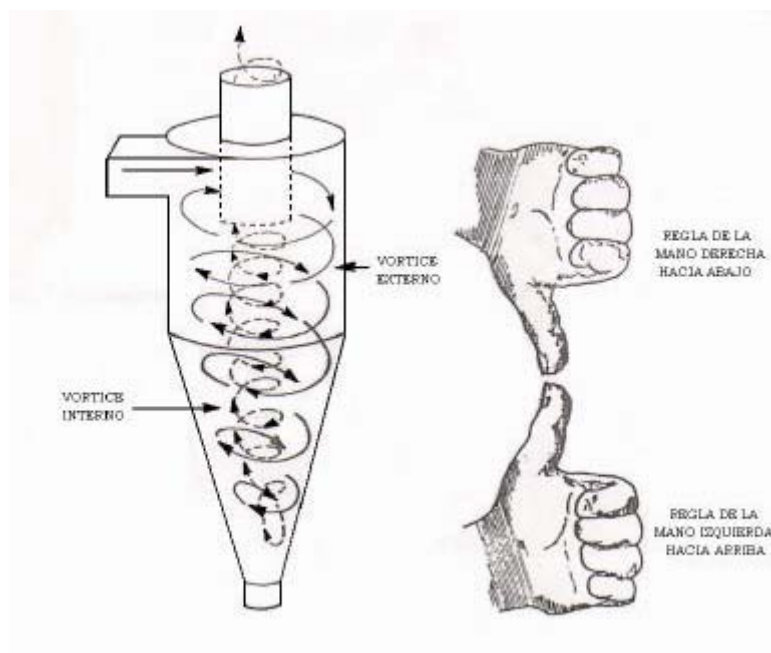
- colocar un filtro de mangas con la suficiente superficie de filtrado para recoger todo el polvo que se produce, y
- colocar previamente al filtro de mangas un ciclón que elimine un determinado porcentaje de polvo.

Debido a la gran cantidad de polvo que produce el molino, se ha adoptado la segunda solución, ya que resulta mucho más económica la construcción de un ciclón con un filtro de pequeñas dimensiones que un filtro de gran tamaño.

### ***Ciclón:***

El funcionamiento del ciclón es sencillo:

Las partículas presentes en el aire entran tangencialmente cerca de la tapa del ciclón.



*Figura 6 Funcionamiento del ciclón*

El flujo del aire-polvo es forzado en un espiral hacia abajo debido a la forma del ciclón y a la componente tangencial de la velocidad de entrada. La fuerza centrífuga y la inercia provocan un movimiento de las partículas hacia las paredes del ciclón, provocando el choque con la pared externa, y haciendo que, después, resbalen hacia la parte inferior. Cerca de la boca inferior del ciclón, el aire invierte su espiral hacia abajo y se genera una espiral interna, más pequeña, que mueve las partículas hacia arriba. El aire exento de partículas sale del ciclón por la parte superior y las partículas salen por el fondo del ciclón donde son depositados en algún sistema de recogida.



La eficiencia en la clasificación de las partículas (el porcentaje de partículas de un cierto diámetro que salen por la parte superior o por la inferior), es función de las dimensiones:

- Diámetro del cuerpo del ciclón
- Altura de la entrada
- Anchura de la entrada
- Diámetro de la salida del aire
- Altura de la parte cónica
- Altura de la parte cilíndrica
- Altura total del ciclón
- Diámetro de la salida de las partículas



*Figura 7* Ciclón en construcción

Para el cálculo de las dimensiones del ciclón necesario para la zona de estudio, se ha partido de los volúmenes de aire-polvo que produce el molino, medidos a la salida de la campana en la fase de prueba de la misma.

El ciclón elegido es de los llamados de alta capacidad, tipo *Stairmand*.

Para determinar las características y dimensiones del ciclón fue necesario primeramente, conectar la campana directamente al filtro de mangas para determinar la velocidad de aspiración del filtro en carga y la cantidad de polvo que recoge el filtro.

### ***Unidad de filtrado:***

El filtro que se construya, tiene que ser capaz de proporcionar una superficie filtrante que posibilite la operación sin originar una pérdida de carga excesiva.

El tamaño de la superficie filtrante es difícil de calcular y depende de muchos factores, entre ellos:

- Tipo de polvo.
- Humedad del polvo.
- Concentración del polvo en la corriente de aire.
- Tipo de tela filtrante.
- Porosidad de la torta filtrante (muy difícil de medir)
- Mecanismo de limpieza.
- Intervalo de tiempo entre limpiezas (Secuencia de limpieza)
- Modelo de circulación de aire en el interior del filtro.

Debido a la cantidad de variables necesarias para el diseño y la variación que sufren las mismas, los manuales determinan que el dimensionado de un filtro de tela se basa en la experiencia. Cuando no existe experiencia, la solución práctica para decidir el dimensionado es recurrir a ensayos.



Considerando todo lo anterior, para la depuración del aire se ha pensado en un filtro de tela y dentro de la gama de estos filtros se ha elegido un filtro de mangas, cuyas características o parámetros a definir serán las siguientes:

- Tipo de filtro: Mangas
- Tejido : Algodón
- Número de mangas
- Diámetro de las mangas
- Longitud de las mangas
- Superficie total de filtrado



*Figura 8 Unidad de filtrado en construcción*

Una vez definidas las características del filtro se conectará a la campana de aspiración, y como anteriormente se ha dicho se medirán las velocidades de aspiración en plena carga del filtro. También se pesará el polvo que recogen las mangas y cae en la tolva del filtro.

### ***Ventilador:***

El ventilador que genera el flujo de aspiración será un ventilador centrífugo radial movido por un motor eléctrico cuya potencia se determinará en función de los caudales de aspiración que se necesitan.

### ***Limpieza del filtro***

La limpieza del filtro debe realizarse antes de que la reducción del caudal sea crítica, y se consigue mediante la impulsión de chorro de aire a alta presión que se introduce a través de la misma abertura por la que sale el aire limpio de la manga. La limpieza se consigue gracias a que el chorro a alta presión frena el paso del aire en la dirección principal, ocasionando un aumento de presión y el consiguiente inflado de la manga que se separa de la estructura que la soporta.

La “torta de polvo” adherido a la manga se desmorona y desprende el exceso de polvo acumulado.

### **4.4.5. Evacuación del polvo del ciclón y del filtro**

El polvo ciclonado y el desprendido de las mangas y que cae en el depósito o tolvin del ciclón y de la unidad de filtrado, será eliminado de forma continua mediante una válvula rotativa de seis paletas colocada a la salida de las tolvas del ciclón y del filtro.

### **4.4.6. Montaje en la cantera: cerramiento, campana de aspiración y unidades de filtrado y recogida del polvo.**

Esta fase del trabajo se realizó en dos etapas. En la primera fase se colocó el filtro conectado a la campana de aspiración para comprobar su capacidad y eficacia en el proceso de filtrado, así como verificar la estanqueidad de la tolva del filtro al colocar la válvula de extracción del polvo.



*Figura 9 Unidad de filtrado conectada a la campana*

La colocación del filtro ha permitido, por una parte, conocer con exactitud la cantidad de polvo que se ha eliminado y, por, otra conocer los parámetros necesarios para la construcción del ciclón (velocidades del aire, cantidad de polvo y pérdidas de carga).

Durante las pruebas se ha recogido 4,600 Kg de polvo/minuto. Los análisis granulométricos realizados a dichos polvos han determinado que el 92 % del polvo es inferior a 63 micras.

La **segunda fase** ha sido la de colocar el ciclón, intercalándolo entre la campana y el filtro.

Una vez colocado el ciclón se ha recogido, por una parte, el polvo que elimina el ciclón, y por otra el que elimina el filtro, pesándolos y realizando una granulometría del mismo.



*Figura 10* Ciclón y filtro conectados a la campana

#### **4.4.7. Muestreo final del polvo**

Una vez concluida la instalación de todos los elementos, se procedió a verificar su eficacia mediante tomas de muestras ambientales de la zona, tal como se realizó inicialmente. Para ello, se utilizaron el mismo número de aparatos usados previamente, colocados en los mismos lugares:

- Dos aparatos de muestreo de polvo respirable en la plataforma del molino
- Dos, aparatos, también de polvo respirable, a los lados de la cinta transportadora.
- Dos aparatos ambientales, del mismo tipo, pero sin ciclón clasificador,
- El medidor en continuo.

## **5. MATERIALES**

### **5.1. CERRAMIENTO**

El cerramiento de la zona de descarga del molino sobre la cinta que recoge el material molido, consiste en una especie de cajón trapezoidal cuyos lados se sitúan a escasos centímetros por encima del borde de la cinta transportadora. La sujeción del cajón se realiza mediante unas patas que se atornillan a la estructura de la cinta transportadora.

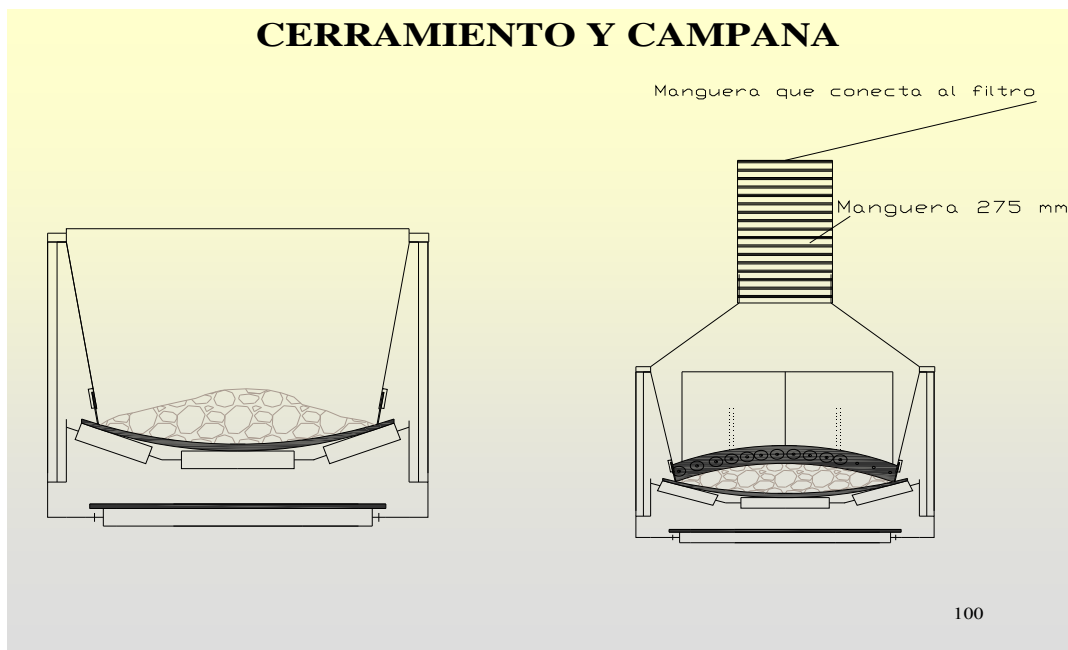
La estanqueidad se ha conseguido mediante la colocación de una banda de goma de 120 mm de altura sujeta a la chapa del cajón, en todo su perímetro, y que se apoya en el extremo de la banda de la cinta transportadora.

El cajón se ha construido en chapa de acero ST-52 de 4 mm de grosor, y tiene una longitud total de 3.500 mm., por 400 mm de altura y 500 mm de ancho. No se ha podido hacerlo mas alto debido a que lo impide la plataforma en donde está colocado el molino

### **5.2. CAMPANA DE CAPTACIÓN**

En el extremo del cajón de cierre y atornillada a él se sitúa la campana de aspiración, colocada de forma que el chorro de polvo-aire, que proviene del molino, incida directamente sobre la boca de la campana. Para evitar fugas de polvo se procede igual que con el cajón de cierre; las dos caras laterales de la campana, provistas de la banda de goma, se apoyan sobre los extremos de la cinta transportadora y la cara trasera de la campana, también con su banda de goma, se apoya sobre la carga de material molido

que transporta la cinta. La banda de goma garantiza la estanqueidad impidiendo que el polvo pueda escaparse fuera de la campana y favorezca la total aspiración del polvo.



*Figura 11 Croquis de Campana de aspiración y cierre*

La campana está construida en chapa de acero ST-52 de 4 mm de grosor y en su salida tiene un diámetro de 275 mm, y conecta con la unidad de filtrado mediante una tubería.

Como se ha citado anteriormente, previamente a la construcción de la campana definitiva se probó una campana diseñada inicialmente que se conectó al cierre antiguo que tenía la instalación para detectar posibles defectos de la campana y el efecto en la captación.

### **5.3. CICLÓN**

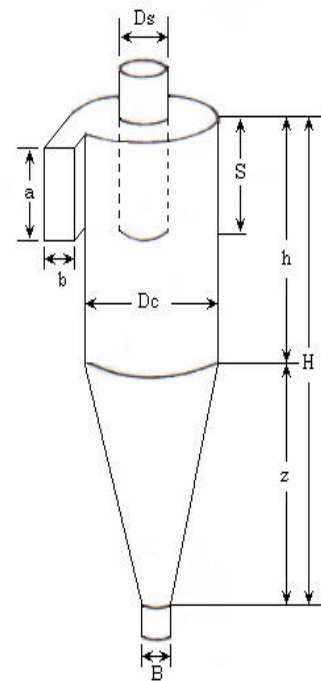
El ciclón se ha construido en chapa de acero ST-52 de 4 mm de grosor.

Para la evacuación del polvo del ciclón se ha instalado una válvula similar a la colocada en la tolva del filtro, pero de menor tamaño.

En el cuadro adjunto figuran las características y dimensiones del ciclón, que como se ha dicho es del tipo Stairmand, de los denominados de alta capacidad.

### Dimensiones del ciclón

Dimensión	Nomenclatura	Resultado
Diámetro del ciclón	$D_c$	0,520
Altura de entrada	$a$	0,390
Ancho de entrada	$b$	0,195
Altura de salida	$s$	0,455
Diámetro de salida	$D_s$	0,390
Altura parte cilíndrica	$h$	0,780
Altura parte cónica	$z$	1,300
Altura total del ciclón	$H$	2,079
Diámetro salida partículas	$B$	0,195
Caudal m <sup>3</sup> /s	$Q$	1,52
Velocidad m/s	$v$	20
Velocidad saltación m/s	$V_s$	15,6
$V / V_s$		1,28
Caída de presión Pa		1984
Rendimiento % tamaño $\square m$	45	49,8



## **5.4. UNIDAD DE FILTRADO**

Para la depuración del aire que sale del ciclón se ha construido en un filtro de tela y dentro de la gama de estos filtros se ha elegido un filtro de mangas, con tolva de recogida del polvo, cuyas características son las siguientes:

- Tipo de filtro: Mangas
- Tejido : Algodón
- Número de mangas:96
- Diámetro de las mangas: 110 mm
- Longitud de las mangas: 1.500 mm
- Superficie total de filtrado: 49,63 m<sup>2</sup>

El filtro se ha construido en chapa de acero ST-52 de 4 mm de grosor.

## **5.5. VENTILADOR**

El ventilador es centrífugo con un motor de 10 CV y que se ha colocado en la parte superior del filtro. El caudal de aire obtenido a la entrada del filtro con las mangas de fieltro colocadas es de 2,41 m<sup>3</sup>/seg.

## **5.6. LIMPIEZA DEL FILTRO**

La “torta de polvo” adherido a la manga se desmorona y desprende el exceso de polvo acumulado. El soplado de aire de limpieza es secuencial, es decir cada vez se limpian un porcentaje de los elementos filtrantes (mangas); en nuestro caso la unidad dispone de seis sopladores dobles que limpian 16 mangas cada vez (8 mangas cada uno). La secuencia de limpieza es de 15 segundos, es decir, que cada 15 segundos se dispara un



soplador doble, repitiéndose el ciclo cada 90 segundos, tiempo máximo que permanece una manga sin limpiar.

## **5.7. EVACUACIÓN DEL POLVO DEL CICLÓN Y DEL FILTRO**

Inicialmente, el polvo desprendido de las mangas y que cae en el depósito o tolván de la unidad de filtrado y del ciclón, es eliminado de forma continua. mediante una válvula de paletas rotativas colocada en la boca de las tolvas. En las pruebas realizadas se observó que el polvo cuando estaba húmedo se apelmazaba en las boquillas de las tolvas y no caía, esto era debido a que las paletas rotativas de las válvulas al girar creaban un hueco o campana en la masa de polvo..



*Figura 12 Válvula de guillotina*

El problema se solucionó sustituyendo las válvulas de paletas por una de compuerta o guillotina de eje libre y mando neumático, ya que este tipo de válvulas es ideal para cierres de polvo.

Para la evacuación del polvo del ciclón se ha instalado otra válvula, similar a la colocada en la tolva del filtro, pero de menor tamaño.

## 6. SECUENCIAS DEL MONTAJE

Primeramente se procedió al montaje del cajón de cierre y de la campana de aspiración, posteriormente y a un lado de la cinta transportadora se colocó filtro, que se conectó a la campana mediante una tubería de 270 mm de diámetro y unos 4 m de longitud. Para la limpieza del filtro, mediante impulsos, se conectó el circuito de limpieza con la red de aire comprimido de la cantera, manteniendo la secuencia de los impulsos en los 15 segundos previstos.

Se programaron las válvulas guillotina de evacuación del polvo con una secuencia de golpeo de apertura cada tres minutos y una duración de 30 segundos por secuencia pero esta programación fue anulada, pasando a una apertura cada un minuto, debido a la gran cantidad de polvo se que se acumulaba en la tolva del filtro.



*Figura 13 Prueba del filtro de mangas sin ciclón*

Este montaje previo del filtro ha permitido conocer, por una parte, los parámetros necesarios para la construcción del ciclón y, por otra, conocer la cantidad de polvo real generado por el molino y que deben eliminarse mediante la captación.

Como se ha citado anteriormente, durante las pruebas previas realizadas se han evacuado del filtro unos 4,6 kg/ minuto, que en la jornada de 8 horas supondría unas 2,2 toneladas diarias de polvo y, que en las condiciones actuales de trabajo, gran parte del mismo estaría suspensión.

La siguiente etapa del Proyecto ha consistido en intercalar el ciclón diseñado entre la campana de aspiración y el filtro, para posteriormente realizar la prueba final y evaluar la eficacia de todo el sistema.



*Figura 14 Conjunto Ciclón -Filtro*

## 7. MUESTREO FINAL

Por último, para verificar y valorar la eficacia del sistema proyectado, se procedió a realizar la toma de muestras de polvo ambientales en la zona, y que se han realizado en las mismas condiciones (mismo número de aparatos y en los mismos lugares de ubicación) con que fueron realizadas las mediciones previas.

En el cuadro adjunto se muestran los resultados obtenidos que si se comparan con los obtenidos previamente al proyecto se aprecia una total mejoría.

<b>SITUACION APARATOS</b>	<b>NÚMERO MUESTRAS</b>	<b>MEDIA mg/m3</b>
<b>AMBIENTAL Polvo total</b>	<b>8</b>	<b>8,31</b>
<b>PLATAFORMA Polvo Respirable</b>	<b>12</b>	<b>0,82</b>

Como se puede apreciar la reducción del polvo total en la zona del molino ha sido de un 92,86 %.y en el caso del polvo respirable la reducción ha sido del 95,12 %

Como anteriormente se ha dicho, se ha procedido a recoger y pesar el polvo obtenido a la salida de las tolvas del ciclón y filtro, y se han realizado granulometrías de los mismos.

El peso del material total recogido ha sido de 4,950 kg/minuto, de los cuales 1,930 kg han correspondido al ciclón y 3,020 kg al filtro.

En cuanto a la granulometría, el polvo del ciclón estaba comprendido entre 45 y 120 micras y el polvo del filtro era inferior a 60 micras.

## 8. CONCLUSIONES

Una vez concluidas todas las pruebas se obtienen las siguientes conclusiones:

La campana diseñada ha cumplido con las expectativas esperadas, ya que su eficacia en la recogida del polvo, es sobresaliente, evitando que los 4,95 kg/ minuto recogidos se pongan en suspensión. Esto es debido a la construcción y disposición de la campana de captación que favorece la recogida fácil del polvo evitando que este se expanda por el entorno del molino y a lo largo de la cinta que transporta el árido molido.

Pero para garantizar la eficacia del conjunto diseñado, es imprescindible que el cajón de cierre construido en la descarga del molino, sea lo más estanco posible, para que el aire de aspiración del filtro cree una depresión en su interior y así se evite que el polvo salga al exterior.

La combinación proyectada “**ciclón y filtro**” puede ser la solución para lugares en donde se produce mucho polvo, ya que este sistema permite la utilización de filtros más pequeños en los que no se saturan sus mangas. Esto es debido a que el ciclón elimina un porcentaje de polvo considerable, en torno al 30 %, que no llega al filtro.

Por otra parte, la elección de este sistema de prevención resulta más rentable, en coste de construcción y posteriormente en gastos de energía, ya que es mucho más barato la construcción de la combinación “ciclón y un filtro pequeño”, que un filtro más grande, con más número de mangas y ventilador de más potencia.



*Figura 15 Ambiental zona tras las instalación del sistema*

Por último, resaltar la ventaja económica que supone recoger una cantidad diaria de polvo (2.400 kg/día), que antes se diluía en la atmósfera creando situaciones altamente salubres en el entorno de la cantera.

## **ANEXO FOTOGRAFICO**



## MOLINO: SITUACIÓN AMBIENTAL PREVIA







# FABRICACIÓN DEL CIERRE, CAMPANA, FILTRO Y CICLÓN





**Válvula de paletas sustituida**



# SITUACIÓN EN LA PRIMERA FASE DEL PROYECTO

## FILTRO CONECTADO A LA CAMPANA







## SITUACIÓN FINAL

### INSTALACIÓN FINAL DE CICLÓN Y FILTRO





## FINAL PROYECTO AMBIENTAL ZONA



