

2. MEMORIA DESCRIPTIVA.

2.1. ALTERNATIVAS DE PROCESO Y SELECCIÓN.

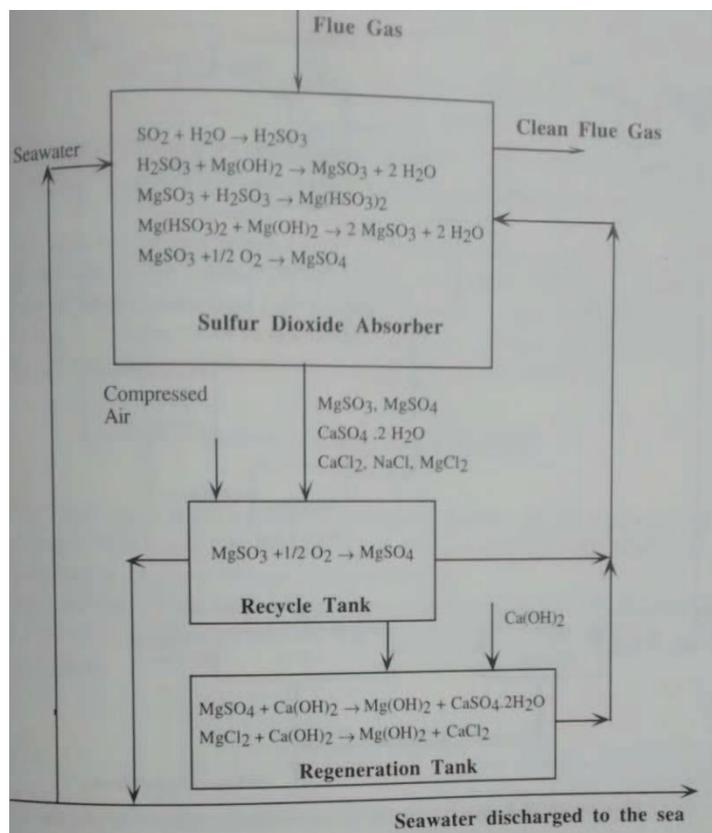
Dentro de la SWFGD existen distintas alternativas de proceso, las cuales se detallarán a continuación y se procederá a seleccionar las más oportunas.

2.1.1. TECNOLOGÍA.

- a) **Fläkt-Hydro:** esta tecnología confía en la **alcalinidad natural del agua** para favorecer la absorción de SO_2 . Este método es el que cuenta con mayor implantación debido a su simplicidad, ya que no emplea ningún reactivo químico ni genera residuos, siendo **apropiado para combustibles con contenidos en azufre menor del 1,5 %** en peso ya que si no, implicaría emplear ratios L/G (líquido-gas) mayores, lo cual aumentaría los costes operativos de forma notoria.
- b) **Bechtel:** Este proceso obvia algunos de los inconvenientes del proceso convencional, detallado anteriormente. En este caso menos del 2% del agua procedente de condensadores fluye hacia el *scrubber*, el resto es empleada para disolver el *yeso* formado en el sistema de absorción para posteriormente descargarla al mar con un pequeño incremento de concentración de *yeso*.

Capítulo 2: Memoria descriptiva.

La mayor parte del *álcali* empleado para favorecer la absorción del SO_2 es **añadido al sistema como cal** o una mezcla de *caliza* y la anterior. El *magnesio* soluble en el agua de mar ($MgCl_2$ y $MgSO_4$) reacciona con el *álcali* produciendo *hidróxido de magnesio*, el cual absorbe el SO_2 de los gases de combustión al ponerse en contacto esta mezcla de agua de mar y cal en una torre de absorción. El efluente del absorbedor se lleva a un tanque de reciclaje donde se promueve la oxidación. Una parte de éste se recircula tras ser regenerado haciendo uso de *cal* y la otra es la que se vierte al mar con el resto de agua de condensadores.



Esta tecnología presenta ventajas frente al proceso convencional con caliza (*lime-limestone FGD*) ya que el Hidróxido de magnesio y el sulfito de magnesio reaccionan rápidamente con el SO_2 absorbido reduciendo los ratios de recirculación de la lechada hasta cerca de un 25% frente a lo que sería necesario siguiendo un proceso convencional con lechada de cal. Además el potencial de incrustación se reduce ya que se elimina el hidróxido cálcico del circuito principal del absorbedor. Por contrapartida no se obtiene ningún subproducto que nos pueda hacer mitigar los costes del consumo de cal.

Debido al empleo de reactivos químicos, este proceso es más complejo y más costoso que el proceso *Fläkt-Hydro*, siendo **útil para carbones con un alto contenido en azufre**, siendo una competencia para la tecnología convencional que emplea lechadas de cal.

Dado que se emplea carbón de importación con bajo contenido en azufre, **se selecciona el proceso *Fläkt-Hydro*.**

2.1.2. SCRUBBER.

Los tres tipos de absorbedores mayormente empleados con este propósito son:

a) Torre de relleno:

Las torres de relleno proporcionan un **buen área interfacial** para la transferencia de materia y promueven un contacto vigoroso entre la fase gas y la fase líquida proporcionando **buenos coeficientes de transferencia** de materia **en ambas fases**, siendo apropiadas incluso para absorber gases poco solubles. Por contrapartida tienen un potencial de atascamiento elevado, lo cual limita su uso en aplicaciones que generen problemas de incrustación como la absorción con lechada de cal. Además estas se encuentran limitadas en su diámetro teniéndose que recurrir a varias columnas en ocasiones en las que el caudal de gases sea muy elevado, para no recargar de forma excesiva las paredes del absorbedor.

Estas generan una **pérdida de carga moderada** en función del tipo de relleno que se emplee y del ratio líquido-gas para una sección dada.

b) Torres Spray:

Estos equipos pertenecen, al igual que las torres de relleno, a los equipos de contacto continuo. En este caso el área interfacial se genera pulverizando el líquido mediante unas boquillas, produciendo gotas de un

tamaño adecuado (compromiso entre mayor área interfacial o menor pérdida de carga en las boquillas), las cuales caen desde lo alto de la torre hasta el fondo por la acción de la gravedad.

Dichas torres no se encuentran limitadas en su diámetro, ya que su interior está prácticamente vacío, pudiendo llegar a tratar mediante un solo absorbedor la totalidad del caudal de gases de una central térmica. Este equipo es el empleado de forma mayoritaria en los procesos de desulfuración que emplean lechadas de cal, ya que no presenta problemas de atascamientos.

Por contrapartida no son muy recomendables para gases poco solubles, ya que el **coeficiente de transferencia de materia de la fase líquida suele ser bajo** debido a la poca circulación del líquido. Una forma de mitigarlo es hacer que el componente transferido reaccione con la fase líquida.

Estos equipos suelen generar una **pérdida de carga moderada**, habitualmente menor que las torres de relleno.

c) Torres de platos:

Estas pertenecen a los equipos de contacto diferencial, puesto que el gas y el líquido se ponen en contacto de forma discontinua en sucesivas etapas. Estas generan unos **buenos coeficientes de transferencia en la fase líquida**, ya que en el seno del líquido se produce una gran agitación debido al paso de las burbujas de gas, sin embargo los de la fase gas son bastante más modestos debido a la poca circulación dentro de las burbujas, siendo útiles para absorber gases poco solubles y cuando existen sólidos que pueden pudiesen producir atascos.

Por otro lado se encuentran muy limitadas en cuanto a su diámetro por el gran peso que debe soportar la torre debido al líquido retenido en los platos. Además generan una **pérdida de carga muy** elevada al tener que forzar al gas a vencer las columnas de líquido.

Atendiendo a los motivos anteriores las torres de relleno junto a las de spray son las más atractivas para el propósito de absorción con agua de mar, ya que **no existe potencial de atascamiento en la SWFGD** debido a que no se evapora agua, sino que condensa, y al incremento de solubilidad que provocan los

cloruros, lo cual hace improbable que precipiten sales poco solubles como el sulfato de calcio.

Finalmente, gracias al desarrollo de rellenos estructurados de gran capacidad y eficacia de absorción, el **empleo de torres de relleno** se hace **más atractivo**, pues a pesar de sus mayores costes de inversión (adquisición de relleno y empleo de varias torres si el caudal de gases es elevado), los costes operativos son mucho menores ya que para que las torres spray consigan rendimientos próximos a los de las torres de relleno hay que emplear ratios liquido-gas mucho mayores (12,5 vs. 6,5 L/Nm³), lo cual va unido a que las boquillas de pulverización suelen provocar una pérdida de carga de unos 8 m.c.a. o más. Además las pérdidas de carga que provocan en la fase gas, aunque ligeramente superiores las de las torres de relleno, son muy próximas a las de las torres spray debido al menor ratio de líquido con el que operan y al uso de rellenos estructurados.

Las torres de platos se han descartado para este propósito puesto que, debido al gran caudal de gases que hay que tratar, tener una elevada pérdida de carga en la fase gas implica tener unos costes operativos muy elevados, además al existir reacción química nos interesa promover más la turbulencia en la fase gas que en la líquida, ya que la resistencia limitante podría ser la fase gas.

2.1.3. Recalentamiento Vs. No recalentamiento.

Debido a que los gases de combustión son puestos en contacto con el agua de mar, estos salen saturados de humedad y a una temperatura próxima a la del agua de mar (25-35°C). Debido a la baja temperatura que alcanzan, estos pierden humedad en el *scrubber*.

Tradicionalmente se ha tendido a recalentar estos gases de combustión para favorecer su dispersión en la atmósfera, aumentar el tiro de la chimenea, evitar la formación de una pluma visible y sobre todo por la falta de experiencia en el diseño de conductos y chimeneas húmedas, donde se producen condensaciones que se pueden traducir en corrosión si no se seleccionan apropiadamente los materiales y en descargas de líquido por la chimenea, lo cual puede suponer un problema para las estructuras y edificios colindantes porque estos condensados pueden contener una cierta cantidad de sulfúrico.

Con este propósito actualmente se suelen emplear **intercambiadores regenerativos**, los cuales pueden ser: de tipo rotativo, como los Ljungström o los Rothemühle, o los que emplean un fluido calorífico que es bombeado entre el intercambiador del lado frío y el lado caliente. Este último evita las infiltraciones de gas sucio al lado limpio a cambio de ofrecer generalmente una mayor pérdida de carga.

Capítulo 2: Memoria descriptiva.

Los principales inconvenientes del recalentamiento de los gases de combustión son: la corrosión que experimentan estos intercambiadores debido a las condensaciones de sulfúrico, ya que enfriamos los gases por debajo del punto de rocío ácido; al recalentar los gases alejamos el gas de la saturación pero no conseguimos superar la temperatura de rocío ácido con lo cual el sulfúrico diluido se concentra aumentando su corrosividad, pudiendo conducir a indisponibilidades de los equipos; por último y no menos importante, en estos equipos se producen infiltraciones de gas sucio en el limpio que si no controlamos pueden arruinar nuestro proceso de depuración, tomando precauciones oportunas estas infiltraciones suelen rondar entre el 3 y el 5% del caudal de gases (menores si presurizamos el lado de gas limpio), hecho que se agrava si la corrosión hace mella en estos equipos.

Para evitar estos inconvenientes actualmente hay una mayor tendencia a instalar **chimeneas húmedas** en las centrales que emplean sistemas de desulfuración por vía húmeda. Si el sistema se diseña correctamente su mantenimiento es muy reducido y su fiabilidad muy alta, no tendiéndose que recurrir a equipos complejos y costosos que requieren de mayor mantenimiento por contar con piezas móviles y estar sometidos a condiciones más severas. Debido a que los gases abandonan el *scrubber* a baja temperatura el tiro de la chimenea será muy reducido, teniéndose que recurrir a un tiro forzado. Las pérdidas de carga que genera

vencer la fricción de la chimenea y la expulsión de los gases suelen estar en sintonía con las que introducen los intercambiadores regenerativos rotativos (*Ljungström, Rothemühle*), no implicando un mayor consumo energético el empleo de una chimenea húmeda. Además debido a la baja temperatura de los gases de combustión limpios su contenido en humedad será bastante reducido con lo que no se producirá una pluma muy visible como pueda suceder en los sistemas que emplean lechada de caliza como absorbente.

Dado lo restrictivo de la legislación vigente en cuanto al límite de emisión de SO_2 , **nos hemos decantado por un sistema de chimenea húmeda**, ya que no existe posibilidad de infiltraciones de gas sucio al limpio. Además la fiabilidad del proceso es mayor, ya que no dependemos de un equipo como el intercambiador regenerativo para el correcto funcionamiento del sistema de desulfuración.

2.2. DESCRIPCIÓN OPERATIVA DE LA PLANTA.

La planta está constituida por dos líneas de tratamiento, siendo capaces de depurar cada una de ellas la mitad de los gases de combustión.

Ambas constan de dos ventiladores de tiro inducido (*ID fans*) en paralelo cada una, capaces de vencer la pérdida de carga

Capítulo 2: Memoria descriptiva.

completa de la planta incluida la unidad de desulfuración, con lo cual no será necesaria la instalación de ventiladores de tiro forzado adicionales. Esto suele ser así siempre que la central y la unidad de tratamiento se diseñen de forma conjunta.

Los gases de combustión conducidos a una de las líneas de tratamiento tras pasar por el precipitador electrostático, son impulsados través de los dos ventiladores centrífugos en paralelo que suministran al gas la sobrepresión necesaria para que éste venza todas las pérdidas de carga hasta su salida por chimenea.

El gas que abandona los ventiladores es introducido en un conducto común siendo posteriormente pre-enfriado mediante un *Quench*, el cual rocía los gases con agua de mar con el fin de disminuir su temperatura antes de ser introducidos en el *scrubber*, para así proteger el relleno plástico y el recubrimiento de la torre.

A continuación, los gases se ponen en contacto íntimo con el agua de mar, en contracorriente, mediante una torre de relleno estructurado de alta eficacia. En dicha etapa es donde se produce la absorción con reacción química del SO_2 de los gases de combustión. Los gases limpios abandonan el absorbedor por la parte superior prácticamente a la misma temperatura que el agua de mar de entrada a la torre, debido al gran caudal de agua empleado para la operación. Finalmente, éstos son descargados a la atmósfera por medio de una chimenea “húmeda”.

Capítulo 2: Memoria descriptiva.

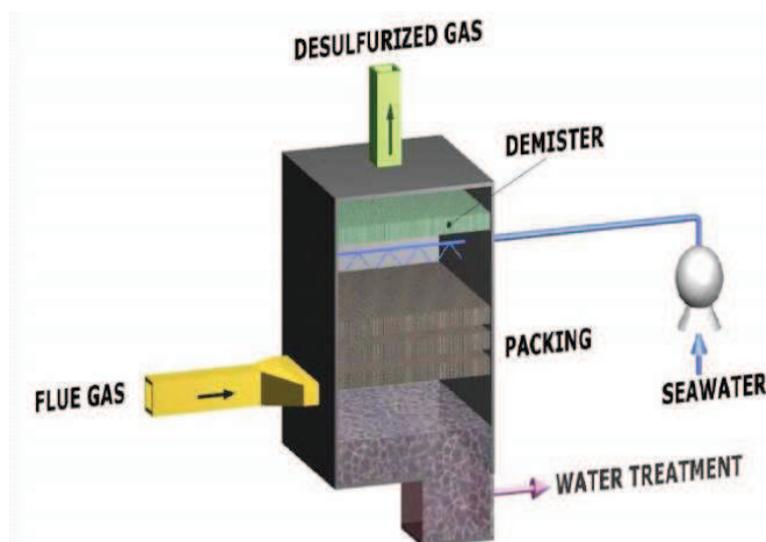
La planta tiene capacidad de ser By-paseada al 100% en caso que fuera necesario, ya sea por labores de mantenimiento o por algún fallo en los equipos.

El proceso **Fläkt-Hydro**, el cual ha sido adoptado para nuestra SWFGD, emplea el agua circulante procedente de los condensadores de la central. Dicha agua fluye hasta la balsa de distribución de la planta de tratamiento de agua de mar (SWTP) donde se encuentran localizadas las bombas que suministran agua a los absorbedores, por la parte superior, a través de una tubería común. El agua excedente de dicha balsa se descarga a la balsa de oxidación donde se mezcla con el agua acidificada procedente del fondo de la torre, la cual es descargada por gravedad a través de otra tubería común. En el fondo de ésta existen unos difusores que suministran aire al agua mediante unos compresores, permitiendo la oxidación del S_{IV} a S_{VI} . Finalmente el efluente de esta última se lleva a la balsa de neutralización donde se mezcla con la restante agua de condensadores para elevar lo máximo posible su pH antes de su descarga al mar a través de un canal.

2.3. EQUIPOS PRINCIPALES.

2.3.1. TORRE DE ABSORCION.

Los *scrubbers* o lavadores pueden fabricarse en: cemento con una impregnación de alguna resina orgánica tipo epoxi; en acero al carbono recubierto de alguna resina (epoxi, poliéster, vinil éster), elastómero (Neopreno) o plástico (Polipropileno); o en aleaciones especiales altamente resistentes a la corrosión por agua de mar.



El agua de mar entra por la parte superior de la torre, mediante el empleo de un distribuidor de líquido, mientras que los gases de combustión entran por la parte inferior de esta. Ambos se ponen en íntimo contacto mediante un relleno estructurado donde tiene lugar la absorción del SO_2 . Seleccionando una altura de relleno y un ratio líquido-gas apropiado se pueden alcanzar en esta etapa rendimientos de depuración superiores al 95%.

Los gases de combustión en su camino ascendente por el *scrubber* se van enfriando. Debido al elevado ratio L/G los gases abandonan la torre prácticamente en equilibrio térmico con el agua de entrada liberando en su recorrido parte de su entalpía y vapor de agua. Los gases que salen de la torre se encuentran saturados de humedad pero su contenido en vapor de agua puede ser notablemente inferior al de los gases de entrada, dada su baja temperatura.

Antes de abandonar la torre, ya sea en su parte superior o en el conducto de salida de la torre, es necesaria la instalación de un eliminador de nieblas.

El efluente líquido es recogido por el fondo de la torre mediante una tubería soterrada, realizándose la descarga de forma lateral por gravedad. La tubería tendrá el diámetro apropiado para garantizar un sello hidráulico en el fondo de la torre.

2.3.1.1. RELLENO.

El relleno empleado en la torre, es un relleno estructurado ***MellapakPlus 252Y*** en polipropileno.



La elección de este tipo de relleno está justificada por:

- El elevado número de unidades de transferencia por metro (*NTU*), o lo que es lo mismo, una baja altura de la unidad de transferencia (*HTU*), lo cual redundará en que podemos conseguir los rendimientos de desulfuración deseados con una baja altura de empaque.
- La baja pérdida de carga por metro de relleno, lo cual se traduce en un menor consumo energético al tener que suministrar menos energía al gas para que atraviese el relleno.
- Su resistencia al medio, ya que no se ve afectado por la corrosión, ni por el bajo *pH* del efluente. La única precaución que debemos tomar es debido a la temperatura, la cual no debe superar los 110°C .
- Ofrece la misma eficacia que *Mellapak 250Y* y la misma capacidad que *Mellapak 250X*. Con lo cual mantendremos la misma *HTU* que con *Mellapak 250Y* pero pudiendo emplear torres de menor diámetro.

2.3.1.2. DISTRIBUIDORES DE LÍQUIDO.

La elección del distribuidor de líquido apropiado es un aspecto no menos importante que el cálculo de la altura de relleno de una torre de absorción. La eficacia de éste depende de su capacidad para regar de forma uniforme el empaque.

Para el tamaño habitual de los *scrubbers* empleados en la *SWFGD* se suelen emplear distribuidores formados por una serie de canales en paralelo y un canal principal colocado en parte superior. Están diseñados de forma que la pérdida de carga que provocan en el gas es bastante reducida, en torno a *0,25 in.w.c.* La otra variante que se suele emplear es un distribuidor formado por una serie de tuberías perforadas, pero su reparto suele ser más pobre.

Para la elección del distribuidor habrá que recurrir a los catálogos del fabricante del relleno y en función de la carga de líquido específica (l/m^2h), escoger el recomendado para no perder eficacia en el relleno.



2.3.1.3. ELIMINADORES DE NIEBLAS.

Los eliminadores de niebla (*MES*) se emplean en los *scrubber* para evitar el arrastre de pequeñas gotas de líquido tras poner los gases en contacto con el absorbente.

Estas gotas pueden suponer un grave problema ya que aumentan la corrosión en el conducto de gases de salida y en el caso de emplearse recalentamiento, implicaría una mayor necesidad de aporte de energía para poder elevar la temperatura de los gases.

En el supuesto de emplearse intercambiadores regenerativos, se debe garantizar una eficiente recolección de gotas para minimizar la corrosión en dicho intercambiador.

En nuestro caso, al haber elegido una chimenea húmeda, es necesario garantizar una buena eficacia de eliminación de gotas para minimizar el aporte de agua a los sistemas de drenaje de la chimenea, y para evitar que las gotas más pequeñas puedan escapar por ésta al no haberse depositado sobre los conductos de escape, aumentando la opacidad del penacho u ocasionando el fenómeno conocido como *rainout*.

Los *MES* que se suelen emplear en la *FGD* son dispositivos de impacto. Su principio operativo se basa en

obligar al gas a cambiar de dirección; las gotas de un determinado tamaño debido a su inercia no serán capaces de modificar su trayectoria impactando sobre la superficie del eliminador de nieblas.

Dentro de esta categoría los máximos exponentes son los de álabes (*Vane*) o los de rejilla (*Mesh*).

Los de tipo ***Vane*** son ampliamente utilizados en sistemas de desulfuración con caliza por su menor tendencia a producir atascos y facilidad de limpieza, lo cual es importante teniendo en cuenta el potencial de atascamiento que generan estos sistemas. En flujo vertical de gases, estos suelen trabajar bien a velocidades comprendidas entre el rango de los *8-12 ft/s* (*2.5-4 m/s*) obteniendo rendimientos muy próximos al *100%* para gotas mayores de *40 μm*. A velocidades de operación más bajas estos pierden rendimiento y a velocidades más altas comienzan a experimentar problemas de arrastre de gotas ya que líquido no es capaz de drenar.

Los tipo ***Mesh*** en configuración horizontal (flujo de gas vertical) suelen operar en el rango de velocidades de entre los *3-10 ft/s*. Estos presentan unos rendimientos cercanos al *100%* para gotas de *10 μm* o superiores. La desventaja de estos dispositivos son: su potencial de atascamiento, lo cual limita su uso a aplicaciones que no presenten estos problemas; y su

menor capacidad lo cual no lo hace aptos para trabajar con cargas de líquido muy elevadas.



Vane MES



Mesh MES

En una torre de relleno el rango de tamaños de las nieblas generadas suelen estar comprendidos entre las 5 y las 800 μm . Esto aunado a que la velocidad de operación en absorbedores para este tipo de aplicaciones suelen rondar los 1,5 m/s y no se presentan problemas de atascamiento, ya que el absorbente es agua de mar y no se evapora a lo largo de la torre, hace aconsejable el uso de MES tipo Mesh de plástico.

Como garantía de que eliminador de nieblas no va a recibir un carga excesiva de líquido se podría implementar una primera etapa que elimine las gotas más gruesas, mientras que en la segunda aprovechamos el mayor rendimiento de los eliminadores tipo Mesh. Una opción es instalar un eliminador tipo Vane seguido de otro Mesh.

La configuración vertical (flujo de gas horizontal) no ha sido contemplada por la mayor complejidad de instalación de estos *MES* puesto que en conductos grandes, cada 8 ó 10 ft hay que instalar canales de drenaje ya que si no, la parte inferior del *MES* podría inundarse. En contrapartida, con esta configuración pueden trabajar a mayor velocidad sin producir arrastres de líquidos y aumentando la eficacia de recolección de gotas.

2.3.2. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE MAR.

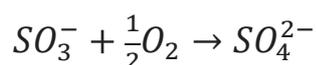
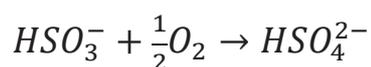
El efluente líquido de la torre es conducido a una planta de tratamiento de agua de mar (*SWTP*) dado su bajo *pH*, bajo *OD* (oxígeno disuelto) y su demanda química de oxígeno (*DQO*), debida a la presencia de sulfitos y bisulfitos (SO_3^{2-} , HSO_3^-) los cuales tienden a oxidarse dando lugar a sulfatos y bisulfatos (SO_4^{2-} , HSO_4^-).

La mayor parte del SO_2 absorbido se encontrará en forma de S_{IV} , ya que la presencia de oxígeno en los gases de combustión es muy baja, no habiendo oxígeno suficiente para oxidarlo completamente a S_{VI} . Una parte sí se oxidará obteniendo como resultado un efluente con muy bajo nivel de *OD*.

El bajo *pH* del efluente se debe a que al absorber SO_2 se liberan H^+ que son neutralizados por la acción de los bicarbonatos, pero al ir reduciéndose la alcalinidad del agua conforme es absorbido el SO_2 , se va reduciendo el *pH*. Además, otros gases

como el CO_2 , resultantes de la combustión contribuirán a la disminución del pH pero de forma menos significativa, ya que este se absorbe más lentamente.

Las reacciones que tienen lugar son las siguientes:

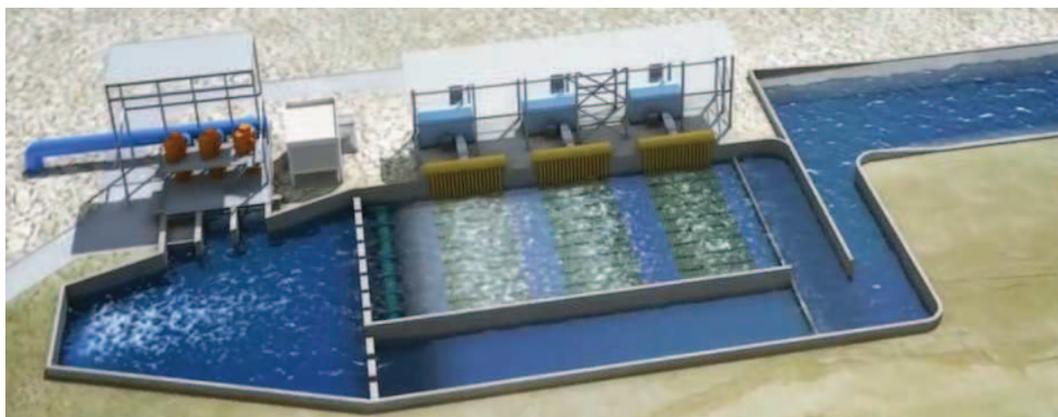


Teniendo en cuenta este hecho, la descarga de la torre se realiza por gravedad aprovechando la diferencia de cotas existente entre la lámina de agua del fondo de la torre y la balsa de oxidación. Esto es así para evitar el uso de equipos de impulsión dadas las condiciones corrosivas del medio pues el pH estará comprendido típicamente entre los valores de 3 y 4.

La planta de tratamiento se encuentra compartimentada en tres balsas independientes, por medio de dos tabiques de distinta altura, comportándose éstos como rebosaderos de forma que el

Capítulo 2: Memoria descriptiva.

agua sea descargada de un compartimento al contiguo aprovechando la diferencia de cotas entre las láminas de líquido.



El agua procedente de los condensadores llega en primera instancia al compartimento o **balsa de distribución**, en el cual se capta el agua mediante bombas para conducirla a los absorbedores y al *Quench*. La misión de esta balsa es repartir el agua restante entre la balsa de oxidación y el canal de neutralización, enviando este último el agua directamente a la **balsa de neutralización**. Este reparto de aguas se realiza para tratar de ajustar el pH de la balsa de oxidación lo más próximo al valor de 6, ya que la cinética a ese *pH* resulta más favorable según diversos estudios llevados a cabo por el *Departamento de ingeniería química y ambiental de la ESI*.

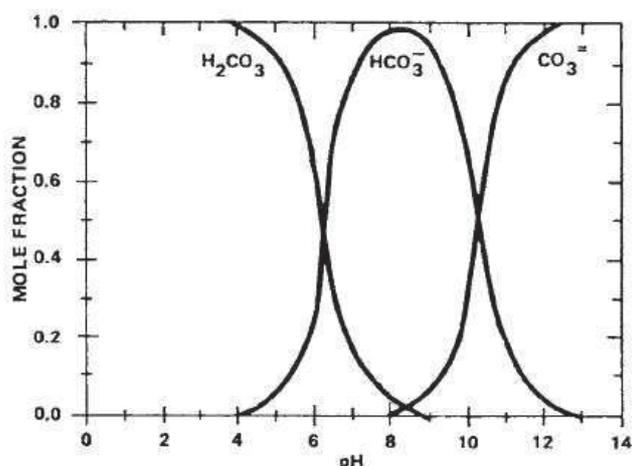
Parte del agua que rebosa de la balsa de distribución fluye a la **balsa de oxidación**, ya que su lámina de líquido se encuentra a una cota inferior. Debido a que el tabique que separa la balsa de

Capítulo 2: Memoria descriptiva.

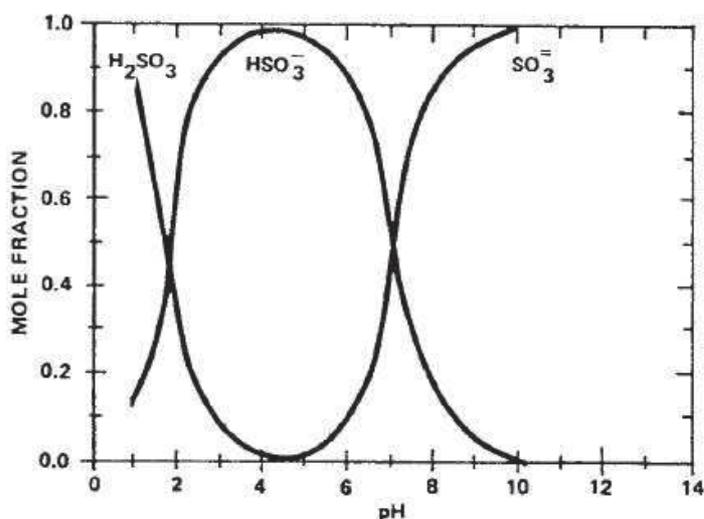
neutralización y la de oxidación tiene menor altura se descarga líquido a la balsa contigua, manteniendo en la de oxidación un nivel inferior a la de distribución.

En esta balsa se proporciona al agua el tiempo de residencia necesario para que se combine con el oxígeno suministrado por unas soplantes, a través de unos difusores.

Además la aireación tendrá un efecto en el pH ya que se desorberá parte del CO_2 existente, haciendo aumentar ligeramente el pH en función de lo vigorosa que sea la aireación.



Debido al pH reinante en la balsa, el peligro de que se desorba SO_2 es muy reducido, pues incluso al pH del efluente de la torre, su concentración en equilibrio con las demás especies de S_{IV} será muy baja.



Los **difusores** pueden ser de *burbuja fina* o de *burbuja gruesa*. Los difusores de **burbuja gruesa** suelen ser más económicos, tienen menor pérdida de carga y presentan menos problemas de atascamiento; en contrapartida su eficiencia suministrando oxígeno no es muy elevada, lo cual implica insuflar grandes caudales de aire para poder garantizar una adecuada transferencia de aire al agua. Por otro lado, los difusores de **burbuja fina** suelen ser más caros y presentan más problemas de atascamiento en aguas sucias (como las aguas residuales), en cambio son mucho más eficientes transfiriendo oxígeno al agua lo cual, a pesar de su mayor pérdida de carga, redundará en menores costes operativos habiendo una gran tendencia en su instalación incluso en plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas.

Por este último motivo y por tratarse de aguas que no presentan problemas de atascamiento para los difusores, **seleccionaremos los de burbuja fina** para nuestra instalación.



A continuación, el agua, tras haber sido aireada habiendo reaccionado la mayor parte del S_{IV} convirtiéndose en S_{VI} , se descarga a la **balsa de neutralización** por el mismo principio que el anteriormente indicado, mezclándose con el excedente del agua de condensadores. El objetivo de esta etapa es aumentar al máximo el pH del efluente antes de su descarga al mar mediante un canal, aprovechando la alcalinidad del influente procedente de la balsa de distribución anteriormente citado.

Con este tratamiento conseguimos restablecer unos niveles de: DO , DQO y pH aceptables para su descarga al mar sin generar un impacto significativo.

Un agua típica de mar presenta el siguiente análisis químico:

Item	Unit	Data
pH		7.5-8.5
HCO_3^-	ppm	140
$CaCO_3$ alkalinity	mg/l	100-110
Cl ⁻	ppm	-20000
Na ⁺	ppm	-11000
Mg^{2+}	ppm	-1300
Ca^{2+}	ppm	-410
SO_4^{2-}	ppm	-4000

A la salida de la planta de tratamiento de agua de mar tendremos: una *alcalinidad* típica de unos *40 mg/l*, un *pH* mayor de *6,5*, una *DQO* de menos de *2 mg/l*, un *OD* mayor de *5 mg/l*, un incremento en la concentración de *sulfatos* de menos de un *5 %* y un incremento de *temperatura* en el agua de *1°C*.

2.4. EQUIPOS AUXILIARES.

2.4.1. QUENCH.

Los gases de escape tras el ventilador suelen ir a una temperatura de entre *140* y *145 °C*. Dichos gases antes de entrar a la torre deben ser enfriados a una temperatura inferior a los *100°C* para proteger así el material plástico del que está hecho el relleno y el revestimiento anticorrosivo de la torre.

Para ello empleamos un *Quench*, que no es más que un conducto a la entrada de la torre en el que **se rocía al gas con agua de mar con el propósito de enfriarlo**, aprovechando el calor latente del agua. Este conducto tendrá las dimensiones apropiadas para garantizar un volumen de contacto adecuado entre el gas y el agua que permita su evaporación y así el enfriamiento de éste.

El agua se rocía haciendo uso de unas boquillas atomizadoras con el fin de generar gotas de un tamaño adecuado, para generar suficiente superficie específica sin provocar una pérdida de carga excesiva.

Para vencer las pérdidas de carga de las boquillas y de los conductos se emplean unas bombas que transportan el agua de mar desde la balsa de distribución hasta el *Quech*. Para prevenir que se pudiera dañar la torre de absorción en caso de fallo de las bombas, se contará con un depósito pulmón que suministre el caudal de agua necesario durante unos minutos, permitiéndonos así efectuar la maniobra de cierre del *dámper* de entrada y salida de la torre y la apertura del *by-pass* de emergencia.

La selección de materiales en el *Quench* es muy importante debido a las condiciones corrosivas imperantes, ya que trabajamos con gas húmedo pudiendo haber concentraciones de sulfúrico en este equipo, además puede que cierta parte del agua de mar no se evapore. Normalmente estos equipos se fabrican: en aleaciones especiales, con recubrimientos plásticos que resistan temperaturas sensiblemente superiores a las del absorbedor o con algún elastómero como el Neopreno.

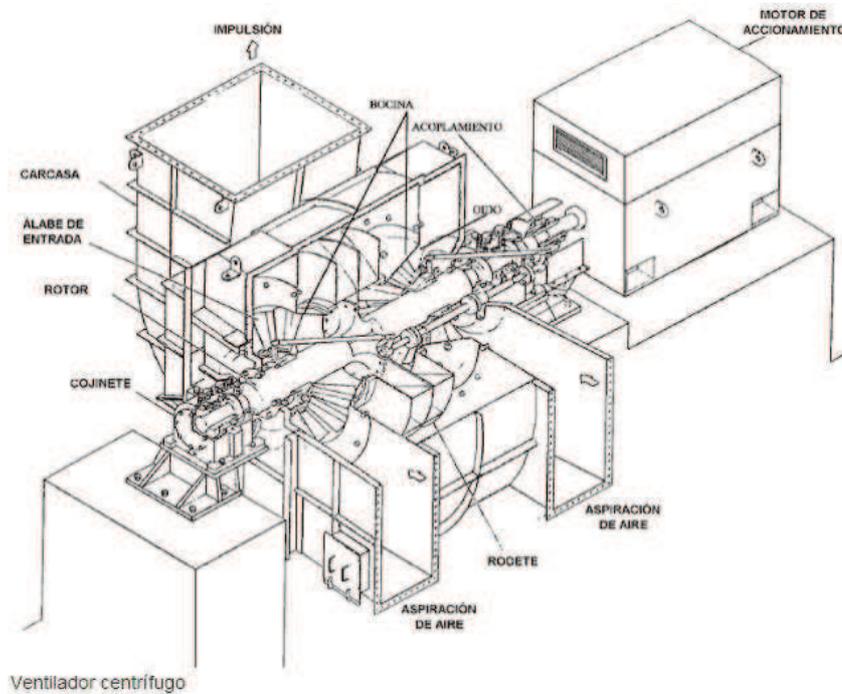
2.4.2. VENTILADORES DE TIRO INDUCIDO.

El ventilador de tiro inducido de la planta será el encargado de vencer todas las pérdidas de carga desde que el gas abandona la caldera hasta que sale por chimenea.

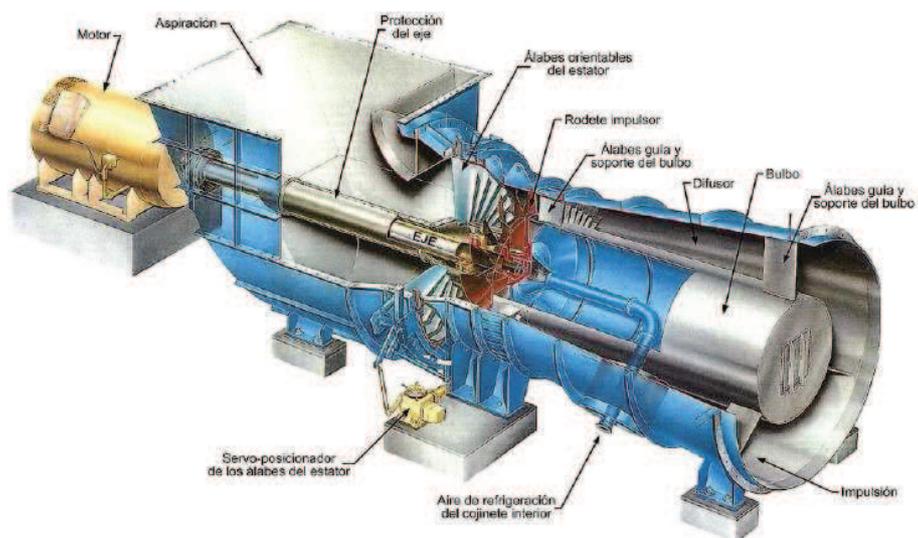
Estos podrán ser **axiales** o **centrífugos**, siendo más adecuados estos últimos para trabajar con gases que contengan partículas. Los axiales se suelen emplear cuando hay que vehicular

Capítulo 2: Memoria descriptiva.

grandes caudales de gases con sobrepresiones pequeñas, siendo su rendimiento ligeramente inferior al de los centrífugos.



Ventilador Centrífugo



Ventilador Axial

Capítulo 2: Memoria descriptiva.

Para poder adecuarse a las distintas cargas de la central, será necesario instalar dispositivos de regulación de caudal, empleando *inlet-vanes*, *inlet-dampers* o *variadores de frecuencia* con este propósito.

La posición de los ventiladores respecto a la unidad de desulfuración es un factor a tener en cuenta, existiendo dos alternativas.

Si colocamos el **ventilador** tras la unidad de tratamiento de partículas de la central este operará en **condiciones secas**, con lo cual los materiales a emplear podrán ser acero al carbono u otro tipo de aleaciones no teniendo que ser necesariamente resistentes a la corrosión, pues los gases se encontrarán por encima del punto de rocío ácido, el cual suele oscilar sobre los 130°C para un carbón con bajo contenido en azufre ($0,65\% \text{ p/p}$). Además cualquier fuga de gas a través de los conductos será fácilmente detectable. En contrapartida el consumo energético será mayor, pues la densidad del gas es inversamente proporcional a la temperatura, con lo cual el volumen de gas que habrá que vehicular será mayor.

Por otro lado si colocamos el ventilador tras la torre, al ser la temperatura del gas menor el volumen del gas que tendrá que impulsar el ventilador será menor y por tanto su consumo energético también lo será. Sin embargo instalar el ventilador en estas condiciones tiene unas contrapartidas no mucho menos despreciables, ya que el **ventilador** trabajará en **condiciones**

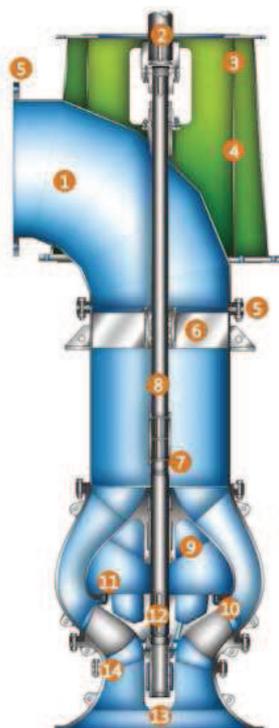
húmedas, puesto que trabajará con gas saturado y con un aporte de gotas procedentes de la torre y que el eliminador de nieblas no haya conseguido recolectar; lo cual puede generar una pequeña abrasión, teniendo que emplear aleaciones fuertemente resistentes a la corrosión, ya que además pueden haber condensaciones del sulfúrico que no haya sido retenido en la torre. Así mismo debido al incremento de temperatura que proporciona el ventilador al gas, como consecuencia de la compresión adiabática de éste, supone una ventaja y un inconveniente a la vez; ya que aleja al gas levemente de la saturación evitando condensaciones en chimenea, pero supone que las pequeñas gotas que escapan del *MES* se evaporen depositando sales en el ventilador, que unido a los posibles efectos de la corrosión pueden originar a la larga desequilibrios en los álabes provocando que haya que equilibrar el ventilador cada cierto tiempo y producir indisponibilidades en la central. Más aun, las infiltraciones en este tipo de instalaciones que operan en depresión es difícil detectarlas produciendo un aumento de consumo energético. También al operarse en depresión se verá ligeramente afectada la absorción del SO_2 ya que se ve favorecida por las altas presiones.

Debido a estos inconvenientes, la mayor parte de las aplicaciones existentes de *SWFGD* se han decantado por el **uso de ventiladores en condiciones secas**, a pesar de lo atractivo del ahorro en el consumo energético.

2.4.3. BOMBAS DE LOS ABSORBEDORES.

Dados los grandes caudales a impulsar, la altura necesaria que hay que suministrar al agua de mar para hacerla llegar a los distribuidores de los absorbedores y la ubicación de estas en la planta de tratamiento de agua de mar, desde donde se obtiene el agua necesaria para la absorción del SO_2 , hace conveniente el empleo de **bombas verticales**.

Estas bombas consisten en un conducto vertical, el cual se encuentra sumergido en la balsa. Dentro de éste es dónde se encuentran ubicados los rodetes. El motor se encuentra situado en el codo que forma el conducto vertical de entrada y el horizontal de salida, ya que estas bombas no son sumergibles.



Dichas bombas deben estar construidas en **aleaciones resistentes al agua de mar**, pues los cloruros presentes en ésta generan problemas de corrosión importantes incluso en aceros inoxidable convencionales. Por ello debemos atender a las recomendaciones del fabricante y seleccionar series cuya aplicación principal sea el manejo de agua de mar.

En principio el motor necesario para estas bombas, puede ser un motor síncrono, que gire a un número de vueltas fijo, ya que las torres funcionaran normalmente con un caudal de agua de mar fijo. Cuando la central esté a media carga se podrá desconectar la bomba de uno de los absorbedores y usar un sólo tren de tratamiento.

Si instalásemos un variador de frecuencia tendríamos margen de regulación del caudal de agua y en caso de no haber estimado correctamente las pérdidas de carga jugando con las revoluciones del rodete podríamos suministrar el mismo caudal a una mayor o menor altura siempre que el motor tenga una cierta reserva de potencia.

2.4.4. SOPLANTES.

El oxígeno necesario para la oxidación del S_{IV} a S_{VI} es suministrado mediante unas soplantes, capaces de proporcionar al aire la sobrepresión necesaria para vencer las pérdidas de carga de los difusores y de las tuberías que reparten el aire al entramado de

difusores; además de la columna de agua fruto de la sumergencia de estos.

Con este propósito podemos emplear una serie de turbocompresores centrífugos comúnmente usados en las EDAR.



2.4.5. CHIMENEA HÚMEDA.

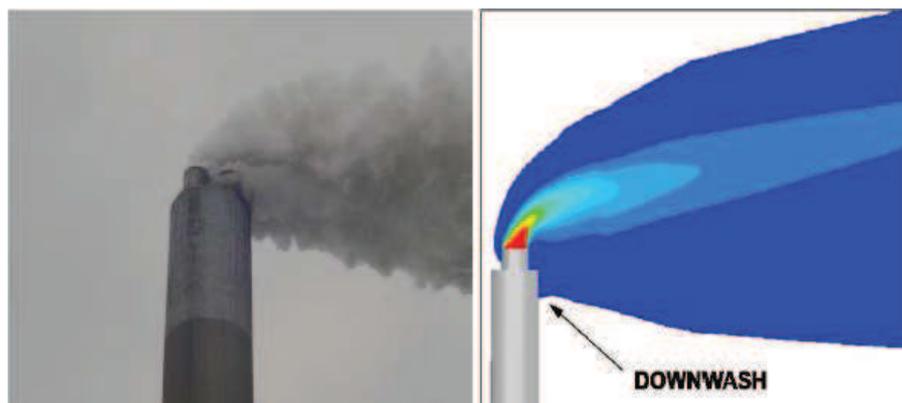
Aunque el diseño de la chimenea está fuera del alcance del proyecto, se comentarán sus principios constructivos por tratarse de una aplicación aparentemente menos común que las chimeneas que manejan gases secos.

Las plantas de desulfuración por vía húmeda (*WFGD*) suelen emplear chimeneas húmedas o recalentamiento de los gases. Con una chimenea húmeda se pretende promover la mayor **recolección** posible de **gotas de líquido** de la corriente gaseosa, mientras que en los sistemas que emplean recalentamiento se busca evaporarlas antes de que alcancen la parte superior de la chimenea.

Capítulo 2: Memoria descriptiva.

Una chimenea húmeda correctamente diseñada emplea eliminadores de nieblas con bajo arrastre de gotas y conductos lisos que eviten que el líquido depositado se vuelva a reintroducir en la corriente gaseosa debido a la fuerza de arrastre del gas. Además contará con drenajes y colectores de líquido correctamente diseñados y con conductos ligeramente inclinados, limitándose la **velocidad de circulación de los gases** en estos para minimizar los arrastres entre los 13,7 y los 18,3 m/s en función de los materiales empleados (EPRI 1026742. "Revised Wet Stack Design Guide").

Para evitar el *downwash*, o el lavado de la parte superior y de la carcasa exterior de la chimenea, se suele instalar un estrangulamiento (*Choke*) que aumente la velocidad de descarga de los gases de salida, proporcionándoles un momento adecuado frente al aire transversal a la chimenea.



La elección de los materiales es de vital importancia para garantizar una elevada vida útil de la chimenea. Debido al ambiente

Capítulo 2: Memoria descriptiva.

corrosivo imperante se suelen emplear **materiales** como: los ladrillos ácidos, aleaciones, fibra de vidrio reforzada con plástico, aceros al carbono con recubrimientos poliméricos, o bloques de Borosilicatos.

Dado que en nuestro caso la planta tendrá capacidad de ser by-passeada al *100%*, los materiales que componen el revestimiento de la chimenea y el conducto de salida de la torre deben resistir también altas temperaturas, aproximadamente de *140°C*. Por este hecho y por presentar una superficie lisa, además de ser un buen aislante térmico, nos decantaremos por los **ladrillos de Borosilicatos**.