

SISTEMAS DE ESCORIAS Y CENIZAS

Ismael Prieto Fernández
Oviedo
Diciembre de 2000

ÁREA DE MÁQUINAS Y MOTORES TÉRMICOS

SISTEMAS DE ESCORIAS Y CENIZAS**ÍNDICE DE MATERIAS**

1. INTRODUCCIÓN	1
2. CENICERO	1
2.1. SISTEMAS DE AGUA DE ESCORIA Y DE AGUA DEL CENICERO	3
2.2. SILOS O DECANTADORES DE ESCORIAS	5
3. SISTEMAS DE EXTRACCIÓN DE CENIZAS	5
3.1. SISTEMAS PRESURIZADOS	5
3.2. SISTEMA DE VACÍO	9
3.3. SISTEMA DE AERODESLIZADORES	12
2.4. SILO DE POLVO	15

SISTEMAS DE ESCORIAS Y CENIZAS

1. INTRODUCCIÓN

Todos los combustibles excepto el gas natural, contienen impurezas que generan cenizas al quemarse (residuos sólidos de la combustión). Estos residuos pueden ser escorias, cuando las cenizas funden y aglomeran formando partículas más o menos grandes o bloque pegados a las paredes que luego caen al fondo del hogar ó cenizas, que son las partículas más finas que son arrastradas por los humos.

Necesitamos pues dos sistemas para la eliminación de ambas, el sistema de escorias y el de cenizas volantes respectivamente.

El sistema de escorias tiene dos partes principales: el cenicero y el circuito de escorias. El cenicero es un compartimento situado debajo de la caldera dispuesto de tal manera que recibe toda la escoria que cae del hogar. Está lleno de agua para evitar que la escoria semifundida se una formando un bloque.

El sistema de escorias tiene como misión transportar las escorias a unos silos o decantadores. En el fondo del cenicero hay un sistema que deja pasar la escoria a un triturador. Con la trituración se facilita el transporte hidráulico con un eyector que envía la mezcla de agua y escoria a los silos de escorias.

El sistema de cenizas consta de un precipitador electrostático. Este está dividido en secciones cada una de las cuales descarga el polvo que colecta en una tolva situada debajo de ella. El sistema de transporte del polvo de estas tolvas a los silos puede ser presurizado o en vacío. El sistema presurizado es un circuito con aire a presión y velocidad suficiente para poder arrastrar el polvo hasta el silo, mientras que el sistema de vacío funciona en depresión y debe de mantener también una cierta velocidad del aire para que sea posible el transporte.

Existe otro sistema, el de aerodeslizadores que es muy poco utilizado.

2. CENICERO

Es el lugar dónde cae la escoria que se produce en el hogar. Está situado en la parte inferior de la caldera y se apoya directamente en el suelo, siendo necesario un sistema de cierre entre caldera y cenicero, de manera que puedan absorberse las dilataciones que pueda sufrir la caldera, que va colgada del techo respecto al cenicero que va apoyado en el suelo. El cierre es hidráulico y lleva una inyección de agua en su parte inferior para evitar que se produzcan depósitos en el fondo y que por ensuciamiento, el cierre no funcione adecuadamente.

El cenicero está inundado de agua, con el fin de que la escoria que cae en él, solidifique sin que se produzca la aglomeración de la misma. Si el cenicero no estuviese inundado, la escoria aglomeraría, formando un bloque, el cual sería prácticamente imposible de extraer del cenicero.

Las paredes del cenicero son de ladrillo refractario y se sustentan por una envolvente metálica

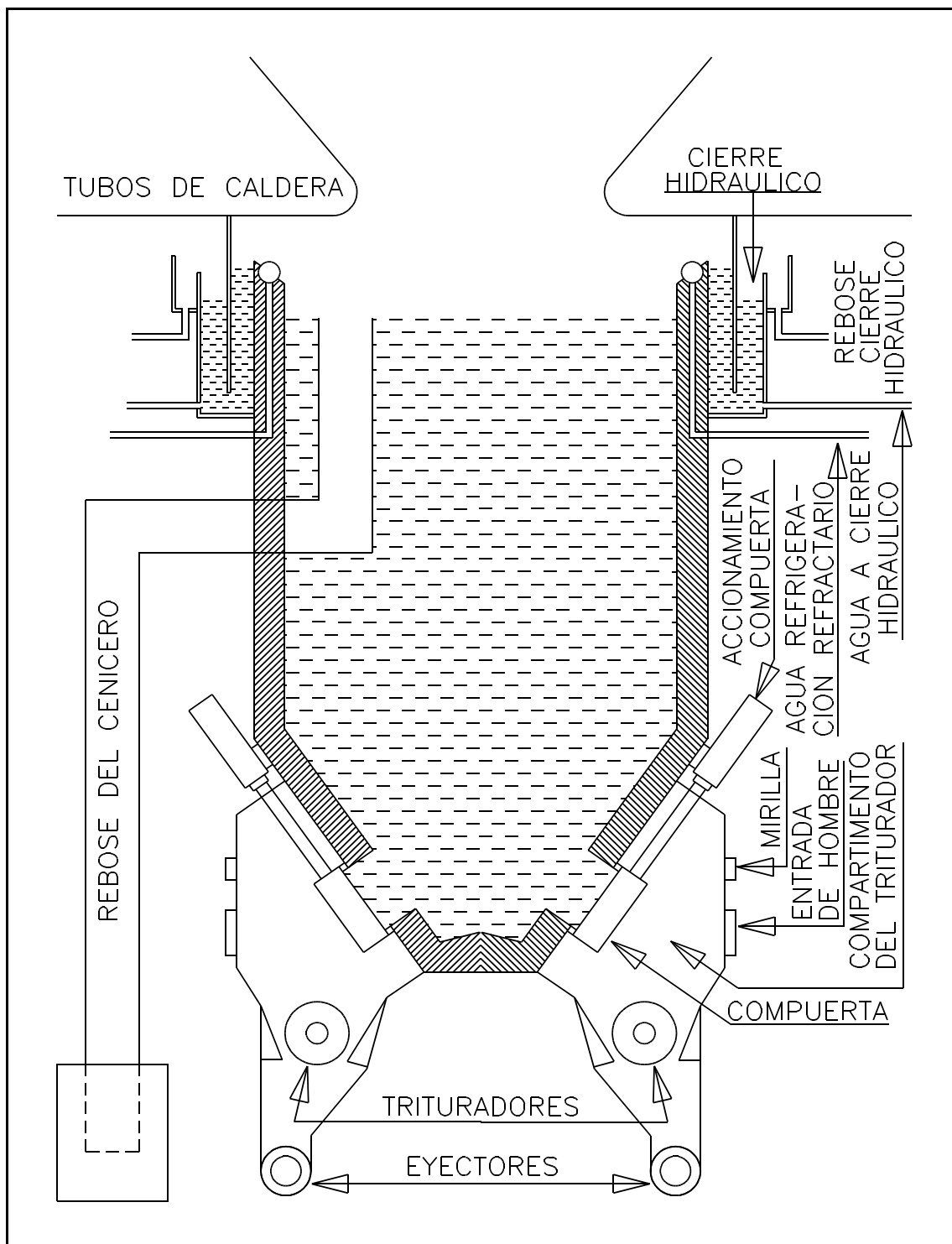


Figura 1: Sección transversal de un cenicero por la zona de salida de escorias

que apoya en una estructura, que a su vez está apoyada en el suelo (como ya se ha mencionado).

Debido a la proximidad del hogar de la caldera a la parte superior de las paredes del cenicero, existe en dicha zona un sistema de refrigeración que evita que el refractario se deteriore.

Por otro lado existe un sistema de rebose de agua del cenicero, en la parte superior del mismo, que permite mantener el nivel de agua, desalojándola a medida que la escoria va cayendo y va aumentando el volumen de sólidos que contiene.

En la parte inferior del cenicero existen unas compuertas, accionadas por unos cilindros hidráulicos, por las cuales se vacía el cenicero una vez que está lleno.

La mezcla de agua y escoria que sale del cenicero pasa a un compartimento adosado a este, debajo del cual hay un triturador que permiten reducir los tamaños a magnitudes que sea posible transportar mediante un transporte hidráulico. La mezcla, ya triturada, pasa al sistema de tuberías de transporte aspirada por un eyector situado debajo del triturador.

Existen dos formas de operación del cenicero:

- Vaciarlo completamente cada vez que se saca la escoria.
- Mantener el nivel de agua mientras sale la escoria.

2.1. SISTEMAS DE AGUA DE ESCORIA Y DE AGUA DEL CENICERO

En la figura 2 se representa una sección longitudinal del cenicero y los sistemas de agua y de transporte de escorias hasta los silos de escoria.

Del depósito de agua aspira un sistema de bombas llamadas bombas de agua de escorias que lo envían a una presión de 20 bar aproximadamente a las toberas de los eyectores de aspiración del cenicero. Estos eyectores aspiran la mezcla de agua y escoria que sale del cenicero, después de atravesar el triturador, que reduce los tamaños grandes a otros pequeños adecuados para ser transportados por el sistema de transporte. Desde los mismos eyectores la mezcla de agua y Escorias se impulsa hasta los silos (o decantadores) de escoria:

Del depósito de agua también aspira otro sistema de bombas llamadas bombas de agua del cenicero que envían agua a presión a un conjunto de toberas dispuestas para limpiar las paredes, arrastrando de ellas la escoria que pudiera quedar adherida.

Además de estos dos circuitos, en la *figura 2* también se representa el de rebose de cenicero y de rebose de cierre hidráulico. Este circuito envía el agua de estos reboses al sistema de limpieza de agua.

El sistema de limpieza de agua, también representado en la figura consta de uno o más decantadores donde el agua de retorno (reboses, silos de escorias, etc) entra por el centro y fluye hacia la periferia, en este recorrido se produce una disminución de velocidad y una decantación por gravedad de las partículas en suspensión (exceptuando las más finas). El agua relativamente limpia rebosa por la periferia y se almacena para ser reutilizada. Las partículas depositadas en el fondo de los decantadores forman unos lodos que mediante unas bombas se envían a los silos de escorias.

En este tipo de circuitos cerrados de agua, esta se suele saturar con sales en disolución, lo que provoca la formación de incrustaciones. Para evitarlas es necesario emplear un tratamiento químico y/o renovación parcial del agua.

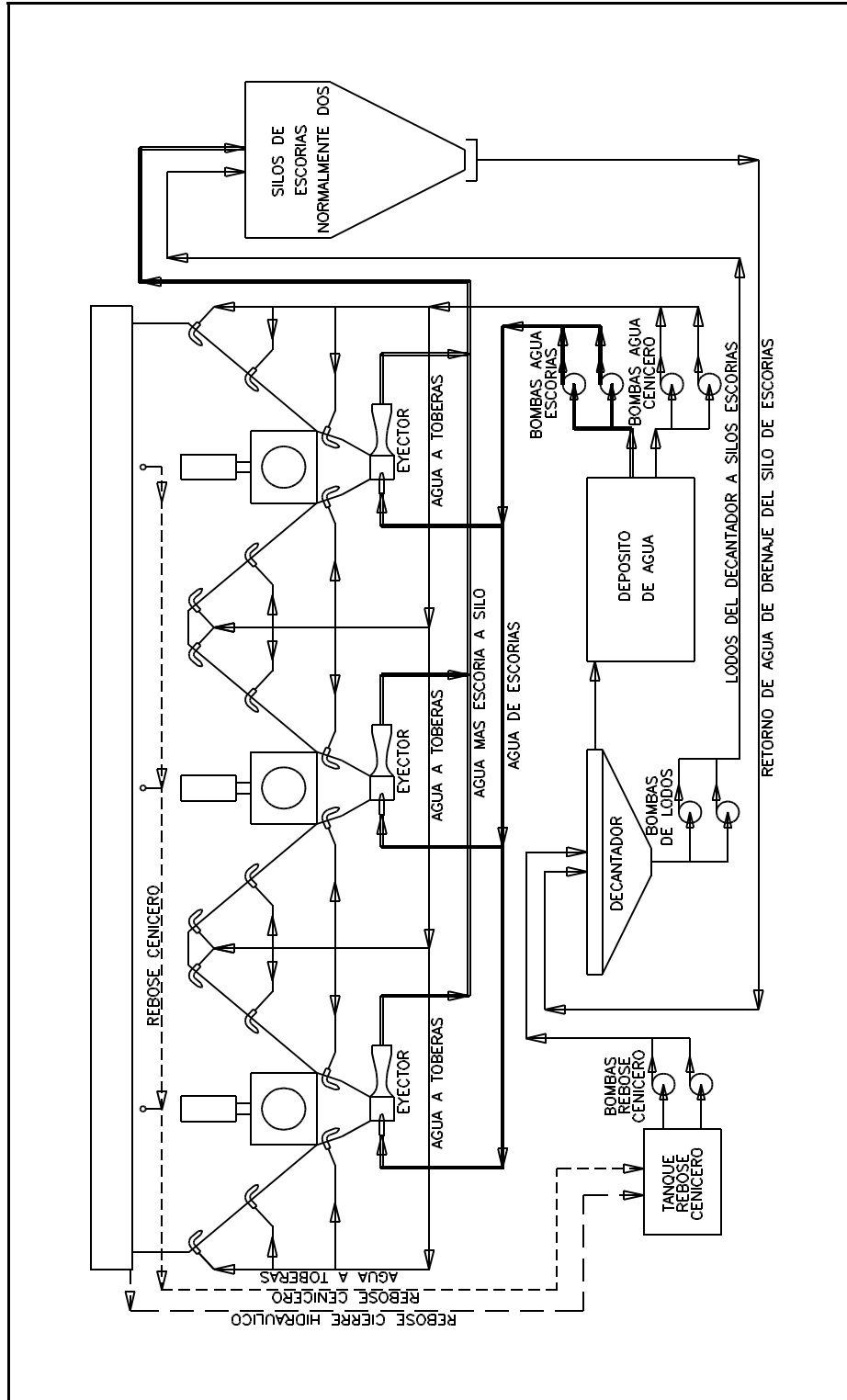


Figura 2: Esquema de la sección longitudinal de un cenicero con indicación de los sistemas de agua de escorias y de toberas de limpieza del cenicero

En la *figura 3* se representa, además del circuito de agua mostrado en la figura anterior se representan los sistemas de alimentación de agua al cierre hidráulico y a la refrigeración de las paredes. El sistema de refrigeración de las paredes está formado por varios colectores, cada uno con su alimentación individual, cada colector tiene varios orificios por donde sale el agua que discurre por la superficie de las paredes no inundada. El agua de aporte a este sistema suele proceder de las bombas de agua del cenicero.

El cierre hidráulico tiene varios puntos de alimentación con las entrada dispuestas en la misma dirección de manera que provoquen una corriente de fondo que evite la deposición de materiales y el consiguiente relleno del cierre. El aporte de agua al cierre hidráulico suele tener dos alternativas, una de agua limpia, para funcionamiento normal y otra procedente de las bombas del cenicero, para caso de fallo de la primera.

2.2. SILOS O DECANTADORES DE ESCORIAS

La mezcla de agua y escorias procedente del cenicero, así como los lodos procedentes del decantador, se envían a los silos o decantadores de escorias. Estos, tal como se representan en la *figura 4*, suelen ser de hormigón, con una zona cilíndrica y otra cónica.

La forma de aportar agua/escoria al silo es igual a la del decantador de forma que la mezcla se introduce por el la parte superior central, la escoria se va decantando y el agua se va hacia la periferia perdiendo velocidad y permitiendo que más partículas se depositen hacia el fondo. El agua “limpia” sale por el rebose dentado y la escoria queda en el fondo.

Siempre existen al menos dos silos de modo que cuando el nivel de escoria de un silo alcanza la altura máxima permitida, se quita de servicio cerrando las aportaciones, después de abrir las del otro, que, en ese momento deberá de estar vacío.

En el interior del silo existen unos “medios tubos” de acero, seis adosados a las paredes según una generatriz vertical y uno circular colocado horizontalmente, prácticamente en el fondo del silo, con sus superficies perforadas como un colador, estos elementos, llamados decantadores, forman el sistema de drenajes, por los orificios pasa el agua y no pasan las partículas, se escurre el agua, que es conducida, a través de un sistema de tuberías, hacia el decantador del sistema de limpieza de agua. Cuando un silo de escorias se quita de servicio, se abren las válvulas de los drenajes para que el agua pueda escurrir hasta conseguir que la escoria sea manipulable y pueda ser vaciado transportando la escoria al área de deposición mediante cinta o camiones. La operación de escurrido hasta que la escoria sea manipulable suele durar entre 18 y 24 horas.

3. SISTEMAS DE EXTRACCIÓN DE CENIZAS

Existen dos sistemas generalizados de extracción de cenizas volantes: el sistema de vacío el sistema de presión. Hay otros sistemas menos utilizados como el de aerodeslizadores.

3.1. SISTEMAS PRESURIZADOS

En la *figura 5* se puede ver la disposición de un sistema de escorias presurizado. Cada uno de los pequeños círculos representa la salida de cada una de las cuarenta tovas del precipitador electrostática (el número de tolvas de pende de los casos y puede ser bastante mayor). Las tolvas está

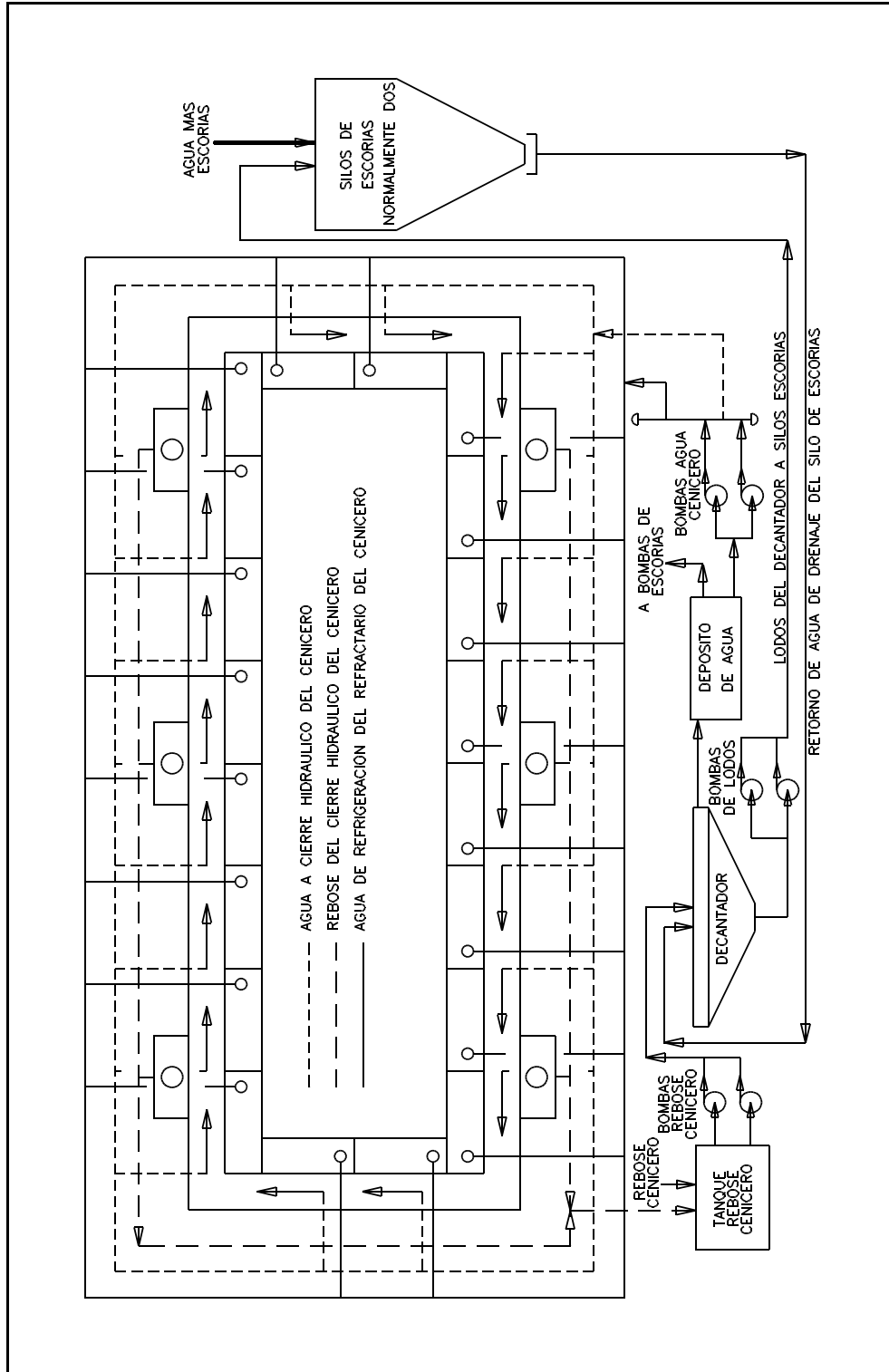


Figura 3: Circuitos de agua del cierre hidráulico y de refrigeración del refractario del cenicero

conectadas a la línea de transporte, ya se verá como, por filas que suelen coincidir cada una con una sección del precipitador. En el caso descrito en la figura, habría dos precipitadores, cada uno con cinco secciones y cada sección con cuatro tolvas. La tubería de transporte de cada fila está conectada por un extremo al colector de suministro de aire desde la soplante y por el otro extremo a la tubería que conduce hasta el silo de cenizas. Cada una de estas líneas tiene válvula de aislamiento en la entrada y en la salida. Se suele disponer de tres soplantes, una alimenta de aire al sistema del precipitador de la izquierda y otra al sistema del precipitador de la derecha; la tercera soplante colocada entre las dos primeras sirve como reserva de cualquiera de las otras dos, permitiendo labores de mantenimiento en cada una de ellas, sin necesidad de quitar de servicio el sistema. Las líneas de descarga conducen la mezcla de aire u ceniza arrastrada a los silos de cenizas.

Nuvalfeeder

En un sistema presurizado la presión de la tubería de transporte es mayor que la existente en la tolva del precipitador, hay que transferir la ceniza de una presión inferior a otra superior, por tanto no es posible la transferencia directa. Para conseguirlo se utiliza un elemento de transferencia denominado *nuvalfeeder*.

Este es un dispositivo situado entre la tolva y la tubería, un esquema del cual se puede ver con mayor detalle en la *figura 7*. El dispositivo es un recipiente que tiene la parte superior de forma cilíndrica y la inferior de forma troncocónica, se comunica con la tolva del precipitador por medio de una válvula y con la tubería de transporte mediante otra válvula similar a la anterior. Dispone de una válvula de tres vías que mediante sendas tuberías puede poner en comunicación el *nuvalfeeder* con la tolva o con la tubería de transporte.

Funcionamiento

Suponiendo que se parte de *nuvalfeeder* vacío y se quiere empezar a transferir polvo de la tolva al sistema de transporte. En un principio, están abiertas las válvulas de entrada y salida de aire de la fila correspondiente y las válvulas del resto de filas están cerradas. Las válvulas de entrada y salida al *nuvalfeeder* están cerradas, por medio de la válvula de tres vías se comunica la tolva del precipitador con *nuvalfeeder*, quedando éste aislado de la tubería de transporte, lo que permite que se iguale la presión del *nuvalfeeder* con la de la tolva, Con estas dos presiones iguales se abre la válvula que comunica la tolva con el *nuvalfeeder* y el polvo se transfiere por gravedad. Para controlar el nivel de polvo en el *nuvalfeeder*, se pueden usar sensores de nivel, pero debido al número elevado de tolvas que se tienen resulta muy caro, Por lo que se suele optar por mantener la válvula abierta un tiempo fijo, previamente determinado para que el llenado sea el adecuado, tras el cual se cierra la válvula que comunica el *nuvalfeeder* con la tolva, a continuación se cambia la posición de la válvula de tres vías que aísla el *nuvalfeeder* de la tolva y lo pone en comunicación con la tubería de transporte, después de un corto tiempo se igualan las presiones del *nuvalfeeder* y la tubería de transporte, entonces se puede abrir la válvula que comunica el *nuvalfeeder* y la tubería de transporte y el polvo se transfiere a esta última por gravedad siendo arrastrado por el aire que circula por ella hacia los silos.

La secuencia descrita es totalmente automática y los *nuvalfeeder* suelen funcionar por parejas de manera que mientras uno se está llenando el otro se está vaciando. Una secuencia establecida de antemano recorriendo todas las líneas y dentro de cada línea todas las tolvas. Respecto

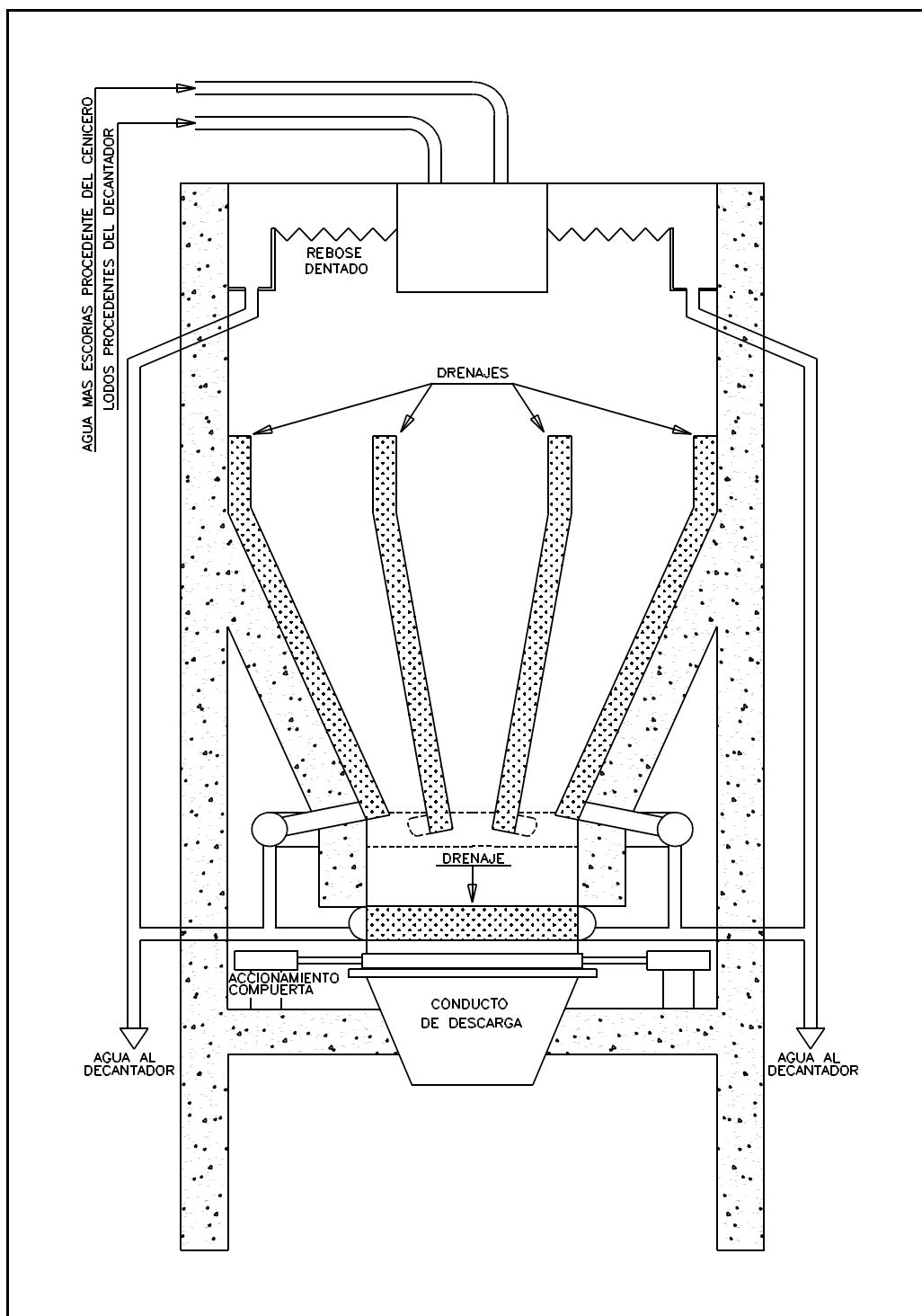


Figura 4: Esquema de un silo de escorias

a las temporizaciones y secuencia del sistema de control hay que tener en cuenta que las tolvas que recogen mayor cantidad de polvo son las de la primera fila en el sentido de flujo de humos. La segunda recoge bastante menos y la quinta recoge muy poco, pero el polvo recogido en esta última es muy fino y en determinados casos (por ejemplo cuando se enfría) presenta problemas de manipulación.

A los silos de cenizas llegan estas mezcladas con aire y éste es necesario extraerlo limpio del silo. A tal efecto, en la parte superior del silo se instala un filtro de mangas, tal como se muestra en la *figura 9*, a través del cual se extrae el aire mediante un extractor. El polvo que aun pueda llevar el aire en suspensión debe quedar retenido en el filtro de mangas y el aire se envía totalmente limpio a la atmósfera.

3.2. SISTEMA DE VACÍO

Su funcionamiento es relativamente más simple que el de presión, la disposición de los colectores de las filas es exactamente la misma con la diferencia de que no hay soplantes ni tuberías de suministro de aire a cada fila (*figura 6*). En el extremo de cada fila existe una válvula cerrada con resorte que al haber vacío en el sistema, abre por efecto del mismo y permite la entrada de aire al colector. El aire circula por el colector, sigue su trayectoria hacia el silo, donde se separan las cenizas y una vez limpio, va hacia el sistema de vacío. Esta circulación de aire arrastra el polvo desde las tolvas hasta el silo. Entre la tolva y la tubería hay un gradiente de presión favorable a la circulación de cenizas (al contrario de lo que ocurría en el sistema de presión) por lo que el polvo pasa directamente de la primera a la segunda sin necesidad del sistema de transferencia que hay en el sistema de presurizado. El inconveniente de este sistema de extracción de cenizas es que el vacío solo puede alcanzar, como máximo una caída de presión de una atmósfera (aproximadamente 1 bar) y eso en el caso ideal: presión en la toma de aire igual a la atmosférica y presión en la aspiración del sistema de vacío, igual al vacío absoluto, lo que es difícil, fundamentalmente debido a las entradas de aire que inevitablemente puede haber en el sistema. Cuando las entradas de aire (fugas) son importantes, el sistema disminuye drásticamente la capacidad de extracción de cenizas mente.

Funcionamiento

El vacío en el sistema se logra mediante bombas de vacío o eyectores, situados, como se mencionó anteriormente, después de separar el polvo del aire y de limpiar éste. La llegada de aire limpio al sistema de producción de vacío es esencial para evitar el deterioro de estos elementos por abrasión.

Para que el sistema esté dispuesto para extraer de las tolvas de una fila, además de estar en servicio los elementos de producción de vacío, debe de estar abierta la válvula de salida de colector de dicha fila y cerradas las válvulas del resto de las filas.

En el sistema de vacío dada la existencia de un gradiente de presión favorable, el polvo pasa directamente de la tolva a la tubería al abrirse automáticamente la válvula correspondiente. El sistema de control se basa en mantener dentro de un rango el vacío en un punto posterior a los

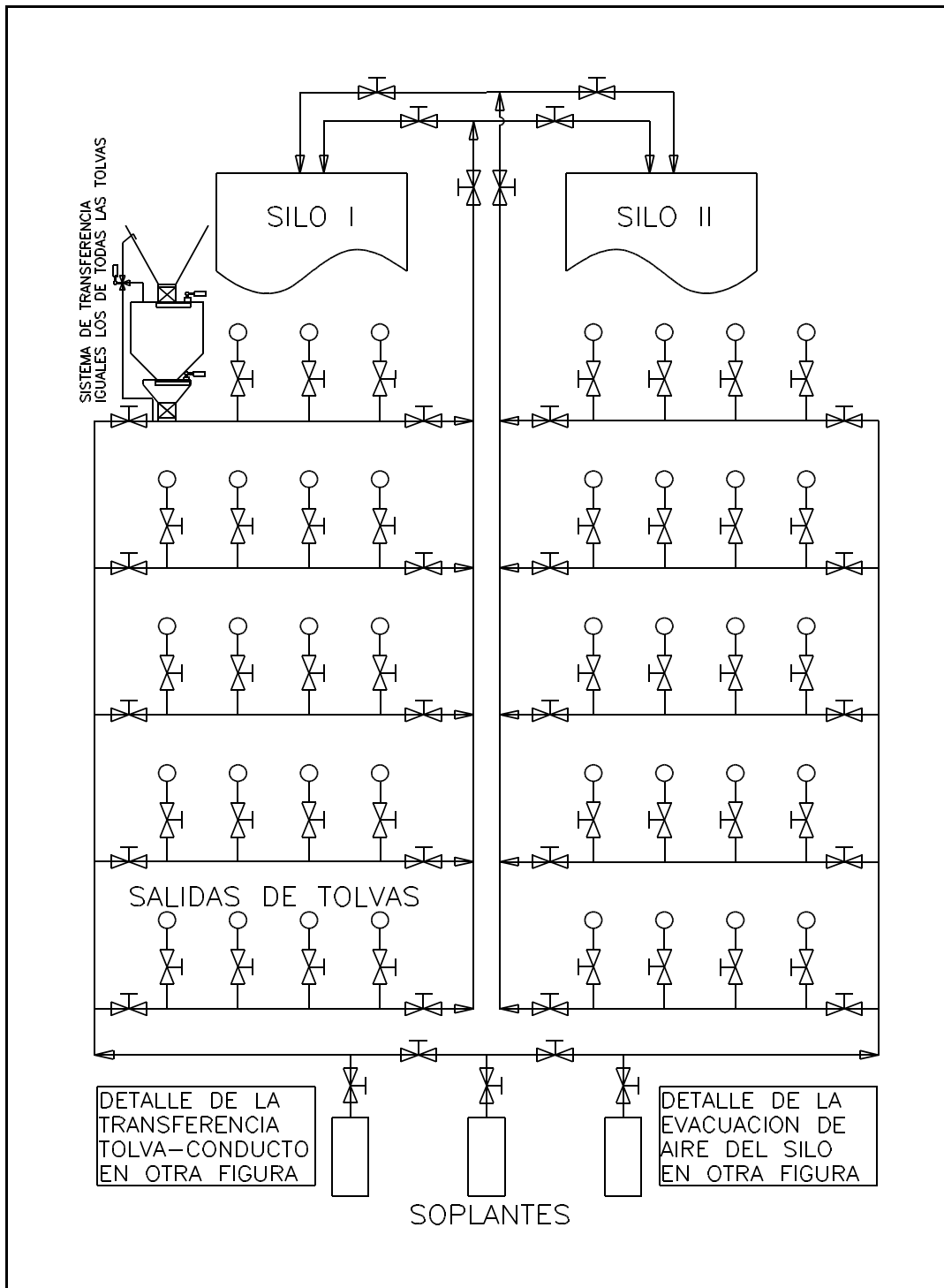


Figura 5: Esquema de un sistema presurizado de extracción de cenizas

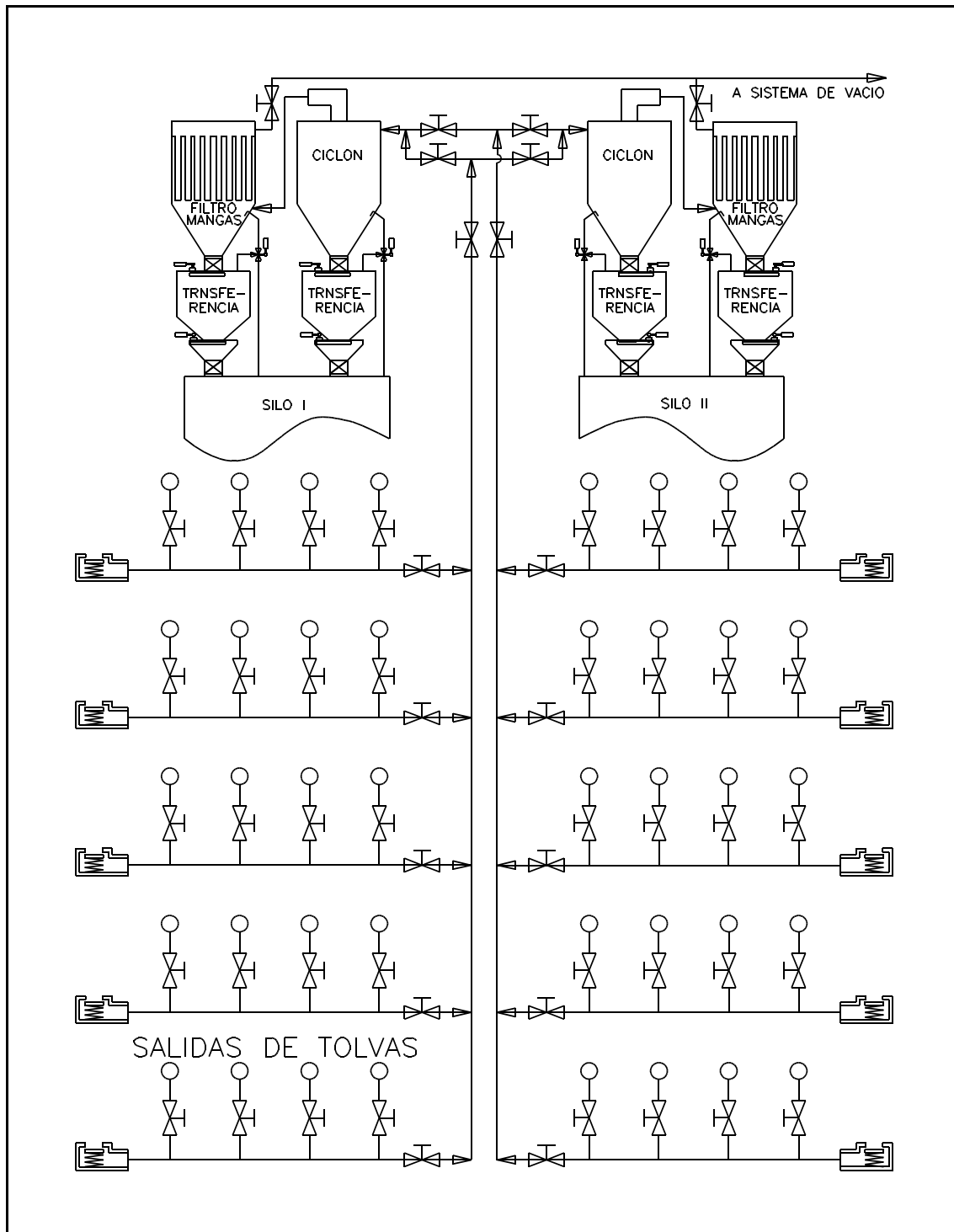


Figura 6: Esquema de un sistema de vacío de extracción de cenizas

elementos de limpieza del aire. Cuando no se está transportando polvo el vacío es bajo, porque el aire circula libremente sin más obstáculo que la caída de presión que producen los distintos elementos del sistema. Cuando abre la válvula de una tolva, el polvo cae a la tubería y es arrastrado por la corriente de aire, El polvo arrastrado hace a modo de tapón, con lo que el vacío en el punto de medida aumenta, cuando del vacío alcanza un determinado valor alto, el sistema de control ordena cerrar la válvula, con lo que deja de entrar polvo en el colector y el vacío comenzará a bajar, y cuando alcance un determinado valor bajo, el sistema de control vuelve a dar orden de apertura a la válvula. Si al abrir la válvula el vacío disminuye ligeramente en lugar de aumentar, indica que no cae polvo y que además, por la tolva entra aire al colector, lo que indica que la tolva está vacía, por lo que el sistema de control da orden de comenzar a extraer de la tolva siguiente en la secuencia predeterminada. Si al abrir la válvula de la tolva el vacío no se altera indica que ni cae polvo ni entra aire al colector desde la tolva, lo que indica que la tolva está atascada.

Al llegar al silo, es necesario separar el aire del polvo, el aire sigue hacia el sistema de producción de vacío y el polvo se transfiere al silo, que se mantiene a la presión atmosférica, de esta manera la masa de aire del silo no forma parte de la masa de aire del sistema de vacío, porque de ser así representaría un amortiguamiento de las variaciones de vacío del sistema que haría imposible su funcionamiento. Por lo tanto en la parte superior del silo se instalan los siguientes equipos, dispuestos tal como se puede ver en la *figura 8*:

- Un ciclón al que llega la mezcla de aire y polvo y en el que se produce la separación de un 80 % del polvo, aproximadamente.
- Al igual que en el sistema a presión, es necesario un sistema de transferencia que transvase el polvo desde el ciclón, en vacío, al silo a la presión atmosférica (inferior). El sistema utilizado es, nuvafeeder que funciona igual que los vistos en el sistema presurizado.
- A la salida del ciclón el aire contiene todavía el 20 % del polvo que ha transportado y es necesario limpiarlo totalmente antes de que llegue a los sistemas de producción de vacío, ya sean bombas o eyectores. Para ello se utiliza un filtro de mangas. El filtro de mangas está a la presión del sistema de vacío y el silo está a la presión atmosférica, lo que vuelve a hacer necesario un sistema de transferencia del polvo hacia el silo. Este sistema vuelve a ser un nuvafeer como el que se utilizó en el ciclón.

A la salida del filtro de mangas tenemos aire limpio que pasa al sistema de producción de vacío y de éste a la atmósfera.

3.3. SISTEMA DE AERODESLIZADORES

En este sistema las tolvas de cada fila del precipitador electrostático se conectan directamente, sin válvulas, a un conducto común, y los conductos de cada tolva van a otro u otros conductos, los cuales descargan en un recipiente (pequeño silo) de donde se transportan mediante un sistema presurizado al silo. Todos los conductos presenta una cierta pendiente, de modo que las cenizas puedan descender por él por gravedad. Esta pendiente no es suficiente por sí sola para que la ceniza fluya a lo largo del conducto hasta el pequeño silo intermedio final. Por ello se dota al conducto de recogida de un sistema de fluidización (aerodeslizamiento), de modo que la ceniza, en estado de suspensión, fluye con facilidad por los conductos y con poco riesgo de obstrucciones.

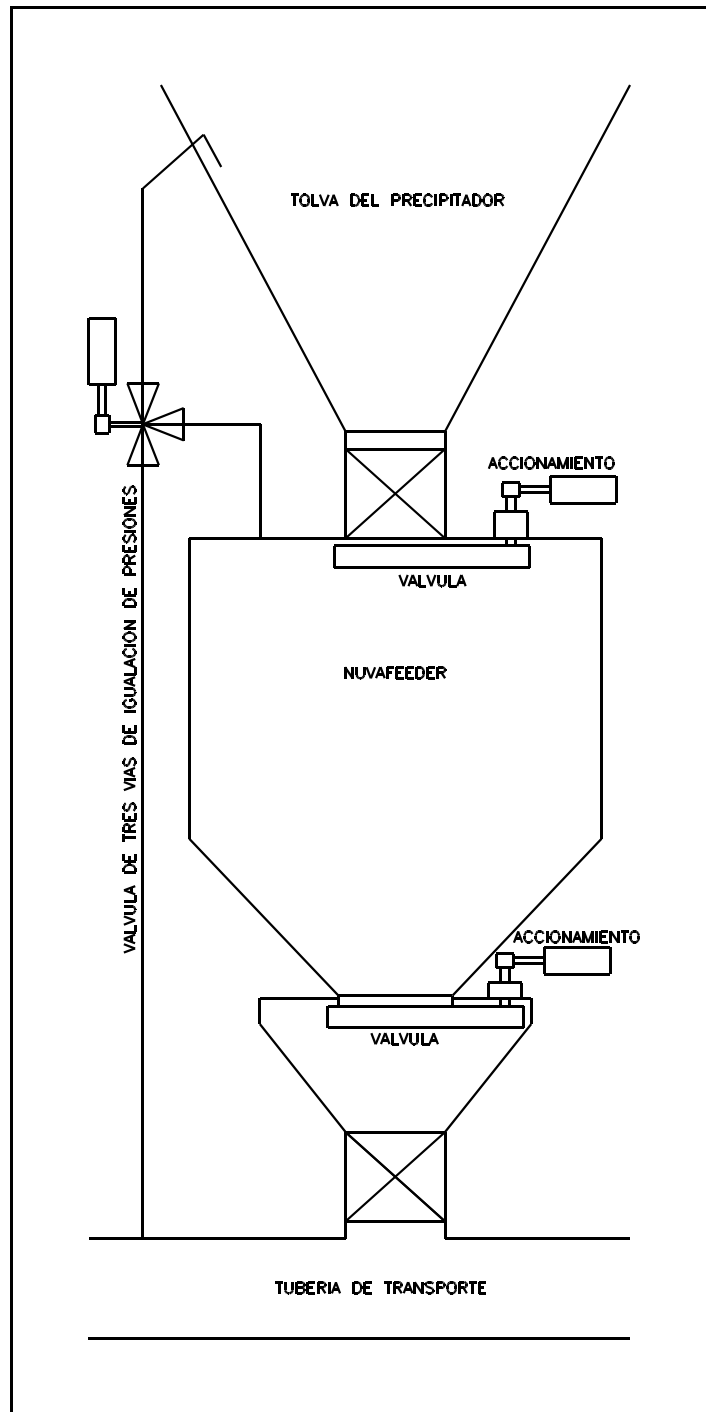


Figura 7: Esquema de un elemento de transferencia tolvá-tubería de arrastre de un sistema presurizado

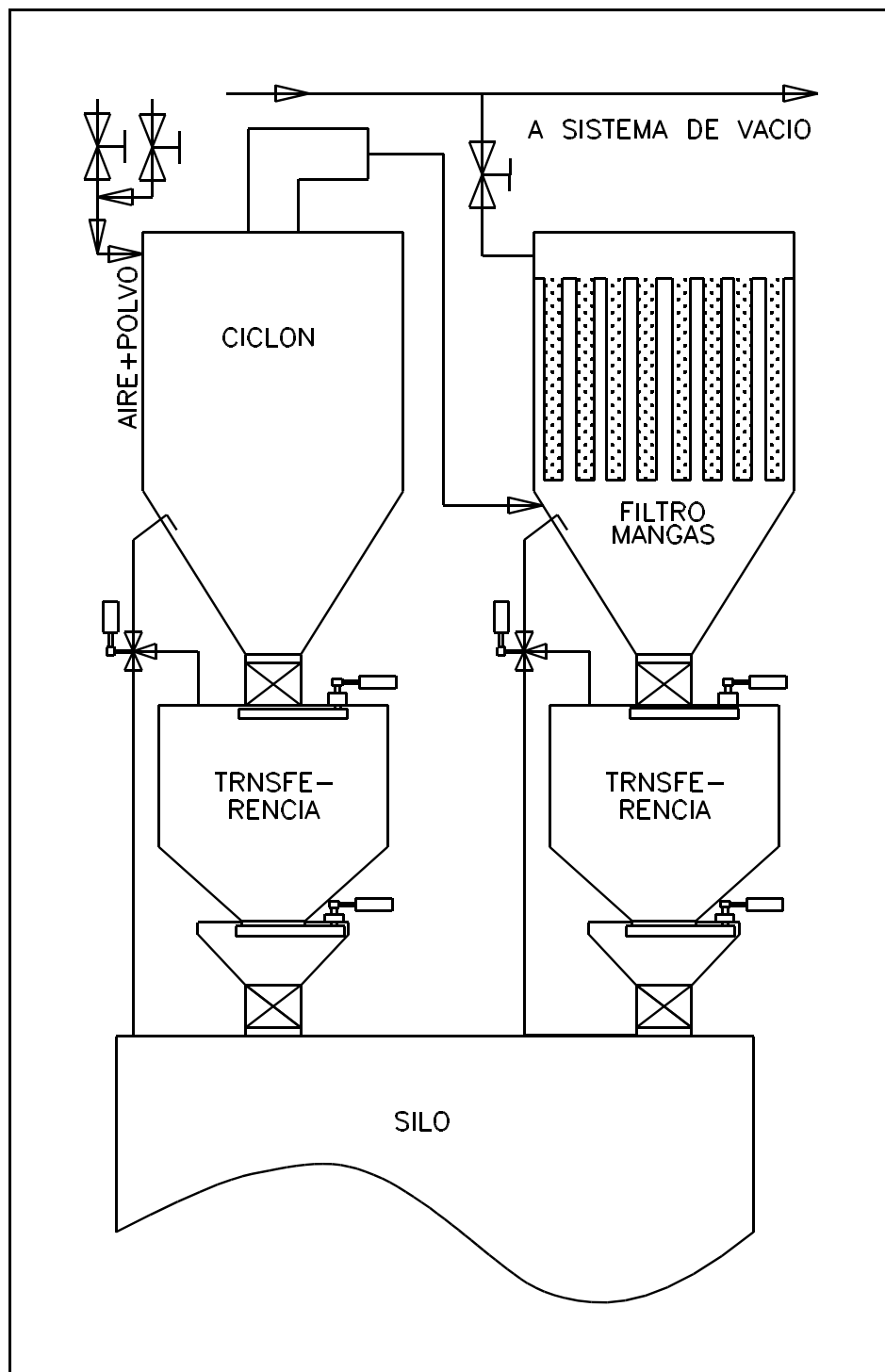


Figura 8: Esquema del sistema de separación de polvo y aire situado sobre el silo de polvo en un sistema de extracción de vacío

EL sistema de aerodeslizamiento se implementa mediante una lona que se coloca dividiendo el conducto de recogida en dos partes. La parte superior conecta con las tolvas del precipitador electrostático y la parte inferior se conecta a una red de aire comprimido. Puesto que la lona es porosa, el aire pasa de la zona inferior, ligeramente presurizada, hacia la parte superior, creando en el fondo de ésta un colchón de aire sobre el que las cenizas fluyen fácilmente por gravedad a lo largo del conducto.

Este sistema presenta las ventajas de sencillez y de trabajo en continuo, evitando los problemas de la existencia de válvulas y de un sistema de control que sincronice las secuencias entre válvulas y nuvafeeder de los sistemas de transporte de vacío y presión.

Sin embargo presenta el inconveniente de ser muy vulnerable a una posible fuga de agua o vapor en el ciclo. Si el agua o vapor entrasen al conducto de recogida, las cenizas formarían una especie de lodo que obstruiría rápidamente los poros de la lona, inutilizando completamente el sistema. La puesta en servicio posterior a un incidente de este tipo resulta larga y laboriosa.

2.4. SILO DE POLVO

En los silos de polvo se recogen las cenizas volantes arrastradas en suspensión en el aire a través de las tuberías de transporte. En el sistema de extracción de cenizas de vacío se separa el polvo del aire antes de llegar al silo de polvo, mientras que en el sistema presurizado al silo llega la mezcla de aire y polvo. Por tanto, en el sistema presurizado es necesario extraer el aire del silo, para lo que se utiliza un filtro de mangas junto con un extractor. La manera de extraer el aire consiste en aspirar la mezcla de aire y polvo mediante el extractor de forma que al pasar por el filtro de mangas, éste retiene el polvo y el aire ya limpio sale a la atmósfera.

El silo es un cilindro de hormigón, como puede observarse en la *figura 9*, el fondo del silo no es muy inclinado, al contrario de lo que ocurría en el silo de escoria, pero se utiliza un sistema de fluidificación del polvo para que éste fluya hacia los puntos de descarga situados en el centro. Este sistema consta de varios dispositivos radiales, cada uno constituido por varias losas cerámicas porosas, por la parte inferior de las cuales se inyecta aire a presión, que sale por la parte superior formando un colchón de aire que facilita el flujo de la ceniza hacia los puntos de salida.

La descarga puede hacerse en forma húmeda o en seco. Para la descarga en seco se utiliza un conducto que se continúa en una conexión flexible que termina en un acoplamiento que debe de corresponder con las bocas de carga de camiones cisterna o vagones cisterna especiales para el transporte de cenizas fuelle. Hay que tener en cuenta que la descarga y el transporte deben de ser totalmente herméticos, ya que si se realiza al aire se formarían verdaderas nubes de polvo que harían imposible la operación. En cambio, la descarga húmeda se puede realizar al aire, sobre una cinta transportadora o directamente a la caja de un camión. Para ello es necesario humedecer el polvo antes de abandonar el sistema de descarga, lo cual se efectúa al pasar a través un tambor giratorio, llamado humidificador, donde se mezcla con agua en una proporción adecuada para que sea manipulable en atmósfera abierta.

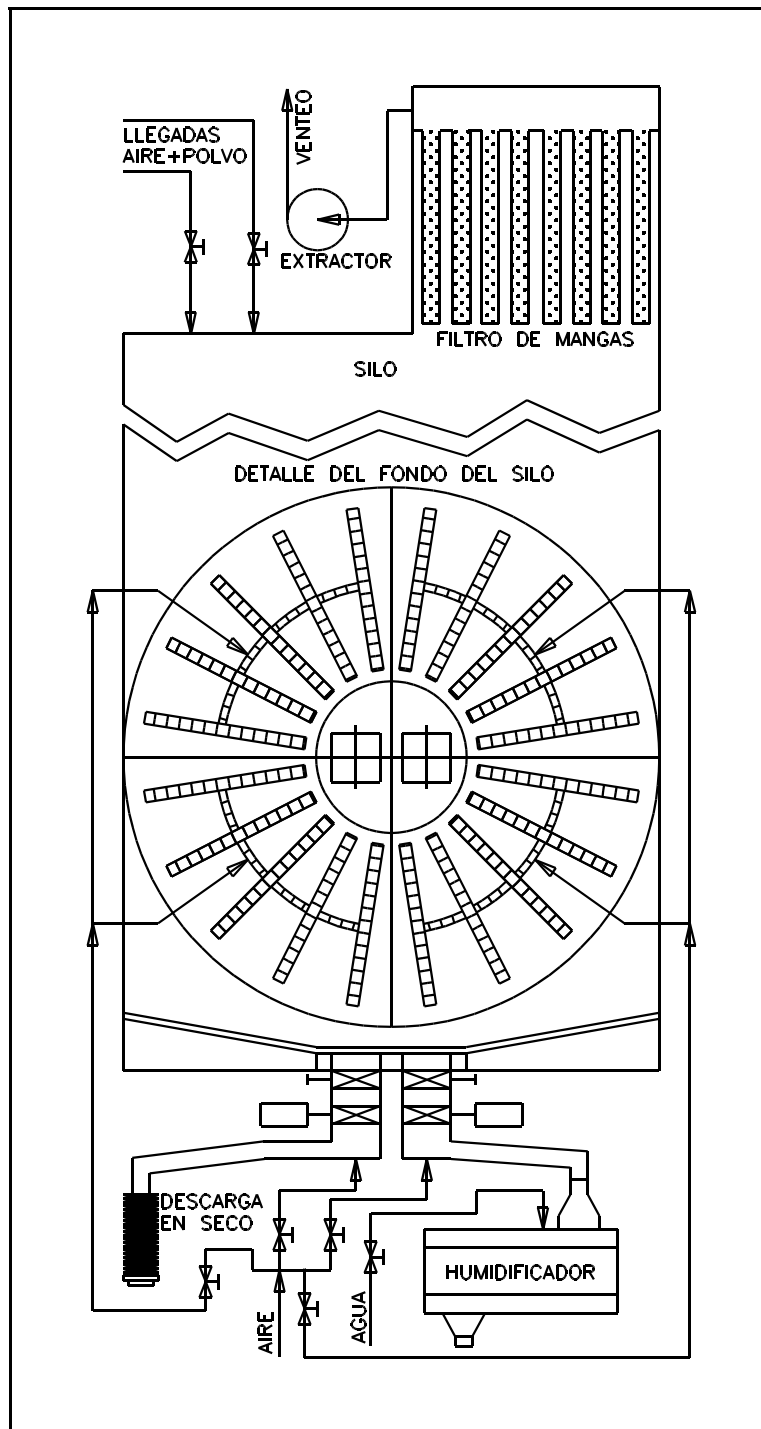


Figura 9: Esquema de un silo de polvo con los dispositivos de descarga. En la parte superior se muestran los elementos de separación de aire correspondientes a un sistema presurizado