

DESULFURACIÓN DE HUMOS**ÍNDICE DE MATERIAS**

1. INTRODUCCIÓN	1
2. SISTEMAS NO REGENERABLES	1
2.1. SISTEMAS HÚMEDOS CON CAL O CALIZA	1
2.2. SISTEMAS DESHIDRATADORES POR ASPERSIÓN	2
2.3. SISTEMAS ÁLCALI DUAL	3
2.4. SISTEMA WALTHER	4
3. SISTEMAS REGENERABLES	5
3.1. SISTEMA WELLMAN-LORD	5
3.2. SISTEMA CON CARBONO ACTIVADO	5
3.3. SISTEMA CON ÓXIDO DE MAGNESIO	6
4. FIGURAS	7
4.1. SISTEMAS NO REGENERABLES	7
4.1.1. SISTEMAS HÚMEDOS CON CAL O CALIZA	7
4.1.2. SISTEMAS DESHIDRATADORES POR ASPERSIÓN	8
4.1.3. SISTEMAS ÁLCALI DUAL	9
4.1.4. SISTEMA WALTHER	10
4.2. SISTEMAS REGENERABLES	11
4.2.1. SISTEMA WELLMAN-LORD	11
4.2.2. SISTEMA CON CARBONO ACTIVADO	12
4.2.3. SISTEMA CON ÓXIDO DE MAGNESIO	13

DESULFURACIÓN DE HUMOS

1. INTRODUCCIÓN

Hay tres opciones posibles para reducir las emisiones de óxidos de azufre de los procesos de combustión:

- Tratamiento del combustible para reducir su contenido en azufre.
- Procesos de combustión con emisiones de bajos niveles de SO₂.
- Tratamiento de los humos antes de su emisión a la atmósfera.

Nos referiremos aquí, únicamente, a alguno de los procesos de desulfuración de humos (DH) que existen en funcionamiento en el mundo.

Los procesos de desulfuración de humos los podemos dividir en dos tipos:

- Procesos regenerables.
- Procesos no regenerables.

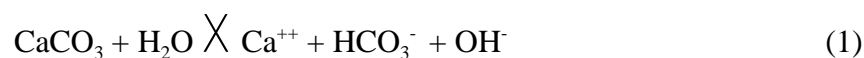
Los tipos principales de procesos no regenerables, actualmente utilizados, se basan en técnicas húmedas de absorción, en deshidratado por aspersión y en la inyección seca.

En las técnicas húmedas de absorción hay una amplia gama de absorbentes, como cal apagada, caliza, cenizas volantes, soluciones alcalinas, soluciones de amoníaco y agua marina, etc. Los procesos regenerables están más diversificados y tienen mayor complejidad de diseño que los sistemas no regenerables, no obstante, los diseños de procesos van desde la adsorción seca sobre carbón activado hasta la absorción física en disolventes orgánicos. Describiremos aquí los sistemas más representativos de tipo regenerable y los de tipo no regenerable.

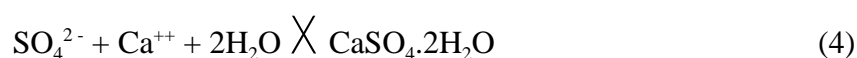
2. SISTEMAS NO REGENERABLES

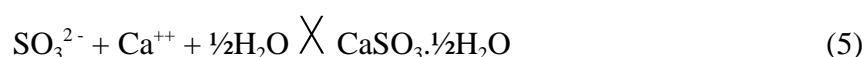
2.1. SISTEMAS HÚMEDOS CON CAL O CALIZA

En el ejemplo de la *figura 1* se representa un sistema limpiador con caliza. En el tanque de preparación de la caliza se prepara una suspensión en agua, en la que se disuelve parcialmente. La suspensión se bombea a la parte inferior de la torre de lavado donde se mezcla con la disolución procedente del lavado en la parte superior de la torre. La disolución de la caliza en el agua se produce según la reacción:



La disolución de la parte inferior de la torre se bombea a la parte superior y circula en contracorriente con los humos ascendentes, teniendo lugar las siguientes reacciones de absorción:





En la torre de oxidación tienen lugar las reacciones de oxidación del sulfito por el aire que inyectan las soplantes y la descomposición del ion bicarbonato:



Como la oxidación no es completa, además del $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, permanece $\text{CaSO}_3 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$. En el fondo de la torre tiene lugar el crecimiento y decantación de cristales de yeso. La disolución concentrada se bombea a un espesador donde se separa el sulfato cálcico, mientras que el resto de la disolución se devuelve al sistema de lavado.

La presencia de ClH en los humos de la combustión produce Cl_2Ca , que reduce la alcalinidad y retarda la disolución de la caliza, dificultando, de esta manera el proceso. Por esta razón y también por la corrosividad de los cloruros, es necesario purgar el circuito (agua residual) con lo que se consigue mantener una concentración mínima de este elemento. Esta purga del circuito contendrá, además de cloruros, metales y otras impurezas de las cenizas volantes, así como impurezas de la caliza. La purga del circuito se manda al sistema de tratamiento, previo al vertido, de las aguas residuales de la instalación.

2.2. SISTEMAS DESHIDRATADORES POR ASPERSIÓN

En la *figura 2* se muestra un diagrama esquemático del proceso limpiador mediante deshidratador por aspersión. En un tanque se produce el apagado de la cal y la lechada resultante se bombea a un tanque de almacenamiento y de este a otro donde se prepara una disolución mezclando la lechada de cal con producto de retorno del proceso, todo lo recogido en el fondo del deshidratador por aspersión y de parte del polvo recogido en el filtro de mangas, este tanque trabaja en combinación con el tanque alimentador desde el cual se bombea la disolución resultante al deshidratador por aspersión donde se pulveriza con atomizadores de tobera con ayuda de fluido auxiliar, o por atomizadores de copa rotativa. Las gotas finas de disolución se ponen en contacto íntimo con el humo que está a la temperatura de salida de los calentadores (150 °C). El humo se enfría y se humidifica con el agua evaporada de las finas gotas dispersadas. La temperatura final de los humos juega un papel muy importante, ya que cuanto más próxima sea a la de saturación, más próximo es al 100 % el contenido de humedad, que es el valor óptimo en cuanto a condiciones de reacción y secado. Lo normal es mantener la temperatura unos 10 a 15 °C por encima de la temperatura de saturación. A medida que el agua se va evaporado, las sales se precipitan y los sólidos residuales se secan, generalmente hasta menos de algunos tantos por cientos de humedad. Los sólidos, en parte, se caen al fondo de la torre y en parte, se arrastran por el flujo de humos y salen del deshidratador por aspersión hacia un sistema colector de partículas. Debido a que la reacción es muy rápida la cantidad de CaO que queda en los sólidos recogidos en el fondo del deshidratador es importante (relación estequiométrica 1,5-1,6) y por tanto una gran parte de estos se vuelve a reutilizar en el sistema, añadiéndolos en el tanque de mezcla. La reacción de absorción de SO_2 todavía continúa en el filtro de mangas.

Un sistema como este genera un producto final consistente en una mezcla de sulfito/sulfato de calcio y polvo que normalmente se vierte en un área apropiada. Mediante un posterior procesamiento de esta mezcla se puede obtener un material parecido al cemento, que tiene unas características de infiltración muy favorables.

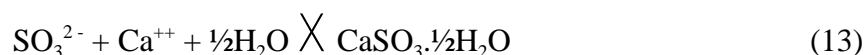
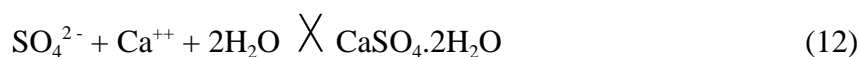
Algunas instalaciones utilizan un prelimpiador de humos, con el fin de separar de éstos los productos perjudiciales para el proceso. Independientemente de la posibilidad de usar por separado los dos productos residuales, esta configuración también protege al sistema DH del efecto abrasivo del polvo. Un residuo del sistema sin cenizas volantes y con concentraciones razonablemente bajas de cloruros, se puede oxidar a sulfato de calcio anhidro, que puede ser utilizado como un retardador de fraguado del cemento Portland.

Las reacciones que tiene lugar en el proceso son:

En el apagador y preparador de cal:



En el deshidratador por aspersión:



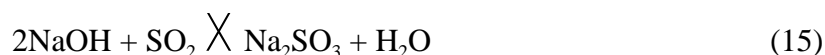
2.3. SISTEMAS ÁLCALI DUAL

Como en los procesos limpiadores húmedos de cal/caliza, el proceso alcalino dual produce compuestos de calcio insolubles, que se separan y se deshidratan para su vertido o su reutilización.

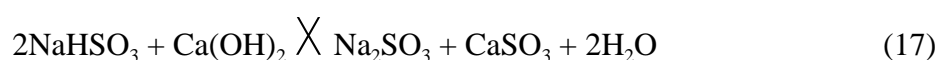
A diferencia del proceso húmedo de cal/caliza, la absorción del dióxido de azufre y la producción de residuos están separadas, teniendo lugar la adición de caliza o cal fuera del circuito limpiador. La etapa de limpieza normalmente utiliza una solución acuosa de carbonato de sodio, aunque también pueden usarse otros absorbentes tales como sulfato de aluminio e hidróxido de magnesio. Un diagrama esquemático de un proceso Álcali Dual se muestra en la *figura 3*.

La solución sódica, obtenida de ceniza sódica (Na_2SO_3) se dosifica en la parte inferior de la torre de absorción donde se mezcla con la disolución que cae de la torre, procedente del lavado y con el agua de recirculación. La disolución formada en la parte inferior de la torre, se bombea a los aspersores de la parte superior y al reactor de cal. En la torre el SO_2 de los humos

reacciona con el NaOH y con el Na₂SO₃ de la disolución según las reacciones:



La solución absorbadora, bombeada al reactor de cal, se regenera, fuera del circuito absorción, con cal o caliza:

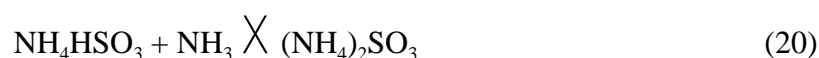


Se puede producir yeso mediante una etapa de oxidación. Con este procedimiento se reducen la incrustación y el atorado, en el área de absorción, ya que el lodo cálcico solo está presente en la sección de regeneración.

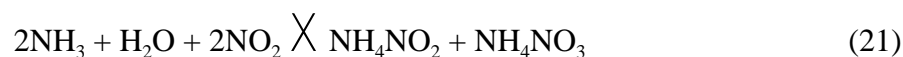
2.4. SISTEMA WALTHER

El sistema Walther es básicamente un sistema limpiador húmedo, que utiliza amoníaco en disolución acuosa para eliminar el dióxido de azufre de los humos. Utilizando un segundo limpiador, se pueden eliminar los óxidos de nitrógeno, por reacción con ozono y la misma disolución amoniacal. Un diagrama esquemático del proceso se muestra en la *figura 4*.

En el primer lavador se inyecta una disolución de amoníaco que reacciona con el SO₂ produciéndose las siguientes reacciones:

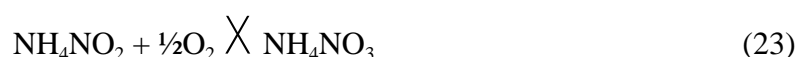


Cuando se utiliza el lavado de óxidos de nitrógeno, posteriormente, a los humos, se les inyecta ozono para que el NO se oxide a NO₂ antes de entrar en siguiente lavador donde también se inyecta la disolución de amoníaco y en el que tiene lugar la siguiente reacción:



Los productos de las etapas limpiadoras de dióxido de azufre y de óxido de nitrógeno, se procesan posteriormente, sometiéndolos a oxidación.



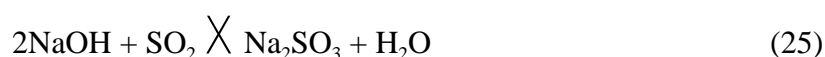


Las soluciones resultantes, de sulfato amoníaco y nitrato amoníaco se secan en un deshidratador por aspersión, utilizando un flujo de humo extraído aguas abajo del calentador de aire. Las sales amónicas secas, se procesan luego en una nodulizadora para dar un fertilizante de granulometría comercial.

3. SISTEMAS REGENERABLES

3.1. SISTEMA WELLMAN-LORD

El proceso Wellman-Lord es el sistema DH más común, de los regenerables, que hay en operación actualmente. En la *figura 5* se muestra un diagrama esquemático del proceso. Comprende la absorción del dióxido de azufre de los humos, en una torre de lavado, por una solución de sulfito sódico e hidróxido sódico. El sulfito y el hidróxido, se convierten en bisulfito durante la absorción. Las reacciones que tienen lugar en la torre son las siguientes:



El sulfato se separa de al disolución haciendo que parte de ella pase por una sección de cristalización selectiva.

El sulfito se regenera por descomposición térmica en una unidad evaporadora/cristalizadora de dos etapas.



En la sección de regeneración, el dióxido de azufre se recupera en un flujo concentrado y puede usarse para producir ácido sulfúrico azufre elemental o dióxido de azufre líquido. La sección de regeneración puede ubicarse lejos de la sección de absorción y puede atender más de una instalación DH. Una desventaja del sistema Wellman Lord es la gran demanda de energía de la sección de regeneración y la sensibilidad del sistema a las partículas de polvo en el flujo de humos.

3.2. SISTEMA CON CARBONO ACTIVADO

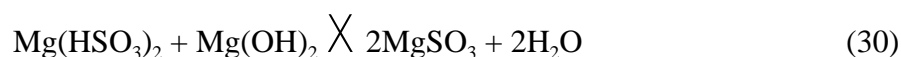
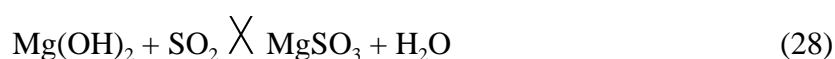
Los procesos de carbono activado se basan en la adsorción, del dióxido de azufre del humo, sobre la superficie de carbón vegetal poroso. El carbón vegetal activado se regenera térmicamente y posteriormente se recicla hacia el reactor de adsorción. En la *figura 6* se muestra un diagrama esquemático del proceso.

El proceso de adsorción se verifica a unos 130 °C, mientras que la regeneración del

carbón vegetal se produce a unos 400 °C. La etapa de regeneración produce un gas rico en dióxido de azufre que luego puede procesarse para obtener ácido sulfúrico, azufre elemental o dióxido de azufre líquido. Tal como se muestra en la figura, además de su capacidad para adsorber dióxido de azufre, el carbón vegetal activado puede utilizarse también para reducir catalíticamente los óxidos de nitrógeno presentes en los humos, mediante inyección de amoníaco. Por tanto el proceso de carbono activado se puede usar para eliminar simultáneamente ambos óxidos de nitrógeno y de azufre.

3.3. SISTEMA CON ÓXIDO DE MAGNESIO

El proceso de oxido de magnesio es un sistema húmedo, que utiliza óxido de magnesio hidratado para eliminar el dióxido de azufre del humo en una torre de aspersión. El dióxido de azufre reacciona con el hidróxido de magnesio para formar sulfito de magnesio y pequeñas cantidades de sulfato de magnesio.



Los productos de reacción se eliminan de la solución limpiadora, se secan y se transfieren a una instalación de regeneración. La instalación de regeneración consta de un calcinador, en presencia de coque, con el fin de lograr la reducción del sulfito de magnesio.



Se produce un gas rico en dióxido de azufre, que luego puede procesarse para producir ácido sulfúrico, azufre elemental o dióxido de azufre líquido. El óxido de magnesio regenerado se recircula al sistema DH para su reutilización en el sistema limpiador. En la *figura 7* se muestra un diagrama esquemático del proceso.

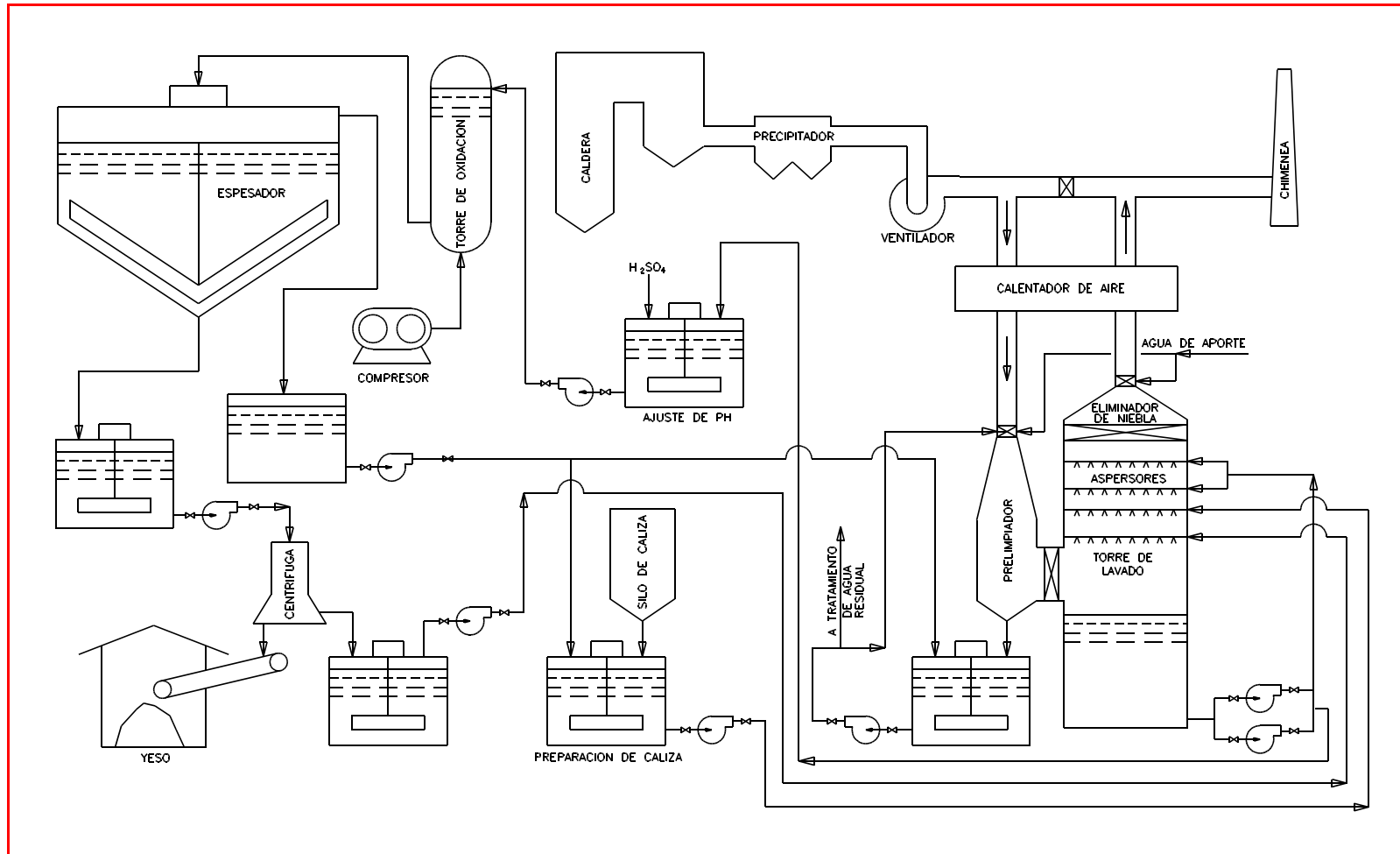


Figura 1. Esquema de un sistema de desulfuración de humos húmedo con cal o caliza

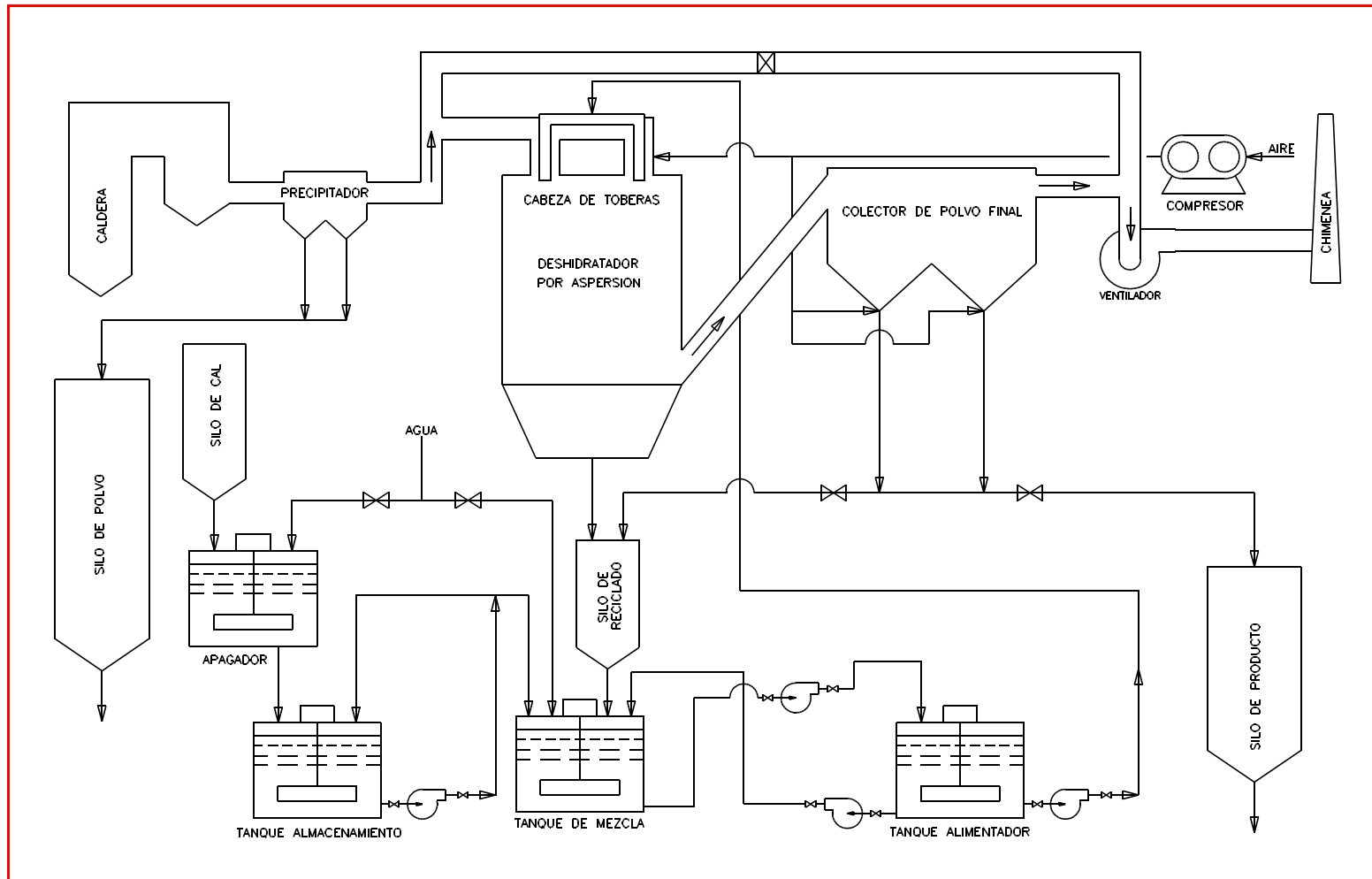


Figura 2. Esquema de un sistema de desulfuración de humos deshidratador por aspersión

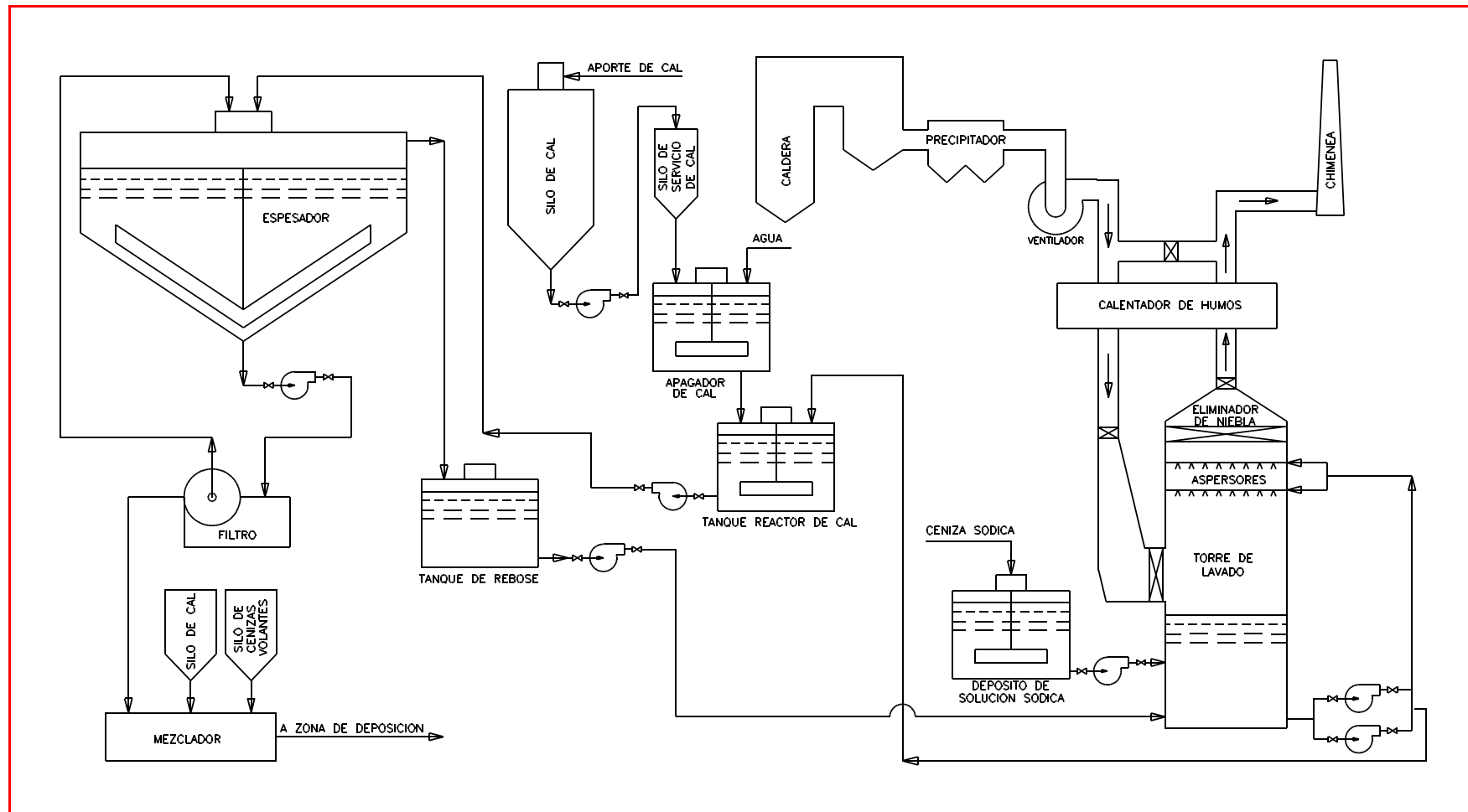


Figura 3. Esquema de un sistema de desulfuración de humos álcali dual

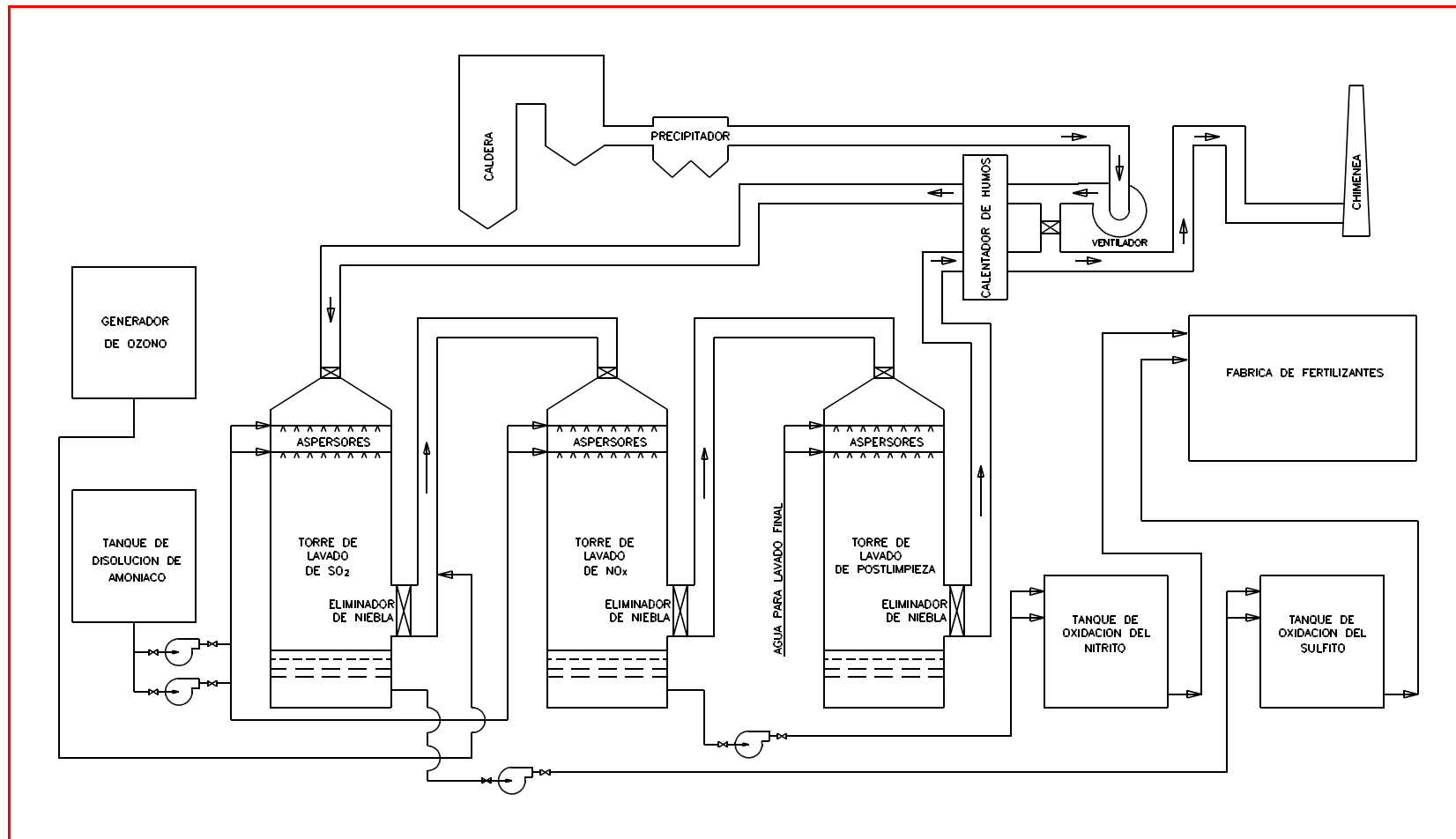


Figura 4. Esquema de un sistema de desulfuración de humos Walter

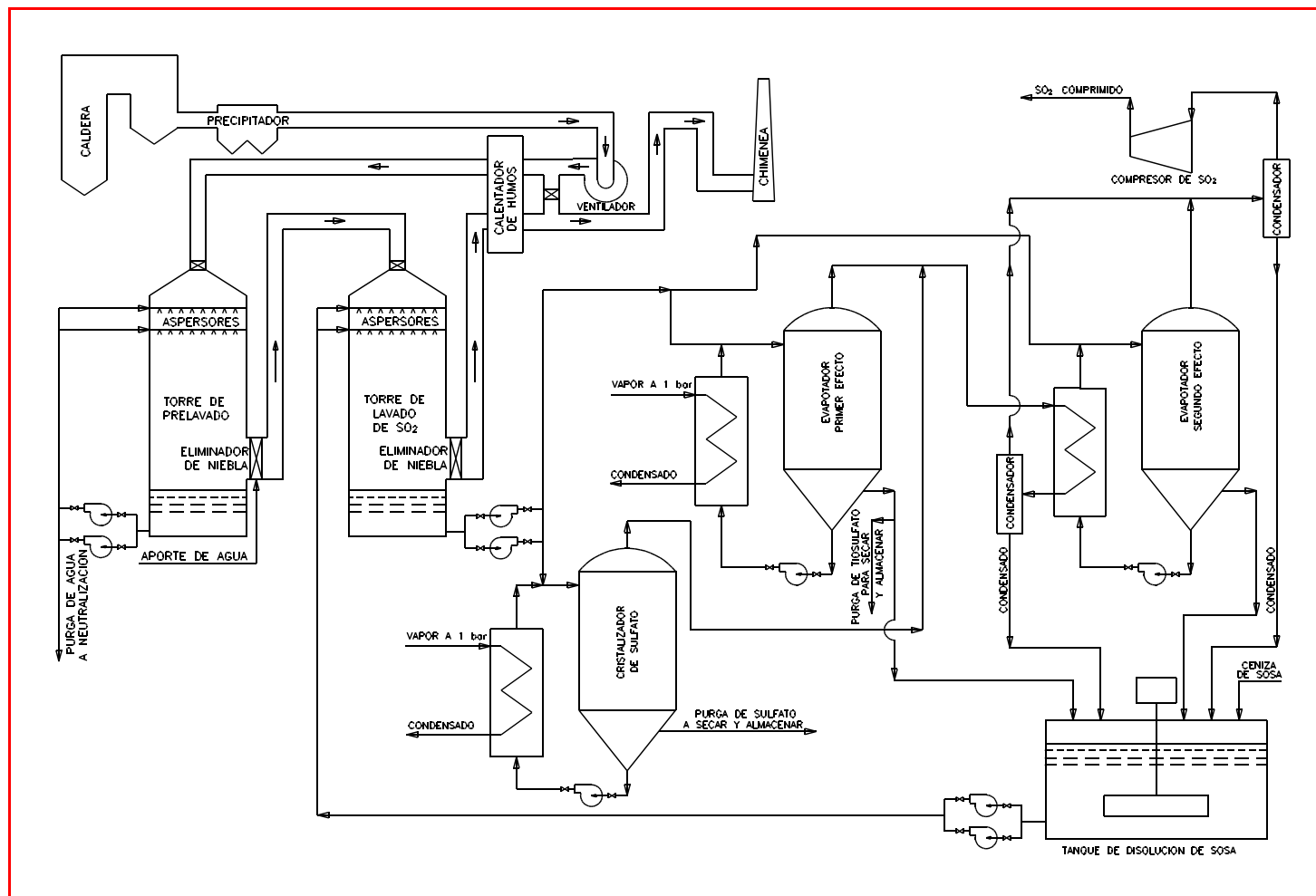


Figura 5. Esquema de un sistema de desulfuración de humos Wellman-Lord

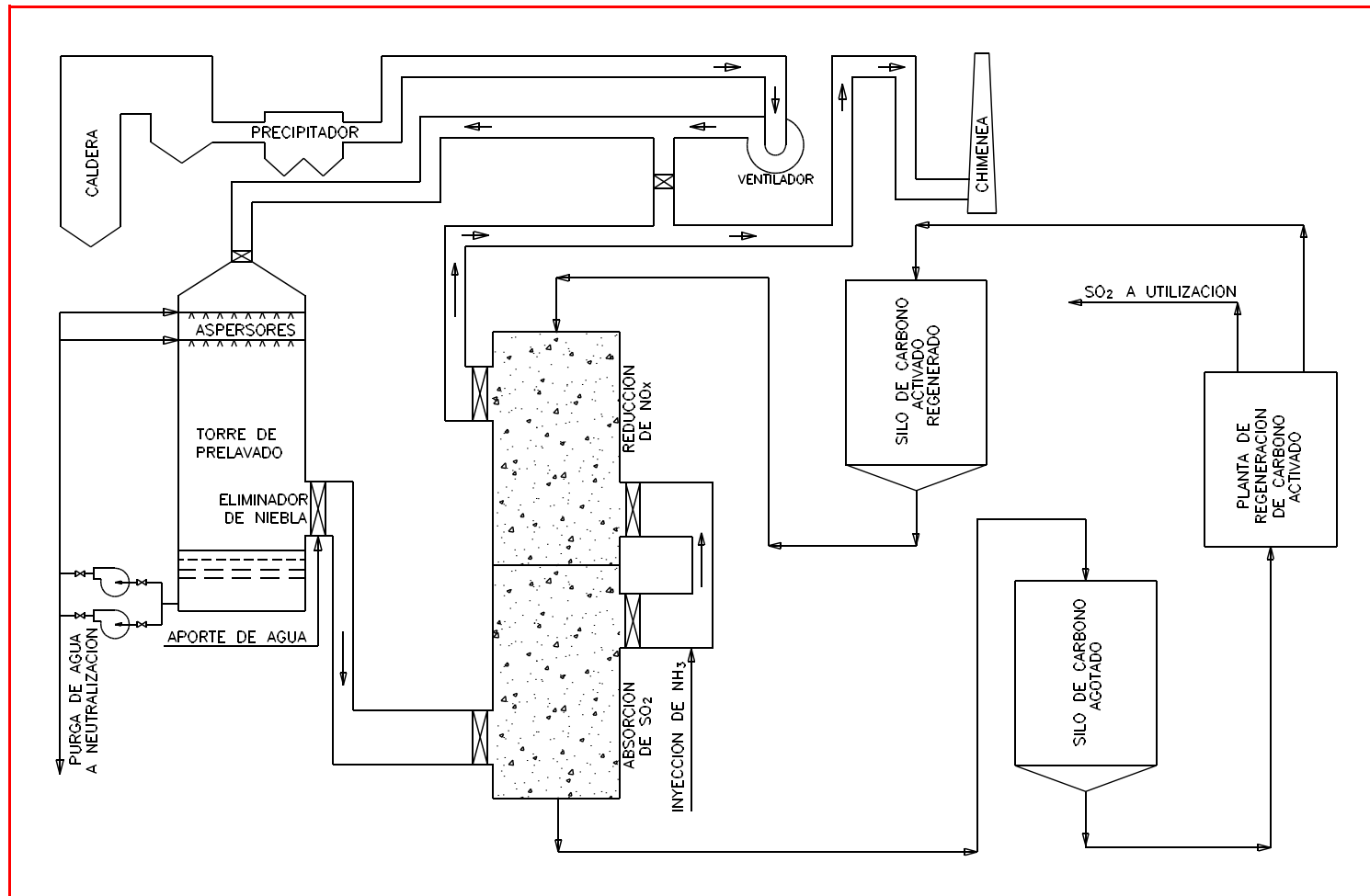


Figura 6. Esquema de un sistema de desulfuración de humos con carbono activado

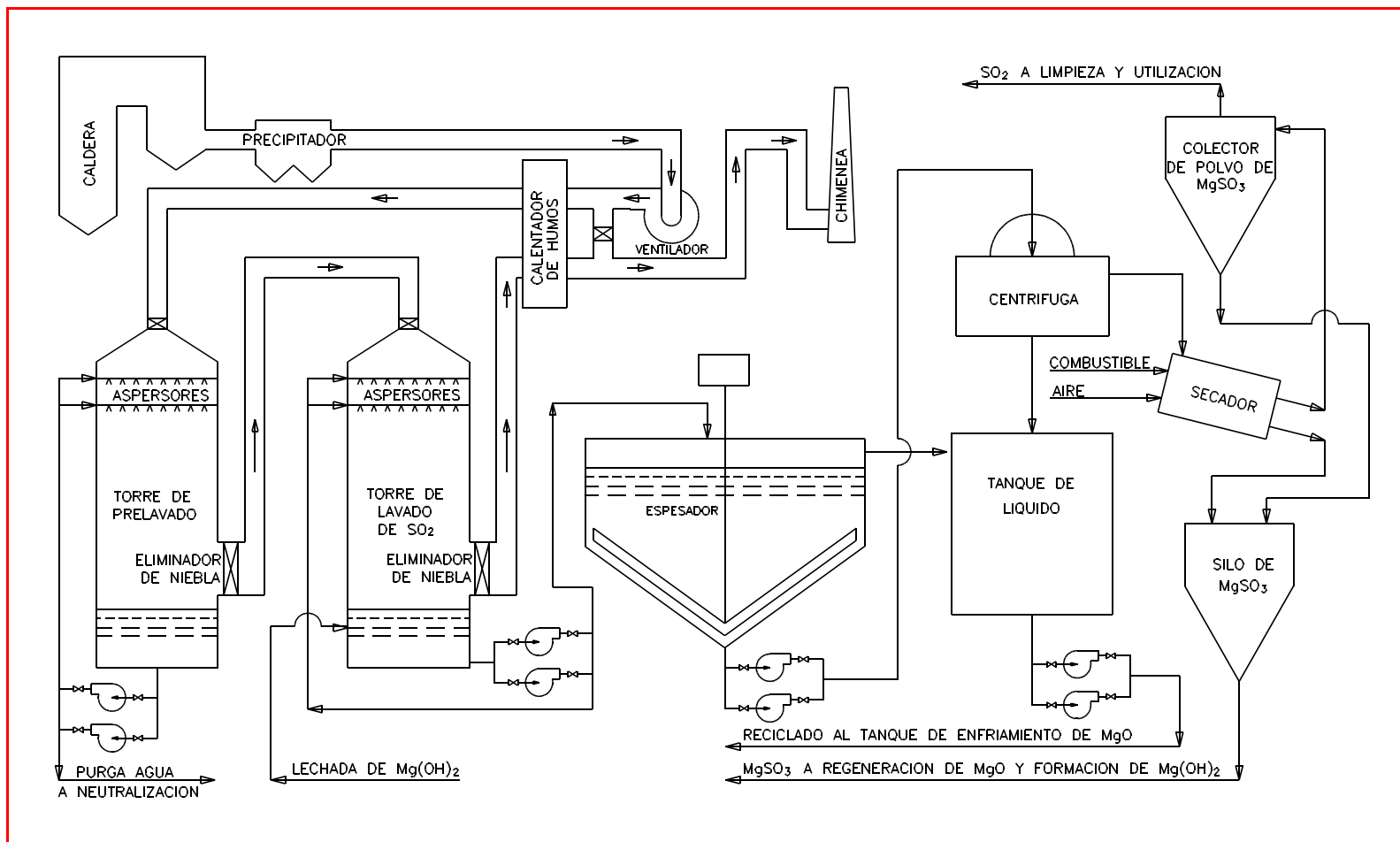


Figura 7. Esquema de un sistema de desulfuración de humos con óxido de magnesio

