

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

**“PROPUESTA DE UNA METODOLOGIA PARA SELECCIONAR UN LAVADOR DE
GASES ”**

**Memoria para optar al título de :
INGENIERO MECANICO**

ALUMNO : ALDO DIAZ SANTANDER

PROFESOR GUIA : JORGE BORNSCHEUER P.

2017

INDICE GENERAL

1.0	INDICE DE FIGURAS	4
2.0	ÍNDICE DE TABLAS	5
3.0	RESUMEN DE LA TESIS: “PROPUESTA DE UNA METODOLOGIA PARA SELECCIONAR UN LAVADOR DE GASES”	6
4.0	ABSTRACT	8
5.0	INTRODUCCIÓN	10
6.0	OBJETIVOS	12
	6.1 Objetivo general	12
	6.2 Objetivos específicos	12
7.0	CONTAMINACIÓN	13
	7.1 Los efluentes gaseosos y la contaminación atmosférica.....	13
	Tabla 7.1 : Clasificación general de los contaminantes gaseosos	14
	7.2 Efectos de la contaminación atmosférica.....	15
	7.2.1 Lluvias acidas	15
	7.2.2 Disminución de la capa ozono	15
	7.2.3 Efecto invernadero	16
	7.3 Partículas	16
8.0	LEGISLACIÓN AMBIENTAL EN CHILE	19
	8.1 De la Constitución y el medio ambiente.....	19
	8.2 Ley 19.300 sobre bases generales del medio ambiente	20
9.0	MARCO TEÓRICO.....	26
	9.1 Principios	26
	9.2 Mecanismos	27

9.3 Descripción de los Scrubber.....	28
9.3.1 Torres Rociadoras	28
9.3.2 Scrubber ciclónicos de rocío.....	30
9.3.3 Scrubber por choque	31
9.3.4 Scrubber de lecho empacado	33
9.3.5 Scrubber de lecho fluidificado.....	35
9.3.6 Scrubber Venturi.....	36
9.3.7 Tipos de lecho empacado.....	37
10.0 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE UN SCRUBBER (LAVADOR DE GASES) ..	39
10.1 Introducción.....	39
10.2 Criterios de selección	40
10.3 Materiales de los Scrubber.....	51
10.4 Resumen del criterio de selección Técnica.	53
11.0 APLICACIÓN DE METODOLOGÍA - ESTUDIO DE CASO REAL	58
11.1 Descripción.....	58
11.2 Criterios de selección	59
12.0 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES	63
13.0 BIBLIOGRAFIA	65

1.0 INDICE DE FIGURAS

Figura 9.1 : Procesos de los mecanismos	27
Figura 9.2 : Torre Rociadora	29
Figura 9.3 : Scrubber ciclónicos de rocío	30
Figura 9.4 : Scrubber de placas de choque	32
Figura 9.5 : Scrubber de lecho empacado	34
Figura 9.6 : Scrubber de lecho fluidificado	35
Figura 9.7 : Scrubber Venturi tipo vía húmeda	37
Figura 9.8 : Tipo de relleno para flujo contra-corriente	38
Figura 9.9 : Tipo de relleno para flujo cruzado	38
Figura 10.1 : Tipos de Scrubber más usados	43
Figura 11.1 : Foto de Calderas	58
Figura 11.2 : Esquema de proceso para Scrubber seleccionado	61
Figura 11.3 : Tipo material empacado seleccionado, de Kimre Inc.	61

2.0 ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 7.1 : Clasificación general de los contaminantes gaseosos	14
Tabla 7.2 : Características de las partículas y los dispersoides	18
Tabla 8.1 : Límites de emisión para la incineración	23
Tabla 8.2 : Valores límites de emisión para coprocesamiento en Hornos de cemento y coincineración en Hornos rotatorios de Cal.	24
Tabla 8.3 : Valores límites de emisión para coincineración en instalaciones forestales	25
Tabla 9.1 : Tamaño de la partícula y gotita en un Venturi Scrubber	36
Tabla 11.1 : Resumen de mediciones contaminantes gases de escape	60

3.0 RESUMEN DE LA TESIS: “PROPUESTA DE UNA METODOLOGIA PARA SELECCIONAR UN LAVADOR DE GASES”

A causa de una Ingeniería Básica encargada por SQM, con relación a un sistema de lavado de gases de escape para 4 calderas diesel, en planta María Elena II región, se trabajó en seleccionar y calcular un equipo lavador de gases o scrubber que baje la concentración de contaminantes. Esta Ingeniería da como pauta para tomar como tesis el desarrollar específicamente una metodología práctica para la selección de un scrubber.

En el desarrollo de esta tesis se considera previamente una descripción y clasificación de los distintos contaminantes, por lo general, material particulado, compuestos que contienen azufre, compuestos orgánicos, compuestos que contienen nitrógeno, monóxido de carbono, etc.. Además, se ven los efectos de los contaminantes sobre la atmósfera y la salud humana.

En capítulo siguiente, no se puede dejar de abordar la legislación chilena con respecto a los distintos contaminantes a través de leyes, reglamentos, decretos y otros cuerpos legales que en estos momentos se encuentran en trabajo. De lo disponible en estos momentos se muestran algunas tablas con los límites máximos para ciertos compuestos contaminantes.

A continuación, se aborda la teoría del mecanismo de lavado y los scrubber más utilizados en la industria; torre rociadora, scrubber ciclónico de rocío, scrubber con placas de choque, scrubber vertical de lecho empacado, scrubber de lecho fluidificado y Venturi scrubber.

En el capítulo siguiente, se presentan los distintos criterios a considerar para la selección de un scrubber, partiendo por identificar el tipo de contaminante a controlar para cumplir con los límites máximos que exige la legislación ambiental y de acuerdo a lo anterior seleccionar el equipo adecuado que preferentemente son del tipo húmedo como ser los de lecho empacado de flujo cruzado y contracorriente, ciclón y venturi. El material también es una

variable muy importante para la selección y tiene directa relación con el elemento corrosivo, temperatura y presión de operación, otras variables se deben considerar como ser el layout de instalación y finalmente los costos de inversión, operación y mantenimiento es una variable muy determinante a tener en cuenta.

Finalmente, se aplica esta metodología de selección al caso real solicitado por SQM, para los gases de escape proveniente de 4 calderas cuyo combustible es diesel bunker. Obviamente este estudio partió con una visita a terreno tanto como para visualizar en su verdadera dimensión el trabajo como para el levantamiento de datos necesarios para el estudio. De acuerdo a las mediciones que se disponían, el componente en mayor proporción es el SO_2 , el requerimiento del mandante limitaba la ubicación del equipo al techo de la nave, la zona tiene escasez del recurso hídrico, el caudal de gas es grande, todo esto reúne características decisivas para seleccionar un scrubber húmedo de flujo cruzado y lecho empacado (horizontal), cuyo manejo húmedo es a través de una solución al 5% de Hidróxido de Sodio (NaOH) (soda) . El material adecuado para este scrubber es el plástico reforzado con fibra de vidrio, por ser un material bastante liviano y resistente a la corrosión, pero la elevada temperatura de los gases de escape exige utilizar como barrera química un plástico llamado polifluoruro de vinilideno (PVDF). Finalmente el costo de este scrubber de flujo cruzado tiene ventajas comparativas sobre el mismo tipo, pero de flujo paralelo (vertical), si se compara con uno de la misma familia.

Por último, se hacen algunos comentarios finales que tienen relación con la Tesis en sí, sugerencias, mejoras que se pueden realizar y la sensación del objetivo cumplido.

4.0 ABSTRACT

Because of a Basic Engineering commissioned by SQM, in relation to an exhaust gas flushing system for 4 diesel boilers, in María Elena II region, we worked on selecting and calculating a washer gas or gas scrubber that would lower the concentration of contaminants. This Engineering gives as a guideline to take as a thesis the specific development of a practical methodology for the selection of a Scrubber.

In the development of this thesis a description and classification of the different pollutants is considered, usually, particulate material, sulfur-containing compounds, organic compounds, compounds containing nitrogen, carbon monoxide, etc. In addition, the effects of pollutants on the atmosphere and human health.

In the next chapter, we can not stop addressing the Chilean legislation regarding the different pollutants through laws, regulations, decrees and other legal bodies that are currently working. From what is available at the moment some tables with the maximum limits for certain pollutant compounds are shown.

Next, the theory of the washing mechanism and the Scrubbers most used in the industry are discussed; Spray tower, cyclonic dew scrubber, scrubber with brakes plates, vertical packed bed scrubber, fluidized bed scrubber and venturi scrubber.

In the following chapter, the different criteria to be considered for the selection of a Scrubber are presented, starting by identifying the type of pollutant to be controlled in order to comply with the maximum limits required by environmental legislation and, according to the above, selecting the appropriate equipment that preferably, they are of the wet type, such as those of packed bed of cross-flow and countercurrent, cyclone and venturi. The material is also a very important variable for the selection and is directly related to the corrosive element, temperature and operating pressure, other variables should be

considered as the installation layout and finally the investment, operation and maintenance costs is a variable very determinant to take into account.

Finally, this selection methodology is applied to the real case requested by SQM, for the exhaust gases coming from 4 boilers whose fuel is diesel bunker. Obviously, this study started with a visit to the field as well as to visualize in its true dimension the work as for the collection of necessary data for the study. According to the measurements that were available, the component in greatest proportion is SO_2 , the client's requirement limited the location of the equipment to the roof of the ship, the area has shortage of water resources, the gas flow is large, all this meets decisive characteristics to select a moist scrubber of crossed flow and packed bed (horizontal), whose wet management is through a 5% solution of Sodium Hydroxide (NaOH). The material suitable for this scrubber is reinforced plastic with fiberglass, because it is a fairly light material and resistant to corrosion, but the high temperature of the exhaust gases requires using a plastic barrier called vinylidene polyfluoride (PVDF) as a chemical barrier. Finally, the cost of this cross flow scrubber has comparative advantages over the same type, but of parallel flow (vertical), when compared with one of the same family.

5.0 INTRODUCCIÓN

Desde hace ya mucho tiempo que la contaminación del aire y el medio ambiente, forman parte de la vida cotidiana de la mayoría de los habitantes. Esta contaminación es la consecuencia lógica del proceso de industrialización permanente que se vive, los residuos contenidos en el aire son producto de los diferentes procesos de producción provenientes principalmente de la combustión.

En teoría, en una combustión perfecta se mezclan el hidrógeno y el carbono contenido en el combustible, formando calor, fotones, dióxido de azufre y agua. Lamentablemente las impurezas contenidas en el combustible y relaciones de aire-combustible incorrectas o temperaturas demasiado bajas o altas, son la causa principal de la formación de compuestos secundarios, nocivos para la salud y el medio ambiente, tales como, monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, cenizas e hidrocarburos no combustionados.

Hoy en día, la mayoría de los países desarrollados o en vías de desarrollo cuentan con normativas, reglamentaciones y regulaciones, en materia de contaminación del aire, tanto la comunidad europea, como muchos países americanos ya se han tomado el compromiso de cautelar el derecho de las personas a vivir en un ambiente libre de contaminantes. En parte se ha entendido la necesidad de disminuir las emisiones de gases, material particulado y olores.

En la actualidad y en particular se han diseñados equipos que tratan la emisión de gases principalmente producto de la combustión industrial, estos equipos se les nombra lavador de gases o scrubber. Es aquí cuando en muchas ocasiones el Ingeniero Mecánico se encuentra con la necesidad de enfrentar o participar en el diseño de un sistema de lavado de gases, ya sea directa o indirectamente. Otras veces, este equipo forma parte de un proyecto global que debe considerarse en el desarrollo, también suele ocurrir que directamente se

encomienda el diseño de este equipo a partir de un diagrama de proceso elaborado por un Ingeniero de Procesos, como se aprecia hay situaciones en que se requiere participar en la selección de estos equipos de lavado de gases.

6.0 OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

El objetivo de esta Tesis es elaborar una metodología o una guía técnica básica para la selección de un sistema de lavado de gases, desde el punto de vista Mecánico sin profundizar en el fenómeno físico-químico del proceso

6.2 Objetivos específicos

Disponer de conocimientos específicos de la contaminación y contaminantes que se presentan en los diversos procesos industriales.

Acompañado el párrafo anterior, contar con el marco regulatorio que limita las concentraciones de los contaminantes.

Disponer de la teoría y mecanismo de absorción que ocurren en el interior de los equipos. En complemento se establecen los principales tipos de equipos generalmente llamados scrubber, sus características, funcionamiento, algunos datos de procesos u otros.

Esencialmente, establecer criterios de selección considerando variables de distinto origen; tipo de contaminante, tipo de scrubber, información de proceso, costos entre otros.

Finalmente, contar con una selección para un caso real en donde se pueda aplicar la metodología propuesta y a partir de esto generar conclusiones y comentarios finales.

7.0 CONTAMINACIÓN

Los vehículos, industrias, calderas, etc., y en general todos los equipos donde se produce combustión, son las principales fuentes contaminantes. Todos los productos generados por la combustión, con excepción de los vapores de agua, pueden ser considerados contaminantes y se dividen en dos grupos : material particulado y gases. En general las partículas están formadas por cenizas, carboncillo y hollín, los gases por óxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, anhídrido carbónico y componentes orgánicos volátiles.

7.1 Los efluentes gaseosos y la contaminación atmosférica

Los efluentes gaseosos son sustancias (gases, aerosoles, material particulado, humos negros, nieblas y olores) que se vierten a la atmósfera a través de conductos, o como emisiones difusas.

La contaminación atmosférica se define como la condición atmosférica en la que ciertas sustancias alcanzan concentraciones o niveles lo suficientemente elevados, sobre su nivel ambiental normal, como para producir riesgos, daños o molestias a las personas, ecosistemas o bienes.

Desde el punto de vista de su origen, los contaminantes químicos se pueden dividir en dos grupos :

- **Primarios** : Son los emitidos directamente desde la fuente contaminante.
- **Secundarios** : Se originan en la atmósfera por la reacción entre dos o más contaminantes primarios.

En resumen podemos clasificar los contaminantes del aire como :

- a) Material particulado o partículas

- b) Compuestos que contienen Azufre
- c) Compuestos Orgánicos
- d) Compuestos que contienen Nitrógeno
- e) Monóxido de Carbono
- f) Compuestos halogenados
- g) Compuestos radioactivos.

CLASE	PRIMARIOS	SECUNDARIOS
Compuestos que contienen Azufre	SO ₂ SO ₃ H ₂ S	SO ₃ H ₂ SO ₄ MSO ₄
Compuestos que contienen Nitrógeno	NO NO ₂ NH ₃	NO ₂ MNO ₃
Compuestos Orgánicos	Hidrocarburos alifáticos Hidrocarburos aromáticos Derivados oxigenados	Cetonas Aldehídos ácidos
Óxidos de Carbono	CO CO ₂	- -
Compuestos halogenados	HCl HF	- -
Formados en reacciones fotoquímicas	- - -	O ₃ Formaldehído Nitratos de peroxiacetilo

Tabla 7.1 : Clasificación general de los contaminantes gaseosos

7.2 Efectos de la contaminación atmosférica

7.2.1 Lluvias acidas

Gran parte del dióxido de azufre y de los óxidos de nitrógeno que se emiten a la atmósfera retornan a la superficie de la tierra, ya sea en estado gaseoso, o bien en forma de ácidos disueltos en las gotas de lluvia. Se forman así, ácido sulfúrico por oxidación del dióxido de azufre y ácido nítrico por oxidación de óxidos de nitrógeno.

Si estas reacciones se producen cerca de los focos de emisión, forman el smog ácido; si se producen en capas altas de la atmósfera, se forman los ácidos y estos precipitan en forma de lluvia a grandes distancias de los focos emisores.

Estas lluvias ácidas tienen pH menor a 5, por lo tanto van a producir serios efectos sobre el ecosistema.

7.2.2 Disminución de la capa ozono

La molécula de ozono es muy oxidante y reacciona con ciertos compuestos que llegan a la estratósfera, estos compuestos son en general gases muy estables que permanecen sin alterarse en la atmósfera durante mucho tiempo (ej., cloro, bromo, etc.)

Una de las familias de compuestos que destruye la capa de ozono es la clorofluorocarbonos(CFC's), se descomponen por luz ultravioleta y desprenden átomos de cloro que reaccionan con el ozono. Otros componentes que afectan a la capa, son el tetracloruro de carbono, el cloroformo, el bromuro de metilo, etc.

7.2.3 Efecto invernadero

Alteración que puede producirse en la temperatura de la tierra como consecuencia del aumento de la concentración de dióxido de carbono y de otros gases como metano, clorofluorocarbonos (CFC), N₂O en la atmósfera.

Los gases que componen la atmósfera permiten el paso hacia la tierra de la energía luminosa en forma de radiaciones de onda corta; estas radiaciones son absorbidas por los materiales terrestres quienes posteriormente emiten energía calórica (enfriamiento de la tierra) en forma de radiaciones infrarrojas, las cuales son absorbidas por el dióxido de carbono y otros gases, produciéndose un desprendimiento del calor y por lo tanto una elevación de la temperatura de la atmósfera. El vapor de agua también absorbe esta radiación infrarroja.

Cuanto mayor sea la concentración de los gases absorbentes de la radiación infrarroja en la atmósfera, mayor será la cantidad de energía absorbida y por lo tanto, más se elevará la temperatura del aire.

7.3 Partículas

El material particulado presente en el aire de ciudades industrializadas se pueden clasificar de acuerdo a su tamaño (diámetro) en dos grupos :

- 1) Aquel que no ingresa al aparato respiratorio, quedando atrapado en nuestras fosas nasales, al presentar un diámetro mayor a 10 micras (0,01 mm).
- 2) Las partículas de diámetro menor o igual a 10 micras, también llamadas PM10 o material particulado respirable, son aquellas que si pueden ingresar a las vías respiratorias debido a su menor tamaño.

Al mismo tiempo, estas últimas se dividen en mayores y menores a 2,5 micras, dado que las de diámetro aerodinámico más pequeño pueden

llegar incluso a las vías aéreas más finas, como el alveolo pulmonar. En tanto, las de mayor tamaño van quedando atrapadas en la mucosa que recubre las vías respiratorias superiores.

El material particulado más peligroso y sobre el cual se han hecho los principales esfuerzos para su control y abatimiento, es precisamente el PM_{2,5} (menor a 2,5 micras), el cual proviene de la combustión de energéticos fósiles (petróleo y sus derivados, carbón o leña), realizada a altas temperaturas, como la que se registra en motores de combustión interna (fuentes móviles) y calderas u hornos industriales o de calefacción (fuentes fijas).

En tabla 7.2 se muestran las características de las partículas y el sistema en el que la sustancia se dispersa en forma de partículas microscópicas en un medio que puede ser gaseoso, líquido o sólido. Todo en función del tamaño de la partícula.

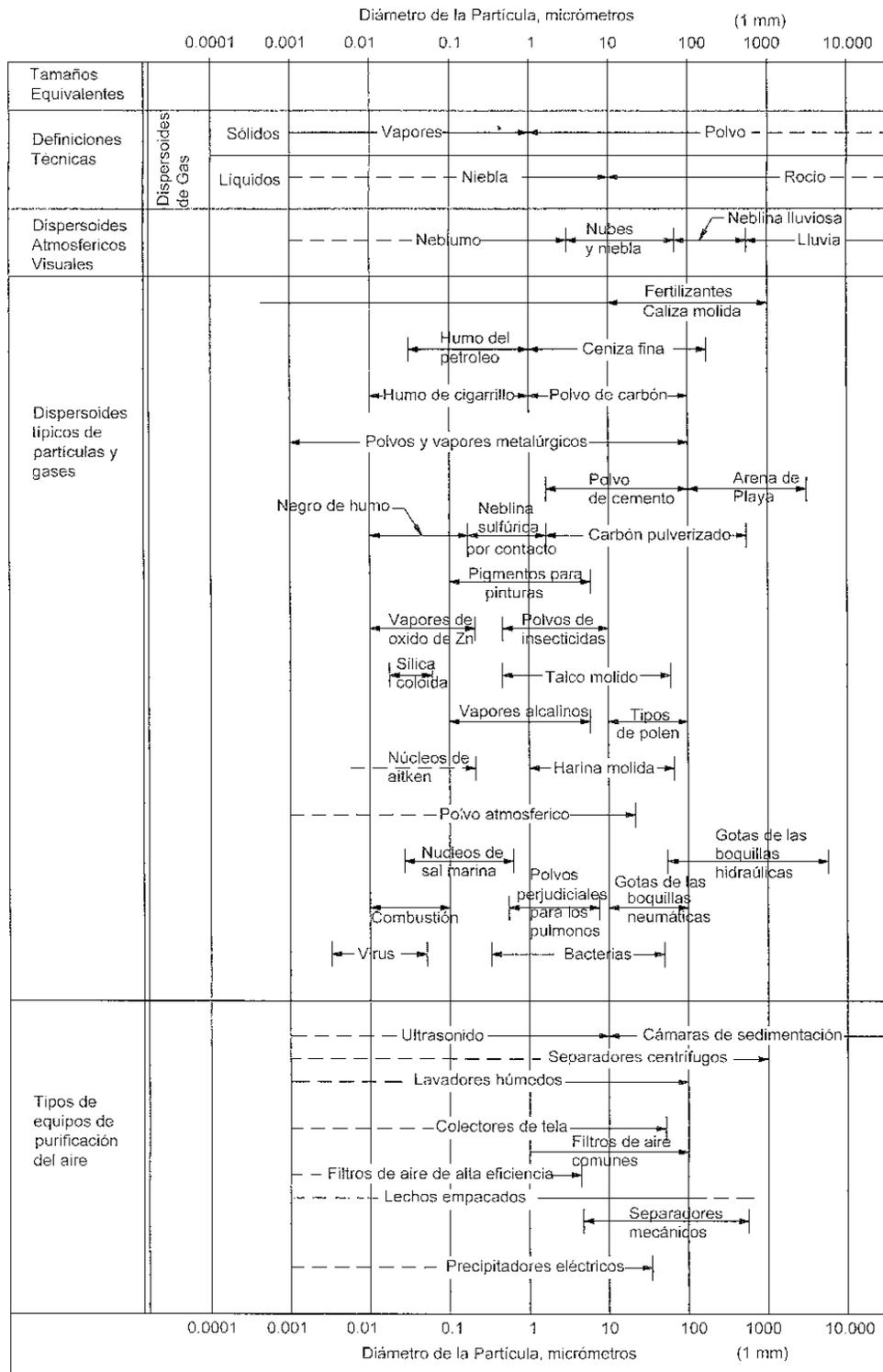


Tabla 7.2 : Características de las partículas y los dispersoides.
(Fuente : Stanford Research Institute Journal 5, 1961)

8.0 LEGISLACIÓN AMBIENTAL EN CHILE

A continuación se pretende realizar un enfoque general de las diferentes Leyes, Reglamentos, Decretos u otros cuerpos legales que en este momento están regulando lo referente a la contaminación del aire por procesos industriales o particulares de Chile.

8.1 De la Constitución y el medio ambiente

La Constitución política de 1980 contiene tres disposiciones que se relacionan con la temática ambiental. El artículo 19 dispone que la Constitución asegura a todas las personas :

- a) El derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación (es deber del Estado velar para que este derecho no sea afectado y tutelar la preservación de la naturaleza).
- b) El derecho de la propiedad que estará limitado por la función social de la propiedad (comprende cuanto exijan los intereses del país, la seguridad nacional, la utilidad y la salubridad pública y la conservación del patrimonio ambiental.
- c) El que sufra privación, perturbación o amenaza en el legítimo ejercicio del derecho consagrado por el artículo 19,8 en tanto sea afectado por un acto arbitrario e ilegal imputable a una autoridad o persona determinada, puede, en conformidad con el artículo 20, presentar el denominado recurso de protección.

Estas disposiciones constitucionales implican que el tema ambiental, a diferencia de otros aspectos como la política económica, debe ser abordado como un deber del Estado y en consecuencia, se podrán establecer restricciones legales específicas al ejercicio de determinados derechos o libertades.

8.2 **Ley 19.300 sobre bases generales del medio ambiente**

Ante el creciente peso de las cuestiones ambientales en la agenda social y política, y la imposibilidad de dar respuestas a los problemas ambientales con la reglamentación jurídica e institucionalidad existentes caracterizada por la dispersión y descoordinación fue necesario crear un nuevo cuerpo normativo que recogiera en forma integrada y global los principios que deberían dar el sustento a la reglamentación ambiental, y dar un contenido concreto y un desarrollo jurídico adecuado a los derechos constitucionales relacionados con el medio ambiente.

Todo lo anterior llevó a que el país, en forma consensuada y unánime, se diera una Ley ambiental marco. El 9 de Marzo de 1994 se publicó en el Diario Oficial la Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente (LBGMA), que el Congreso había aprobado en Enero de ese año. Este cuerpo normativo llena por lo tanto, un vacío muy importante en el ordenamiento jurídico del país. Así, la Ley regula una serie de intereses conflictivos, partiendo de la premisa de que ninguna actividad, por legítima que sea, puede desenvolverse a costa del medio ambiente.

La LBGMA no pretende cubrir todas las materias que se relacionan con el medio ambiente, pues se requieren leyes especiales que regulen en detalle aquellas áreas que presenten complejidades particulares. Se trata en consecuencia y como lo indica su nombre, de una ley de bases generales, que establecen un marco dentro del cual se dé un proceso ordenador de la normativa ambiental existente y futura.

Los objetivos de la Ley se pueden expresar de la siguiente manera :

- a) Dar un contenido concreto y un desarrollo jurídico adecuado a la garantía constitucional que asegura a todas las personas el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación.

- b) Crear la institucionalidad que permita, a nivel nacional, solucionar los problemas ambientales existentes y evitar la generación de otros nuevos.
- c) Crear los instrumentos para una eficiente gestión, de modo de dar una adecuada protección ambiental y servir de orientación a la misma normativa vigente en la materia y a la futura legislación y reglamentación que se dicte.
- d) Disponer de un cuerpo legal general al cual se pueda referir toda la normativa ambiental.
- e) Incorporar la regulación ambiental al desarrollo del país, con el fin de evitar el deterioro ambiental y de asegurar una economía sustentable.
- f) Establecer criterios para la definición de objetivos de calidad ambiental y regular los procedimientos para medir los impactos ambientales en las decisiones sobre los proyectos y actividades susceptibles de causar impacto ambiental.

Las Autoridades abordan el tema de la contaminación nacional en primer lugar creando un plan de descontaminación para la Región Metropolitana. En seguida, un plan de descontaminación de zonas saturadas, como Ventana, Huasco y Coronel. Luego, norma un plan para las plantas Termoeléctricas. Posteriormente, genera un plan para fundiciones de cobre. En seguida crea Normas para Incineración, Co-incineración y Co-procesamiento. Por último, crea Ante-proyecto actualmente en estudio Normas de emisión para Calderas.

Algunas normativas importantes de mencionar que regulan o son base para el dimensionamiento de proyectos, tanto a nivel gubernamental como institucional de la República de Chile.

- Decreto Supremo N°4 de 1992 del MINSAL : Establece Norma de Emisión de Material Particulado a Fuentes Estacionarias Puntuales y Grupales, publicado en el Diario Oficial el 2 de Marzo de 1992.
- Decreto Supremo N°32 de 1990 del MINSAL : Reglamenta el funcionamiento de fuentes emisoras.
- Decreto Supremo N°29 del 12/9/2013, establece Norma de emisión para incineración, coincineración y coprocesamiento.

CONTAMINANTE	Valor límite de emisión (mg / Nm ³)
Material particulado (MP)	30
Dióxido de Azufre (SO ₂)	50
Óxidos de Nitrógeno (NO _x)	300
Carbono orgánico total (COT)	20
Monóxido de Carbono (CO)	50
Cadmio y sus compuestos, indicado como metal (Cd)	0,1
Mercurio y sus compuestos, indicado como metal (Hg)	0,1
Berilio y sus compuestos, indicado como metal (Be)	0,1
Plomo (Pb) + Zinc (Zn) y sus compuestos, indicado como metal, suma total	1
Arsénico (As) + Cobalto (Co) + Níquel (Ni) + Selenio (Se) + Telurio (Te) y sus compuestos, indicado como elemento, suma total	1
Antimonio (Sb) + Cromo (Cr) + Manganeso (Mn) + Vanadio (V)	5
Compuestos inorgánicos clorados gaseosos indicados como ácido clorhídrico (HCl)	20
Compuestos inorgánicos fluorados gaseosos indicados como ácido fluorhídrico (HF)	2
Benceno (C ₆ H ₆)	5
Dioxinas y furanos TEQ ¹	0,2 ng / Nm ³

Tabla 8.1 : Límites de emisión para la incineración

1 : TEQ, factor tóxico equivalente para mamíferos de la Organización

Mundial de Salud de 1998

CONTAMINANTE	Valor límite de emisión (mg / Nm ³)
Material particulado (MP)	50
Carbono orgánico total (COT) ¹	20
Mercurio y sus compuestos, indicado como metal (Hg)	0,1
Cadmio y sus compuestos, indicado como metal (Cd)	0,1
Berilio y sus compuestos, indicado como metal (Be)	0,1
Plomo y sus compuestos, indicado como metal (Pb)	1
Arsénico (As) + Cobalto (Co) + Níquel (Ni) + Selenio (Se) + Telurio (Te) y sus compuestos, indicado como elemento, suma total	1
Antimonio (Sb) + Cromo (Cr) + Manganeso (Mn) + Vanadio (V)	5
Compuestos inorgánicos clorados gaseosos indicados como ácido clorhídrico (HCl)	20
Compuestos inorgánicos fluorados gaseosos indicados como ácido fluorhídrico (HF)	2
Benceno (C ₆ H ₆)	5
Dioxinas y furanos TEQ ²	0,2 ng / Nm ³

Tabla 8.2 : Valores límites de emisión para coprocesamiento en Hornos de cemento y coincineración en Hornos rotatorios de Cal.

1: La Superintendencia del Medio Ambiente autorizará exenciones a este límite en los casos en que el COT no provenga de las sustancias o materiales utilizados como combustible. En este caso, la emisión no podrá ser superior al valor límite de emisión indicado en la tabla, más el valor de la línea base que corresponde a las emisiones que provengan de sustancias o materiales utilizados como combustibles. Para ello los titulares deberán presentar antecedentes fundados.

2 : TEQ, factor tóxico equivalente para mamíferos de la Organización Mundial de Salud de 1998

CONTAMINANTE	Valor límite de emisión (mg / Nm ³)
Material particulado (MP)	50
Carbono orgánico total (COT)	20
Monóxido de carbono (CO)	50
Mercurio y sus compuestos, indicado como metal (Hg)	0,1
Cadmio y sus compuestos, indicado como metal (Cd)	0,1
Berilio y sus compuestos, indicado como metal (be)	0,1
Plomo y sus compuestos, indicado como metal (Pb)	1
Arsénico (As) + cobalto (Co) + níquel (Ni) + selenio (Se) + telurio (Te) y sus compuestos, indicado como elemento, suma total	1
Antimonio (Sb) + cromo (Cr) + manganeso (Mn) + vanadio (V)	5
Compuestos inorgánicos clorados gaseosos indicados como ácido clorhídrico (HCl)	30
Compuestos inorgánicos fluorados gaseosos indicados como ácido fluorhídrico (HF)	5
Benceno (C ₆ H ₆)	5
Dioxinas y furanos TEQ ¹	0,2 ng / Nm ³

Tabla 8.3 : Valores límites de emisión para coincineración en instalaciones forestales.

1 : TEQ, factor tóxico equivalente para mamíferos de la Organización Mundial de Salud de 1998

9.0 MARCO TEÓRICO

9.1 Principios

Los scrubber pueden eliminar los gases solubles, las nieblas o la materia en partículas de dos maneras básicas: por la **absorción** de gas o por **interceptación**, un tercer método de recolección es un proceso patentado usado para polvo y partículas de humo en la gama sub-micrométrica.

La **absorción** de gas implica la transferencia de gas nocivo de una corriente de escape a una fase líquida. Los factores básicos que controlan el proceso de absorción de gas son el grado de solubilidad o reactividad química del gas a eliminar con el líquido de lavado y los medios para obtener un contacto íntimo entre las corrientes de gas y líquido. Normalmente, el agua de la planta se utiliza para eliminar tales gases de alta solubilidad como fluoruro de hidrógeno o cloruro de hidrógeno. En algunos casos, se pueden usar soluciones cáusticas o sales, porque reaccionan químicamente con contaminantes gaseosos menos solubles. Por ejemplo, el líquido de lavado de hidróxido de sodio se utiliza para reaccionar con gases de cloro para producir hipoclorito de sodio.

El impacto se puede describir como la **interceptación** del contaminante y su eliminación de la corriente de aire. Partículas inciden o impactan sobre los objetivos - empaques u otros medios- colocados en su camino. Los contaminantes son lavados. El proceso de nucleación emplea un ciclo de humidificación y enfriamiento para causar condensación de agua en partículas sub-micrónicas. El tamaño de partícula se eleva hasta un nivel en el que las partículas pueden ser retiradas por impacto en el empaque

9.2 Mecanismos

Esto reduce la lista tres mecanismos: por inercia, por difusión y absorción.

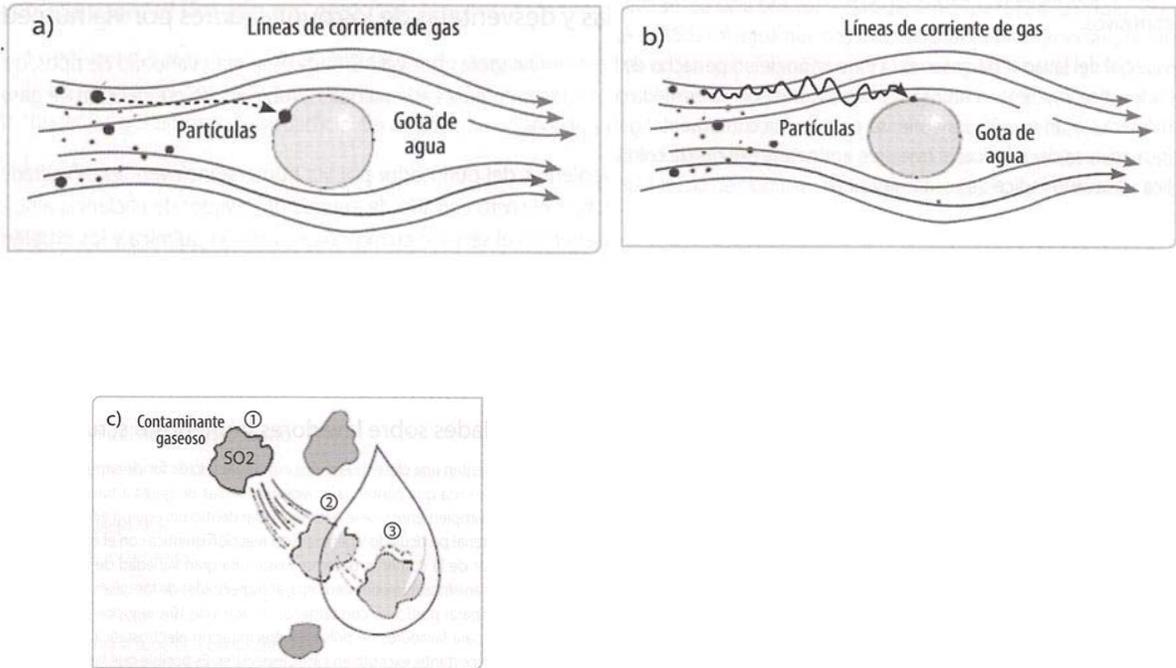


Figura 9.1 : Procesos de los mecanismos

En el caso de la inercia (9.1.a), cuando una partícula arrastrada por la corriente de gas, se aproxima el cuerpo colector (gota de líquido o fibra), tiende a seguir la corriente, pero puede chocar contra la obstrucción debido a su inercia. Las líneas continuas representan el curso laminar del fluido en torno a un cuerpo de diámetro D_b y la línea punteada representa la trayectoria de partículas que seguían inicialmente dicho curso.

Para la difusión browniana (9.1.b), las partículas más pequeñas, sobre todo las de diámetro menores que $0.3 \mu m$, exhiben un movimiento considerablemente browniano y no se desplazan de manera uniforme a lo largo de la corriente laminar del gas. Estas partículas se difunden del gas a la superficie del cuerpo colector y de adhieren a él.

La absorción representa una operación de transferencia de masa, la cual involucra una diferencia de concentración de compuestos químicos.

La absorción va estar presente mientras el diferencial de concentración exista entre el líquido y el gas, desde los cuales está siendo removido el contaminante.

Para remover un contaminante gaseoso por absorción la corriente de salida de los gases debe pasar a través de un líquido. La figura (9.1.c) ilustra los tres pasos de la absorción. En el primero, los contaminantes gaseosos se difunden desde la fuente gaseosa hacia la interfase gas-líquido. En el segundo paso, el gas se transfiere a través de la interface hacia la fase líquida. Este paso ocurre muy rápidamente una vez que las moléculas de gas (contaminantes) llegan al área de la interfase. En el tercer paso, el gas se difunde hacia la fuente de la fase líquida, la cual debe hacer espacio para que las moléculas adicionales de gas sean absorbidas. La tasa de absorción (transferencia de masa del contaminante desde la fase gaseosa hacia la fase líquida) depende de las tasas de difusión del contaminante en la fase gaseosa (primer paso) y en la fase líquida (tercer paso).

9.3 Descripción de los Scrubber

9.3.1 Torres Rociadoras

El tipo más simple de scrubber es una torre de rociado. En este caso se producen gotas líquidas por medio de boquillas de rocío y se dejan asentar a través de una corriente de gases en ascenso. En la figura 10.2 se representan tres variaciones. Las gotas deben tener tamaños que varíen de 500 a 1000 μm de diámetro medio. Esto proporciona una eficiencia de recolección óptima y asegura que la mayoría de las gotas tendrán una velocidad de sedimentación mayor que la velocidad ascendente de la corriente de gas, que es normalmente alrededor de

0,610 y 1,219 m/s. Las boquillas tradicionales de rociado de cono completo son las que se utilizan con mayor frecuencia.

Se puede mencionar, como ejemplo, una torre de 4,877 m de diámetro por 16,154 m de altura, que se utiliza para limpiar gases de Altos horno. El modelo original cuenta con cinco bancos de rociadores en circunferencia y cuenta con 14 – 16 rociadores por banco o grupo. La torre maneja 821.189 m³/hr y la velocidad del gas es de 0,732 m/s. Una torre con 9 rociadores cónicos sólidos colocados en el centro, tiene una eficiencia de recolección de polvo del 90% comparado con el 73% de los rociadores dispuestos en circunferencias, cuando se lavan polvos de altos hornos.

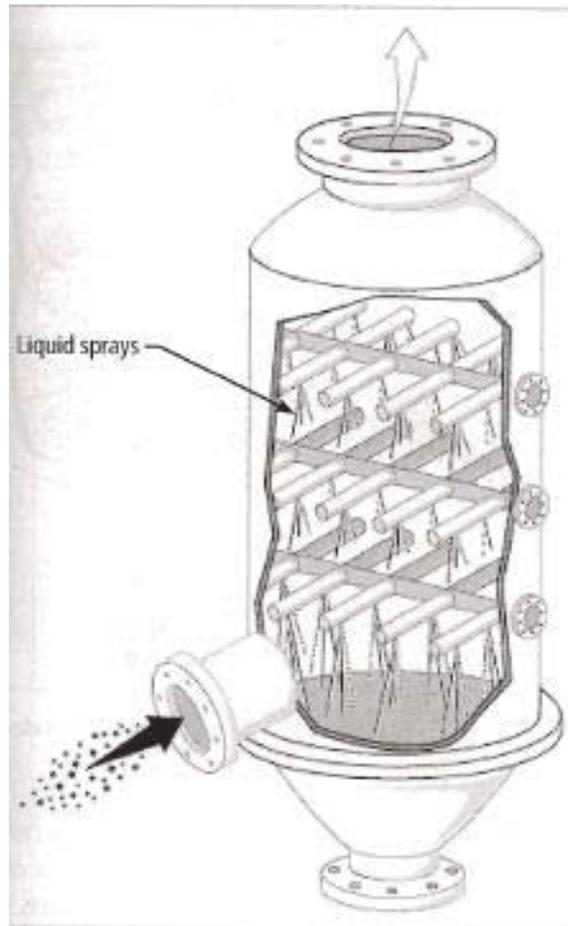


Figura 9.2: Torre Rociadora
Fuente : Aqualogy-Ingeniería en tratamiento

9.3.2 Scrubber ciclónicos de rocío

La eficiencia de recolección de gotas se incrementa, aumentando la velocidad relativa entre el gas sucio y las gotas. Los scrubber por rociada de ciclón tienen la ventaja de la fuerza centrífuga dentro de una corriente de gas en rotación. Johnstone y Roberts calcularon una curva de eficiencia para este tipo de sistemas. Los impactos por inercia se considera como el único mecanismo y la fuerza centrífuga que corresponde a una velocidad tangencial de 17,374 m/s., en un radio de 0,305 m. Se observa que el tamaño óptimo de gotas para los scrubber por rociado de ciclón es de 40 a 200 μm , que es considerablemente más fino que el tamaño recomendado para Torres de rociado de tipo gravitacional.

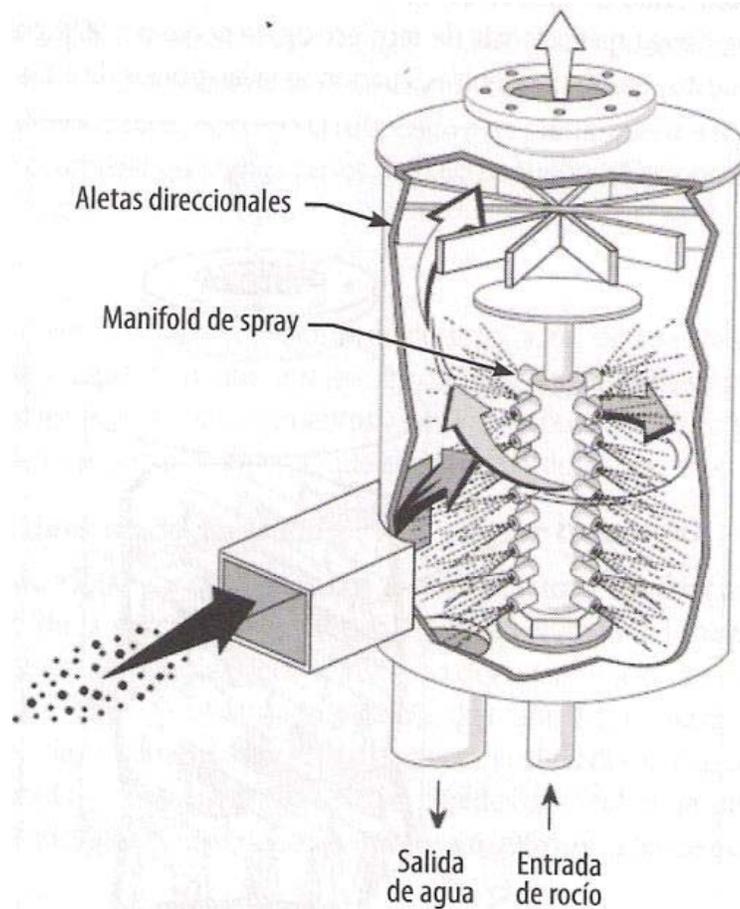


Figura 9.3: Scrubber ciclónicos de rocío
Fuente : Aqualogy-Ingeniería en tratamiento

En la figura 9.3 se muestra un scrubber ciclónico comercial. La fuerza centrífuga se genera en la unidad por medio de una entrada tangencial. Las velocidades de 15,24 a 60,96 m/s se consideran normales y el líquido se rocía radialmente hacia afuera, utilizando boquillas situadas en una tubería central. El valor de algunos sistemas que utilizan aletas giratorias para completar la succión centrífuga generada por la entrada tangencial se incrementa. El Rociador se dirige verticalmente hacia abajo y la caída de presión es casi siempre, del orden de 5,08 a 25,4 cm.c.a (centímetros de columna de agua).

9.3.3 Scrubber por choque

En la figura 9.4 se presenta un scrubber de placa de tamiz modificado. La placa de choque consiste en una hoja perforada que tiene entre 6.458 y 32.292 orificios/m², y un conjunto de deflectores de choque acomodados de tal manera que uno de estos queda ubicado directamente encima de cada perforación, a una distancia que corresponde, en forma aproximada, a la posición de vena contracta de los chorros de gas.

El gas penetra en la base de la torre rociadora, en donde se separa el polvo más grueso. Los rociadores sirven también para regar la base de la primera placa, con el fin de minimizar los depósitos.

La velocidad del gas al pasar por los chorros es de 22,86 a 30,48 m/s esto atomiza al líquido en gotas del orden de 100 μm de diámetro. Estas gotas, y no los desviadores, son las que constituyen en realidad los cuerpos recolectores del scrubber. La eficiencia de blanco, aproximadamente para partículas de 1 μm con densidad relativa de 2,7, es solo el 3% para el blanco; pero de 80% para las gotas, basándose en los impactos por inercia a 22,86 m/s.

La caída de presión es 3,81 cm.c.a, aproximadamente por placa. Se han desarrollado caídas de presión superiores, utilizando una restricción

de orificio en la entrada del gas o empleando una etapa especial de ranuras para altas velocidades.

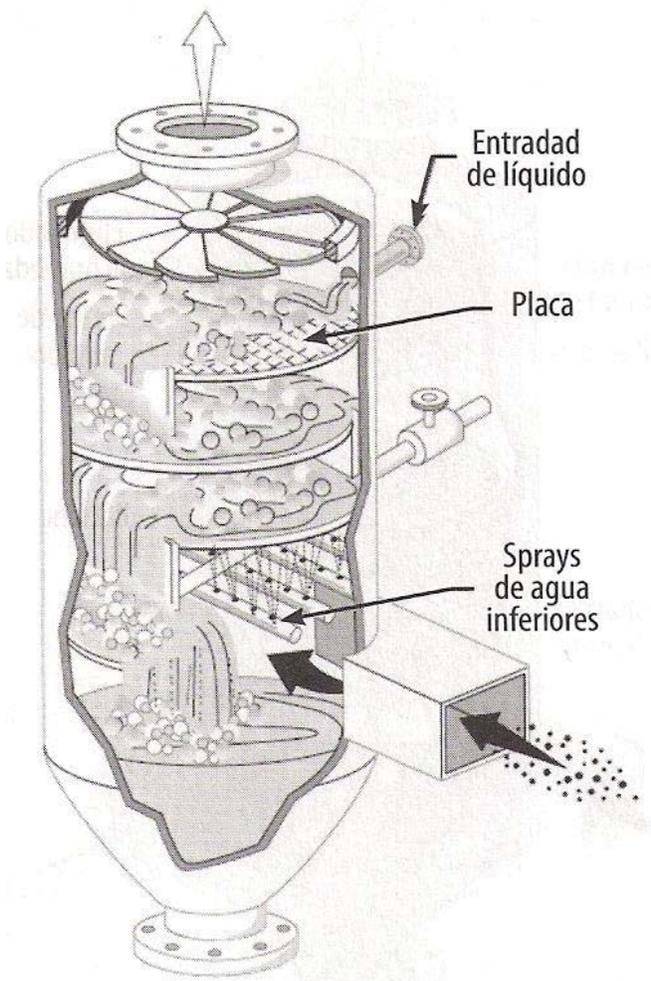


Figura 9.4: Scrubber de placas de choque
Fuente : Aqualogy-Ingeniería en tratamiento

9.3.4 Scrubber de lecho empacado

Las torres empacadas se utilizan, en general, para destilaciones y absorciones; pero casi nunca para la recolección de partículas. Las excepciones incluyen elementos como los lechos de choque y piedras que se utilizan para las neblinas de ácido sulfúrico, los filtros de arena que se emplean para la eliminación subterránea de desechos radioactivos y los dos scrubberes de polvo y neblina que se ilustran en la figura 9.5.

En la figura 9.5 se consigna el diagrama de un scrubber de lecho empacado, que utiliza canicas de vidrio. El gas sucio entra en la región rociada debajo del lecho de canicas. Las boquillas de rociadas gruesas proporcionan agua al lado inferior del lecho, que opera en situación de rebosamiento. Las burbujas y la neblina generadas en el lecho crean una capa turbulenta que asciende a aproximadamente 01524m. (6") por encima de las canicas. Estas tienen una acción de rodamientos que tiende al escalonamiento y las caídas de presión se obtienen una configuración de lechos múltiples de canicas, en serie, como en una columna de platos.

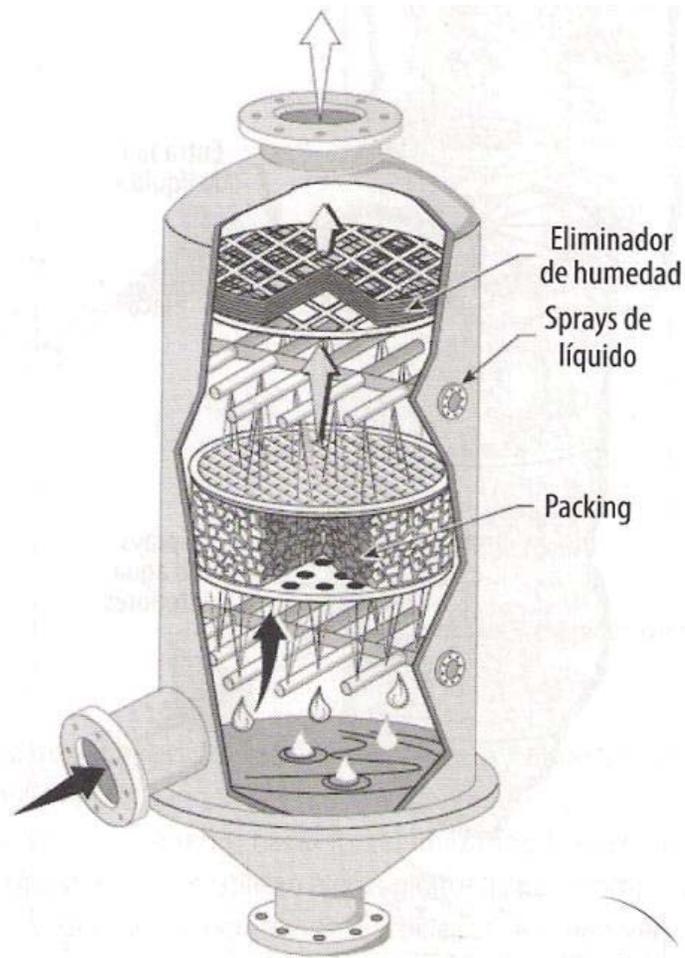


Figura 9.5 : Scrubber de lecho empacado
Fuente : Aqualogy-Ingeniería en tratamiento

Mantenerlas limpias por si misma, pero en algunas aplicaciones difíciles se ha producido el taponamiento del lecho. El agua sucia produce un derrame por una tubería que pasa por el lecho de canicas. La base de esta tubería esta sellada en la unidad estándar por medio de una manga de hule abatible. El separador de arrastre es del tipo zig – zag y los scrubberes pueden tener 2 a 3 lechos de canicas, cada uno de los cuales cuenta con tuberías de derrame y se superponen verticalmente como una columna de platos. La caída de presión por lecho, que normalmente tiene 0,0762 m. (3”) de profundidad, es de 12,7 cm.c.a. más o menos. El mecanismo de recolección predominante es el impacto por inercia del gas

y el aerosol con alta velocidad, contra las gotitas atomizadas y los filamentos de líquido.

9.3.5 Scrubber de lecho fluidificado

En la figura 9.6 se representa un scrubber de lecho flotante que se desarrolló para absorber gas de dióxido de azufre. El empaque del lecho se compone de esfera de polipropileno de baja densidad, con un diámetro de 0,0413 m. (1 5/8}9, que tiene la libertad de moverse entre una rejilla superior y otra inferior. El gas entra por debajo del lecho y asciende por él, siguiendo un movimiento contrario al del rocío del líquido de lavado. La acción violenta de fluidificación reduce al mínimo el ensuciamiento. En estos casos, se emplea un eliminador de neblina en zig – zag. La caída de presión es de 10,16 a 15,24 cm.c.a. por etapa. Para lavar humos de cloruro de aluminio se utilizan seis etapas, ya que se encuentran sobre todo en tamaños a neblina submicra.

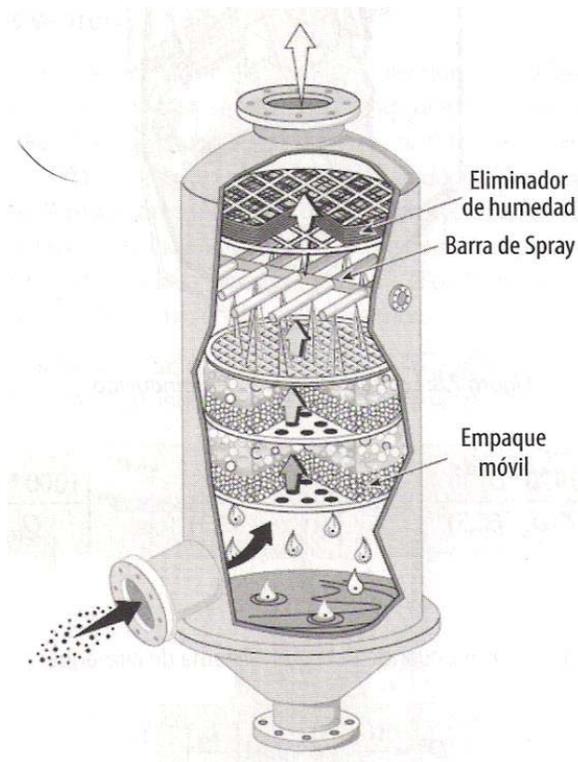


Figura 9.6: Scrubber de lecho fluidificado
Fuente : Aqualogy-Ingeniería en tratamiento

9.3.6 Scrubber Venturi

Un scrubber que tiene una tremenda aplicación en la recolección de aerosoles a nivel micra y submicra, es el scrubber venturi. En el comercio se encuentran muy diversas versiones de aparato. El scrubber que se muestra en la figura 9.7 es un modelo por vía húmeda. Generalmente se compra tal como se ilustra, con una caja de entrada, el Venturi el codo y el separador gas – liquido. Si se desea, la base del cono del separador puede servir como tanque de bomba, en cuyo caso se proporciona un interruptor de remolino. La configuración de flujo vertical descendente permite el paso rápido de una tubería de entrada seca al Venturi de pared mojada, sin que se presente el problema acostumbrado de la acumulación de solidos húmedos en la transición de húmedo a seco.

Las velocidades de garganta típicas son del orden de 60,96 a 243,84 m/s., para las que se pueden estimar lo tamaños de gotas inducidos, tomando como base la siguiente tabla :

Velocidad del aire m/seg	D _o tamaño medio de la gotita , μm	Tamaño de partículas de polvo que se puede lavar μm
1,52	366	>5
30,48	205	>2
60,96	125	>1
121,92	72	submicra
182,88	58	submicra

Tabla 9.1 : Tamaño de la partícula y gotita en un venturi scrubber

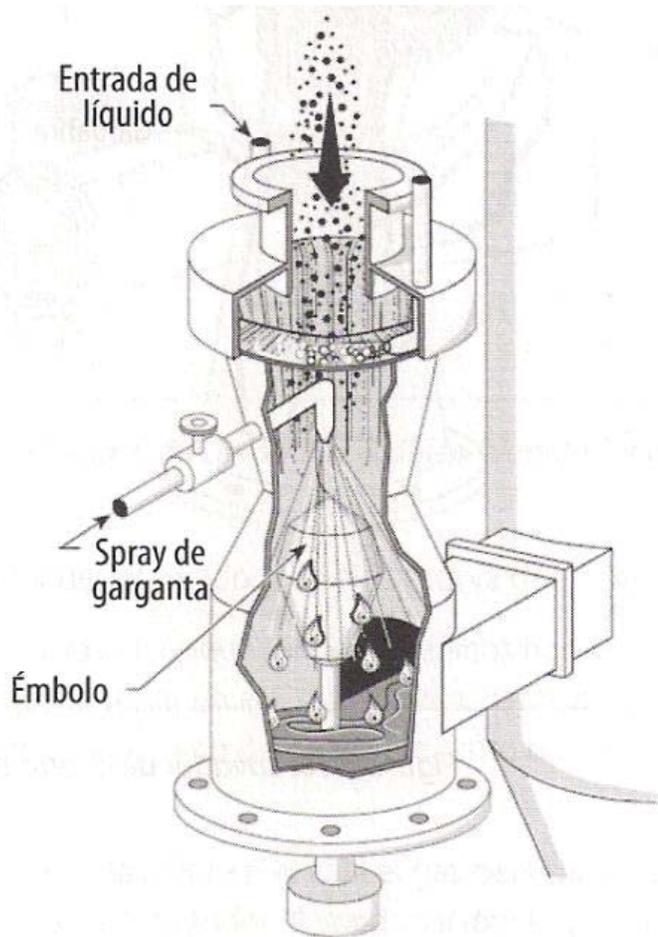


Figura 9.7 : Scrubber Venturi tipo vía húmeda
Fuente : Aqualogy-Ingeniería en tratamiento

9.3.7 Tipos de lecho empacado

El más común de los lechos empacados es el que se utiliza en scrubber de flujo paralelo o contra-flujo según se muestra en figura 9.5. La figura 9.8 muestra los tipos de relleno para estos equipos, cuyos nombres son los comerciales.



Figura 9.8 : tipo de relleno para flujo contra-corriente

En los scrubber de flujo cruzado, el gas entra y sale horizontalmente al equipo atravesando el lecho empacado y la irrigación de líquido es cruzado. Un tipo de relleno es

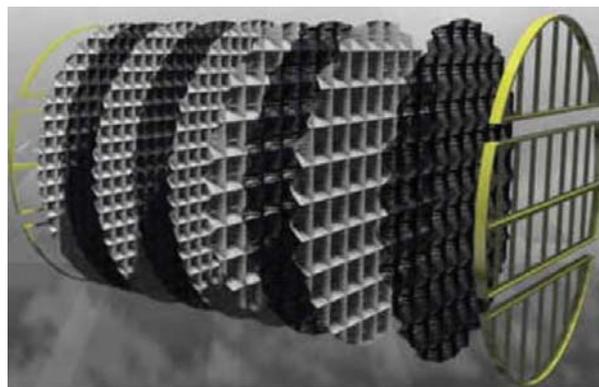


Figura 9.9 : Tipo material empacado usado
Fuente : KonTane de Kimre Inc.

El propósito primario del material del relleno es proveer una gran superficie para la transferencia de masa. Los rellenos usualmente son fabricados en plásticos tales como polietileno, polipropileno, teflón, pvdf entre otros.

10.0 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE UN SCRUBBER (LAVADOR DE GASES)

10.1 Introducción

Los contaminantes atmosféricos, ciertamente son un problema industrial de gran importancia, quizás se clasifican mejor por sus características físicas y no necesariamente por una fuente individual. La siguiente lista de tipos principales de contaminantes atmosféricos es útil para discutir las técnicas de control.

- a) **Gases nocivos:** sustancias como el cloruro de hidrógeno o dióxido de azufre, que normalmente se emiten en estado de vapor.
- b) **Líquido de arrastre:** líquido de partículas de 10 micras y más de tamaño, creado por los aerosoles, drag-out, agitación, o burbujeo, y recogido en los flujos de aire de escape.
- c) **Líquidos-partículas líquidas:** formadas por condensación de moléculas desde el estado de vapor ; El tamaño de partícula es 10 micras o menos.
- d) **Polvo - partículas sólidas:** generalmente 5 micras y mayores, formados por trituración o desintegración de sólidos.
- e) **Humos :** partículas sólidas menores de 1 micrón, formadas por condensación, sublimación u oxidación de vapores metálicos.
- f) **Partículas atrapadas:** partículas de nieblas, líquidos, polvo o humos, que son recogidas y transportadas por una corriente de aire a través de un sistema de ventilación por extracción.

Una vez que el tipo de contaminante está ampliamente definido, el Ingeniero responsable de la elección se enfrenta a la pregunta: "¿Qué sistema puede manejar mejor el problema?" Los scrubber húmedos son versátiles y probablemente son los más cercanos a una respuesta universal. Si el contaminante es corrosivo o existe en un ambiente corrosivo, los sistemas de

plástico reforzado con fibra de vidrio (FRP) son los más requeridos. Los scrubber húmedos abundan en una amplia variedad de diseños, tamaños, eficiencias y principios de recolección.

Al mismo tiempo, los Ingenieros están presionados para mantenerse al tanto de los avances en el desarrollo de materiales resistentes a la corrosión, especialmente los plásticos.

Se propone discutir los diseños típicos del scrubber húmedo, las ventajas y limitaciones de los plásticos reforzados en el diseño para ambientes corrosivos.

Los scrubber húmedos son adecuados para una amplia gama de aplicaciones corrosivas para las que otros tipos de scrubber pueden requerir modificaciones costosas o diseños inusuales. La principal ventaja de los scrubber húmedos, es el volumen constante de los gases de escape, la eliminación de los problemas secundarios de polvo durante la eliminación, el tamaño reducido y la capacidad de limpiar los gases calientes o cargados de humedad. Posibles puntos problemáticos para scrubber húmedos son aplicaciones donde puede ser necesaria una costosa clarificación del agua antes de su eliminación o reutilización. La congelación de las líneas de agua es un peligro potencial, y las trazas de vapor pueden estar presentes durante la operación de clima frío.

10.2 Criterios de selección

Básicamente, hay cinco tipos principales de scrubber húmedos: flujo cruzado, contracorriente, ciclón húmedo, Venturi y lavador de aire vertical. El empaque se utiliza en los dos primeros tipos. Estos scrubber empacados, así como Torres de Aspersión y deflectores, se describen a continuación, junto con su uso de control de contaminación más eficiente.

- a) **En scrubber de flujo cruzado**, la corriente de aire se desplaza horizontalmente a través de un lecho empacado y es irrigada por el líquido de lavado que fluye verticalmente a través del empaque. Los diseños de flujo cruzado se caracterizan por un bajo consumo de agua

y una capacidad de flujo de aire bastante alta con baja caída de presión. Se utilizan comúnmente para eliminar el material particulado de las corrientes de aire, así como para eliminar los contaminantes gaseosos. Las camas empacadas eliminarán con eficacia las partículas de niebla y rocío de tres micras y mayores por impacto.

El material particulado en la corriente de aire golpea el empaque húmedo, se adhiere a la superficie y es arrastrada por el líquido de lavado. El empaque seleccionado especialmente para eliminar las partículas, debe mantenerse húmedo para evitar que las partículas vuelvan a entrar en la corriente de gas.

Una gran cantidad de partículas de líquido arrastradas por sí mismas pueden proporcionar el riego del lecho empacado. En la mayoría de las aplicaciones industriales, sin embargo, el empaque se riega de manera habitual, debido a la naturaleza de las partículas eliminadas, a la baja concentración fluctuante de partículas eliminadas o a la posibilidad de reingreso si no se elimina. Para la eliminación de nieblas y partículas arrastradas de más de tres micrómetros de diámetro, los scrubber de flujo cruzado o de flujo paralelo proporcionan una eficacia de remoción satisfactoria y bajos costos de operación.

El diseño de flujo paralelo es una modificación del diseño de flujo cruzado en el que se utiliza una pulverización de lavado frontal para conseguir un flujo paralelo tanto de la corriente de gas como del líquido de lavado. Este sistema es particularmente eficaz para eliminar los líquidos arrastrados donde se carga la corriente con partículas sólidas de polvo. Debido a que el líquido de lavado cae a través del lecho empacado, no se puede usar más de un pie de profundidad de empaques. A menudo, los diseños de flujo cruzado y de flujo paralelo se combinan cuando se requiere lavado frontal para profundidades de empaques de más de un pie. Esta combinación es eficaz para el control

de corrientes de aire que transportan partículas sólidas y líquidas y trazas de gases nocivos.

El scrubber de flujo cruzado también se utiliza para eliminar partículas de polvo y humo sub-micrónicos. En el proceso de nucleación patentado, los scrubber de flujo cruzado pueden obtener altas eficiencias de recolección a tamaños de partícula en la gama sub-micrónica. Esto implica el pre tratamiento del aire de entrada, antes de que entre en el scrubber, para lograr las condiciones de flujo adecuadas. La corriente pasa a través de un lecho relleno y se produce una rápida condensación alrededor de las partículas de polvo. Este proceso amplía las partículas a un tamaño tal que pueden ser eliminadas efectivamente por el lecho empacado. Con una humidificación apropiada y condiciones de operación disponibles para la nucleación, una partícula de una micra se puede construir hasta cinco o seis micras. Con este aumento en el tamaño de partícula, las eficiencias de recolección de 90-99% pueden ser logrados en una cama de cuatro a cinco pies en un scrubber de flujo cruzado.

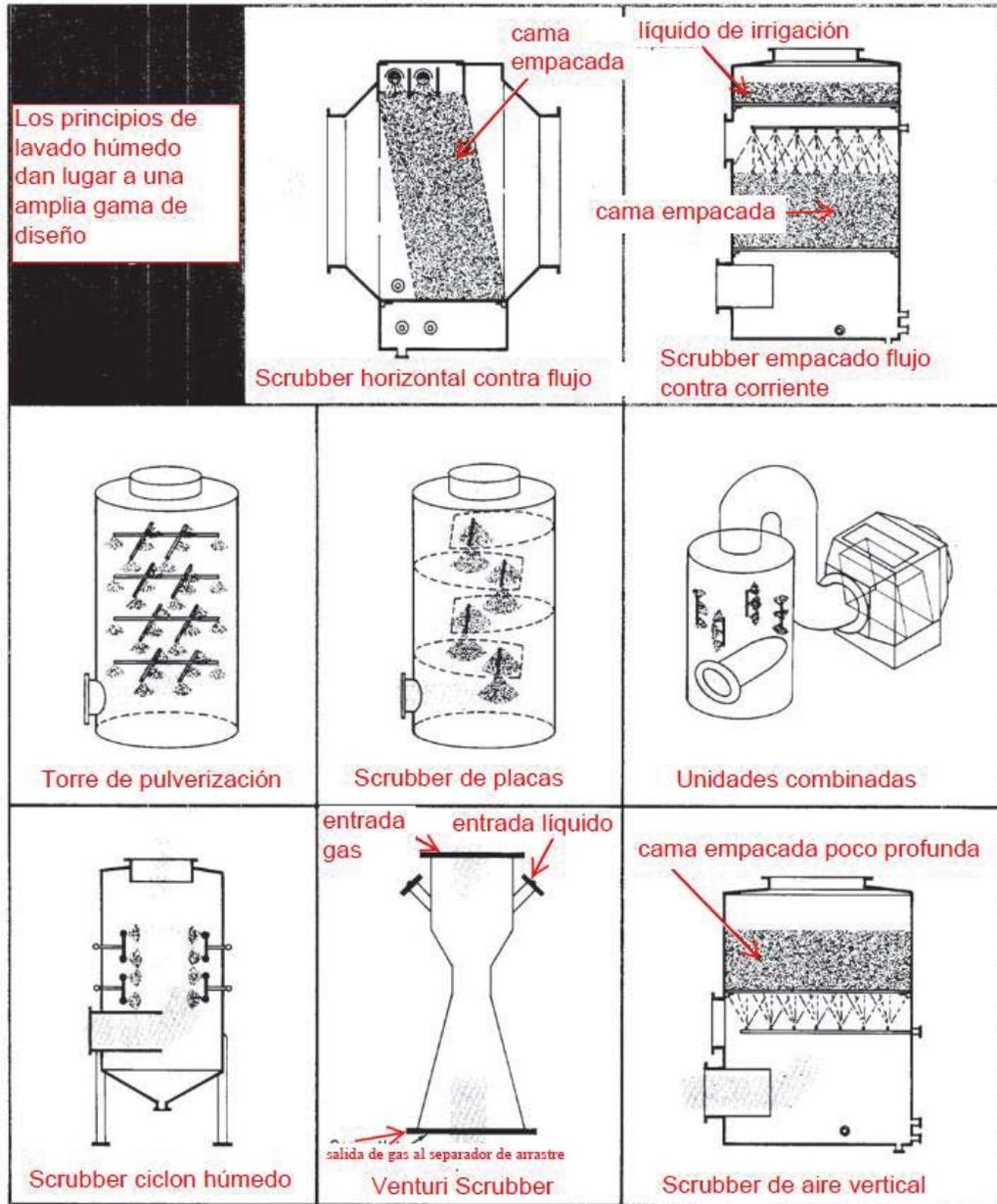


Figura 10.1 : Tipos de scrubber mas usados

b) En el scrubber empacado a contracorriente, la corriente de gas se mueve hacia arriba en contra la corriente de líquido de lavado, que se desplaza hacia abajo a través del lecho empacado. Con el uso de empaques de torre específicos, se obtiene la regeneración de la

superficie líquida sin aumento del consumo de energía. La regeneración de la superficie del líquido es más crítica para el rendimiento de una columna empacada que el área superficial del empaque utilizado en la columna.

La corriente de gas rica en contaminantes entra en contacto con el licor agotado en el fondo del lecho empacado. El líquido fresco que entra por la parte superior del scrubber está en contacto con el gas menos contaminado. Esta característica proporciona una fuerza bastante constante a través del lecho empacado para conducir el contaminante gaseoso al líquido de lavado. También hay menos posibilidades de que los gases disueltos sean eliminados del líquido.

Una modificación del diseño a contracorriente, es el scrubber de flujo simultáneo empacado. En este caso, los flujos de gas y líquido se mueven en la misma dirección, por lo general a través del lecho empacado. Estos scrubber pueden funcionar a altas velocidades de gas y, en el caso de la absorción de gas, a altas velocidades de líquido. Eliminan fácilmente los gases de alta solubilidad en agua y usualmente son lo suficientemente eficaces para eliminar los gases menos solubles.

Este diseño es útil en espacios limitados, ya que maneja altas velocidades de gas, y se pueden utilizar áreas de sección transversal relativamente baja. Las altas velocidades de gas en estos diseños no causan inundaciones, como lo harían en el diseño a contracorriente, porque la corriente de gas ayuda a empujar la corriente líquida a través del empaque.

Los scrubber de flujo cruzado y de contracorriente parecen llevar a cabo la misma función, pero cuando se eliminan gases o neblinas muy solubles, el scrubber de flujo cruzado tiene varias ventajas. Los

beneficios se derivan de la facilidad con la que las corrientes de gas y agua pasan a través del diseño de flujo cruzado, en comparación con la resistencia de las corrientes opuestas en flujo a contracorriente. Utilizando los mismos caudales máxicos de gas y de líquido, un scrubber de flujo cruzado tiene una tasa de líquido total y caída de presión más baja. Además de reducir drásticamente el consumo de agua, el principio de flujo cruzado también reduce los tamaños de los motores de la bomba y del ventilador. Otras ventajas incluyen menos taponamiento de la caída de sólidos en la placa de soporte del empaque y el posible uso de mayores tasas de gas y líquido debido a la caída de presión extremadamente baja.

El punto de equilibrio económico entre los dos diseños de scrubber se basa en la profundidad de empaque requerida. Si los requisitos de empaque para el flujo cruzado exceden de seis pies, el diseño de flujo de contra corriente normalmente tiene un costo de operación menor. Como se ha indicado anteriormente, los scrubber de flujo cruzado y contra corriente usan empaques. Tradicionalmente, los empaques de cerámica han sido comunes; los empaques de plástico, sin embargo, están entrando en un uso más amplio. Los empaques de plástico tienen la ventaja de ser virtualmente irrompibles, y su peso más ligero también permite scrubber de pared más pequeños, proporcionando ahorros en el costo del equipo. Un ejemplo son los nuevos empaques de polietileno (marca registrada Tellerette), tiene la forma de una hélice que se forma en una forma de rosca (toroide). Además de una baja caída de presión, tienen una capacidad superior para proporcionar la regeneración de la fase líquida de la superficie.

La absorción es relativamente rápida cuando el gas entra primero en contacto con un líquido. Sin embargo, después de que la superficie del líquido se satura, el gas disuelto se debe difundir de la superficie en un

proceso lento. La turbulencia traerá líquido fresco a la superficie y acelerará la absorción, pero esto requiere energía adicional y mayores costos operativos.

El empaque de Tellerette fue diseñado con un gran número de puntos de retención intersticial en los que el líquido se reúne y se dispersa de nuevo, exponiendo la nueva superficie para absorción sin añadir energía al sistema. Esto significa que la superficie del líquido cambia constantemente y se renueva a medida que el líquido avanza a través del lecho empacado.

c) **Los scrubber de ciclones húmedos** son eficientes para eliminar líquidos arrastrados y polvos de las corrientes de aire. Los altos niveles de flujo de gas se consiguen forzando el gas en un patrón de flujo en espiral. Fuerza centrífuga sobre las partículas arrastradas debido a este patrón de arco alcanza una fuerza de varios cientos de veces la fuerza de la gravedad; Las partículas arrastradas más grandes son forzadas a la pared del scrubber, ya que su masa es mucho mayor que la de la corriente de aire.

Las boquillas de pulverización de alta presión generan diminutas gotitas de pulverización líquida que interceptan partículas más pequeñas y aumentan aún más la eficiencia de la recolección. El líquido de lavado de los sistemas de pulverización también se lanza a la pared mediante la fuerza centrífuga y, junto con las partículas más grandes, drena la pared hacia el sumidero.

El diseño del ciclón húmedo es efectivo cuando la corriente de aire contiene partículas de polvo. Éstas se eliminan junto con las partículas líquidas por fuerza centrífuga e interceptación. Las características limitantes de este diseño son su mayor caída de presión, mayores

costos de bombeo para las boquillas de pulverización e incapacidad de la mayoría de los diseños de ciclones húmedos para eliminar partículas menores de cinco micras. Sin embargo, está disponible un proceso de inyección de líquido patentado que reduce la caída de presión de dos a cuatro pulgadas de agua en comparación con las seis a ocho pulgadas comunes a los scrubber de ciclones estándar. Este proceso, a su vez, elimina la alta caída de presión y reduce los costos de bombeo.

d) **Los scrubber de venturi** son los más adecuados para aplicaciones en donde las partículas sólidas o líquidas en las gamas baja y sub-micrónica de 0,5 - 5 micras que deben ser removidas de las corrientes de aire de escape. Tales partículas se crean por condensación de un vapor líquido o metálico o cuando una reacción química provoca la formación de una niebla o humo. Ejemplos típicos son los humos de cloruro de amonio procedentes de galvanización de acero, humos de pentóxido de fósforo a partir de la concentración de ácido fosfórico, neblina de plantas de hielo seco y humos de óxido de zinc procedentes de hornos de reverberación.

Para eliminar efectivamente estas partículas, debe producirse un contacto turbulento entre la corriente de gas que contiene las partículas y el líquido de lavado. El scrubber de venturi hace esto pasando las dos corrientes simultáneamente a través de la sección extremadamente pequeña de la garganta del venturi. La velocidad de ambas corrientes se acelera en la garganta del venturi, haciendo que el líquido se rompa en gotas extremadamente finas. Estas gotas líquidas chocan con las partículas transportadas por la corriente de gas para efectuar su eliminación. Las gotas se aglomeran para formar partículas más grandes de nuevo. La corriente de gas limpiada entonces se hace pasar a través de una unidad separadora para eliminar partículas líquidas arrastradas relativamente grandes.

Una característica dominante de funcionamiento de los scrubber de Venturi es sus alta caídas de presión, que pueden oscilar entre cinco pulgadas de agua y hasta 100 pulgadas. El diseño del purgador de Venturi determina que la caída de presión debe incrementarse a medida que el tamaño de partícula que se elimina se hace más pequeño.

Los scrubber de Venturi también se usan para eliminar gases solubles de corrientes de aire. Normalmente, tales aplicaciones se limitan a aquellos casos en los que también están presentes partículas pequeñas, debido a que los altos requerimientos energéticos operativos para los scrubber de Venturi, normalmente no los hacen económicamente factibles para controlar los contaminantes gaseosos.

e) La utilización del sistema **scrubber de aire vertical** es baja y se utiliza en las corrientes de aire de escape en las operaciones de acabado y chapado de metales. Utilizando un sistema de riego ascendente simultáneo con lechos empacado poco profundos, la arandela de aire vertical se utiliza para eliminar las partículas líquidas de anodización, decapado, grabado, limpieza, enjuague y algunas operaciones de galvanoplastia. Este diseño es eficaz en la eliminación de tamaños de partícula de hasta ocho micras a altas eficiencias de recolección.

Dos características importantes de este diseño son su baja tasa de riego (que puede ser tan baja como 2 gpm por 1000 cfm y su baja caída de presión (que normalmente es menos de 1,0 pulgadas de agua) .La caída de presión baja resulta en costos de operación extremadamente bajos, debido a los ahorros en potencia de ventilador requerida. Sin embargo, este diseño de la arandela no debe utilizarse cuando una concentración relativamente alta de contaminantes gaseosos está presente en la corriente de aire.

f) **Las torres de pulverización deflectora** requieren una alta velocidad de gas, con una resultante alta caída de presión para forzar las partículas contra los deflectores que se humedecen continuamente con gotitas de pulverización. Las Torres de pulverización bien diseñadas dan una eficiencia de recogida al 90% en partículas líquidas arrastradas mayores de 10 micras. Son caros de operar debido a alta presión, alto volumen, y requisitos de operación de ventilador alto.

Varios tipos de scrubber se utilizan a veces en serie. Por ejemplo, una combinación de ciclón húmedo / co-corriente con un scrubber empacado, elimina gas y polvo nocivos altamente solubles presentes en la misma corriente de gas. Esta combinación consta de dos secciones construidas esencialmente en una carcasa o equipo. La sección superior es un diseño de ciclón húmedo que elimina las partículas de polvo por la fuerza centrífuga. El polvo es arrastrado por el cuerpo del scrubber en un Lavador colocado encima de la cama empacada. Después de pasar a través de la sección de ciclón, la corriente de gas entra en un lecho empacado donde el gas altamente soluble se absorbe en el líquido de irrigación. Este diseño particular permite una alta velocidad frontal tanto en la sección ciclónica como en la sección empaquetada . Esto reduce los requerimientos de espacio para la cubierta del scrubber principal, pero se debe proporcionar un separador de arrastre separado cuando se usa esta combinación.

El ciclón húmedo proporciona cierta absorción inicial de gas mientras se elimina un gran porcentaje de las partículas sólidas. La sección simultánea elimina la mayoría de los gases solubles restantes y la mayor parte de las partículas sólidas restantes hasta cinco micras.

Las desventajas de este enfoque (ciclón húmedo / combinación de co-corriente) son que los requisitos de altura son excesivos y pueden no estar disponibles. Una disposición superior de entrada / salida inferior puede no

satisfacer el requisito total del sistema. Se debe suministrar un separador de arrastre.

Otra combinación típica es un ciclón húmedo seguido de un scrubber de flujo cruzado. Similar a la combinación de co-corriente, esta combinación manejará polvos de más de cinco micras a altas cargas y gases altamente solubles.

La combinación ciclón húmedo / flujo cruzado proporciona una recuperación económica de los gases de una corriente de aire cargada con partículas sólidas. De nuevo, el ciclón húmedo actúa como una sección de pre tratamiento o de lavado inicial mientras que el flujo cruzado actúa como el scrubber de gas de cola. La parte más pesada de los sólidos es eliminada en el ciclón húmedo. Los gases y partículas más pequeñas se eliminan en el scrubber de gases de cola. La eliminación de las partículas sólidas antes de que los gases entren en el scrubber empacado disminuye la posibilidad de cegar la placa de soporte de los empaques o de formar depósitos sólidos pesados en el lecho empacado.

Las ventajas de una combinación ciclón húmedo / flujo cruzado, por sobre el ciclón húmedo / flujo simultáneo son:

- Mayor flexibilidad en la elección de licores de lavado para cada sección.
- Recuperación en cualquier etapa sin contaminación de la etapa anterior.
- Absorción de gas más eficiente con mayor eficiencia general.
- La carcasa separada permite una instalación independiente, lo que permite la propagación de la inversión inicial durante un período de tiempo mayor.

- Una flexibilidad que permite la adición de más empaques en una fecha posterior para aumentar la absorción de gas. El scrubber de flujo cruzado actúa como un separador de arrastre incorporado.

Se pueden adaptar otras combinaciones, tales como Venturi seguidas por scrubber de flujo cruzado, simultáneo seguidos por contracorriente, Venturi seguidos de contracorriente, etc., para manejar un requisito específico. La combinación exacta más adecuada para el problema se basaría en los requerimientos de desempeño, la naturaleza de los contaminantes y los costos (iniciales y operativos).

10.3 Materiales de los Scrubber

Los materiales de construcción disponibles para los scrubber utilizados en servicio corrosivo incluyen plástico reforzado con fibra de vidrio (FRP), acero con epoxi, acero inoxidable y costosas aleaciones de titanio y níquel.

El plástico reforzado, por una serie de razones, es probablemente más adecuado para servicios más corrosivos que cualquier otro material. Tres criterios principales deciden lo que los scrubber de FRP pueden manejar :

- resistencia a la temperatura
- la corrosión
- y la abrasión

La limitación de la temperatura de FRP está usualmente en el rango de 120°C-150°C. Las cámaras de enfriamiento localizadas antes de los scrubber húmedos de FRP, sin embargo, con frecuencia pueden resolver un problema de alta temperatura.

Los materiales, **partículas o gases corrosivos** generalmente no son un problema; Poliéster, epoxi o resina vinilester, manejan la mayoría de los

materiales corrosivos. Las excepciones son unos pocos agentes oxidantes concentrados, tales como ácido sulfúrico por encima de las concentraciones del 70%. Poliéster reforzado ofrece la más amplia gama de protección contra la corrosión; Los vinilester usualmente se usan cuando los disolventes u orgánicos están presentes en cantidades considerables y los epoxi tienen la mejor resistencia alcalina.

La **resistencia a la abrasión** usualmente no presenta un problema con los scrubber húmedos de FRP, porque la adición de aire y agua en el proceso de control reduce la acción abrasiva de los sólidos.

Por lo general, los costos iniciales del equipo de FRP son tan bajos como 75% el costo de acero recubierto de caucho, un 33% del costo de la cerámica, un 50% del costo de los equipos revestidos con ladrillos ácidos y mucho menos que las unidades de acero inoxidable o de aleaciones más exóticas.

En un equipo de gran tamaño, el plástico reforzado puede ser competitivo con los materiales tan comunes como el acero carbono porque el coste de la manipulación y de la soldadura en terreno del equipo de acero es alto. El costo de instalación generalmente es bajo, debido a un peso más ligero, menos soportes, flexibilidad de ubicación, costos de envío reducidos y menos fabricación de terreno (el equipo se envía con frecuencia pre-ensamblado).

El mantenimiento del equipo de FRP es mínimo, ya que el FRP resiste la corrosión y la intemperie. Las reparaciones, si es necesario, pueden ser realizadas por personal no especializado. Los costos de mantenimiento pueden ser tan bajos como una mitad a un quinto de los equipos de aleaciones de acero, ya que no hay corrosión externa.

El equipo puede ser enviado en forma unificada o pre-ensamblada, o fabricado en el sitio de trabajo por medio de subunidades que se ensamblan. La

limitación del tamaño del equipo de plástico o FRP es el mismo que otros materiales de construcción - limitación del tamaño de envío del equipo.

Debido al peso mucho más ligero del plástico reforzado, el equipo de gran tamaño con frecuencia puede ser enviado en varias piezas para el ensamblaje final en terreno con un ahorro total sobre una construcción de acero completamente ensamblada en terreno.

10.4 Resumen del criterio de selección Técnica.

En resumen, se puede seleccionar técnicamente un Lavador de Gases o scrubber considerando aleatoriamente las siguientes variables :

a) El tipo de contaminante a identificar, manejar o controlar :

- Gases nocivos, identificar el componente ácido en mayor proporción, sustancias como el HCl o SO₂ , que normalmente se emiten en estado de vapor.
- Líquido de arrastre, líquidos de partículas de 10 micras y más de tamaño, creado por aerosoles, agitación o burbujeo, que es recogido en las corrientes de gases de escape.
- Líquido – partículas líquidas, formados por condensación de moléculas desde el estado de vapor, el tamaño de partícula es de 10 micras o menor.
- polvo – partículas sólidas, generalmente partículas con tamaño de 5 micras y más, formados por la trituración o desintegración de sólidos.
- Humos, partículas sólidas de menos a 1 micra, formadas por condensación, sublimación u oxidación de vapores metálicos.

- partículas atrapadas, partículas de nieblas, líquidos, polvos o humos, que son recogidas y transportadas por una corriente de aire a través de un sistema de ventilación por extracción.

Una vez que se define, identifica el contaminante se puede pre-seleccionar el tipo de scrubber, donde los más usados dada su versatilidad son los húmedos, cuyas principales ventajas son el manejo de grandes volúmenes de gases de escape en régimen constante, la eliminación de polvo durante el proceso, el tamaño reducido y la capacidad de limpiar gases calientes o cargados de humedad.

- b) Los requerimientos o rangos permitidos por la legislación ambiental vigente para la zona del contaminante a tratar.

En general la regulación de la emisiones se controlan de acuerdo a tres puntos fundamentales :

- En la mayoría de las regiones industriales del mundo, existen Normas que regulan las emisiones de gases (principalmente SOX y NOX), material particulado (2,5 y 10 micras) , por tanto, fundiciones, calderas, cementeras, plantas de molienda, etc., regularizan sus emisiones para cumplir con la reglamentación vigente de cada una de las geografías.
- Existen empresas que necesitan recuperar el material que se escapa (es el caso del material particulado) y reutilizarlo, ya que es parte de su proceso de producción o simplemente para reutilizar el material que normalmente se emite al medioambiente, esto ocurre principalmente en empresas alimenticias, mineras, farmacéuticas entre otras.
- Por reglamentaciones internacionales relacionadas con la certificación de algunas empresas para poder acceder a mercados extranjeros.

c) El tipo de scrubber preferentemente del tipo húmedo. Aquel que sea más eficiente para el contaminante a disminuir. Los tipos más habituales son :

- De flujo cruzado, empacado

En este caso el gas entra y sale horizontalmente al equipo atravesando el lecho empacado y la irrigación de líquido es cruzado. Se utilizan comúnmente para eliminar el material particulado de las corrientes de aire, así como para eliminar los contaminantes gaseosos. Las camas empacadas eliminarán con eficacia las partículas de niebla y rocío de 3 micras y mayores por impacto.

- Contracorriente, empacado

En este tipo la corriente de gas se mueve hacia arriba en contra la corriente de líquido de lavado, que se desplaza hacia abajo a través del lecho empacado. Este tipo lleva a cabo la misma función que el tipo flujo cruzado, pero cuando se eliminan gases o neblinas poco solubles, necesita mayor tasa de líquido de irrigación, posee mayor caída de presión, sin embargo su costo de operación es menor.

- Ciclón húmedo

Son eficientes para eliminar líquidos arrastrados y polvos de las corrientes de aire. El diseño del ciclón húmedo es efectivo cuando la corriente de aire contiene partículas de polvo, estas se eliminan junto con las partículas líquidas por fuerza centrífuga e intercepción. Las características limitantes de este diseño son su mayor caída de presión, mayores costos de

bombeo para las boquillas de pulverización e incapacidad de la mayoría de los diseños de ciclones húmedos para eliminar partículas menores de 5 micras.

- Venturi

Son los más adecuados para aplicaciones en donde las partículas sólidas o líquidas en las gamas baja y sub-micrónica de 0,5 - 5 micras que deben ser removidas de las corrientes de gases de escape. Ejemplos típicos son los humos de cloruro de amonio procedentes de galvanización de acero, humos de pentóxido de fósforo a partir de la concentración de ácido fosfórico, neblina de plantas de hielo seco y humos de óxido de zinc procedentes de hornos de reverberación.

d) El material de fabricación del scrubber que cumple mejor con las variables :

- Temperatura
- Corrosión
- Abrasión

El material que mejor cumple con estas variables es el Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio y además por su bajo costo comparativo de fabricación y montaje con respecto al acero carbono revestido con ladrillos o caucho y el acero inoxidable, lo hace ser el más usado y recomendado.

e) Otro criterio o variable a tener en consideración es el layout del emplazamiento del equipo. El espacio físico disponible para instalar o montar el scrubber.

En algunas situaciones no existe el espacio suficiente para emplazar el equipo y sus conexiones lo que hace evaluar equipos más compactos ó unidades combinadas.

f) El costo de operación es importante considerarlo como variable, para ello se debe evaluar los siguientes ítems, para un scrubber empacado húmedo :

- Consumo agua de irrigación
- Consumo de componente químico en solución con el agua
- Disposición de riles :
 - Residuos peligrosos : transporte + deposito final
 - Residuos no peligrosos : transporte + vertedero municipal
- Disposición de riles :
 - Alcantarillado
 - Planta de riles
- Costo de Mantención

11.0 APLICACIÓN DE METODOLOGÍA - ESTUDIO DE CASO REAL

11.1 Descripción

En Mayo del año 2014, SQM Industrial S.A., planta Coya Sur en la localidad María Elena II Región, encargó la Ingeniería Básica para un sistema de lavado de gases para 4 Calderas diesel a la empresa ADS Ingeniería y Construcción Ltda.

En este trabajo se aplicaron los criterios de selección descritos en el punto 10 de esta tesis, si bien es cierto el objetivo de la Ingeniería Básica es otro, se aprovecha este desarrollo para utilizar el criterio de selección del scrubber más adecuado para este caso real.

Para la realización de este trabajo se comenzó por hacer una visita a terreno, rescatando o recopilando la mayor cantidad de información disponible, haciendo un levantamiento dimensional, entrevistas con los jefes del área y set fotográfico.



Figura 11.1 : Foto de Calderas SQM planta Coya Sur-María Elena

11.2 Criterios de selección

a) Emplazamiento del equipo.

Por un requerimiento del cliente, el espacio disponible para emplazar los equipos es sobre la estructura de la techumbre en la nave que contiene las calderas. Este requerimiento impuesto condiciona un tanto la elección del scrubber, dado que es una posición en altura y se debe tratar de distribuir la carga sobre la estructura, esta situación lleva a considerar a priori un scrubber por cada caldera, esto favorece el tamaño del equipo y anexos.

b) Tipo y características del contaminante a controlar.

El combustible que utilizan estas calderas es petróleo bunker, cuyas características son :

- Densidad a 15°C : 990 kg/m³
- Fracción de volumen agua y sedimento : < 0,05 %
- Temperatura de inflamación : 116 °C
- Fracción de masa de Azufre : 2,37 %m/m
- Viscosidad a 50°C : 137 SSF
- Fracción de masa residuo carbón Conradson : 14,62 %m/m
- Fracción de masa de ceniza : 0,03 %m/m
- Punto de fluidez : 1,7 °C
- Fracción de Nitrógeno : 0,23 %m/m
- Poder calórico : 43.4 MJ/kg

En teoría durante la combustión de Hidrocarburos en Calderas se generan gases ácidos y contaminantes tales como CO, CO₂, NO₂, SO₂, NO_x, SO_x, además material particulado, estos deben ser controlados y manejados dentro de los rangos permitidos.

En el caso real descrito se tiene un análisis promedio para los gases de escape y datos de proceso entregados por el mandante, mostrados en tabla:

O₂	CO	CO₂	T-gases	T-amb.	Caudal
%	ppm	%	° C	° C	m³/h
6,4	16,1	11,5	141	37,9	19279

CO_x	NO	SO₂	NO_x	SO_{2x}	
ppm	Ppm	ppm	ppm	ppm	
37,0	173,1	373,0	245,3	528,9	

Tabla 11.1 : Resumen de mediciones contaminantes gases de escape

c) Claramente los gases de mayor proporción es el SO₂, para ello el tipo de scrubber más apropiado es del tipo empacado húmedo , dado que es la tecnología más ampliamente utilizada en el mundo para el control de contaminantes como el SO₂ , NO₂ .

Se selecciona un lavador ó scrubber húmedo del tipo flujo cruzado de lecho empacado.

Otra razón de esta selección, por tratarse de una zona con escasez del recurso hídrico, este tipo de scrubber se caracteriza por un bajo consumo de agua.

Además, este tipo de scrubber se caracteriza por la posibilidad de manejar grandes caudales de gases, que es el caso en particular.

En este caso particular, el flujo de gas se contactará con una solución al 5% de Hidroxido de Sodio (NaOH)(Soda) en agua manejado con un sistema de bombeo, en un medio empacado.

El esquema de proceso se muestra a continuación :

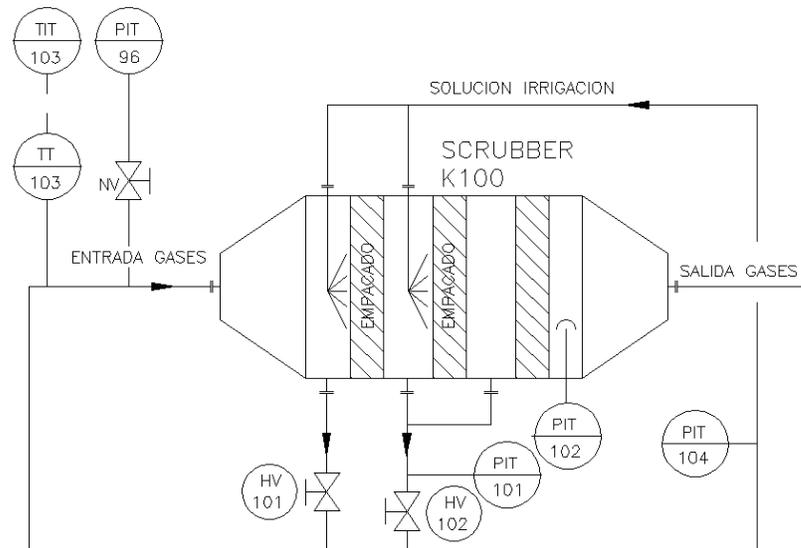


Figura 11.2 : Esquema de proceso para Scrubber seleccionado

El material de empacado es del tipo Kon-Tane de Kimre Inc.

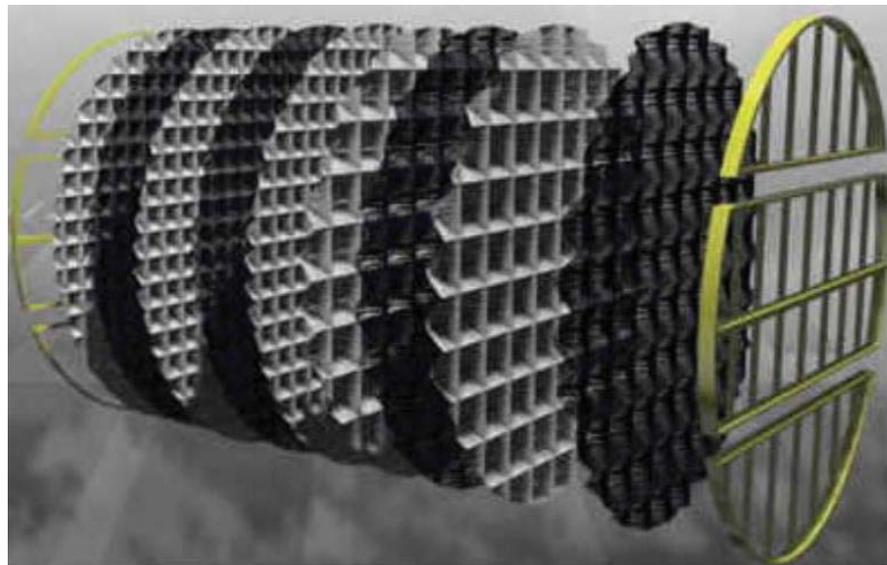


Figura 11.3 : Tipo material empacado usado – KonTane de Kimre Inc.

- d) El material apropiado para este scrubber es plástico reforzado con Fibra de Vidrio (FRP), por ser un material bastante liviano y de buen comportamiento para este ambiente corrosivo, recordar que al estar ubicado sobre la techumbre se requiere el menor peso posible.

Hay un solo inconveniente por considerar en la aplicación de este material, que es la elevada temperatura de los gases de escape de las Calderas, 141 °C en promedio. Por tal razón se debe utilizar la tecnología dual-laminate que consiste en usar un liner o capa interior con un termoplástico que genere la barrera para soportar la T° y así no dañe el FRP. Este termoplástico es el polifluoruro de vinilideno (PVDF) cuya T° de servicio es de 140 a 150 °C.

Esta situación se puede abordar con un enfriador antes del scrubber, pero el mandante no lo aceptó y asume la diferencia de costo en el material a utilizar.

- e) Al ser un scrubber del tipo húmedo, posee un costo de operación bajo si se compara con un mismo de flujo paralelo empacado. Por esta razón también la elección de este scrubber es conveniente.

12.0 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Este trabajo es buen apoyo técnico para la decisión de seleccionar un lavador de gases ó scrubber bajo los distintos criterios descritos.

Cabe hacer notar que este trabajo consiste solo en seleccionar técnicamente un scrubber, el siguiente paso consiste en desarrollar una Ingeniería Básica donde la especialidad Mecánica debe dimensionar el equipo, bombas, piping, ductos, etc.. Por otro lado, esta Ingeniería debe complementarse con las especialidades, Procesos, Eléctrica y Control, Civil-Estructural, para determinar finalmente el Capex del proyecto.

Según los datos de análisis de los gases de escape no señala información del material particulado, esto no significa que no existan. Siempre están presentes y se debieran medir y evaluar si acaso requiere un filtro de mangas previo al scrubber u optar por otra alternativa. A pesar que en el scrubber de flujo cruzado seleccionado también tiene capacidad de atrapar material particulado.

Por otro lado, la alta temperatura de los gases de escape encarece el material de fabricación, motivo de otro diseño sería considerar un enfriador (Quench) antes del scrubber con irrigación de agua limpia y que además ayudaría a precipitar material particulado.

No se menciona pero esta la alternativa o variable de selección lo que el mandante exige, requiere ó necesita, que al final condicionan un tanto la selección, pero es una variable que se da, no con tanta frecuencia pero se da.

A modo de mención solamente, en la actualidad además de tratar contaminantes también se está dando el tratamiento de olores y para ello existen o se diseñan equipos que básicamente usan el mismo principio de los scrubber con algunos matices, es decir la transferencia de masas entre dos o más medios.

Como conclusión, se tiene la sensación de que esta Tesis cumple con el objetivo general planteado inicialmente y da pie a ahondar en otros temas relacionados con el tratamiento de los contaminantes en la industria principalmente.

A modo de información, en la actualidad se encuentra aprobado por el Ministerio del Medio Ambiente, un Anteproyecto de Norma de emisión para Calderas, según resolución N°0549 con Fecha 26 de Mayo del 2017. Esta Norma regula la emisión de contaminantes SO_x , NO_x , CO, Hg y material particulado para calderas nuevas y existentes de acuerdo a su potencia, combustibles sólidos, líquidos o gaseosos.

13.0 BIBLIOGRAFIA

- Texto “ Ingeniería en ventilación y filtración de aire” por Ing. Patricio Ubilla Thompson de AQUALOGY
- Publicación en Environmental Science & Tecnology por Edward B. Hanf volumen 4, number 2, February 1970.
- Ley oficial N°19.300 sobre Bases generales del Medio Ambiente.
- Decreto Supremo N°4 de 1992 del MINSAL.
- Decreto Supremo N°32 de 1990 del MINSAL.
- Decreto Supremo N°29 del 12 de Septiembre de 2013.
- Documento preparado por Unidad de Desarrollo Tecnológico – Universidad de Concepción el 19 Abril 2012. “Antecedentes para elaborar una Norma de emisión para calderas y procesos de combustión en el sector industrial, comercial y residencial”, para el Ministerio del Medio Ambiente, región Metropolitana.
- Fabricante de medios filtrantes KIMRE, INC.
- Web www.slyfilters.com
- Web www.pdengineer.com