

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

**APLICACION DE LAS OPERACIONES UNITARIAS AL
CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AIRE**

M O N O G R A F I A

que para obtener el título de:

I N G E N I E R O Q U I M I C O

p r e s e n t a :

SALVADOR CISNEROS DOMINGUEZ

México, D. F.

1977



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Tesis 1977
M- ~~98~~ 98
FECHA _____
PROC _____
1 _____



QUIMICA

PRESIDENTE	Dr. Ramón Vilchis Zimbrón
VOCAL	I.Q. Jorge Mencarini Peniche
SECRETARIO	I.Q. Ricardo A. Ricardez Solís
1er. SUPLENTE	I.Q. Alberto de la Fuente Zuno
2do. SUPLENTE	I.Q. Ramón Arnaud Huerta

Sitio donde se desarrolló el tema: Facultad de Química

SUSTENTANTE	Salvador Cisneros Domínguez
ASESOR DEL TEMA	I.Q. Ricardo A. Ricardez Solís

INDICE

		Página
	Introducción	1
	Importancia del control ambiental	4
	Operaciones unitarias.	4
Capítulo I	Agentes Contaminantes	6
	Gases orgánicos	7
	Hidrocarburos	8
	Derivados de hidrocarburos	11
	Gases inorgánicos	11
	Oxidos de nitrógeno	13
	Oxidos de azufre	14
	Monóxido de carbono	15
	Importancia de los gases inorgánicos	15
	Oxidos de nitrógeno	16
	Oxidos de azufre	17
	Monóxido de carbono	19
	Otros gases inorgánicos	19
	Aerosoles	19
	Partículas de carbono u hollín.	20
	Oxidos metálicos y sales.	21
	Gotas de aceite y alquitrán.	21
	Silicatos y otros polvos inorgánicos	23
	Humos metálicos	24
Capítulo II	Control de Aerosoles	
	Sistemas de extracción local	27
	Equipo para el control de aerosoles	28
	Separadores inerciales	29

Métodos de colección	
húmeda	31
Teoría de la colección	33
Mecanismos para el humedecimiento de las partículas.	33
Equipo para colección húmeda.	35
Cámaras de esparado	35
Purificadores tipo ciclón.	35
Purificadores venturi	37
Torres empacadas	38
Colectores de bolsa	39
Precipitadores eléctricos de un paso	42
Precipitadores eléctricos de dos pasos	47
Otros métodos de colección de aerosoles	50

Capítulo III Control de Emisiones Gaseosas

Quemadores posteriores	53
Quemadores de fuego directo.	54
Quemadores catalíticos	56
Calderas como quemadores	59
Equipo de Adsorción	61
Condensadores de vapor	67
Equipo de absorción de gases.	70
Torres empacadas	73
Díametro de la torre	79
Número de unidades de transferencia	83
Altura de una unidad de transferencia	88
Caída de presión a través del empaque	91

Capítulo IV.

Equipo para el control en
Procesos Químicos

Torres de platos	92
Díametro de la torre	95
Número de platos teó- rico.	96
Fabricación de resinas	99
Resinas termofijas	100
Resinas temoplásti- cas.	103
Contaminantes	105
Equipo para el control de contaminantes.	107
Fabricación de Barnices	110
Contaminantes	113
Equipo para el control de contaminantes	115
* Fabricación de Acido Sul- fúrico.	117
Contaminantes	117
Equipo para el control de dióxido de azufre.	119
Equipo para el control de niebla acida.	
Fabricación de Acido Fos- fórico.	122
Contaminantes	123
Equipo para el control de contaminantes	124
* Fabricación de jabones y detergentes.	126
Contaminantes	128
Equipo para el control de contaminantes	129

Galvanoplastia	131
Contaminantes	133
Equipo para el control de contaminantes	135
Fabricación de insecticidas	136
Contaminantes	139
Equipo para el control de contaminantes.	140
Recuperación de aceites y solventes.	141
Contaminantes	144
Equipo para el control de contaminantes.	144

Bibliografía	145
--------------	-----

I N T R O D U C C I O N

El mundo moderno ha creado la necesidad de productos cada vez más elaborados para el bienestar y confort de los seres humanos, la televisión, la radio, el automóvil, alimentos prefabricados, en fin todos los medios de los que nos valemos todos los días para vivir más comodamente.

Dentro de la industria, los artículos que en ésta se fabrican son más complicados que antaño, las materias primas requeridas han tenido que transformarse en productos más refinados y desafortunadamente estos cambios han traído consigo también la transformación del medio ambiente natural en un medio, si bien más sofisticado más hostil para la evolución natural y la preservación de las especies.

En los últimos tiempos, probablemente el cambio más notable ha sido el de nuestra atmósfera, de un gas limpio y transparente, en un gas visible, gris y tóxico.

Literalmente, cualquier sustancia normalmente no presente en la

atmósfera o medida ahí en cantidades más grandes que las concentraciones normales, debería ser considerada como un contaminante del aire.

Sin embargo, más prácticamente, una sustancia no es considerada como contaminante, hasta que su presencia y concentración produce o contribuye a la producción de algunos efectos perniciosos.

Muchas sustancias extrañas se encuentran en la atmósfera como resultado de la actividad humana. En circunstancias normales, se difunden en un gran volumen de aire y no se acumulan en concentraciones dañinas.

Los problemas de contaminación del aire pueden existir sobre áreas pequeñas como resultado de una fuente de emisión o sobre grandes superficies debidas al conjunto de varias fuentes emisoras.

Los factores que contribuyen a crear una atmósfera contaminada son tanto naturales como ocasionados por el hombre.

Los factores naturales son principalmente meteorológicos, que restringen la difusión normal de emisiones contaminantes, tales como: inversiones de temperatura, que impiden la difusión hacia capas atmosféricas superiores.

féricas más altas; muy bajas velocidades de viento, que no permiten a los contaminantes moverse lejos de sus puntos de origen. Otros factores naturales son geográficos, como el caso de la Ciudad de México, un valle rodeado de montañas, que ocasionan que el flujo de aire siga un patrón y lleve de una área a otra todo lo que lleva consigo. Estos factores están fuera del control humano. Los factores provocados por el hombre envuelven la emisión de agentes contaminantes del aire en cantidades suficientes para producir efectos nocivos y estos si están dentro de la esfera de control del hombre.

Dentro de la contaminación del aire el principal problema consiste en sobrecargar la atmósfera con materiales dañinos y no deseados. Es este el problema usualmente asociado con un área industrial. Los contaminantes frecuentemente incluyen: compuestos de azufre (óxidos de azufre, sulfatos, sulfitos, mercaptanos); fluoruros, óxidos metálicos, olores, humo y todos los tipos de polvos y humos.

Los efectos nocivos pueden ser tales como causar enfermedad y muerte a personas y animales, daños a la vegetación, o solamente a las personas en las áreas afectadas.

OPERACIONES UNITARIAS

Las operaciones unitarias en su concepto dentro de la Ingeniería Química se basan en la interpretación de secuencias de pasos que varían ampliamente y que pueden reducirse a operaciones sencillas o bien a reacciones, que sean idénticas en sus fundamentos, haciendo caso omiso del material que se procesa.

La versatilidad de la ingeniería química conduce en la práctica, al desdoblamiento de un proceso complejo en estados físicos individuales llamados operaciones unitarias, así como también en reacciones químicas.

Este principio fue enunciado por primera vez en 1915 por A.D.

Little:

" Cualquier proceso químico, en cualquier escala que se lleve a cabo, se puede dividir en una serie coordinada de lo que puede ser llamado acciones unitarias, como pulverización, mezclado, calentamiento, absorción, condensación, lixiviación, precipitación, cristalización, filtración, disolución, electrólisis y así sucesivamente.

Como podemos notar, la gran mayoría de las operaciones unitarias anteriormente descritas han contribuido en mayor o menor grado a aumentar la contaminación del aire, pero así también la gran mayoría de éstos puede contribuir a combatirla.

En los siguientes capítulos del presente trabajo, se pretende tratar de la manera más sencilla posible a los principales contaminantes del aire, así como los métodos de aplicación de las operaciones unitarias que se están llevando a cabo para combatirlos.

CAPITULO I

AGENTES CONTAMINANTES

Las sustancias consideradas como contaminantes del aire caen dentro de tres clases en base a su composición química y su estado físico. Estas clases son gases orgánicos, gases inorgánicos y aerosoles. Cada clase puede incluir muchos diferentes compuestos, emanados de diferentes fuentes y contribuyen a la producción de un número de efectos 'smog' característicos.

GASES ORGANICOS

El primer grupo, gases orgánicos, consiste enteramente de compuestos de carbón e hidrógeno y sus derivados. Estos incluyen toda clase de hidrocarburos (olefinas, parafinas y aromáticos) y los compuestos formados cuando algo del hidrógeno en los compuestos originales es reemplazado por oxígeno, halógenos, nitrógeno u otros grupos sustituyentes. Los resultados son los derivados de hidrocarburos.

El origen principal de los hidrocarburos es el petróleo, y las principales fuentes de emisión de hidrocarburos y sus derivados son aquellas relacionadas con el proceso y el uso del petróleo y sus productos. Los

hidrocarburos son liberados hacia la atmósfera durante la refinación del petróleo, durante el transporte y el almacenaje de sus productos, y durante el uso de éstos, tales como gasolinas, lubricantes y solventes. Los derivados de hidrocarburos puede ser también liberados a la atmósfera en conexión con estos procesos y con su manufactura y uso. Incluso pueden ser formados en la atmósfera como resultado de ciertas reacciones fotoquímicas.

Hidrocarburos

La fuente más importante de emisión de hidrocarburos es el uso de gasolina para la operación de millones de vehículos de motor. Esta fuente contribuye aproximadamente con 551 toneladas por día por cada millón de vehículos de motor, que emiten 1,930 toneladas de hidrocarburos por día, el 70 por ciento de las emisiones totales. De ésta cantidad, cerca del 73 por ciento es atribuida a emisiones de escape; 10 por ciento en los arranques y 17 por ciento a la evaporación de gasolina de carburadores y tanques de gasolina. Excepto por el 2 por ciento del total, el balance de las emisiones de hidrocarburos se divide entre la industria del petróleo y los usos comerciales e industriales de solventes orgánicos.

Las clases de hidrocarburos de éstas fuentes varían considerable-

mente . Los escapes de motores, por ejemplo, es la principal fuente de olefinas, a pesar de que otras fuentes conectadas con la operación de vehículos de motor y con el proceso y manejo de gasolina, contribuyen en proporción directa con el contenido de olefinas en la gasolina. Todas estas fuentes contribuyen con parafinas y aromáticos, y las emisiones de hidrocarburos del uso de los solventes se componen casi enteramente de estas dos clases.

Derivados de Hidrocarburos.

De las 300 toneladas de derivados de hidrocarburos (o hidrocarburos sustituidos) emitidos en los Angeles al día, cerca de tres - cuartas partes resultan del uso de los solventes, tales como recubrimientos de superficies, desengrase, lavado en seco y otros procesos comerciales e industriales. El balance incluye los productos de combustión de varios combustibles del petróleo y de la incineración de - desechos. Los hidrocarburos sustituidos emitidos a la atmósfera por el uso comercial e industrial de solventes orgánicos incluyen oxigena
dos, como aldehidos, cetonas y alcoholes, ácidos orgánicos, hidrocar
buros clorados. La mayoría de los derivados de hidrocarburos asocia
dos con los recubrimientos de superficies son oxigenados, cuya pre
sencia puede ser relacionada ya sea al solvente mismo o a los produc

tos resultado de la oxidación parcial envuelta en el secado de los obje
tos recubiertos. Los derivados de hidrocarburos asociados con el de-
sengrase y el lavado en seco, la mayoría son hidrocarburos clorados.
Los derivados producto de la combustión de gasolina o desechos, son
resultantes de la combustión incompleta y son enteramente oxigenados.

Hasta aquí, la composición de emisiones atmosféricas de deri-
vados de hidrocarburos es comúnmente de un cuarto a un tercio de -
hidrocarburos clorados y dos tercios a tres cuartos de oxigenados.

Sumando a los derivados de hidrocarburos producto de emisio-
nes directas, la atmósfera de un 'smog' fotoquímico contiene compues-
tos similares formados ahí como resultado de las reacciones que pro-
duce ese smog.

Estos hidrocarburos sustituidos incluyen los compuestos oxige-
nados, como cetonas, aldehidos, alcoholes y ácidos orgánicos y com-
puestos nitrogenados, tales como nitratos de peroxiacilo y quizá nitro
olefinas. Estos compuestos son los productos de la oxidación parcial
de hidrocarburos y sus derivados en la atmósfera y de reacciones at-
mosféricas entre óxidos de nitrógeno y gases orgánicos.

Los hidrocarburos y sus derivados son factores importantes -

dentro del problema de contaminación atmosférica, por su habilidad para participar en las reacciones atmosféricas que producen efectos asociados con el smog fotoquímico. El grupo más reactivo, las olefinas - (hidrocarburos no saturados) pueden reaccionar con dióxido de nitrógeno y producir daños a la vegetación, irritación en los ojos, aerosoles reductores de visibilidad, oxidantes y ozono. Las parafinas (hidrocarburos saturados) pueden reaccionar también con dióxido de nitrógeno para producir todos los efectos anteriores, excepto daños a las plantas. Los hidrocarburos aromáticos, particularmente aquellos que tienen varios grupos sustituyentes, pueden reaccionar con dióxido de nitrógeno y provocar daños a las plantas diferentes a la comúnmente relacionados con el 'smog'.

Los derivados de hidrocarburos, particularmente los aldehidos y cetonas, y también algunos de los hidrocarburos clorados, pueden también reaccionar con dióxido de nitrógeno en la atmósfera y provocar irritación en los ojos, aerosoles y ozono. Más aún, algunas de los aldehidos y nitro derivados son de por sí, lacrimógenos y algunos de los hidrocarburos clorados son también tóxicos.

Excepto por los nitratos de peroxiacilo, estos compuestos no son, sin embargo, generalmente relacionados con daños a las plantas.

Los hidrocarburos también, algunas veces en las reacciones foto-
químicas en las que participan, producen aldehidos, cetonas y otros pro-
ductos orgánicos nitrogenados, los cuales reaccionan incrementando la -
producción de efectos nocivos.

GASES INORGANICOS

Los gases inorgánicos contituyen el segundo grupo, y el mayor,
de los contaminantes del aire. En este se incluyen óxido de nitrógeno,
óxidos de azufre, monóxido de carbono y pequeñas cantidades de amo-
níaco, sulfuro de hidrógeno y cloro.

La principal fuente de todos los óxidos listados arriba, es la
combustión de gasolinas para usos industriales, comerciales y domés-
ticos, por transportación, por calefacción y por generación de poder.
En ^{con} adición, pequeñas cantidades de óxido de azufre y monóxido de -
carbono y el total de los contituyentes menores, amoníaco, sulfuro
de hidrógeno y cloro son emitidos en conexión con ciertos procesos
industriales.

Óxidos de Nitrógeno.

Muchos compuestos son clasificados como óxido de nitrógeno,
pero solamente dos, óxido nítrico (NO) y bióxido de nitrógeno (NO₂)

son importantes como contaminantes del aire. El primero, óxido nítrico es formado como resultado de la combinación directa del nitrógeno y el oxígeno del aire en el calor intenso de cualquier proceso de combustión.

El óxido nítrico en la atmósfera es entonces capaz, con la presencia de la luz del sol, ^y ~~de~~ ^{ción} ~~combinarse~~ con el oxígeno adicional ^{forma} ~~y formar~~ bióxido de nitrógeno.

Usualmente, las concentraciones de óxido nítrico en los gases de combustión son cuando menos de 5 a 10 veces más grandes que las de bióxido de nitrógeno. Sin embargo, dado que cada mol de óxido nítrico emitida a la atmósfera, tiene el potencial de producir una mol de bióxido de nitrógeno, una no puede ser considerada sin la otra. De hecho, las mediciones de sus concentraciones reportan sólo una de las dos como bióxido.

Del total de ^{los} las cantidades de estos contaminantes, aproximadamente el 60 por ciento debe ser atribuido a los gases de escape de los vehículos movidos por motores de gasolina. El otro 40 por ciento es - producido como resultado de la combustión de gasolinas, para sistemas de calentamiento y generación de fuerza.

comenzar

Oxidos de Azufre.

Los contaminantes del aire calificados como óxidos de azufre, consisten esencialmente de sólo dos compuestos, bióxido de azufre - (SO_2), y trióxido de azufre (SO_3). La fuente principal de ambos es la combinación de oxígeno atmosférico con el azufre, en ciertos combustibles durante su combustión. Las cantidades totales emitidas de estas sustancias son directamente relacionadas con el contenido de azufre y las cantidades totales de los principales combustibles usados en una comunidad. Normalmente, el bióxido es emitido en cantidades mucho mayores que el trióxido, siendo formado éste último sólo bajo raras condiciones. De hecho, el trióxido es más bien un aerosol finamente dividido que un gas. En Los Angeles durante los últimos años, el promedio diario de emisiones de óxido de azufre ha manifestado una marcada variación en la temporada de abril 15 a noviembre 15, como resultado de la promulgación de su regla 62, para el control de la contaminación ambiental. Esta regla establece una limitación en el contenido de azufre de los combustibles que serán quemados durante el período del abril 15 a noviembre 15. El efecto de ésta regla es causar la sustitución de aceites combustibles por gas natural como el combustible usado

para la generación de fuerza eléctrica. Dado que el gas natural no contiene azufre las emisiones de óxido de azufre son entonces drásticamente reducidas durante éste período.

Durante el período que funciona la regla, las emisiones de óxido de azufre fueron aproximadamente de 60 toneladas por día, de las cuales el 10 por ciento es atribuible a la combustión de combustibles para generación de fuerza, y el 50 por ciento a las emisiones de plantas de azufre y ácido sulfúrico; y el resto dividido entre emisiones de operaciones de refinamiento del petróleo y emisiones de los escapes de automóviles. Sin embargo, durante el balance del año cerca del 80 por ciento del total de 455 toneladas de emisiones de óxidos de azufre por día, deben ser atribuidas a la combustión de gasolinas para generación de fuerza y calentamiento; el 10 por ciento a emisiones de operaciones industriales de recuperación de azufre y el resto dividido entre emisiones de operaciones de refinamiento de petróleo y escapes de automóvil.

Monóxido de carbono.

El monóxido de carbono (CO), es un contaminante formado durante la oxidación incompleta de cualquier combustible carbonoso y corrientemente sólo tiene una fuente importante, la combustión incompleta de gasolina en vehículos de motor.

El 97 por ciento proviene de emisiones de autos y aviones, y el resto de operaciones de refinamiento de petróleo.

La importancia de los gases inorgánicos en el problema de contaminación del aire varía con el gas en cuestión por lo que cada uno será discutido separadamente.

Oxidos de nitrógeno.

Los óxidos de nitrógeno tienen mucho más significación en 'smog' fotoquímico como contaminantes. Se ha demostrado que el dióxido de nitrógeno, en presencia de la luz del sol, favorecerá reacciones con un número de compuestos orgánicos para producir todos los efectos asociados con el 'smog' fotoquímico. De hecho, la presencia del dióxido ha demostrado ser condición necesaria para estas reacciones. Esto sin embargo, no quiere decir que el óxido nítrico no sea considerado contaminante, puesto que esta es la forma en que normalmente los óxidos de nitrógeno llegan a la atmósfera.

En comunidades no afectadas por 'smog' fotoquímico los óxidos de nitrógeno deben ser considerados solamente por sus habilidades inherentes para producir efectos nocivos, por si mismos. El único efecto que debe ser seriamente considerado, es respecto a su toxicidad,

puesto que el color café rojizo del dióxido y su olor penetrante, podrían causar problemas en áreas cercanas a plantas de nylon, plantas de ácido nítrico, o plantas de nitratos fertilizantes. El óxido nítrico es considerablemente menos tóxico que el dióxido. El óxido actúa como un asfixiante cuando está en concentraciones lo suficientemente grandes para reducir el contenido de oxígeno en el aire. Por otro lado el dióxido de nitrógeno en concentraciones de aproximadamente 5 ppm. puede producir trastornos pulmonares y edema y en grandes concentraciones daños pulmonares fatales.

Por lo tanto, el dióxido es un constituyente indeseable de la atmósfera, lo mismo el óxido nítrico por su capacidad de producir el dióxido por oxidación atmosférica.

Oxidos de Azufre

Durante los últimos años, la información en la literatura ha indicado que la presencia de dióxido de azufre en las reacciones de 'smog' fotoquímico, favorece la formación de aerosoles reductores de visibilidad. El mecanismo responsable de éste efecto no ha sido descrito y no se sabe si el dióxido de azufre entra en las reacciones fotoquímicas orgánicas, o si los aerosoles adicionales observados representan simplemente una combinación de dióxido de azufre y humedad.

Principalmente, los óxidos gaseosos de azufre en la atmósfera son importantes por su toxicidad. Ambos, el dióxido y el trióxido son capaces de producir molestias y enfermedades pulmonares, aún en concentraciones pequeñas, de 5 a 10 ppm. Más aún, cada uno puede combinarse con el agua del aire y formar aerosoles ácidos tóxicos que pueden corroer superficies metálicas, fábricas y las hojas de las plantas. El dióxido de azufre, por sí mismo produce un tipo característico de daños a la vegetación. En concentraciones tan pequeñas como 5 ppm., el dióxido de azufre es irritante de los ojos y del sistema respiratorio.

Ambos, el dióxido y el trióxido, pueden combinarse con partículas de hollín y otros aerosoles para producir contaminantes más tóxicos que ellos solos. La combinación del dióxido y el trióxido también se ha encontrado que ejerce un efecto sinérgico a sus toxicidades individuales.

Esta mezcla fue aparentemente responsable por las enfermedades asociadas con los famosos incidentes de contaminación del aire que ocurrieron en el Valle Meuse en Bélgica; en Donora, Pen., y en Londres, Inglaterra.

Monóxido de carbono.

El Monóxido de carbono no forma parte del smog fotoquímico

a pesar de que es invariablemente emitido a la atmósfera junto con los más potentes formadores de 'smog' (hidrocarburos y óxidos de carbono). A concentraciones de 200 ppm., o más, éste produce enfermedad y muer
te, por despojamiento en la sangre de su capacidad de acarrear oxígeno. Ha sido detectado en la atmósfera de varios centros urbanos del mundo en concentraciones de 10 a 100 ppm. Más grandes concentraciones han sido medidas en espacios cerrados tales como: tuneles, y garages gran
des y pobremente ventilados. En concentraciones atmosféricas no han sido todavía ligados a casos fatales, pero han estado algunas veces im
plicados en pequeñas enfermedades de agentes de tránsito.

Otros Gases Inórganicos.

~~Otros gases inórganicos fueron detectados en la atmósfera emitidos de varias operaciones. Se incluyeron amoniáco, sulfuro de hidrógeno, cloro, fluoro y fluoruros. A pesar de que ninguno ha sido detectado en grandes cantidades, ninguno tiene significación en la formación de 'smog' fotoquímico, éstos contaminantes pueden ser importantes en otros problemas de contaminación del aire. Todos son tóxicos --- en concentraciones de pequeñas a moderadas, y los primeros tres tienen olores desagradables. El sulfuro de hidrógeno puede causar decoloración de ciertas clases de pintura, el amoníaco y el cloro pueden decolorar en ciertas fábricas de teñido; el fluoro y los fluoruros especialmente el ---~~

fluoruro de hidrógeno son altamente tóxicos, y capaces de causar daños a la vegetación y enfermedades y lastimar a humanos y animales.

Hay muchos otros gases inorgánicos que pueden ser individualmente tóxicos. Hasta ahora, son de relativa menor importancia por lo que solamente los anteriores son considerados como formadores de 'smog'.

AEROSOLES

Los Aerosoles (también llamados materia en partículas), presentes en la atmósfera pueden ser de composición orgánica o inorgánica y en estado físico, líquido o sólido. Por definición deben ser partículas de muy pequeño tamaño, o de lo contrario no se mantendrán dispersos en la atmósfera. Entre las más comunes están, las partículas de carbón o de hollín, óxidos metálicos y sales, gotas de aceites o alquitran, gotas de ácido; polvos inorgánicos, silicatos y humos metálicos.

Las cantidades emitidas de aerosoles a la atmósfera en el presente son en realidad pequeñas. Partículas más grandes que el tamaño del aerosol también son emitidas pero como son muy pesadas no logran permanecer en la atmósfera. Sin embargo, cantidades mayores de aerosoles son formados en la atmósfera como resultado de reacciones entre los contaminantes presentes.

Las fuentes más importantes de emisión de aerosoles, por tipo de

aerosol son las siguiente:

Partículas de carbono u hollín.

Probablemente las partículas más comúnmente emitidas son las de carbón, ya que éstas siempre están presente entre los productos de la combustión de algunas gasolinas, aún en las operaciones en las cuales la combustión aparentemente es completa.

Las principales fuentes de emisión de partículas de carbón u hollín son los gases de escape de los vehículos de motor y combustión de gasolinas para generación de fuerza y calentamiento, a pesar de - que no todas las partículas emitidas por estas fuentes son de carbon.

Actualmente las emisiones totales de partículas de carbón no pueden ser estimadas con mucha precisión, pero probablemente representan de un tercio a la mitad de las emisiones totales de aerosoles.

Las únicas otras fuentes de emisiones significativas de partículas de carbón, son aquellas provenientes de la incineración de desperdicios, operaciones de aeronaves de pistón, operaciones de barcos y ferroviarias. Aún cuando el total de las emisiones de partículas de estas emisiones no llegan al 5 por ciento de las emisiones totales de carbón.

Oxidos Metálicos y Sales.

Los óxidos metálicos y sales pueden ser encontrados en pequeñas cantidades en las emisiones de diferentes fuentes tales como: Polvos catalíticos, de operaciones de refinación, emisiones de la industria del metal, gases de la combustión de aceites y de los escapes de los vehículos de motor. Las cantidades totales de éstas fuentes son sin embargo, pequeñas y probables no constituyen más que el 5 o 10 por ciento del total de las partículas emitidas a la atmósfera.

Los materiales emitidos como polvos catalíticos son principalmente óxidos. Pequeñas cantidades de metales pueden resultar también de las operaciones de trabajos de metal. Estos óxidos incluyen los de vanadio, aluminio, titanio, molibdeno, calcio, hierro, bario, plomo, manganeso, zinc, cobre, níquel, magnesio, cromo y plata.

Las sales metálicas son emitidas esencialmente por las mismas fuentes, también en pequeñas concentraciones. La mayoría de las emisiones de partículas de plomo en los escapes de autos por ejemplo, están presentes como óxidos y sales complejas, usualmente cloruros, bromuros y sulfatos.

Gotas de aceite y alquitran.

Pequeñas gotitas de materiales aceitosos o alquitranados son -

frecuentemente encontradas en los gases de combustión. Las fuentes más comunes son probablemente relacionadas con la operación de vehículos de motor. Particularmente de las emisiones del cárter, gases de escape de vehículos de motor, gasolina o diesel, emanaciones de fabricación de asfalto, pavimentación y operaciones de techado y emanaciones de combustiones ineficientes de fuentes estacionarias. Pequeñas cantidades también son encontradas en las emanaciones de aeronaves, barcos y locomotoras y en la incineración de desperdicios. Partículas aceitadas o alquitranadas también aparecen entre los productos de las reacciones fotoquímicas que producen el 'smog'.

Las cantidades emitidas de estos materiales probablemente representan el 10 por ciento o 20 por ciento de las emisiones totales.

A pesar de que, la composición de estos materiales no está bien establecida parecen ser predominantemente orgánicos. Indudablemente tienen relativamente altos pesos moleculares y probablemente - contienen algunos aromáticos. Los hidrocarburos policíclicos, los cuales frecuentemente provocan muchas consecuencias, probablemente ocurren en una fase líquida en la atmósfera.

Gotas Acidas.

Pequeñas gotas de ácido, orgánicas e inorgánicas, son emitidas

de diversas fuentes bajo ciertas condiciones. Estas fuentes incluyen emanaciones de plantas de fuerza, especialmente durante la combustión de aceites combustibles; emanaciones de operaciones industriales tales como ciertos trabajos en metal y plateados, aprovechamiento de baterías almacenadas; y bajo ciertas circunstancias estas gotas de ácido son formadas en la atmósfera.

Como las otras clases de materia en partículas, las cantidades emitidas de estas gotas son pequeñas, probablemente del 5 al 10 por ciento de las emisiones totales de partículas.

Los ácidos inorgánicos emitidos a la atmósfera incluyen, principalmente ácido sulfúrico y nítrico. Los ácidos orgánicos incluyen probablemente ácidos acético, propiónico y butírico. Los ácidos formados en la atmósfera debido a la combinación de gases con agua, incluyen ácidos sulfuroso, sulfúrico, nitroso y nítrico. Los formados debido a la oxidación de emisiones orgánicas incluyen ácido acético.

Silicatos y otros Polvos Inorgánicos.

Las emisiones de polvos inorgánicos consisten principalmente de silicatos, carbonatos y óxidos, y están probablemente asociados con las operaciones en las canteras, y plantas de arena y cascajo, y otras frases de la industria de los minerales.

Puede incluso, resultar de la construcción de vías rápidas, de nuevas zonas urbanas y de operaciones de rellenado de terrenos. Estas representan del 5 al 10 por ciento del total.

Humos Metálicos

Las industrias del metal son probablemente responsables del 5 al 10 por ciento de las emisiones totales de aerosoles, y los humos metálicos constituyen un poco menos de la mitad de este porcentaje. Los humos metálicos son generalmente considerados como partículas mínusculas originadas por la condensación de metales que se han evaporado o sublimado de su estado derretido.

El significado de los aerosoles y de toda la materia en forma de partículas en la atmósfera, varía con el tipo de problema de contaminación del aire, en los cuales están envueltos. En la mayoría de las situaciones, los aerosoles representan la mayor parte de los contaminantes del aire y son importantes por sus propiedades de ensuciar y causar daños. Aún en los problemas de contaminación del aire del tipo producido por la combustión del carbón, en donde solamente envuelve partículas de carbón, cenizas y óxidos de azufre hay indicaciones de que el efecto tóxico del dióxido y trióxido de azufre es intensificado por el acompañamiento de los aerosoles.

Estos efectos han sido notados en otros casos en los que líquidos o gases tóxicos son mezclados con aerosoles, dando lugar a la teoría de que otros contaminantes pueden adsorbirse en la superficie de las partículas provocando que entren en contacto con superficies más profundas de los pulmones y las membranas mucosas en mucho más grandes concentraciones que en su estado original.

Las emisiones de partículas son también asociadas con la reducción de la visibilidad. En algunas ocasiones, este es un simple fenómeno físico de obscurecimiento de visibilidad por la cantidad de material que interfiere. Sin embargo, en esos casos, asociado con el 'smog' fotoquímico, la reducción de la visibilidad es debida, a la refracción y dispersión de la luz y el número y tamaño de las partículas envueltas es mucho más importante que sus identidades. Mientras más pequeña es la partícula (a 0.7 micrones, producen la máxima reducción de visibilidad), y más grande su número, es mucho mayor su efecto colectivo en la visibilidad.

Se ha sugerido también que la presencia de partículas minúsculas promueve las reacciones fotoquímicas que producen 'smog', más aún, pequeñas partículas de aerosol están presentes entre los productos de éstas reacciones, reduciendo mucho más la visibilidad.

En algunas ciudades con problemas de contaminación atmosférica se han tomado algunas medidas en el sentido de reducir las emanaciones contaminantes de las fuentes anteriormente vistas, mediante reglamentos para la operación de dichas fuentes, con excelentes resultados.

En la ciudad de Los Angeles, por ejemplo, el estudio concienzudo del problema de la contaminación del aire ha dado como resultado la promulgación de los más severos y completos reglamentos para forzar, en cualquier parte del mundo, el programa más efectivo para controlar la contaminación del aire.

C A P I T U L O I I

CONTROL DE AEROSOLES (MATERIA EN PARTICULAS)

Sistemas de Extracción Local.

Los sistemas de extracción local son recursos utilizados para capturar polvos y humos y otros contaminantes de su fuente y prevenir la descarga de éstos a la atmósfera. Los gases son capturados por unos capuchones puestos en uno o más lugares y acarreados por un sistema de ductos y ventiladores de extracción. Después se puede usar un mecanismo de control de contaminantes y descargar el aire limpio a la atmósfera o recircularlo.

En el diseño de los sistemas de extracción de aire, se debe suministrar suficiente aire para la completa recolección de los contaminantes.

A continuación veremos los recursos más comunes para controlar las emisiones contaminantes.

El equipo para el control de contaminación del aire puede ser clasificado en dos grupos:

Equipo para el control de materia en partículas (aerosoles) y -

Equipo para el control de emisiones gaseosas.

El primero lo veremos en el presente capítulo y el segundo en el capítulo III.

EQUIPO PARA EL CONTROL DE AEROSOLES.

Desde el punto de vista de la contaminación, los aerosoles son cualquier material que existe en condiciones standard, algunos ejemplos son humo, polvos, neblina y rocios (sprays).

Los instrumentos para su control existen en gran variedad de diseños. Para la selección del instrumento adecuado para un trabajo en específico se recomienda seguir los siguientes factores:

1. Características de la partícula, tales como rango de tamaño, forma densidad; y propiedades fisicoquímicas como tendencias higroscópicas y la aglutinación, corrosividad, viscosidad, inflamabilidad, toxicidad, conductividad eléctrica, etc.

2. Características del gas conductor, como temperatura, presión, humedad, densidad, viscosidad, puntos de rocío de los componentes condensables, conductividad eléctrica, inflamabilidad, corrosividad, toxicidad, etc.

3. Factores del proceso, como la velocidad volumétrica del gas, concentración de aerosoles, variación de las velocidades de flujo de los materiales, especificaciones de eficiencia de colección, caída de presión permitida, requerimientos en la calidad del producto, etc.

4. Factores de operación, limitaciones estructurales como espacio disponible, etc. ; y limitaciones del equipo como presión, temperatura, corrosión, etc.

Los instrumentos para el control de aerosoles se han clasificado en seis clases: separadores inerciales, de colección húmeda, colectores de bolsa, precipitadores eléctricos de un paso, precipitadores eléctricos de dos pasos y otros métodos de colección.

SEPARADORES INERCIALES

Los separadores inerciales son los instrumentos más comúnmente usados para colectar partículas de tamaño mediano y grueso. La construcción de éstos separadores es relativamente simple, y los costos inicial y de mantenimiento son más bajos que la mayoría de los otros tipos de colectores de polvo. Las eficiencias de colección, sin embargo, son más bajas. Estos aparatos son útiles para tamaños de partícula de 15 a 40 micras. Polvos de 5 a 10 micras, como

humos metalúrgicos, son muy finos para ser colectados eficientemente.

En algunos casos, sin embargo, ciclones de alta eficiencia pueden ser efectivos para el rango de 5 micras.

Los separadores inerciales operan bajo el principio de impartir fuerza centrífuga a la partícula que va a ser removida de la corriente del gas que la acarrea. Esta fuerza es producida moviendo el gas en un patrón circular o efectuando cambios bruscos de dirección.

Un ciclón es un separador inercial sin partes móviles, separa las partículas de una corriente gaseosa mediante la transformación de la velocidad de una corriente de entrada dentro de un doble vórtice contenido en el ciclón.

En el doble vórtice el gas entrante se mueve en espiral hacia abajo a la parte exterior y después en espiral hacia la salida en la parte superior; las partículas por su inercia tienden a moverse del lado de la pared exterior, de donde son conducidas a un receptor.

Los ciclones pueden ser diseñados para manejar un amplio rango de condiciones físicas y químicas de operación, más que otros tipos de colección. Por su versatilidad y bajo costo los separadores de ciclón son los más usados de los separadores centrífugos secos.

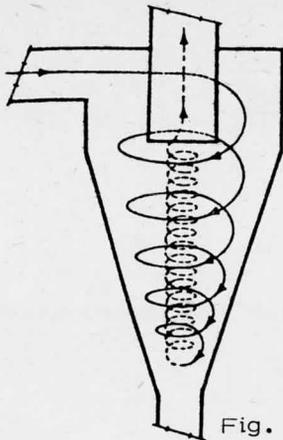


Fig. 1- Ciclón de doble vórtice.

MÉTODOS DE COLECCIÓN HUMEDA.

Los métodos de colección húmeda consisten en varios métodos para mojar las partículas contaminantes y removerlas de la corriente gaseosa. También varían de acuerdo con su costo, su eficiencia de colección y la cantidad de energía que consumen.

Los colectores húmedos presentan las siguientes ventajas:

Tienen caída de presión constante (a volumen constante); no presentan problemas de polvo secundario en la disposición del polvo recolectado; y puede manejar gases de alta temperatura o húmedos. Puede manejar también gases corrosivos o aerosoles, construyendolo con materiales resistentes a la corrosión, que aumentan considerablemente su costo.

Los requerimientos de espacio son razonablemente pequeños.

Sin embargo, el tratamiento de las aguas de deshecho o su clasificación puede ser difícil y caro.

La eficiencia de colección varía con el diseño. La mayoría de los colectores baja rápidamente en eficiencia para partículas entre 1 y 10 micrones. Muchos investigadores creen que la eficiencia de colección está directamente relacionada con la energía total usada en forzar a los gases a través del colector y en la generación de espray de agua.

El proceso de poner en contacto un aire contaminado con un líquido purificador (scrubbing) tiene como resultado la disipación de energía mecánica en turbulencia del fluido y en última instancia en calor. La energía disipada es llamada la energía de contacto. Semrau (1960) hizo un estudio exhaustivo para correlacionar la eficiencia del purificador (scrubber) con la energía de contacto. Establece que la energía de contacto puede ser derivada de: (1). la energía cinética o la "cabeza" de presión de la corriente gaseosa, (2). la energía cinética o "cabeza" de presión del líquido o (3). energía proporcionada mecánicamente por un rotor. Concluye " Se ha encontrado que la eficiencia tiene una pequeña relación con el diseño y la geometría del 'scrubber', y depende de las propiedades del aerosol y de la energía de contacto.

Teoría de la Colección.

Los mecanismos principales por los cuales los líquidos pueden ser usados para remover aerosoles de corrientes gaseosas son los siguientes:

1. El humedecimiento de las partículas por contacto con gotas líquidas.
2. El choque de partículas mojadas o no con superficies colectoras seguidas por su extracción de las superficies por un rebosamiento con un líquido.

Mecanismos para el Humedecimiento de las Partículas.

Las partículas pueden ser mojadas mediante los siguientes mecanismos:

1. Golpeteo con gotas esparcidas. Un esparcido dirigido a través del patrón de las partículas de polvo, choca con ellas con una eficiencia proporcional al número de gotas y a la fuerza que se les ha proporcionado. Johnstone y Roberts (1949) establecieron que el tamaño óptimo de gota es de 100 micrones. Arriba de 100 micrones hay muy pocas gotas; y abajo las gotas no tienen suficiente fuerza. El esparcido fino es efectivo mediante otro mecanismo, la difusión.

2. Difusión.- Cuando las gotas de líquido son dispersadas junto con las partículas de polvo, las partículas de polvo se depositan en las gotas por movimiento Browniano o difusión. Este es el mecanismo principal en la colección de partículas submicrónicas. La difusión como el resultado de la turbulencia del fluido puede ser también un mecanismo apreciable en el depósito de las partículas de polvo en las gotas esparcidas.

3. Condensación.- (Lapple, 1963).- Si un gas se enfría por debajo de su punto de rocío al pasar a través de un colector húmedo, entonces se condensa la humedad con las partículas de polvo actuando como núcleo de condensación. Esto incrementa el tamaño de las partículas y permite una colección más fácil. La condensación es efectiva, y un importante mecanismo solamente para gases inicialmente calientes. La condensación por sí sola, puede remover pequeñas cantidades de polvo, ya que la condensación requerida para remover concentraciones más grandes de polvo es mayor que las que se puede conseguir.

4. La humidificación y precipitación electrostática han sido sugeridas como mecanismos que facilitarían la colección de partículas haciéndolas aglomerarse. Estos mecanismos no han sido, sin embargo, bien entendidos y no pueden ser considerados como una

parte significativa en los mecanismos de colección.

Las partículas que han sido mojadas deben alcanzar la superficie colectora, ya sea que ésta esté colocada en el patrón de flujo del gas o que se use fuerza centrífuga para empujarlo contra ella, o simplemente por fuerza de gravedad.

Equipo para Colección Humeda.

Cámaras de esparado.

El más simple de los purificadores (scrubbers) es una cámara en la cual se han puesto boquillas de esparado. La velocidad de la corriente gaseosa va disminuyendo conforme va entrando a la cámara y las partículas mojadas se depositan y son colectadas en el fondo de la cámara. El desagüe de la cámara es algunas veces equipado con platos eliminadores para evitar el líquido salga junto con el aire limpio. Las cámaras de esparado son usadas extensamente como enfriadores de gas. Su eficiencia como colector de polvo es baja excepto para polvo grueso, aun que puede mejorar colocando platos a contracorriente donde golpeen las partículas.

Purificadores Tipo Ciclón.

Estos purificadores varían desde el ciclón simple, con boquillas de esparado hasta equipos especiales de pasos múltiples.

En el tipo standard de purificador ciclón, el gas entra

tangencialmente al fondo del purificador y sube en espiral. El líquido espreado es introducido dentro del gas, en rotación desde un múltiple colocado en el eje central en la parte más baja de la unidad. Las gotas atomizadas por las espreas son atrapadas en la corriente rotatoria del gas, y son, por la fuerza centrífuga, arrastradas por las paredes del cilindro, chocando, absorbiendo y colectando las partículas de polvo o humo. El líquido purificador y las partículas escurren por las paredes hacia afuera por el fondo de la unidad; el gas limpio sale por la parte superior. Existen otros tipos de purificadores con baffles en forma de hélice para proveer una acción centrífuga prolongada y con boquillas de espreado múltiples para incrementar el tiempo de contacto con el espreado.

Dado que la fuerza centrífuga es el mecanismo principal de colección, la eficiencia es estimulada con altas velocidades del gas. La caída de presión varía de 2 a 8 pulgadas de agua y las velocidades de flujo de agua de 4 a 10 galones por minuto por cada 1 000 pies cúbicos por minuto del aire manejado.

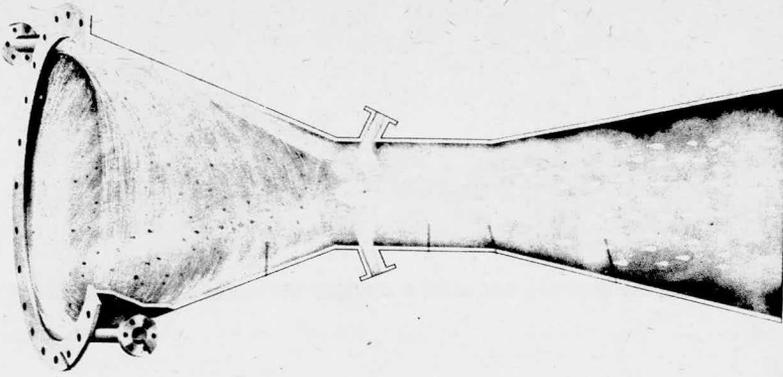


Fig. 2- Purificador Venturi

Purificadores Venturi.

En el purificador venturi, los gases pasan a través de un tubo venturi, al cual se le añade agua a baja presión por la garganta. Las velocidades del gas en la garganta son de 15,000 a 20,000 pies por minuto y las caídas de presión de 10 a 30 pulgadas de agua. El agua se puede estar recirculando. Se supone que el mecanismo de colección es el impacto y a pesar de el tiempo de contacto relativamente corto la turbulencia tan grande en el venturi que estimula el contacto, mucho más. Las partículas mojadas y las gotas son recogidas en un ciclón separador con espreas. Las velocidades de agua son de alrededor de 3 galones por minuto por cada 1,000 pies cúbicos de gas. Con este tipo se han obtenido muy altas eficiencias para polvos muy finos.

Torres Empacadas.

En las torres empacadas, una corriente contaminada se hace pasar a través de una cama de un material colector fibroso o granular, y se pasa un líquido sobre la superficie colectora para mantenerla limpia y prevenir un posible reingreso de los contaminantes depositados. La colección depende del tiempo de contacto de la corriente gaseosa con las superficies colectoras. El material de las superficies colectoras debe tener un área relativamente grande, bajo peso por volumen unitario y gran sección transversal libre. Generalmente se usan como empaques pedazos irregulares de cerámica y carbón, rocas, barro, anillos de rasching y anillos espirales. El grosor del empaque puede variar de una fracción de pulgada a algunos pies, dependiendo del empaque y de su aplicación, por ejemplo las camas de empaque grueso son usadas para remover polvos gruesos y vapores de 10 micras o más y las velocidades a través de la cama deben ser de alrededor de 400 pies por minuto. Las camas de empaque fino pueden ser usadas para remover contaminantes del rango de 1 a 5 micras, y la velocidad debe ser mantenida muy baja, preferiblemente abajo de 50 pies por minuto. Estas camas tienden a taparse por lo que sus aplicaciones son limitadas para corrientes contaminadas con polvos muy finos.

COLECTORES DE BOLSA

Cuando se requiere de una alta eficiencia de colección de partículas pequeñas, el método más usual consiste en separar el polvo del aire por medio de tejidos filtrantes. El tejido es usualmente hecho con forma de bolsa o tubular.

El soporte conteniendo estos filtros es conocido como colector de bolsa.

Los tejidos son normalmente hechos con grandes espacios abiertos, de alrededor de 100 micras, por lo que el proceso no es solamente de colado, sino que las partículas pequeñas son inicialmente capturadas y retenidas en las fibras de la tela por medio de intercepción, choques, difusión, sedimentación gravitacional y atracción electrostática.

Una vez que se ha acumulado una costra de polvo, la colección posterior es acompañada por el cernido tanto como los mecanismos anteriormente descritos. La tela sirve entonces, como un soporte para la costra de polvo responsable de la alta eficiencia de colección, periódicamente el polvo acumulado es removido, dejando

algo de polvo residual para que sirva de ayuda para posteriores filtraciones.

Bajo condiciones normales, en la filtración del aire, el flujo es casi siempre laminar, por lo que una pequeña partícula sin inercia, se mantendrá en línea recta. Si ésta línea pasa cerca de una obstrucción; tal como una fibra del tejido filtrante; y dentro de una distancia igual al radio de la partícula, la partícula hará contacto con la obstrucción y se le adherirá por fuerza de Van der Waal. En realidad las partículas no están completamente sin inercia, pero según Rodebush -- (1950) las partículas pequeñas, de 1 micra ó menos, pueden ser consideradas libres de inercia, sin error. La colección por intercepción directa es independiente de la velocidad, ya que en flujo laminar las partículas se mantienen en línea recta sin que la velocidad de la corriente de aire les modifique.

Cuando una partícula tiene una inercia considerable, no seguirá una línea recta, y conforme se acerque a una obstrucción se desviará de su patrón recto. Sin embargo, haga contacto o no con la obstrucción, esto depende del tamaño de la obstrucción y del tamaño e inercia de la partícula. Como en el caso de la intercepción directa las obstrucciones pequeñas son los mejores colectores, así también para el mecanismo de choque o impacto.

El impacto no es un factor significativo en la colección de partículas de una micra o menos de diámetro, pero sí para partículas de dos micras o más y se convierte en un factor predominante conforme al tamaño de partícula aumenta.

Las fibras del tejido filtrante son generalmente más grandes que las partículas a coleccionar. Las fibras de algodón y lana, por ejemplo, son de alrededor de 10 a 20 micras de diámetro. Fibras como éstas son muy grandes para ser buenos colectores de partículas de diámetro muy pequeño, tales como polvos finos y humos, por lo que se forme la costra de polvo, la eficiencia de colección será muy pobre.

Esto generalmente ocurre después de que éstas han sido limpiadas. En la mayoría de los casos la eficiencia no es buena solamente durante algunos segundos.

Algunas veces los tejidos filtrantes son compuestos de una mezcla de asbesto y fibras de lana, para aprovechar el pequeño diámetro de las fibras de asbesto y mejorar la eficiencia en la colección de polvos finos y humos metalúrgicos.

Otro método para mejorar la eficiencia, que ha tenido éxito, es el uso de un polvo relativamente grueso para la formación de la

costra, para posteriormente filtrar, con alta eficiencia, humos y polvos muy finos.

PRECIPITADORES ELECTRICOS DE UN PASO.

El primer uso exitoso comercial de la precipitación eléctrica fue hecho por Cotrell en 1907, en la planta de Explosivos y ácidos de Dupont en Pinole, California. Esta planta estaba usando el entonces nuevo proceso Mannheim o método de contacto en lugar del proceso de cámara, para la producción de ácido sulfúrico. En el proceso de contacto, dióxido de azufre y oxígeno son pasados a través de óxido de hierro catalizador para la formación de trióxido de azufre, del cual se forma el ácido sulfúrico. Se presentaba una dificultad con el arsénico, que estaba envenenando el catalizador. Después de intentar, en vano, de coleccionar el vapor de ácido por medio de centrífugas, lo logró mediante precipitación eléctrica.

Cotrell hizo pasar vapor de ácido sulfúrico dentro de una vasija circular de vidrio. Dentro del recipiente de vidrio estaba una rejilla cilíndrica de alambre recubierto con asbesto. Las paredes del recipiente resultaron los electrodos de colección. Tres factores contribuyeron al éxito del primer precipitador electrostático. Primero, el uso de un electrodo pubescente; segundo, descubrió que el uso de polaridad nega-

tiva, resulta en una operación más estable y eficiente; el tercero fue el uso de corriente alterna y rectificada. Esta unidad piloto fue instalada en 1908 en Pinole, manejando una corriente de gas de 3 toneladas de ácido sulfúrico y consumiendo menos de 1/3 de kilowatt.

Actualmente su campo de acción se ha extendido hacia diferentes campos, aplicándose con éxito en la colección de contaminantes industriales del aire, tales como la industria eléctrica (cenizas), metalúrgica (cobre, plomo, zinc, industria del acero, fundición de aluminio), cementera, papelera, química, carbón.

El uso de precipitadores eléctricos para la colección de contaminantes del aire ha crecido por muchas ventajas inherentes, como las siguientes:

1. Se puede obtener muy alta eficiencia, de más del 99%.
2. No hay límites teóricos para el tamaño de partícula a coleccionar. Se pueden coleccionar partículas pequeñísimas.
3. Los polvos se pueden coleccionar secos, para la recuperación de un material valioso.
4. La caídas de presión y temperatura son bajas. La caída de presión a través de un precipitador eléctrico rara vez excede de 0.5 pulgadas de columna vertical de agua.

5. Son diseñados normalmente para operación continua, con mantenimiento después de largos períodos de tiempo.
6. Tienen pocas partes móviles, lo que reduce su mantenimiento.
7. Pueden ser usados a altas temperaturas (normalmente alrededor de 1000 ° F).
8. Pueden coleccionar vapores de ácidos y alquitrán, difíciles de coleccionar por otros métodos.
9. Pueden coleccionar materiales en extremo corrosivos, mediante construcción especial.
10. Pueden manejar grandes velocidades de flujo de gas.
11. Los requerimientos de energía son bajos. Por ejemplo, la energía requerida para limpiar 500,000 pies cúbicos de gas por minuto, a 95% de eficiencia, es de sólo 65 kilowatts.

Como desventajas podemos mencionar las siguientes:

1. El costo inicial es alto.
2. No se adaptan fácilmente a condiciones variables. El control automático de voltaje es de gran ayuda, pero son más eficientes operando en condiciones de operación constantes.
3. Algunos materiales son difíciles de coleccionar debido a su muy alta o muy baja resistividad.

4. Los requerimientos de espacio pueden ser más grandes que para un colector de bolsa.
5. La precipitación eléctrica no es aplicable a la remoción de materiales en fase gaseosa.
6. El uso de un prelimpiador, generalmente del tipo ciclón, se recomienda para reducir la corriente de polvo en el precipitador.
7. Se requieren precauciones especiales para proteger al personal del alto voltaje.

Para tomar la decisión sobre el uso de un precipitador eléctrico, un colector de bolsa o cualquier otro tipo de colector, es recomendable tomar en consideración los siguientes factores:

1. Inversión inicial.
2. Mantenimiento, incluyendo el costo de energía para operar el equipo.
3. Requisición de espacio.
4. Eficiencia de colección, la cual debe ser evaluada en términos del valor del material recolectado o de las instrucciones de la descarga de aire contaminado por los reglamentos locales.

El costo por obtener alta eficiencia se ilustra con el hecho de que en un precipitador eléctrico el costo es el doble cuando la eficiencia

de colección se incrementa de 80 a 96% y cerca del triple de 80 a 99%.

El mecanismo para el proceso de precipitación eléctrica es el siguiente:

1. Se forman iones de gas por medio de una corona de descarga de alto voltaje.
2. Las partículas del sólido o líquido son cargadas por el bombardeo de electrones o iones del gas.
3. El campo electrostático provoca que las partículas cargadas emigren a un electrodo colector de polaridad opuesta.
4. La carga en una partícula será neutralizada por el electrodo colector.
5. El reingreso de las partículas recolectadas debe ser prevenido.
6. Las partículas recolectadas deben ser transferidas del electrodo colector a su almacenaje por dispositivos posteriores.

La precipitación electrostática es aplicable para la colección de una amplia gama de polvos y humos. En algunos casos, por ejemplo el desalquitranado, es el único método aplicable, en otros puede

ser la opción más económica. El diseño de un precipitador eléctrico requiere de una considerable experiencia para aplicaciones exitosas. La teoría fundamental de los mecanismos involucrados en la precipitación eléctrica solo están parcialmente comprendidos en el presente. En el futuro, la investigación tenderá a diseñar los precipitadores eléctricos más científicamente.

PRECIPITADORES ELECTRICOS DE DOS PASOS.

Los precipitadores tipo Cottrell son diseñados normalmente para instalaciones en donde se requiere procesar un gran volumen de aire contaminado. Desde 1937, Penney desarrolló un nuevo tipo de precipitador, llamado el precipitador de bajo voltaje o de dos pasos, precipitador para aire acondicionado o filtro de aire electrónico.

El precipitador eléctrico de dos pasos difiere del tipo Cottrell en que el aire contaminado pasa primero a través de un campo ionizador de fuerza variable, antes de ser sujeto a un campo de separación uniforme en donde las partículas cargadas son recolectadas. Los principios básicos de operación son los mismos discutidos para el de un paso. Una corona de descarga de alto voltaje, ioniza moléculas de gas, lo cual ocasiona que se carguen las partículas que pasan a través del campo.

Las partículas cargadas tienden entonces a emigrar hacia superficies cargadas eléctricamente opuestas, donde son removidas de la corriente de aire.

La mayoría de las primeras aplicaciones de los precipitadores eléctricos de dos pasos, fueron para remover humo de tabaco, polen y contaminantes del aire similares en instalaciones comerciales de aire acondicionado. Actualmente, este tipo de precipitadores para aire acondicionado, se pueden conseguir en paquete, con capacidades de un millón de pies cúbicos por minuto.

A pesar de que estos precipitadores fueron diseñados principalmente para aire acondicionado, su utilidad dentro del control de la contaminación del aire pronto será conocida. Una de las primeras unidades de este tipo usada en la limpieza del aire, fue para remover aerosoles cerámicos en operaciones de vidriado en alfarería. Son frecuentemente utilizados para remover vapores de aceite en las operaciones de herramientas de corte de alta velocidad. Las áreas de fabricación de precisión, ensamblado electrónico, y experimentales, están comúnmente equipadas con precipitadores para remover pequeñas cantidades de polvo e impurezas. Hoteles y restaurantes, compañías de proceso alimenticio, así como laboratorios farmacéuticos, utilizan este método, para purificar aire recirculando.

Las unidades standard son cuidadosamente construidas para proveer la máxima seguridad eléctrica. Por la baja corriente usada, no son comunes los accidentes, sin embargo las precauciones normales para alto voltaje deben observarse. Los sistemas eléctricos estandard son construídos para parar automáticamente si ocurre un arco directo. Es recomendable incluir rociadores de agua automáticos sobre la unidad de colección. El peligro de fuego es minimizado mediante frecuente limpieza si están siendo colectados contaminantes combustibles.

Un precipitador, obviamente, no es adaptable para usar en sistemas de escape que lleven vapores en concentraciones explosivas.

Entre los tipos de operación que han sido controlados, con éxito por precipitadores de dos pasos están los siguientes:

- a). Máquinas de molienda de alta velocidad.
- b). Productos ahumados de carne.
- c). Hornos continuos de grasas.
- d). Saturadores de asfalto.
- e). Calderos de galvanización.
- f). Hornos de curado de caucho.
- g). Secadorés de alfombras, y
- h). Bombas de vacío.

OTROS METODOS DE COLECCION DE AEROSOLES.

Además de los recursos mencionados anteriormente, para la colección de materia en partículas, hay otros métodos de diseños más simples, con un campo de acción limitado dentro del control de contaminación del aire. Estos métodos son las cámaras de sedimentación, separadores por obstrucción y paneles de filtros.

Las cámaras de sedimentación son uno de los más simples y primitivos recursos de colección. La forma más común consiste de una estructura larga en forma de caja en el sistema de escape. La velocidad de la corriente de gas sucio es reducida por el aumento en -- área transversal, y partículas con velocidad de sedimentación muy alta, son colectadas por la acción de la fuerza de gravedad. Para recolectar partículas pequeñas se requiere de una cámara muy larga. Son usadas principalmente como prelimpiadores para partículas de 40 micras o más, para remover partículas gruesas y abrasivas para la protección de equipo más eficiente, posterior a la cámara.

Los separadores por obstrucción son usados más bien en la colección de vapores. Cuando una corriente gaseosa llevando materia en partículas choca con un cuerpo, el gas es desviado alrededor del cuerpo, mientras las partículas, por su mayor inercia tienden a pegarle al cuerpo

y ser colectados en su superficie. Los cuerpos pueden ser en forma de platos, cilindros, bandas o esferas. Las gotas colectadas forman una película y gradualmente escurren hacia un tanque de colección. Recíprocamente, el polvo seco colectado tiende a regresar cuando cae en la superficie colectora, por ésta razón, se usan rociadores de agua para mejorar el polvo colectado.

El panel de filtros es más comunmente usado en las instalaciones de aire acondicionado, aunque tienen importantes aplicaciones industriales. Normalmente vienen en tamaño standard de 20 por 20 - pulgadas para facilitar su instalación y limpieza. Cada unidad consiste de un armazón y una almohadilla de material filtrante. Los armazones se unen para formar un panel. Los filtros están clasificados en dos tipos, viscosos y secos. En los primeros, el medio filtrante esta recubierto con un material viscoso, para ayudar a capturar el polvo e impedir su reingreso. El material viscoso es generalmente aceite con alto punto ' flash ' y baja volatilidad. La almohadilla filtrante consiste de materiales como fibra de vidrio, pelo, fibra corrugada, viruta de madera o alambre metálico.

Quando un filtro se ha llenado de polvo acumulado, se quita,

se lava, se reaceita y es puesto nuevamente en servicio.

En los filtros secos, la profundidad es generalmente más grande. Para prevenir menor caída de presión normalmente se usan entre 30 y 60 pies por minuto de velocidad, en contraste con los 300 a 500 pies por minuto usadas en los viscosos. Para poder tener mayor área de filtrado normalmente la almohadilla tiene forma de acordeón. Cuando la caída de presión se vuelve muy alta debido al polvo acumulado, las almohadillas son deshechadas. El uso principal de los filtros secos, además de las instalaciones de aire acondicionado, es en la eliminación de aerosoles en operaciones de pintura por aspersion.

Estos métodos de colección de aerosoles son usados principalmente como prelimpiadores, pero algunos son usados como colectores finales, cuando el contaminante es de gran tamaño.

C A P I T U L O I I I

CONTROL DE EMISIONES GASEOSAS

Para el control de emisiones gaseosas y vapores se ha hecho uso de los siguiente métodos: Quemadores posteriores, Calentadores usados como quemadores posteriores, Equipo de adsorción, Condensadores de vapor y Equipo de absorción de gases, que discutiremos a través del presente capítulo.

QUEMADORES POSTERIORES.

Los quemadores posteriores son usados como recursos para controlar la contaminación del aire por una gran variedad de equipo comercial e industrial. Cada vez que un equipo desheche hacia la atmósfera aerosoles combustibles, gases o vapores, será utilizado un quemador posterior para controlar dichas emisiones. Los más frecuentemente usados son los de fuego directo y los catalíticos. Los de fuego directo son más frecuentemente usados debido a su gran adaptabilidad y bajo costo inicial, sin embargo, los catalíticos son más útiles para el control, en algunos procesos donde son emitidos gases orgánicos. El uso de un catalizador promueve algunas reacciones de combustión a más bajas temperaturas que las requeridas en un quemador de fuego directo.

Cuando ocurre una combustión incompleta en un quemador, no se reducen las concentraciones de olor. Para corregir este defecto se requiere de una incineración a altas temperaturas, con oxígeno adecuado. En algunos casos, debido a sus materiales de construcción, los quemadores catalíticos no pueden operar a las temperaturas necesarias para producir una combustión completa, por lo que a temperaturas de 1200°F. es recomendable el uso de un quemador de fuego directo.

QUEMADORES DE FUEGO DIRECTO.

El uso más común de estos quemadores es para el control de emisiones combustibles de aerosoles, vapores, gases y olores. - Los equipos controlados con éxito incluyen secadores de aluminio, destiladores de asfalto soplado, hornos de zapatas de frenos, secadores de pulpa cítrica, tostadores de café, hornos de aislamiento eléctrico, hornos de reflujo con alimentación en el tiro, hornos de fundición de corazones de arena, ahumado de alimentos, hornos de barnices y otros equipos operados en rangos similares de temperatura.

Los principales componentes de un quemador de fuego directo son: la cámara de combustión, quemador de gas, controles del --

quemador, e indicador de temperatura. La cámara de combustión es generalmente cilíndrica y de ladrillo refractario con una coraza de hierro. Generalmente con usar ladrillo refractario para trabajo pesado es suficiente, ya que las temperaturas promedio del gas rara vez exceden los 2000° F. La cámara debe ser diseñada para el mezclado completo del gas contaminado con las flamas y el gas de combustión. Lo más recomendable es la admisión de los gases contaminados en la boca del quemador. Deben suministrarse velocidades lo suficientemente altas para que se mezclen completamente los gases con los productos de combustión en la región de más alta temperatura. Las velocidades del gas en la boca del quemador de 15 a 25 pies por segundo, son las que se han encontrado adecuadas, así como un tiempo de retención de los gases dentro del quemador de 0.3 a 0.5 segundos y temperaturas de operación de 850 a 1500° F.

La operación de los quemadores de fuego directo es relativamente simple. Los gases contaminados son enviados al quemador del equipo de proceso por medio del sistema de escape, son mezclados junto con las flamas y los gases de combustión en la boca del quemador. En seguida, los gases pasan a la sección principal del quemador donde

la velocidad se reduce por la gran área transversal. Aquí las reacciones de combustión son completadas, y los contaminantes incinerados junto con los gases de combustión son descargados a la atmósfera. A pesar de que, la mecánica de la mayoría de las reacciones de combustión son muy complicadas, se deben prever las condiciones necesarias para que se incineren todos los contaminantes de dióxido de carbono y vapor de agua.

QUEMADORES CATALITICOS.

Estos quemadores tienen su principal uso en el control de vapores orgánicos y de solventes emitidos de hornos industriales, como hornos para el recubrimiento de metal, hornos de fundición, de quemado de ceras y textiles.

Básicamente, un quemador posterior catalítico consiste en un quemador conteniendo una sección de pre-calentamiento, si es necesario, y una sección catalítica. El quemador de gas precalienta los gases contaminados antes de entrar a la sección catalítica. Los gases son enviados al quemador por el ventilador de escape del equipo de proceso. La cámara interior del quemador puede ser construída de acero resistente al calor, acero inoxidable o materiales refractarios.

La experiencia indica que el quemador de pre-calentamiento debe

calentar la corriente de gas contaminado a 950°F. mínimo, para obtener una combustión catalítica adecuada de los componentes más difíciles de quemar. La temperatura de operación de los quemadores catalíticos es usualmente entre 650° y 1,000° F. Esta es más baja que los quemadores a fuego directo, ya que estos son más útiles para incinerar humos y aerosoles orgánicos difíciles de quemar.

Un catalizador oxidante es empleado, usualmente platino aleado con otros metales. Otros catalizadores pueden ser los óxidos de cobre, cromo, maganeso, níquel y cobalto. Los catalizadores tienen una superficie muy porosa y altamente adsorbente. Son depositados sobre listones de níquel para formar unos filtros con forma de estera, o depositados sobre varillas cerámicas pequeñas y delgadas para la fabricación de pequeños ladrillos.

El uso del catalizador produce una gradual pérdida de actividad debida a la erosión de su superficie, por lo que una limpieza ocasional y el eventual reemplazo del catalizador es requerido.

Los gases contaminados son enviados al quemador por el ventilador de escape. Los gases pasan a la zona de precalentamiento donde son calentados a la temperatura requerida para efectuar la combustión catalítica. Esta temperatura varía con la naturaleza y composición

ción de los contaminantes a ser quemados, generalmente entre 650° y 1,000° F. Algunos contaminantes son quemados en la zona de precalentado y al pasar por la cama catalítica los contaminantes combustibles que quedan son quemados por catálisis.

La reacción catalítica depende de la difusión de las moléculas de vapor combustible por la superficie porosa catalítica donde son adsorbidos. Oxígeno en un estado altamente activo también se adsorbe, y la reacción de combustión se efectúa y los productos de la combustión son desorbidos.

El flujo a través de la cama catalítica debe ser turbulento para promover el contacto de los contaminantes con la superficie catalítica. Los productos de reacción deben ser lo suficientemente volátiles para la completa desorción de la superficie catalítica. Las sustancias que envenenan el catalizador deben evitarse, como vapores de mercurio, arsénico, plomo y zinc. Deben evitarse también, sustancias que formen óxidos, sólidos, ya que recubrirían la superficie catalítica hasta hacerla inactiva. Algunos tipos de hidrocarburos halogenados también son dañinos para el catalizador.

Finalmente, los gases quemados son descargados a la atmósfera.

fera, o a un proceso que pueda usar su calor sensible como un horno de cocido por ejemplo, o pueden ser pasados a través de un cambiador de calor para calentar los gases que entran en el quemador, y reducir así la cantidad de combustible requerido para los quemadores de precalentamiento.

CALDERAS COMO QUEMADORES.

El hogar o las cajas de fuego de las calderas y calentadores de fuego pueden ser usados, bajo condiciones apropiadas, como quemadores posteriores para incinerar contaminantes combustibles del aire. - Las condiciones de los hogares de las calderas se aproximan a las de un quemador con una temperatura adecuada, tiempo de retención, turbulencia y llamas. Contaminantes oxidables, como humo, vapores orgánicos y gases pueden ser convertidos esencialmente en dióxido de carbono y agua. Es raro encontrar una adaptación completamente satisfactoria de una caldera para ser usado como quemador. La función primaria de una caldera es la de proveer vapor o agua caliente, y cuando su uso como instrumento de control estorba con su función, uno o ambos de sus propositos se verán disminuidos por lo que para determinar el uso de una caldera como quemador deben existir las siguientes condiciones:

1. Los contaminantes deben ser casi en su totalidad combustibles, dado que del hogar de una caldera no se puede esperar que controle contaminantes no combustibles, ya que polvos inorgánicos y humos se depositarían en la superficie de transferencia de calor con las resultantes pérdidas en eficiencia de caldera y capacidad de generación de vapor.
2. El volúmen de los gases contaminados no debe ser excesivo o reducirá las eficiencias térmicas de la misma manera como lo hace un exceso de aire de combustión.
3. El contenido de oxígeno de los gases contaminados usados - como aires de combustión debe ser similar al de un aire que asegure buena combustión. Una combustión incompleta puede formar resinas que se depositarían en las superficies de transferencia del calor.
4. Una llama adecuada debe ser mantenida constantemente en la caja de fuego de la caldera, por lo que se requieren controles de quemador modulantes o de alta y baja.

Las calderas usadas como quemadores han tenido éxito en el control de emisiones de ahumado de carne, de procesos de refinación

que envuelven ácidos cresílico y nafténico, sulfuro de hidrógeno, mercaptanos, tratamientos de aguas, compuestos de amoníaco, regeneración de aire y vapores de aceite de columnas de proceso.

Como los otros tipos de controles, estas unidades requieren de un diseño apropiado del sistema de escape para llevar efectivamente los contaminantes del punto de origen al hogar de la caldera. - Estos contaminantes pueden ser introducidos al hogar de la caldera en dos formas: a través del quemador sirviendo como aire de combustión, ó a contracorriente del quemador sirviendo como aire secundario.

EQUIPO DE ADSORCIÓN.

Adsorción es el nombre del fenómeno en el cual las moléculas de un fluido hacen contacto y se adhieren a la superficie de un sólido. Por este proceso, gases líquidos ó sólidos, aún a bajas concentraciones, pueden ser selectivamente removidos de una corriente de aire con materiales específicos conocidos como adsorbentes.

Muchas teorías se han emitido para explicar la adsorción selectiva de ciertos vapores o gases, pero el mecanismo exacto aún sigue siendo discutido. En algunos casos, la adsorción se debe a la combinación química del gas con las valencias libres de los átomos en la

superficie del sólido, en la capa molecular, como fue propuesto por Langmuir en (1916) (Glasstone Ed. 1946). En estos casos, la adsorción es debida a la licuefacción del gas y su retención por acción capilar en los finísimos poros del sólido adsorbente. El poder adsorbente del carbon activado es debido principalmente a las condensaciones de capilaridad molecular, mientras que el poder de adsorción de la sílica gel es debido principalmente a la condensación capilar.

En la mayoría de los procesos que envuelven adsorción la operación presenta tres pasos, que son los siguientes:

1. El adsorbente se pone en contacto con el fluído y resulta una separación por adsorción.
2. La porción que no se adsorbió del fluido es separada del adsorbente. En el caso de gases esta operación es completada con su pasaje a través de la cama adsorbente.
3. Lo adsorbido es removido del adsorbente, con lo cual se regenera. En algunos casos el adsorbente es regenerado - sin la recuperación de lo adsorbido, como en la decoloración de soluciones de azúcar, carbon de huesos y el tra-

tamiento de aceites lubricantes, tierra de Fuller. La recuperación depende principalmente del valor de lo adsorbido en algunos casos no vale la pena como en el caso de las tierras de Fuller y carbon de huesos, pero en otros en donde se recupera un material valioso, se hace necesaria.

4. Algunos sólidos que poseen propiedades adsorbentes y sus usos industriales son los siguientes:

Alumina.	Secado de gases, aires y líquidos.
Bauxita	Tratamiento de fracciones de petróleo, secado de gases y líquidos.
Carbon activado.	Recuperación de solventes, eliminación de olores y purificación de gases.
Carbón de Huesos.	Decoloración de soluciones de azúcar.
Carbón decolorante.	Decoloración de aceite, grasas y ceras, deodorización de agua doméstica.
Magnesia.	Tratamiento de gasolina y solventes, remoción de impurezas metálicas de soluciones cáusticas.
Silica Gel.	Secado y purificación de gases.

Sulfato de Estroncio.

Remoción de hierro de soluciones caústicas.

Tierra de Fuller.

Refinación de aceites lubricantes, vegetales y animales, ceras y grasas.

El carbon activado es el adsorbente más usado en la remoción de vapores orgánicos. El carbón puede adsorber sustancialmente todos los vapores orgánicos del aire a temperatura ambiente, sin tomar en cuenta la concentración ni condiciones de humedad. Debido a que los componentes adsorbidos no tienen prácticamente presión de vapor a temperatura ambiente, los sistemas de carbon se pueden adaptar para una recuperación eficientes de solventes presentes en el aire en concentraciones pequeñas. Esto significa que el sistema puede ser siempre diseñado para operar sin peligros, debido a que las concentraciones de vapor están siempre por debajo del rango de inflamable.

La adsorción de un vapor mediante carbon activado aparentemente ocurre en dos pasos, inicialmente es rápida y completa, pero a medida que remueve material, las concentraciones de vapor que dejan el carbon igualan las de la entrada, en este punto el carbon esta saturado. Una de las ventajas del uso de carbon activado en el control de emisiones

solventes en su habilidad para recuperar los solventes adsorbidos del carbon mediante su regeneración. Para remover lo adsorbido del carbon, debe ser ventilado a una temperatura superior a la que los solventes fueron adsorbidos. La regeneración es efectuada al pasar un gas caliente a través de la cama de carbon. La fuente principal de calentamiento es vapor saturado a baja presión, 5 psig, suficiente para remover la mayoría de los solventes. Vapor sobre calentado a 650° F. es necesario, sin embargo para reactivar el carbon a su condición original. Normalmente el flujo de vapor es pasado en una dirección opuesta al flujo de gases durante la adsorción.

Después de que el solvente ha sido recuperado, el carbon está caliente y saturado de agua, por lo cual usualmente es enfriado y secado, soplando aire limpio a través del carbón.

En la captura y remoción de compuestos orgánicos, el aire y el vapor son pasados a través de una capa de carbon activado. Esta capa puede ser fija o movable. El armazón para una cama siempre fija puede ser un recipiente colindrico horizontal o vertical. Las camas son puestas en platos paralelos unos con otros, camas múltiples como éstas son mejor arregladas en un recipiente vertical. Otro tipo de arreglo de una cama fija es en forma de cono, tanto en un recipiente --

horizontal como vertical; una cama movable es aquella en que el carbon está contenido en un tambor el cual gira dentro de una cubierta.- El equipo más simple para un adsorbedor de cama fija es un recipiente cilindrico vertical, equipado con unos platos de soporte perforados para el carbon. La corriente de gas conteniendo el vapor, entra al recipiente por la parte superior y fluye hacia abajo a través de la cama de carbon. El flujo descendente permite el uso de más altas velocidades de gas. La forma horizontal con camas paralelas al eje es normalmente usado cuando se requiere manejar grandes volúmenes de gas. Para la captura de vapores en operación continúa, se requieren cuando menos 2 de éstas unidades, para que mientras una adsorbe, la otra esté regenerándose y enfriándose.

Las camas de carbon activado deben ser protegidas de aerosoles que pueden recubrir la superficie del carbon, ya que sin esta protección la capacidad de adsorción y la vida del carbon se verán reducidas, si ya no se pueden remover por regeneración. Por ejemplo, en las operaciones de pintura por esparado, se ha encontrado que los adsorbedores de carbon pueden ser adecuadamente protegidos de estos materiales en partículas, mediante filtros eficientes sin causar un gran incremento en la caída total de presión.

La corrosión puede ser controlada o reducida por el uso de

de acero inoxidable o mediante el recubrimiento con resinas fenólicas.

CONDENSADORES DE VAPOR.

Los contaminantes del aire pueden ser descargados a la atmósfera en forma de gases o vapores, los cuales pueden ser controlados por diferentes medios, por ejemplo, adsorción, absorción, condensación o incineración y en ocasiones específicas el control de estas descargas puede ser efectuado por condensación.

Otras aplicaciones requieren de un condensador como parte integral de otro equipo de contaminación. En estos casos, un condensador reduce el uso de controles más caros, o remueve componentes en forma de vapor, que pueden afectar la operación o causar corrosión al equipo de control principal.

Los vapores pueden ser condensados ya sea aumentando la presión o quitándoles calor. En la práctica los condensadores para el control de aire operan removiendo calor del vapor. Los condensadores difieren principalmente en el método de refrigeración. En los condensadores de superficie el refrigerante no hace contacto con el vapor o el condensado. En los condensadores de contacto el refrigerante, los vapores y el condensado están íntimamente mezclados.

La mayoría de los condensadores de superficie son los de tubo y coraza. El agua fluye a través de los tubos y el vapor condensado en el lado de la coraza, el agua de enfriamiento es normalmente helada, como las de torre de enfriamiento. Los condensadores de superficie con enfriamiento de aire y algunas unidades con enfriamiento de agua condensan dentro de los tubos. Estos condensadores enfriados por aire son usualmente construídos con aletas para extender la superficie. En los condensadores atmosféricos los vapores condensan dentro bolsas de tubos enfriados por una cascada de agua.

El agua es enfriada por aire circulado a través del paquete de tubos. Estos paquetes pueden ser montados directamente en una torre de enfriamiento o sumergidos en agua.

Los condensadores de contacto emplean refrigerantes líquidos, usualmente agua, los cuales entran en contacto directo con los vapores a condensar. Estos instrumentos son relativamente simples, como por ejemplo, las cámaras de esparado, usualmente con baffles para asegurar un contacto adecuado. Otras son turbinas de alta velocidad diseñadas para producir un vacío. En comparación con los condensadores de superficie, los de contacto son más flexibles, -- simples y considerablemente más baratos para instalar, por otro lado

los condensadores de superficie requieren mucha menos agua y producen de 10 a 20 veces menos condensado. El condensado de las unidades de contacto no puede ser reutilizado y puede constituir un problema para su disposición.

En las unidades de superficie se pueden recuperar condensadores valiosos, si hay.

Los condensadores de contacto normalmente aportan mucha más ayuda en el control de contaminación de aire que los contaminantes de superficie porque diluyen los condensados.

Los condensadores se han usado con éxito, ya sea separadamente o con equipo adicional en los siguientes procesos:

Refinación y Petroquímica.— En unidades de alquilación; en unidades de eliminación de aminas; respiraderos de acumuladores de butadino; sopladores de coque; respiraderos de acumuladores de cetonas; rereficación de aceites lubricantes; respiraderos de acumuladores para la preparación de polietileno; unidades de proceso de estireno; recuperación de tolueno; en equipos de almacenamiento; en desechos de residuos y en unidades de extracción.

Químicos.— En fabricación y almacenamiento de amoníaco; -

fabricación de naftenatos de cobre; preparación de soluciones cloradas; fabricación de dibromuro de etileno; fabricación de detergentes; fabricación de insecticidas; fabricación de latex; fabricación de ácido nítrico; fabricación de anhídrido ftálico; reactores para resinas; recuperación de solventes; formulaciones fertilizantes; tanques de adelgazado.

Otros.- Fundición de aluminio; fabricación de asfalto; secadores de harina sanguínea; operaciones de carbón-alquitrán; desengrasadores; unidades de lavado en seco; procesos de esterificación; preparación de pectar; formulación de vitaminas.

EQUIPO DE ABSORCIÓN DE GASES.

La absorción de gases es el mecanismo mediante el cual uno ó mas de los constituyentes son removidos de una corriente gaseosa, desolviéndoles con un solvente líquido selectivo. Esta es una de las principales operaciones unitarias dentro de la ingeniería química, y se ha tratado extensamente en todos los libros de texto básicos. En estos se trata la absorción de gases como un método para recuperar productos valiosos de corrientes gaseosas,

por ejemplo, en la producción de petróleo, la gasolina natural es removida de la corriente gaseosa por absorción en un aceite de hidrocarburos especial. La absorción también tiene su parte principal en la producción industrial de compuestos químicos, por ejemplo, en la fabricación de ácido clorhídrico, un paso en el proceso envuelve la absorción de cloruro de hidrógeno gaseoso en agua.

Desde el punto de vista de la contaminación del aire, la absorción es útil como un método para reducir o eliminar la descarga de contaminantes en la atmósfera. Aún con esta aplicación, la absorción puede rendir beneficios al usuario, por ejemplo, se puede emplear para remover sulfuro de hidrogeno de las corrientes en la refinación de petróleo, y con un proceso posterior convertirlo en azufre elemental, un producto valioso.

Los contaminantes gaseosas más comunmente controladas por absorción incluyen dióxido de azufre, cloruro de hidrogeno, cloro, amoníaco, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos ligeros. En otros casos, como en la recuperación de solventes, se debe practicar una desorción o desalojamiento, después de la absorción, no solo para recuperar un constituyente valioso absorbido, sino también para recuperar un solvente valioso para volverlo a usar. } Algunas veces,

después de la absorción, soluto y solvente no son separados sino usados como un producto o un compuesto intermedio en manufacturas químicas.

(Treybal (1955), considera algunos aspectos importantes que deben ser considerados en la selección de un solvente para absorción.

1. La solubilidad del gas debe ser relativamente alta como para aumentar la velocidad de absorción y disminuir la cantidad de solvente requerido. Los solventes químicamente parecidos al soluto, generalmente proveen una buena solubilidad.
2. Los solventes deben tener relativamente bajas volatilidades, para reducir pérdidas de solventes.
3. Si es posible, los solventes no deben ser corrosivos, para reducir los costos de construcción del equipo.
4. Los solventes deben ser baratos y fáciles de conseguir.
5. Los solventes deben tener viscosidades relativamente bajas, para aumentar la absorción y reducir inundaciones.

6. De ser posible, los solventes deben ser no tóxicos, no inflamables, químicamente estables, y tener bajos puntos de congelamiento.

El equipo de absorción de gases se diseña de tal modo que suministre un buen contacto entre el gas y el solvente líquido, para que permita la difusión en la interfase de los materiales. La velocidad de transferencia de masa entre las dos fases depende en gran parte de la superficie expuesta; otros factores como la solubilidad del solvente, el grado de reacción química y las características de los componentes envueltos, son más o menos independientes del equipo usado. El contacto entre gas y líquido puede ser el gas dispersante en líquido o viceversa.

Los absorbedores que dispersan el líquido incluyen torres empacadas, torres de esparado o cámaras de esparado y absorbedores venturi; mientras que el equipo que usa dispersión de gas incluye torres de platos y recipientes con regaderas.

TORRES EMPACADAS

Una torre empacada es una torre que ha sido rellena con uno de los muchos tipos de materiales de empaque, para que presente una

gran superficie de contacto. Al ser mojada con el solvente, se forma una gran área de película líquida, que hará contacto con el gas soluto.

Usualmente el flujo a través de una torre empacada es a contracorriente, con el líquido introducido por la parte superior del empaque, mientras que el gas se introduce por la parte inferior. Esto produce la más alta eficiencia posible, ya que conforme la concentración del soluto en la corriente gaseosa decrece al avanzar a través de la torre, siempre hay solvente puro disponible para el contacto.

Con el flujo en el mismo sentido, con el líquido y el gas entrando en la parte superior, inicialmente hay una muy alta velocidad de absorción, que constantemente decrece hasta que, con una torre infinitamente alta, el líquido y el gas alcanzan el equilibrio. Es por esto que este tipo de flujo no se usa, excepto que se necesitara para una operación que requiera una velocidad de flujo tan alta, como para prevenir una inundación, que a contracorriente si ocurriría.

Generalmente el empaque consiste de varios tipos fabricados de diferentes formas. Los anillos de Rasching son los más usuales, consistiendo de cilindros perforados de diámetro externo igual a su longitud (1/4 a 4 pulgadas). Se fabrican de porcelana, para usarse con la mayoría de los líquidos, excepto con alkalis y ácido fluorhídrico; de carbón, también muy usado, excepto en atmósferas muy oxidantes; de metales y de plástico.

Otras formas de empaques incluyen sillas de montar Berl e Intalox, anillos Lessing, anillos partidos y espirales y como los mostrados en la figura.

El empaque puede ser metido en la columna en forma ordenada o al azar. Empacado al azar presenta una mayor superficie de contacto y una mayor caída de presión a través de la cama. El empaque ordenado ofrece una menor caída de presión y mayor flujo, pero su costo es obviamente mayor.

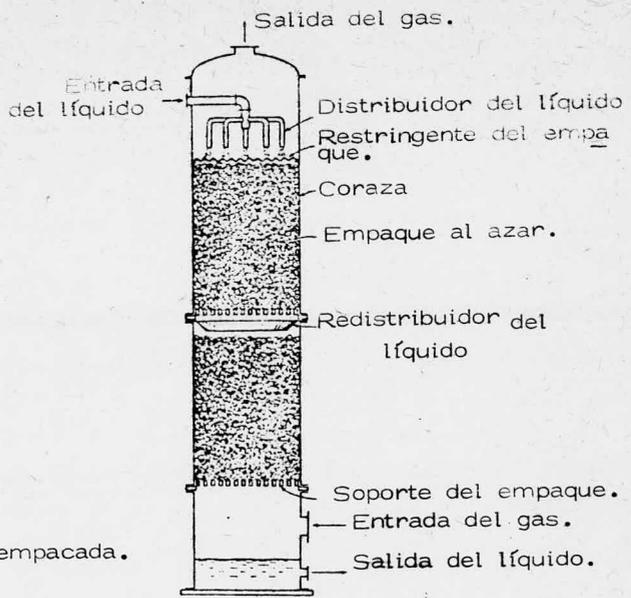
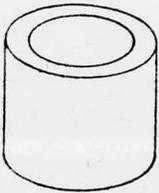
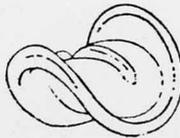


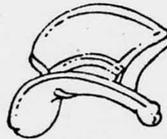
Fig. 3 Torre empacada.



Anillo rasching



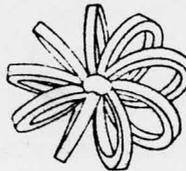
Silla Berl



Silla Intalox



Anillo Pall



Tellerette

Fig. 4 Tipos de empaque.

Dado a que la efectividad de una torre empacada depende de la formación de una gran película líquida, se recomienda una buena distribución del líquido, por lo que cuando menos deben colocarse cinco puntos de introducción del líquido por cada pie cuadrado de área transversal de la torre.

Con esto se asegura un mojado completo de la cama de empaque.

La velocidad del líquido debe ser suficiente para arrojar el empaque sin inundar la torre. Treybal sugiere una velocidad superficial del líquido de 800 libras de líquido por hora y por cada pie cuadrado de área transversal de la torre.

En el empaque al azar, el líquido tiende a hacer canales junto a las paredes, debido a la baja densidad del empaque - cerca de las paredes. En torres altas, estos acanalamientos son controlados por redistribuidores de líquido colocados en intervalos de 10 a 15 pies. Este efecto se minimiza si los empaques son menores de $1/8$ del diámetro de la torre.

Los términos usados para indicar la capacidad de una torre empacada son el punto de carga y el de inundación.

Si se grafican en escala logarítmica, la caída de presión del gas contra la velocidad del mismo, hay dos distintos puntos de rompimiento en donde la pendiente de la curva aumenta. A velocidades bajas la curva es casi paralela a la obtenida con empaque seco, pero arriba de los puntos de rompimiento, la caída de presión aumenta más rápidamente conforme la velocidad aumenta. El más bajo de estos dos puntos es el de carga y el más alto es el inundación.

A medida que la velocidad del gas aumenta sobre el punto de carga, el líquido mantenido en la cama aumenta hasta que, al alcanzar el punto de inundación, la mayoría de los espacios vacíos en la torre se han llenado y empieza a entrar líquido en la corriente gaseosa. En este punto hay una gran caída de presión. Las torres, por esto, deberían trabajar un poco arriba del punto de carga, pero como éste es difícil de establecer, es común que se diseñen para trabajar entre el 40% y el 70% del punto de inundación.

Durante muchos años las torres empacadas se diseñaron con las mismas bases de la torres de platos. El número de platos teóricos para un grado de separación dado calculado, era multiplicado por un número llamado 'altura equivalente a un plato teórico' (HETP).

Este número era determinado experimentalmente tomando en consideración el empaque, las velocidades de flujo de cada fluido usado y la concentración del soluto para cada sistema en específico. Estas evaluaciones experimentales y el sistema de cálculo son raramente usados.

Actualmente los métodos de diseño emplean el concepto de la unidad de transferencia. Los parámetros de diseño para calcularse son el diámetro de la torre, el número de unidades de transferencia, la altura de la unidad de transferencia y la caída de presión del sistema.

Diámetro de la Torre.

Como se ha mencionado previamente, la velocidad del gas es limitada por las condiciones de inundación de la torre. Mediante el uso de el volumen de gas diseñado, la velocidad de diseño de flujo de solvente y cualquier tipo de empaque, se puede calcular el diámetro de la torre, usando la correlación del ' Lobo ' (Lobo, ed. 1945, pag. 693) ilustrada en la figura No. 5.

Los factores de empaque son obtenidos de la figura No. 6.



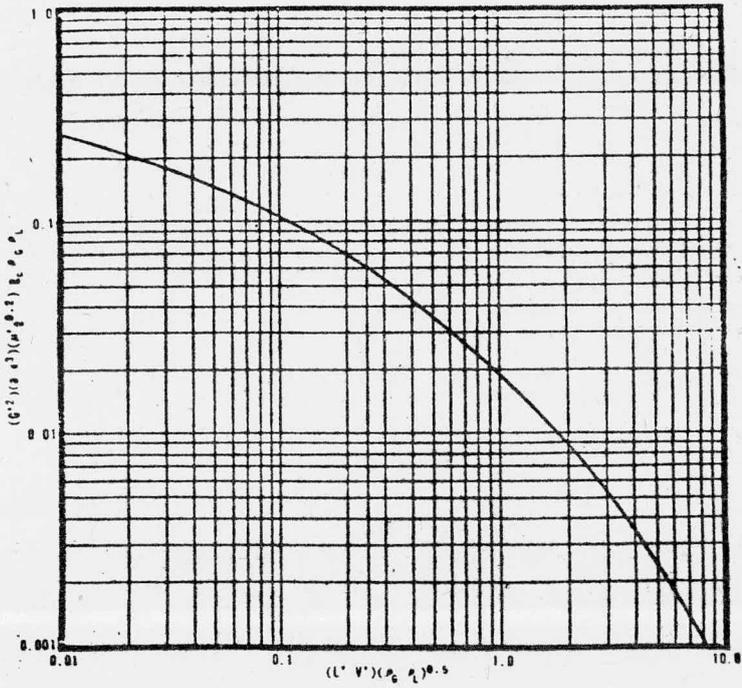


Fig. 5 Correlación de Lobo para velocidades de inundación en torres empacadas al azar (Lobo, 1945).

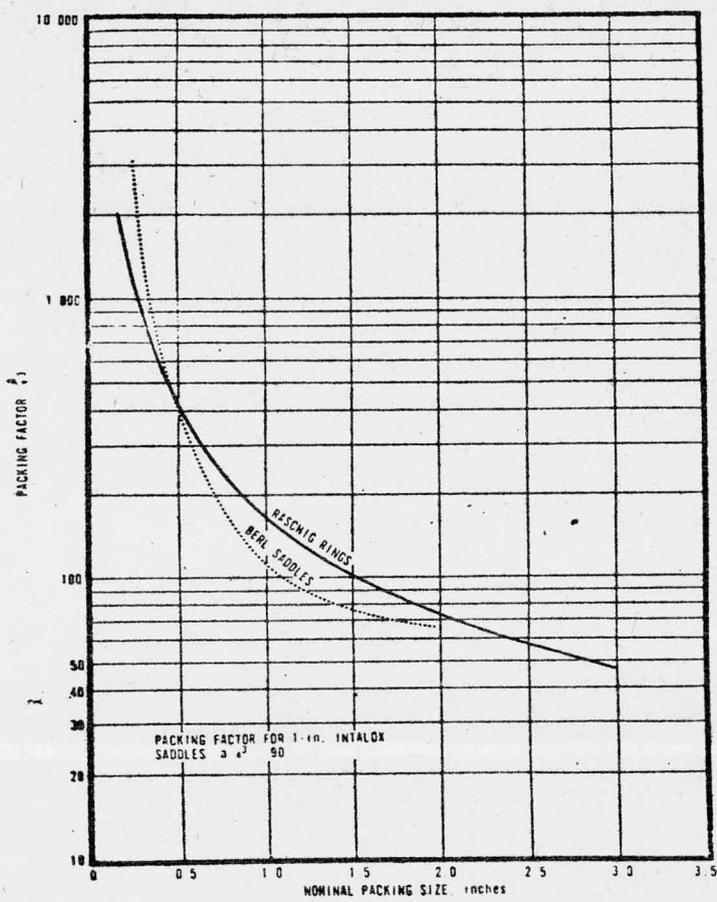


Fig. 6 Factores de empaque para anillos rasching y sillas (Lobo, 1945).

El procedimiento es como sigue:

1. Calcular el factor

$$\frac{L'}{V'} \left(\frac{\rho_g}{\rho_L} \right)^{0.5}$$

en donde:

L' = velocidad de flujo del líquido, lb/hr.

V' = velocidad de flujo del gas, lb/hr.

ρ_g = densidad del gas, lb/pié³

ρ_L = densidad del líquido, lb/pié³

2. Usando este factor calculado, obtener de la figura 5 el

valor de:

$$\frac{(G')^2 \left(\frac{a}{\epsilon^3} \right) (\mu_z^{0.2})}{g_c \rho_g \rho_L}$$

en donde:

G' = velocidad de flujo de gas, lb/seg-pié² de sección transversal de la torre.

ρ_g = densidad del gas, lb/pié²

ρ_L = densidad del líquido, lb/pié²

$\frac{a}{\epsilon^3}$ = factor de empaque de la figura 6.

μ_2^1 = viscosidad del líquido, centipoises.

g_c = constante gravitacional 32.2 pié/seg².

3. Resolver G' , la masa velocidad superficial del gas en el punto de inundación del factor anterior.

4. Calcular S , el área transversal de la torre, en pié² por fracción de velocidad de inundación seleccionada (f), mediante la ecuación:

$$S = \frac{V^1}{G' \cdot f \cdot 3,600}$$

5. Calcular el diámetro interior de la torre (D_c) mediante la ecuación:

$$D_c = \left(\frac{4S}{\pi} \right)^{0.5}$$

El diámetro de la torre será calculado tanto en el tope como en el fondo de la torre. La torre se diseñará con el diámetro más grande.

Número de unidades de transferencia (NUT).

Una unidad de transferencia es la medida de la dificultad de

la operación de transferencia de masa, y es función de la solubilidad y concentraciones del gas soluto en las corrientes de gas y líquido. Se expresa como N_{OG} ó N_{OL} , dependiendo de quién controle la velocidad de absorción, la resistencia de la película del gas o la resistencia de la película del líquido. La resistencia de la película del gas controla cuando la solubilidad del soluto en el solventes es alta, e inversamente, cuando es baja, controla la película del líquido.

En el control de contaminación del aire, por lo general, una concentración relativamente baja de soluto será removida de una corriente de aire. Generalmente se selecciona un solvente en el cual el gas soluto sea altamente soluble, para obtener la más alta separación al más bajo costo. Por lo tanto, para la mayoría de los casos, la resistencia de la película del gas será la que controle.

El método más usual para calcular el NUT es el de Baker, basado en un diagrama de operación consistente de una curva de equilibrio y una línea de operación. Para un sistema dado gas-líquido, a temperatura constante y presión parcial de gas variable, la concentración del gas en el líquido cambia a una concentración

de equilibrio a cada presión parcial. Si el sistema consiste de un gas que será removido soluble, un gas transportador insoluble y un solvente, entonces el contenido de gas soluble en el sistema aumenta, la concentración de equilibrio del gas soluble en el líquido aumenta pero no proporcionalmente. Estas condiciones pueden existir para un número infinito de estados de concentración y graficados en unas coordenadas X-Y serán la curva de equilibrio.

La línea de operación representa las concentraciones del soluto en la corriente de gas y en la fase líquida a varios puntos en la torre. Al ser graficados como moles de soluto por mol de solvente contra moles de soluto por mol de gas en coordenadas XY, resulta una línea recta. Así que cuando la composición del gas en la entrada y el grado requerido de absorción son conocidos, los puntos en la línea de operación para cada extremo de la columna pueden ser calculados, ya que la línea de operación es la recta que conecta estos dos puntos.

Para que se efectuó la absorción, la línea de operación debe estar sobre la curva de equilibrio en el diagrama.

La posición relativa de la línea de operación y la curva de equilibrio, es un indicador de la lejanía de las condiciones de la torre con respecto al equilibrio. Mientras más separadas estén una de otra, más lejos están las condiciones de la torre del equilibrio y más grande es la fuerza motriz necesaria para la operación de absorción.

La figura siguiente No. 7 ilustra el método gráfico para determinar el número de unidades de transferencia para una torre empacada a contracorriente con la película del gas controlando la absorción.

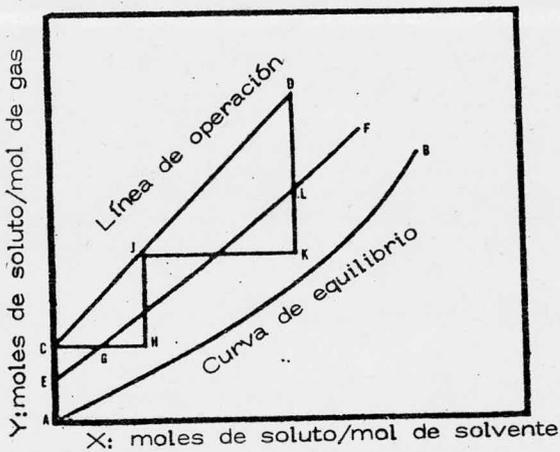


Fig. 7 Determinación gráfica de NUT

La curva de equilibrio (AB) para un sistema gas-líquido en particular es graficada de datos experimentales, generalmente ya calculados. La mayoría se pueden encontrar en las tablas internacionales críticas o en el Perry.

La línea de operación es la localizada entre los puntos - D y C. D es el punto que representa las concentraciones del soluto en la corriente del gas y en la corriente del líquido a la entrada del gas y salida del líquido (fondo de la torre). El punto C corresponde a estas concentraciones en el tope de la torre.

La línea EF es dibujada de tal manera que todos los puntos en la línea estén colocados a la mitad de una línea vertical entre la línea de operación y la curva de equilibrio.

Empezando por el punto C en la línea de operación, se traza una línea horizontal C H de tal manera que $CG=GH$. En seguida se traza una línea vertical hasta la línea de operación. El paso CHJ representa una unidad de transferencia de gas. Este procedimiento se repite hasta alcanzar el final de la línea de operación (condiciones en el fondo de la torre). En la figura No. 7 se observan 2 unidades de transferencia de gas (N_{OG}).

Para el caso del control por la resistencia de la película del líquido (N_{OL}) en la transferencia de soluto a solvente; se traza la línea EF de tal manera que todos los puntos en la línea estén localizados a la mitad de un eje horizontal entre la línea de operación y la curva de equilibrio. Entonces empezando por el punto D en la línea de operación se traza una línea vertical DK de tal modo que $DL=LK$. En seguida se traza una línea KJ hasta la línea de operación. Este procedimiento se continua hasta alcanzar el punto C de la línea de operación.

Altura de una unidad de transferencia.

Se pueden encontrar correlaciones generales para el cálculo de alturas de unidad de transferencia en Treybal ed 1955 pags. 237 y 239. Son expresadas como H_G y H_L para alturas de unidad de transferencia de gas o líquido según el caso.

Las constantes experimentales encontradas en dicha tabla en el Treybal, están basadas en el tipo de empaque y las velocidades de flujo del gas y del líquido y el cálculo de la altura es efectuado mediante el uso de las siguientes fórmulas.

$$H_G = \frac{\alpha G^\beta}{L^\gamma} \left(\frac{\mu_G}{\rho_G D_G} \right)^{0.5}$$

en donde:

H_G = altura de una unidad de transferencia de gas, piés.

G = velocidad superficial del gas, lb/hr-pié².

L = velocidad superficial del líquido, lb/hr-pié².

α = constante de empaque del Treybal 1955, pag. 239.

β = constante de empaque del Treybal 1955, pag. 239.

γ = constante de empaque del Treybal 1955, pag. 239.

μ_G = viscosidad del gas, lb/hr-pié.

ρ_G = densidad del gas, lb/pié³.

D_G = difusividad del gas, pié²/hr.

El grupo $\left(\frac{\mu_G}{\rho_G D_G} \right)$ es conocido como el número de Schmidt y se puede encontrar en el Perry en los coeficientes de difusión para gases y vapores.

$$H_L = \phi \left(\frac{L}{\mu_L} \right)^\eta \left(\frac{\mu_L}{\rho_L D_L} \right)^{0.5}$$

en donde:

H_L = altura de una unidad de transferencia de líquido, piés.

L = velocidad superficial del líquido, lb/hr pié².

ϕ = constante de empaque, Treybal 1955, pag. 237.

η = constante de empaque, Treybal 1955, pag. 237.

ρ_L = densidad del líquido, lb/pié³.

D_L = difusividad del líquido, ft² / hr.

μ_L = viscosidad del líquido, lb/hr pié.

El grupo $\left(\frac{\mu_L}{\rho_L D_L} \right)$ es el número de Schmidt y se

puede encontrar en el Perry en los coeficientes de difusión para líquidos.

El cálculo de la altura total de unidad de transferencia de gas (H_{OG}) se efectúa mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$H_{OG} = H_G + m \cdot H_L \cdot \frac{G_m}{L_m}$$

en donde:

m = pendiente de la curva de equilibrio.

G_m = velocidad del gas lb mol /hr.

L_m = velocidad del líquido, lbmol/hr.

Estas ecuaciones empíricas son ampliamente aceptadas para efectos de diseño. Para el cálculo de la altura de la torre (Z) se hace uso de la siguiente ecuación:

$$Z = NUT \times H_{OG}$$

Caída de presión a través del empaque.

Para flujos simultáneos a contracorriente de líquido y gas, los datos de caídas de Presión de varios investigadores muestran grandes diferencias, algunas veces de hasta el 60% para el mismo tipo de empaque y velocidades de flujo, probablemente debidas a diferencias en las densidades de empaque. Sin embargo, para la mayoría de los casos es aplicable la correlación de Leva, aún cuando las estimaciones no sean muy precisas.

$$\frac{\Delta P}{Z} = m_1 \cdot (10^n L' / \rho_L) \cdot \frac{G'^2}{\rho_G} \cdot 10^{-8}$$

en donde:

ΔP = caída de presión, lb/pié².

Z = altura del empaque de la torre, piés.

m_1 = constante de caída de presión del Treybal ed. 1955.

n = constante de caída de presión del Treybal ed. 1955.

L' = masa velocidad superficial del líquido lb/hr pié².

G' = masa velocidad superficial del gas lb/hr pié².

ρ_L = densidad del líquido, lb/pié³.

ρ_G = densidad del gas, lb/pié³.

Torres de Platos.

Las torres de platos son cilindros verticales en los cuales el líquido y el gas son puestos en contacto en diferentes pasos, por medio de platos arreglados de tal manera que el gas es dispersado a través de una capa de líquido. Cada plato es más o menos un paso separado, y el número de platos requerido depende del grado de separación deseado y de la dificultad de la operación de transferen-

cía de masa. El líquido entra por la parte superior de la torre y fluye hacia abajo por gravedad a través de cada plato y por medio de un surtidor o escurridera hasta el plato siguiente. El gas fluye hacia arriba y pasa a través de unos agujeros en el plato, burbujea a través del líquido y pasa al plato siguiente. El efecto total es de un contacto múltiple a contracorriente entre el gas y el líquido, aunque cada plato se caracterice por un flujo cruzado de los dos.

El tipo de torre de platos más común, es el de platos con capuchón, como la mostrada en la figura no. 8, aún cuando existen otros tipos de platos como los perforados, turbogrid y flexitrays.

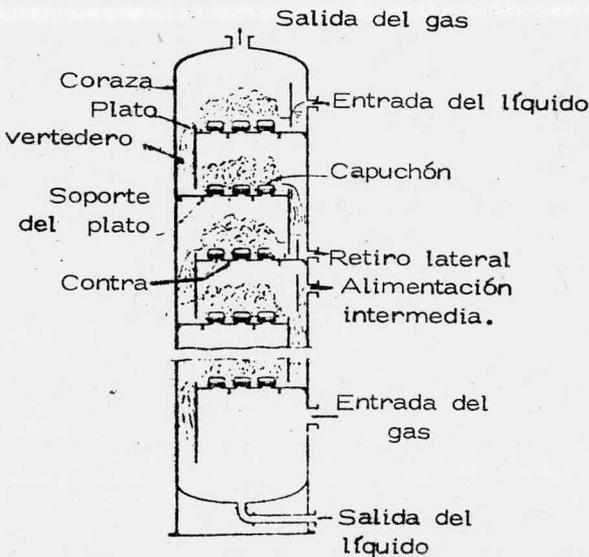


Fig. 8 Torre de platos.

El número de platos teóricos en una columna depende de la dificultad de la separación y se determina solamente del balance de materia y condiciones de equilibrio. El diámetro de la torre depende de las cantidades del líquido y del gas que fluyen a través de la columna por unidad de tiempo. La eficiencia de los platos y el número de platos reales; se determina por el diseño mecánico usado y por las condiciones de operación.

Una vez que el número de platos teóricos requerido ha sido determinado, el principal problema en el diseño de la torre es encontrar las dimensiones y los arreglos que mejor la representen ante tendencias severamente opuestas, puesto que se ha encontrado que las condiciones para eficiencias de platos altas, presentan grandes dificultades de operación. Altos niveles de líquido en los platos tienden a proporcionar altas eficiencias con un largo tiempo de contacto, pero también presenta una caída de presión grande por cada plato. Velocidades del gas altas, dentro de ciertos límites, ofrecen un eficiente contacto entre líquido-vapor, creando condiciones turbulentas, pero también presenta una gran caída de presión como en el caso de una gran alimentación de líquido.

Sin embargo se puede hacer uso de una serie de recomen-

daciones para condiciones y dimensiones de platos de capuchón en Treybal, 1968 pags. 132 y 133.

En el diseño de la torre se debe proveer suficiente area de escurrimiento y espacio entre los platos, para prevenir la inundación.

Es preferible sobre diseñar estas áreas, puesto que en realidad representa un relativamente bajo costo y evita una inundación potencial.

Diámetro de la Torre.

El diámetro es determinado mediante el uso de la velocidad superficial del gas, la cual es calculada por medio de la siguiente ecuación:

$$V = K \left(\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G} \right)^{0.5}$$

en donde:

ρ_L = densidad del líquido, lb/ pié³ .

ρ_G = densidad del gas, lb/ pié³.

K = constante empírica; Perry Constantes de espacio entre platos.

La velocidad calculada con esta ecuación es válida excepto para absorbedores de hidrocarburos, los cuales serán diseñados con velocidades de vapor del 65 al 80 por ciento de los valores calculados (Perry).

Con este valor calculado y conocida la velocidad de flujo volumétrico del gas, el diámetro puede ser fácilmente calculado mediante:

$$D = \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{V}{V_{fg}} \right)^{0.5}$$

en donde:

V = velocidad superficial del gas, piés/seg.

V_{fg} = velocidad de flujo volumétrico del gas, piés³ /seg.

D = diámetro de la torre, piés ².

Número de platos teórico.

Este número es determinado generalmente por métodos gráficos, mediante un diagrama compuesto de una línea de operación y una curva de equilibrio, como el descrito para las torres empacadas. En el caso del Control de Contaminación del aire, las concentraciones de soluto en las fases líquida y gaseosa son bajas, por lo

que la curva de equilibrio también puede ser considerada una línea recta, con lo cual puede ser usada una solución analítica.

La relación ha sido tomada de Sherwood and Pigford (1952)

y es como sigue:

$$N_p = \frac{\log_e \left(1 - \frac{m G_m}{L_m} \right) \left(\frac{Y_1 - m X_2}{Y_2 - m X_2} \right) + \left(\frac{m G_m}{L_m} \right)}{\log_e \left(\frac{L_m}{m G_m} \right)}$$

en donde:

N_p = número de platos teórico.

m = pendiente de la curva de equilibrio.

G_m = masa velocidad superficial molar del gas,
lb-mol/hr pié² de sección transversal de la columna.

L_m = velocidad del licor, lb-mol/hr pié² de sección transversal de columna.

Y_1 = fracción mol de soluto en la corriente gaseosa en el final concentrado de la torre a contracorriente.

Y_2 = fracción mol de soluto en la corriente gaseosa en

el final diluído de la torre a contracorriente.

X_2 = fracción mol de soluto en la corriente líquida
en el final diluído de la torre o contracorriente.

Los principios discutidos en esta sección han sido para la absorción de un solo componente. La absorción de componentes múltiples es de gran importancia industrial, en la gasolina natural, - petróleo y en petroquímica. Cuando las emisiones consisten de mezclas de vapores solventes, el control por adsorción o por incineración es probablemente más económico que por absorción.

CAPITULO IV

EQUIPO PARA EL CONTROL EN PROCESOS QUIMICOS

En los capítulos anteriores se han visto los equipos usados en el control general de emisiones contaminantes. En el presente capítulo veremos el equipo utilizado para el control de emisiones contaminantes de algunos de los principales procesos químicos tales como fabricación de resinas, fabricación de barnices, fabricación de ácido sulfúrico, fabricación de ácido fosfórico, fabricación de jabones y de detergentes, electroplateado, fabricación de insecticidas y recuperación de aceites y solventes. Hay muchos más procesos químicos, que en algún momento podrían ser fuentes de emisiones contaminantes, sin embargo se han escogido los anteriores debido a su importancia como fuentes emisoras contaminantes y a que pueden ser, en la mayoría de los casos, representativas como fuentes emisoras y de la forma como pueden controlarse.

FABRICACION DE RESINAS.

Existen dos tipos de resinas, naturales y sintéticas. Las -

naturales son obtenidas directamente de restos fósiles como las resinas de Congo, Batu y de la India, y de los árboles como el hule brasileño Hevea, del cual se obtiene el latex natural.

Las sintéticas son aquellas fabricadas por el hombre. Estas pueden ser clasificadas como termoplásticas y termofijas. Las termoplásticas no experimentan cambios permanentes con el calentamiento, pueden ser ablandadas, licuadas y moldeadas con formas que retienen al ser enfriadas, sin que sufran modificaciones sus propiedades físicas. Las resinas termofijas también pueden ser ablandadas, licuadas y moldeadas con el calentamiento, pero a diferencia de las otras, toman una forma permanente y rígida al enfriarse y no pueden volver a ser moldeadas.

Resinas Termofijas.

Las resinas termofijas son obtenidas de ingredientes - fusibles que bajo reacciones de condensación y polimerización y con calor, presión y un catalizador toman formas rígidas que resisten las acciones del calor y de los solventes. Dentro de estas se encuentran las fenólicas, amino resinas, poliésteres y resinas de poliuretano, que deben su resistencia al calor a sus

estructuras moleculares reticuladas, o sea con eslabones cruzados.

Las resinas fenólicas pueden ser fabricadas de casi cualquier compuesto fenólico y un aldehído. El principal proceso es a partir de Fenol y formaldehído con un catalizador ácido que puede ser ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, o ácido fosfórico, cargados en un reactor con chaqueta de calentamiento con un condensador - de reflujo y para operar en vacío.

Las más importantes amino resinas son las de urea-formaldehído y las de melamina-formaldehído. En la primera se mezclan un mol de Urea con 2 de formaldehído al 38 por ciento, manteniéndola alcalina con amoníaco a un pH de 7.6 a 8; la reacción se lleva a cabo a 77° F en 2 días a presión atmosférica y sin reflujo. Las resinas de melamina se producen de la misma forma, sólo que los reactivos se calientan inicialmente a 176° F para disolver la melamina y después a 77° F por 2 días hasta completar la reacción.

Los poliésteres pueden ser divididos en tres clases: no-saturados, saturados y alquidálicos. Todos son producto de una reacción de condensación entre un alcohol polihidratado y un ácido polibásico.

Los poliésteres no saturados son fabricados principalmente a partir de anhídrido maleico y etilén glicol. El poliéster resultante es capaz de reticular y es usualmente ligado con un material polimerizable como el estireno. Con un peróxido como catalizador estos copolimerizan en una resina termofija, usada en el campo de los plásticos reforzados, laminada junto con fibra de vidrio.

Los poliésteres saturados son fabricados principalmente a partir de ácido tereftálico y etilén glicol para ser convertidos en fibra para usos textiles como el Dacrón. Otros de más bajo peso molecular son usados con di-isocianatos para formar resinas de poliuretano. Los materiales formados son de cadena larga, saturados y no reticulables.

Las resinas alquidálicas difieren de los anteriores poliésteres como resultado de la modificación por la adición de ácidos grasos monobásicos. Las resinas alquidálicas son adelgazadas con solventes orgánicos y son usados en barnices, pinturas y recubrimientos. Son fabricadas principalmente a partir de anhídrido ftálico y glicerina, con pequeñas cantidades de ácidos como el maleico y el fumárico.

El poliuretano es fabricado a partir de una resina de poliester saturado como el polioxipropilentriol, con tolién di-isocianato (TDI) y agua en una relación aproximada de 100:42:3 por peso, junto con pequeñas cantidades de un agente emulsificante, un catalizador de polimerización y un lubricante de silicones. El gas forma una estructura en forma de espuma.

Resinas Termoplásticas.

Como se ha dicho las resinas termoplásticas puede ser remodeladas después de haber tomado formas rígidas. Las principales son las de vinilo, de estireno y resinas o base del petróleo y de alquitrán.

Las resinas polivinílicas son aquellas que tienen un grupo vinilo ($\text{CH}=\text{CH}_2$). La más importantes son producto de la polimerización de acetato de vinilo. El monómero de acetato de vinilo es el resultado de la reacción entre acetileno y ácido acético; éste es polimerizado, en la mayoría de los casos, en solución al 60 por ciento en benceno, catalizado con un peróxido, en un reactor con chaqueta y condensador de reflujo.

El monómero de cloruro de vinilo es un gas que hierve

a -14°C , por lo que normalmente es almacenado y manejado como líquido, bajo presión. Es fabricado a partir de la combinación catalítica de acetileno y cloruro de hidrógeno gas, y polimerizado en un autoclave agitada con chaqueta. Dado que la reacción es altamente exotérmica, usualmente se maneja como emulsión acuosa para facilitar su control.

El poliestireno es una de las resinas más antiguas que se conocen. Debido a su transparencia tiene múltiples aplicaciones en la industria plástica, en juguetes, partes para radio y televisión, etc., a pesar de presentar una limitada resistencia al calor y a ataques de solventes orgánicos. El monómero de estireno es un líquido incoloro que hierve a 145°C , preparado comercialmente del etil benceno, que a su vez, es producto de la reacción del benceno con el etileno en presencia de un catalizador Friedel y Crafts como el cloruro de aluminio. Durante el almacenaje del monómero, debe contener un inhibidor de polimerización, como la hidroquinona y mantenerse dentro de una atmósfera protectora de nitrógeno o gas natural. El estireno puede ser polimerizado en emulsión o suspensión con técnicas similares a las descritas anteriormente.

Las resinas de petróleo y alquitrán son las más baratas resinas sintéticas. Son producto de la polimerización de hidrocarburos no-saturados encontrados en los destilados de crudos de alquitrán en hornos de coque o en el ' cracking ' del petróleo. La estructura exacta de estos hidrocarburos aún no ha sido determinada. La más típica de las resinas de alquitrán es la de Cumarona-Indano. La polimerización es llevada a cabo mediante un catalizador, generalmente ácido sulfúrico. El destilado base de petróleo es polimerizado del mismo modo, produciendo resinas de menor peso específico que las de alquitrán.- Estas resinas son usadas en adhesivos, barnices y en losetas asfálticas.

Contaminantes.

Las principales fuentes posibles de contaminación del aire en la fabricación de resinas, son las emisiones de materias primas o monómeros, a la atmósfera, emisiones de solventes u otros líquidos volátiles durante la reacción, emisión de sólidos sublimados como anhídrido ftálico, emisión de solventes en el adelgazado de algunas resinas o durante el almacenaje y manejo de resinas adelgazadas.

En la siguiente lista se encuentran los tipos y fuentes más probables de contaminantes del aire en la fabricación de resinas :

- Resinas	contaminante	fuelle posible emisora
- Fenólica	olor de aldehidos	almacenaje, fugas, salida del condensador, descarga de la bomba de vacfo.
- Aminoresinas	olor de aldehidos	almacenaje y fugas
- Poliéster y alquidálicas	olor de aceites, humos de anhídrico ftálico, solventes.	descarga sin control del reactor y del condensador.
- Acetato de polivinilo.	olor a acetato de vinilo, solventes.	almacenaje, salida del condensador durante la reacción y durante la destilación para recuperar solventes y monómero sin reaccionar.
- Cloruro de polivinilo.	olor de cloruro de vinilo	fugas en el sistema presurizado.
- Poliestireno	olor de estireno	fugas en almacenaje y equipo de reacción.
- Resinas de petróleo y alquitrán	olor de monómeros.	fugas en almacenaje y de reacción.
- Resinas de poliuretano.	tolilén di-isocianato.	emisión de la espuma terminada, por exceso de TDI en la formulación.

Equipo para el control de contaminantes.

El control de emisiones de monómeros y solventes volátiles durante el almacenaje antes y después de la reacción de polimerización y durante el adelgazado en algunas resinas, es relativamente simple. Lo más importante es el mantenimiento de los recipientes herméticos para gases o gases líquidos almacenados bajo presión y los condensadores y otros recipientes que manejen líquidos que puedan vaporizarse. La mayoría de las resinas son adelzadas a temperaturas elevadas, cerca del punto de ebullición del thinner, por lo que se requiere de condensadores adecuados en los tanques de adelgazado, tanto para prevenir la contaminación del aire como para evitar la pérdida de productos valiosos.

Los tanques calentados usados para el almacenamiento de los anhídridos maleico y ftálico, también deben estar equipados con condensadores para evitar la fuga de material sublimado. Un excelente condensador para éste caso, es uno vertical con chaqueta de agua, con ciertas medidas para admitir vapor en la chaqueta y una válvula de alivio de presión en la salida del condensador para más o menos 4 onzas de presión. Durante el almacenaje los tanques son mantenidos a una presión de 2 onzas y con un gas

inerte que los mantiene completamente cerrados. En el llenado, el gas desplazado con algún anhídrido ftálico sublimado, es forzado a través del condensador enfriado, en donde el anhídrido ftálico es condensado en las paredes. Después que el llenado se ha completado, el anhídrido condensado es redisuelto pasando vapor por la chaqueta del condensador.

La adición de sólidos, como el anhídrido ftálico, a otros ingredientes que estén arriba de su temperatura de sublimación, causan emisiones temporales que sobrepasan los límites standard de capacidad y de humos. Estas emisiones desaparecen tan pronto como los sólidos se han disuelto completamente, permaneciendo como una opacidad hasta que la reacción se completa. Las emisiones pueden ser controladas fácilmente mediante purificadores.

El sistema mas usado, consiste de una cámara de sedimentación, seguido de un tiro con espreas de agua. El sistema de espreado debe suministrar por lo menos dos galones por cada 1,000 piés³ de espacio a una velocidad de 5 piés por seg. La cámara de sedimentación, puede consistir de un recipiente cerrado lleno parcialmente con agua, capaz de ser circulada con

conexiones de gas del reactor y del tiro de escape. Algunos sólidos y agua de reacción son colectados en el tanque de sedimentación, los excedentes son colectados por las espumas de agua en el tiro.

Otro método utilizado para capturar los vapores de un reactor de proceso de resina poliéster, es el de pasarlo primero a través de un prelimpiador del tipo de la cámara de espreado y enseguida a través de un purificador venturi. Este sistema reduce con gran eficacia las emisiones visibles.

Muchas reacciones de polimerización de resinas, el acetato de polivinilo por el método de reducción, por ejemplo, requieren del reflujó de ingredientes durante la reacción. Esto hace que todos los reactores para esta u otras reacciones que envuelvan la vaporización de porciones del contenido del reactor, deban estar equipados con condensadores de reflujó o del tipo horizontal o una combinación de los dos. El único problema es escoger el tamaño apropiado de los condensadores y mantener el medio refrigerante a la temperatura necesaria para efectuar la condensación completa.

Cuando un gas no condensable y oloroso es emitido durante la reacción, especialmente en la producción de resinas alquidáticas, - como se ha mencionado anteriormente, es necesario un equipo de - control de contaminación del aire más extenso. Esto está discutido en la siguiente sección, fabricación de barnices, concerniente a los olores.

FABRICACION DE BARNICES.

Un barniz es un producto terminado definido como una liga transparente, homogénea, procesado con calor, de un aceite seco, de - secante y solvente. Cuando el barniz es aplicado como una película delgada, el solvente se evapora, y el material remanente se oxida y polimeriza para formar un recubrimiento sólido, continuo, duro y transparente. En la industria de recubrimientos protectores, el término barniz se utiliza también para describir un vehículo para recubrimientos pigmentados. Los barnices más importantes son los siguientes:

1. Extracto de barniz. Es una solución de una resina y muy poco aceite, en un solvente volátil. El más común es la laca

de resina natural en alcohol desnaturalizado.

2. Barniz de resinas alquidálicas. Es una solución de resinas alquidálicas en solvente volátil con desecante.
3. Barnices asfálticos. Es una solución de asfalto en solvente volátil. Es formado a altas temperaturas, entre 300 y 500°F y es usado como esmalte negro cuando se desean bajos costos y excelente resistencia química.
4. Barnices litográficos. Es fabricado a partir de aceite de linaza, oxidado y polimerizado a alta viscosidad y ligado con un desecante y una resina. Es usado como vehículo para la impresión de tintas pigmentadas litográficas.

Los barnices oleoresinosos están compuestos de 4 grupos de materiales, resinas, aceites, solventes y desecantes.

Las resinas más comunmente usadas son las resinas naturales, como las de Rosin, Congo, Batu, India Este, Dammar y Laca; las semisintéticas como las resinas metálicas y las gomas de esteres; y las resinas sintéticas como las fenólicas, maleicas, de terpeno y las resinas a base de petróleo y alquitran.

Los aceites más usados son los aceites grasos naturales como los de linaza, de madera de China, de cártamo, de soya, y de algodón. En pequeñas cantidades también se usan aceite de pescado y de sebo. Los solventes varían tanto en su tiempo de secado como en su habilidad para disolver resinas. Estos se evaporan después de la aplicación y no son parte permanente del terminado. En general los hidrocarburos alifáticos como el queroseno, y extractos minerales son clasificados como solventes de bajo poder mientras que los aromáticos como el tolueno y el xileno son solventes de alto poder. Los tipos y cantidades de solvente usados para una formulación específica, puede ser determinado solamente después de considerar el tipo de resina usada, el porcentaje de sólidos y la viscosidad del producto terminado, así como las características requeridas.

Los desecantes son añadidos para catalizar la oxidación y promover la polimerización de la película después de la aplicación. Pueden ser añadidos a los otros ingredientes durante la fabricación, o más comúnmente al producto terminado. Los desecadores usados son jabones de metales pesados, como plomo, manganeso o cobalto. En orden de importancia son naftenatos, octoatos, linoleatos y resinatos de estos metales.

Contaminantes.

Los Barnices son procesados e incorporados con todos los aceites a temperaturas de 200 a 600°F. Alrededor de 350°F los productos se empiezan a descomponer, dando como resultado la emisión de productos descompuestos del reactor. La máxima velocidad de emisión ocurre inmediatamente después de que se ha alcanzado la máxima temperatura, esto ocurre de 8 a 12 horas.

Las emisiones del reactor dependen de los ingredientes en el proceso, varios investigadores han establecido que los componentes emitidos durante la fabricación de barnices oleoresinosos incluyen vapor de agua, ácidos grasos, glicerina, acroleína, fenoles, aldehidos, cetonas, aceites de terpeno, terpenos, y dióxido de carbono. Junto con estos algunos compuestos de azufre como sulfuro de hidrógeno, butil mercaptano y tiofeno, son formados cuando el aceite de sebo es esterificado con glicerina y pentaeritritol. Estos compuestos son emitidos como resultados de pequeñas cantidades de azufre en el aceite.

De todos estos compuestos emitidos, la acroelina es el --

generalmente asociado con el procesamiento de aceites, debido a su olor desagradable y picante y a sus características irritantes. Algunos de los compuestos más olorosos tienen muy bajos límites de olor, la acroleína por ejemplo, tiene un límite de 1.8 ppm. y algunos de los compuestos de azufre tienen un límite de alrededor de 0.001 ppm.

A pesar de no formar parte del procesamiento del barniz, las emisiones de solvente adelgazante son una fuente importante de contaminantes del aire a considerar dentro de la fabricación de barnices. En la mayoría de las nuevas instalaciones los barnices son bombeados hacia tanques de adelgazamiento equipados con condensadores integrales. En general, las emisiones de solventes en la fabricación de barnices suman del 1 al 2 por ciento por peso del solvente usado.

Para que los métodos de control tengan éxito, los vapores deben ser capturados y conducidos hacia los equipos de control. Los sistemas de ventilación deben ser diseñados para remover los vapores de los reactores bajo todas las condiciones de operación y sin que interfieran en la operación de los reactores.

Equipo para el control de contaminantes.

Todas las operaciones en las cuales los barnices cocidos o en las que son incorporados los aceites por calentamiento, con o sin ventilación de aire o gases inertes,, debe tener instrumentos de control de contaminantes.

Del total del material cargado a un reactor sin control, el 5 por ciento es descargado a la atmósfera durante el cocimiento. Este material incluye los compuestos irritantes olorosos mencionados anteriormente. Los equipo de control aplicables a la fabricación de barnices son los mismos usados para controlar otras fuentes olorosas, con algunas modificaciones para situaciones únicas a su operación. Además de los olores, las emisiones visibles también deben ser eliminadas.

Los purificadores y condensadores no son capaces de eliminar totalmente los olores debido a que, hay muchos gases insolubles o no condensables y aerosoles muy pequeños, sin embargo - son usados como prelimpiadores. El purificador usado en la - colección final es generalmente una torre de esparado, una torre de platos, una cámara con baffles y cortina de agua, un tanque

agitado o un purificador de turbina de agua. El más eficiente es la torre de espreado debido a su alto grado de atomización, a pesar de su excesivo mantenimiento para mantener limpias las boquillas.

El equipo de adsorción, especialmente filtros de carbon activado, son eficientes en la remoción de solventes y olores. Para mantener esta eficiencia la corriente gaseosa antes de los filtros - de carbon debe estar completamente libre de sólidos y aceites, por lo que si es usado con prefiltros o un precipitador, controlará efectivamente solventes y olores. A pesar de tener un alto costo inicial comparado con las operaciones de combustión, representa una muy - buena posibilidad considerando la recuperación de solventes.

Sin embargo, en la actualidad el más efectivo método de - control ha sido la combustión. Los otros métodos anteriores remueven individualmente cantidades variables de contaminantes, pero un quemador posterior diseñado apropiadamente puede efectuar toda la operación. Los quemadores posteriores generalmente utilizados para controlar emisiones contaminantes en la fabricación de barnices, son los de tipo de flama directa, ya sea con gases y flama entrando tangencialmente o de fuego cruzado. Los quemadores son diseñados para

ser capaces de alcanzar una temperatura de 1,400°F bajo condiciones máximas de carga; sin embargo, para la mayoría de las operaciones 1,200°F controlan completamente todas las emisiones visibles y prácticamente todos los olores. El quemador posterior debe ser diseñado para obtener el máximo contacto posible entre la flama y los gases a ser considerados, y deberá ser del tamaño suficiente para obtener un tiempo de retención de gas de cuando menos 0.3 seg.

FABRICACION DE ACIDO SULFURICO.

El ácido sulfúrico es usado como una materia prima básica en una amplia gama de procesos industriales y operaciones de fabricación. Básicamente, la producción de ácido sulfúrico consiste en la generación de dióxido de azufre (SO_2), su oxidación a trióxido de azufre (SO_3) y su hidratación para formar ácido sulfúrico.

El proceso más usado es el de contacto, en el cual se usa un catalizador para oxidar el dióxido a trióxido.

Contaminantes.

La única fuente importante de descarga de contaminantes

al aire de una planta de ácido sulfúrico por contacto, es la descarga de gases remanente del absorbedor de SO_3 .

Estos gases remanentes consisten primordialmente de: nitrógeno, oxígeno y algo de dióxido de carbono, pero también contienen pequeñas concentraciones de SO_2 , SO_3 y vapores de ácido sulfúrico.

Una planta de contacto para procesar ácido sulfúrico opera al 90 ó 95 por ciento de conversión de azufre alimentado en ácido sulfúrico, así que por cada 100 toneladas por día producidas una planta puede descargar de 0.5 a 1 tonelada de SO_2 y SO_3 por día. Concentraciones de SO_2 mayores de 0.25 ppm. causan daños a las plantas y empieza a ser irritante a la garganta y a los orificios nasales.

El límite permisible para humanos para una exposición prolongada es de alrededor de 10ppm. Una neblina puede también formarse cuando los gases de proceso son enfriados antes de la absorción final, como en la fabricación del Oleum. Las neblinas de SO_3 presentan el problema más difícil de controlar, debido a que generalmente tienen un tamaño de partícula muy pequeña,

del rango de submicrones a 10 micrones. Mientras más pequeña sea el tamaño de las partículas, la niebla se torna más densa debido al efecto de esparciamiento de la luz de las partículas pequeñas.

Equipo para el control de dióxido de azufre.

La purificación con agua de los gases remanentes del absorbedor de SO_3 , pueden remover del 50 al 75% del contenido de SO_2 . El equipo más usado son torres purificadoras empacadas con anillos de 3 pulg. En los arranques cuando las concentraciones de SO_2 son grandes, frecuentemente se utiliza una solución de ceniza de sosa en lugar de agua. La purificación con agua es factible cuando la acidez de las aguas de desperdicio no representan un problema. Los gases remanentes pueden ser purificados con ceniza de sosa y producir bisulfito de sodio, un producto relativamente valioso. Sin embargo, el proceso más ampliamente conocido para remover SO_2 de una corriente gaseosa, es la purificación con una solución de amoníaco.

Equipo para el control de niebla ácida.

Los precipitadores eléctricos son los más utilizados para

remover la niebla de ácido sulfúrico de gas frío de SO_2 de los sistemas de purificación húmeda. Los precipitadores del tipo de tubo han sido usados también para tratar gases remanentes de las torres de absorción de SO_3 y más recientemente, los precipitadores de 2 pasos como los descritos en el capítulo número II.

Los separadores de cama empacada emplean arena, coque, o fibras de vidrio o metal, para interceptar las partículas de la niebla de ácido. El empaque provoca también que las partículas se unan debido a la gran turbulencia en los pequeños espacios entre el empaque. Las partículas medianas de niebla se han removido eficazmente en camas de 12 pulg. de ancho, con sillas de montar Berl como empaque, con velocidades de gas de aproximadamente 10 piés por seg. Los filtros de fibra no han sido muy efectivos para remover las nieblas debido a la tendencia de la fibra a tarparse y ceder, sin embargo hay algunas fibras de vidrio tratadas con silicones que han demostrado ser más efectivas.

Se utilizan también unos eliminadores de mallas de alambre, generalmente contruidos en dos pasos. El paso más bajo

construído con una densidad de aproximadamente 14 lbs por pié³, mientras que el paso superior es menos denso. Los dos pasos están separados algunos metros en un ducto vertical. El paso de alta densidad actua como un incorporador de partículas y éstas ya reunidas son removidas en el paso superior. Las velocidades de gas fluctuan entre 11 y 18 pies por seg. Se han obtenido concentraciones de nieblas de ácido sulfúrico menores de 5 mg. por pié³ de gas en unidades de éste tipo para plantas de ácido sulfúrico. Las posibilidades de corrosión deben ser consideradas en la selección del material para las mallas de alambre.

Se utilizan también filtros cerámicos en forma de tubo, montados en una coraza horizontal con los topes abiertos y los fondos cerrados. Los gases fluyen hacia abajo dentro de los tubos y salen a través de las paredes porosas. Los filtros son compuestos de pequeñas partículas de alumina fundidos con una otra liga.

Para aglomerar las partículas, se han utilizado también la precipitación sónica y ya en forma de partículas más grandes, removerlas con un ciclón.

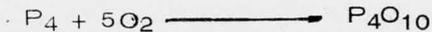
FABRICACION DE ACIDO FOSFORICO

En los últimos años el uso de fertilizantes químicos que contienen fósforo, ácido fosfórico y sales fosfatadas y sus derivados se ha incrementado en gran forma. Además de ser utilizados como fertilizantes, los derivados de fósforo se usan en alimentos, medicinas, tratamiento de aguas como plastificantes en papeles y telas a prueba de fuego y un gran número de aplicaciones. Las sales fosfatadas se usan principalmente para detergentes. Con excepción de los fertilizantes, la mayoría de los compuestos del fósforo son fabricados a partir del ácido ortofosfórico.

El ácido fosfórico es producido quemando fósforo para formar el pentóxido y con agua para formar el ácido. En la práctica, fósforo líquido fundido a 112°F es bombeado a una torre de línea refractaria, en donde es quemado hasta formar óxido fosfórico, P_4O_{10} ; el cual es algebráicamente equivalente a dos moléculas del peróxido teórico, P_2O_5 ; el cual es comúnmente llamado pentóxido de fósforo. Se suministra un exceso de aire para asegurar una oxidación completa, para que no se obtenga trióxido de fósforo, P_2O_3 , ó fósforo amarillo como coproductos. La reacción es exotérmica, por lo cual se debe remover una considerable cantidad de calor para

reducir la corrosión. Generalmente se esprea agua a los gases calientes para reducir su temperatura antes de entrar a la sección hidratadora, en donde el agua es espreada a contra corriente de la corriente gaseosa, hidratando el pentóxido de fósforo a ácido ortofosfórico y diluyéndolo a alrededor de 75 a 85 por ciento.

Las reacciones envueltas son las siguientes:



El ácido fosfórico caliente es descargado continuamente a un tanque, de donde es removido para su almacenaje o purificación.

El ácido contiene arsénico y otros metales pesados como impurezas, las cuales son precipitadas como sulfuros. Un pequeño exceso de sulfuro de hidrógeno, hidrosulfito de sodio ó sulfito de sodio, se le añaden al ácido y después son filtrados. El sulfuro de hidrógeno excedente es removido del ácido por ventilación.

Contaminantes.

Los contaminantes atmosféricos que pueden ser emitidos en

este proceso son fosfina, pentóxido de fósforo, sulfuro de hidrógeno y vapores de ácido fosfórico.

Fosfina, PH_3 es un gas tóxico, formado por la hidrólisis de fosfitos metálicos presentes como impurezas en el fósforo. Cuando los carros tanques son abiertos, la fosfina se enciende espontáneamente pero sólo por momentos.

El pentóxido de fósforo creado cuando el fósforo es quemado, forma un humo mucho muy denso, que inclusive se usa con fines militares. Los humos son de submicrones y 100 por ciento opacos.

El sulfuro de hidrógeno (H_2S) es emitido del ácido durante el tratamiento con hidrosulfito de sodio, NaHS , para precipitar sulfuros de antimonio, arsénico y otros metales pesados, para la fabricación del ácido grado alimenticio. El sulfuro de hidrógeno es altamente tóxico e inflamable. En la práctica el H_2S es ventilado de los tanques y bombeado a la torre quemadora de fósforo, en donde es quemado a SO_2 .

Equipo para el control de contaminantes.

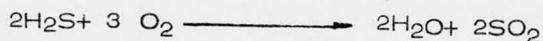
El sulfuro de hidrógeno puede ser removido por absorción

química o por combustión. Soluciones débiles de sosa caústica o ceniza de sosa esreadas a contracorriente con la corriente gaseosa, reaccionan con el sulfuro de hidrógeno y lo neutralizan.

Las reacciones son las siguientes:



El sulfuro de hidrógeno puede ser oxidado en un quemador posterior con la siguiente reacción:



Los vapores de ácido fosfórico en los gases remanentes son generalmente removidos, mediante un precipitador eléctrico o un purificador venturi.

También se puede utilizar para remover los vapores el siguiente sistema usado en algunas plantas de los Estados Unidos.

Se utiliza una torre empacada con anillos de Rasching, seguida de 3 enfriadores de gas y un segundo purificador empacado o un filtro empacado de fibra de vidrio para remover los vapores de ácido. El purificador empacado debe ser uniformemente mojado

ya sea con agua o un ácido débil y debe tener una distribución uniforme del gas para garantizar una alta eficiencia de colección. Para los filtros de fibra de vidrio, se recomienda también una buena distribución del gas y una velocidad superficial del gas menor de 100 piés por minuto.

FABRICACION DE JABONES Y DETERGENTES.

Los jabones consisten principalmente de sales de sodio ó de potasio, de ácidos grasos, con 12 a 18 átomos de carbono, - producidos mediante la reacción de saponificación de hidróxido de sodio o de potasio, con grasas o aceites, también pueden ser preparados por la neutralización de ácidos grasos con hidróxido de sodio o de potasio o con carbonato de sodio.

Los jabones de sodio son conocidos como jabones duros, y los de potasio como jabones suaves y líquidos. El principal proceso para la fabricación de jabones es el de reactores batch, en el cual las grasas fundidas son hervidas en una solución cáustica usando vapor. Luego que la saponificación de las grasas y aceites, en jabón y glicerina se ha completado, se le añade sal para separar el jabón de la fase acuosa. El jabón se sedimenta por gravedad y la

glicerina es decantada. Enseguida, el lote se diluye con agua y la mezcla se vuelve a hervir, y la fase acuosa se vuelve decantar. Se le puede añadir un caustico fuerte si se requiere. La mezcla es nuevamente hervida y sedimentada y la fase acuosa es removida, ya que contiene el exceso de caustico, se vuelve a diluir con agua, a hervir y a sedimentar formandose tres capas. La capa superior es el crudo llamado jabón limpio, la segunda llamada negro, es oscura y fuertemente alcalina, y la capa del fondo es sumamente cáustica conteniendo algo de jabón. El jabón es terminado en forma de barras, escamas, granos, líquidos o en polvo.

Los detergentes son agentes tensoactivos que pueden ser clasificados de acuerdo a sus propiedades iónicas. Los detergentes -aniónicos ionizan en agua produciendo iones orgánicos cargados negativamente como los alcoholes grasos sulfatados, alkil aril sulfonatos y otros sulfatos y sulfonatos. Otra clase son los detergentes -sintéticos cationicos, que producen cargas positivas en el agua para usos germicidas. Los agentes no-iónicos comprenden el último grupo, para removedores de manchas y emulsificantes de grasas de baja espuma.

Los detergentes contienen del 20 al 40 por ciento de agentes

activos, el resto generalmente es tripolisfosfato de sodio, pirofosfato tetrasódico, carboximetil celulosa de sodio para mejorar las propiedades de suspensión y silicato de sodio para evitar la corrosión en máquinas lavadoras de aluminio.

La principal base de los detergentes, el alquil aril sulfonato es preparado de un hidrocarburo aromático y polimerizado en un hidrocarburo de cadena lineal y sulfonado con un benceno alquilado.

Contaminantes.

El principal contaminante atmosférico en la fabricación de jabones es el olor. Para obtener un producto con mejor aroma, los fabricantes algunas veces emplean un desodorante. La coloración, el mezclado y el empaque del jabón terminado pueden causar problemas locales de polvo.

En el caso de los detergentes el problema de contaminación de aire en la preparación de las bases, son similares a los asociados con una refinería de petróleo. Las válvulas de alivio, los tanques de almacenamiento y los sellos de las bombas pueden dejar escapar hidrocarburos volátiles a la atmósfera. Algunos equipos fraccionadores son operados en condiciones atmosféricas o en vacío. Los

repiraderos de los acumuladores o de los equipos de vacío son una fuente de contaminación. Cuando el queroseno es clorado, cloro y cloruro de hidrógeno gas son eliminados. Se debe proveer equipo para manejar los complejos de cloruro de aluminio. El complejo es primero hidrolizado y luego neutralizada el agua ácida. El equipo usado en esta operación puede ser una fuente de contaminación, ya que la hidrolisis requiere agitación y es exotérmica y los vapores de hidrocarburos y cloruro de hidrógeno pueden ser emitidos. El aire es normalmente agitado cuando la neutralización es necesaria y el aire ventilado puede ser una fuente de olores.

Equipo para el control de contaminantes.

Los olores pueden ser controlados eficazmente por incineración, usando la condensación como un auxiliar. Las salidas de los reactores de jabón, los tanques twitchell contienen grandes cantidades de vapor, condensando parte de éste, el volumen de escapes a ser incinerados se reduce ampliamente. Parte del material oloroso es condensado o sedimentado por el vapor condensante. Los condensadores de contacto deben ser evitados a menos que el agua contaminada pueda ser directamente eliminada.

El método más económico de incineración consiste en la ventilación de los efluentes no condensables dentro del hogar de una caldera de operación continua. La completa destrucción de los olores se consigue si los efluentes son inyectados como parte del aire de combustión, manteniéndose una temperatura de 1,200°F en la salida de la cámara de combustión.

La absorción de olores en líquidos purificadores depende de la identificación de las sustancias olorosas, y de la selección del líquido purificador que reaccione completa y rápidamente con las mismas. Por ejemplo, para aminas de bajo punto de ebullición, sustancias olorosas, se puede usar un purificador con una solución de ácido sulfúrico a un pH de 2.

En las operaciones de terminado, el polvo es el principal contaminante. De estas operaciones el secado por esparcido es la principal fuente. El granulado, las cribas, los transportadores y el mezclado de jabón seco con otros ingredientes secos producen una gran cantidad de polvo. El polvo es generalmente controlado con purificadores como los venturi o los colectores centrifugos. Las cribas se mantienen bajo succión con un colector de bolsa.

En el caso de los detergentes, las válvulas de seguridad pueden ser ventiladas a un ensanchamiento no productor de humo. Los repiraderos atmosféricos en los condensadores y en los acumuladores pueden ser controlados conectándolos a un sistema de recuperación de vapor o usando un condensador de flujo helicoidal de agua. Las turbinas de vacío son ventiladas hacia los hogares de los calentadores. Las bombas centrifugas, deben estar equipadas con sellos mecánicos. El equipo de neutralización e hidrólisis debe estar ventilado hacia un purificador de agua diseñado apropiadamente.

GALVANOPLASTIA.

La galvanoplastia es un proceso usado para depositar o plañear, un recubrimiento de metal sobre la superficie de otro metal mediante reacciones electroquímicas. Se ha usado también este proceso para recubrir superficies no metálicas como el hule. Las aplicaciones industriales y comerciales de la galvanoplastia son muy numerosas, desde partes para automóviles y herramientas, hasta muebles y juguetes. Los recubrimientos más comúnmente usados son - bronce, cromo, latón, cobre, cadmio, hierro, níquel, plomo, estaño,

zinc y los metales preciosos. Los chapeados son aplicados para decorar, para reducir la corrosión, para mejorar las propiedades metálicas, o como base para un chapeado superior con otro metal.

El sistema de electrochapeado o galvanoplastia, consiste de 2 electrodos, ánodo y cátodo sumergidos en un electrolito y conectados a una fuente externa de electricidad a corriente directa. El material base sobre el cual se va a depositar la chapa, efectúa las funciones del cátodo.

En la mayoría de los sistemas una barra de metal que va a depositarse, se usa como ánodo y el electrolito es una solución que contiene iones de este metal y materiales adicionales disueltos para ayudar a la conductividad eléctrica y para producir las condiciones adecuadas en el chapeado depositado. Cuando la corriente eléctrica pasa a través del electrolito, los iones del mismo son reducidos y depositados en el cátodo y una cantidad equivalente del mismo u otro elemento se oxida y se disuelve en el ánodo. En algunos sistemas, el cromado por ejemplo, el metal depositado no se disuelve en el ánodo, por lo que se usan ánodos insolubles y la fuente del metal depositado son iones

formados de sales, de ese metal depositado previamente disueltos en el electrolito.

El depósito puede variar de un chapeado grueso y granular de baja adherencia, hasta otro acabado espejo, fuerte y adherente, modificando el pH del electrolito, la concentración de iones metálicos, las densidades de corriente en el ánodo y en el cátodo, la temperatura del electrolito y la presencia de agentes modificadores.

Los metales deben ser limpiados antes de la galvanización, ya sea con un desengrasador de vapores de solvente, en un baño alcalino o con una electrolimpieza con un tratamiento de ánodo alcalino y baño catódico. La selección del método de limpieza depende del tipo y cantidad de manchas, de la composición y textura del material base y del grado de limpieza requerido. Generalmente se remueve primero las grasas, aceites y polvo y enseguida se desincrustan.

Contaminantes.

Los procesos electrolíticos no operan con el 100 por ciento de eficiencia y algo de la corriente descompone agua del baño, libe-

rando gases de hidrógeno y oxígeno, de hecho la gran ventaja de la electrolimpieza es la acción mecánica producida por la evolución vigorosa del hidrógeno en el cátodo, la cual tiende a desprender las películas de aceite, grasa, pintura, y manchas. La velocidad de gasificación varía con los procesos individuales, si ésta es alta los vapores de ácidos, materiales alcalinos u otros constituyentes de los baños son descargados hacia la atmósfera.

En la mayoría de los procesos electrolíticos y de limpieza son de pequeña importancia desde el punto de vista de la contaminación atmosférica, debido a que las emisiones son inofensivas y en volúmenes despreciables, por lo que generalmente no se requiere ningún equipo para controlarlos, excepto para el proceso de cromado. En este proceso grandes cantidades de hidrógeno y oxígeno gaseosos son emanados. Las burbujas rompen la superficie con una considerable fuerza arrastrando vapores de ácido crómico, el cual es descargado en la atmósfera, los vapores de ácido crómico son muy tóxicos y corrosivos, por lo que su descarga a la atmósfera debe ser evitada. El proceso de cromado duro produce un recubrimiento denso, duro, liso y resistente a la corrosión. Este proceso requiere de una densidad de corrien

te de alrededor de 250 amperes por pié², lo cual provoca una alta velocidad de gasificación y de liberación de vapores de ácido.

Equipo para el control de contaminantes.

El equipo más comunmente usado para controlar los contaminantes atmosférico en los escapes de tanques de cromado duro, es un colector húmedo. Este tipo de equipo es también recomendable para controlar vapores de cualquier otro tipo de galvanoplastia o para tanques de limpieza, que puedan constituir un problema. El purificador más usado es el tipo de espreas. Aunque puede usarse otro tipo de colector húmedo, desde luego construídos con materiales resistentes a la corrosión. Las velocidades de circulación de agua son usualmente de 10 a 12gpm por cada 1,000 piés³ por minuto. El agua del purificador está contaminada con las descargas de ácido, por lo que se deben colocar eliminadores de niebla en el purificador para prevenir que vapores del agua contaminada descarguen hacia la atmósfera, en caso de que se recircule el agua.

El material usado para los ductos y los purificadores es generalmente un recubrimiento de cloruro de polivinilo y más reciente

temente se han fabricado totalmente se resinas poliéster reforzadas con fibra de vidrio.

Las emisiones de niebla de procesos, con menos gasificación pueden ser sustancialmente eliminados, añadiendo un agente tensoactivo a las soluciones electrolíticas reduciendo así la tensión superficial, el tamaño de las burbujas de hidrógeno y por consiguiente la cantidad de vapores.

FABRICACION DE INSECTICIDAS.

Las sustancias usadas comercialmente como insecticidas pueden ser clasificadas, de acuerdo a su método de acción, en tres grupos:

1.- Venenos de contacto, los cuales actúan externamente al ponerlos en contacto directo con los insectos en algún paso de su ciclo de vida. Los más comunes son: DDT, piretrinas, azufre, sulfato de nicotina y metoxiclor.

2.- Venenos estomacales, los cuales actúan en el aparato digestivo. Los más comunes son: arseniato de plomo, verde -

parís, arseniato de calcio, fluoruro de sodio, creolina y rotenona.

3.- Fumigantes, los cuales atacan el sistema respiratorio.

Los más comunes son: bióxido de azufre, nicotina, ácido cianhídrico, naftalina, para dicloro benceno y óxido de etileno.

Algunos límites de concentración soportable para los humanos se muestra en la siguiente tabla.

Representan las condiciones bajo las cuales los trabajadores en este tipo de industria, pueden estar expuestos en contacto continuo sin sufrir efectos nocivos. Desde luego estos factores pueden ser alterados dependiendo de los períodos de exposición, la frecuencia con que ocurran concentraciones más grandes y de la naturaleza del contaminante.

SUSTANCIA INSECTICIDA	LIMITE DE SEGURIDAD mg/m ³
- Aldrin (hexacloro-hexahidro-dimetano naftaleno).	0.25
- Acido picrico	0.1
- Arsénico	0.5
- Arseniato de calcio	1
- Arseniato de plomo	0.15
- Clordano (octacloro-tetrahidro metano indano).	0.5

SUSTANCIA INSECTICIDA	LIMITE DE SEGURIDAD mg/m ³
- Camfeno clorado 60%	0.5
- 2,4D (ácido 2,4, ciclono fenoxiacético)	10
- DDT (dicloro difenil tricloroetano)	1
- Dieldrin	0.25
- Dinitro o-cresol	0.2
- EPN (o-etil o-p-nitrofenil tionbenceno fostato)	0.5
- Ferban (dimetil-ditio carbamato férrico)	15
- Lindano	0.5
- Malation (dimetil-ditiofosfatao de dietil mercaptosuccinato)	15
- Metoxiclor (di p-metoxifenil tricloroetano)	15
- Nicotina	0.5
- Paration (dietil nitrofenil tiofosfato)	0.1
- Pentaclorofenol	0.5
- Pentasulfuro de sodio	1
- Piretrina	5
- Rotenona	5
- TEDP (Tetraetil ditionopirofosfato)	0.2
- TEPP (tetraetil pirofosfato)	0.05
- Tiram (tetrametil tiuram disulfuro)	5
- Warfarim(acetoni benil hidroxicumarona)	0.1

La producción de sustancias tóxicas usadas en los insecticidas, requieren las mismas operaciones y de los mismos equipos de proceso usados para la generalidad de los procesos químicos. La mayoría de los insecticidas comerciales son usados ya sea como polvos o sprays. Los primeros estan en estado sólido y en el rango de 0.5 a 10 micrones. Los segundos pueden ser fabricados y vendidos como sólidos o como líquidos. Los sólidos son diseñados para estar en solución en un solvente apropiado o para formar una suspensión coloidal; los líquidos pueden ser soluciones o emulsiones de agua.

Contaminantes.

Los contaminantes atmosféricos generados por la industria de los insecticidas son casi en su totalidad polvos y vapores de solventes orgánicos. Para recolectar los polvos insecticidas, se requieren colectores de alta eficiencia, debido a que los polvos son extremadamente tóxicos y no debe permitirse que escapen ni siquiera pequeñas cantidades hacia la atmósfera. Los colectores usados deben ser efectivos para el rango de partículas de 0.5 a 10 micrones y para la mayoría de los casos los polvos encontrados no son corrosivos.

Los vapores de solventes orgánicos emitidos de la producción de insecticidas líquidos, son generalmente originados de solventes relativamente no volátiles y están en tan pequeñas concentraciones que desde el punto de vista de la contaminación atmosférica son inofensivos.

Equipo para el control de contaminantes.

El método más común para controlar los polvos en la fabricación de insecticidas son los colectores de bolsa, utilizando bolsas de algodón o satén. En algunos casos se utilizan purificadores de agua, o una cámara de esparido junto con una torre empacada. Los separadores inerciales, como los ciclones y los separadores centrífugos, no son usados porque sus eficiencias de colección no son lo suficientemente altas para los tamaños tan pequeños de partícula.

Las mayoría de las unidades para producción de insecticidas sólidos son completamente cerradas, por lo que solamente en la entrada y salida de la unidad los contaminantes pueden ser emitidos, pudiendo ser fácilmente recolectados mediante filtros de bolsas de tela.

Para la fabricación de insecticidas líquidos, los problemas de control se presentan usualmente como colección de polvos en una corriente de aire húmedo, por lo que los colectores de bolsa no pueden ser usados, debiendo utilizarse algún tipo de purificador, generalmente una torre empacada en la ventilación de los tanques de mezclado. La torre puede ser empacada con sillas de montar Intalox de una pulgada y 4.5 pies de altura, generalmente un volumen de 14 pies³. Las velocidades de flujo usuales a través de la torre, son de 20 galones por minuto aproximadamente.

RECUPERACION DE ACEITES Y SOLVENTES.

Millones de litros de aceites y solventes son usados anualmente para lubricar maquinarias y vehículos, transmitiendo presión hidráulica, limpiando artículos manufacturados y textiles y disolviendo o extrayendo materiales solubles. A través de su uso estos aceites y solventes acumulan impurezas, se descomponen y pierden efectividad. Las impurezas incluyen polvo, rebabas, agua, ácidos, productos de descomposición y otros materiales extraños. La recuperación de estos aceites y solventes para volver a ser usados, removiendo las impurezas pueden ser efectuados en

la mayoría de los casos mediante procesos de re-refinación. Estos procesos son normalmente efectuados en lotes. Se les añade por ejemplo, tierras de Fuller, a los aceites contaminados a temperatura ambiente, para ayudar a remover los materiales de carbón. Esta mezcla es circulada a través de un calentador, usualmente de tubos hacen una torre flash para la remoción de hidrocarburos y agua. El aceite recuperado y los productos deseados determinan la temperatura final, entre 300 y 600F. El vapor vivo introducido en la base de la torre flash es usado para ayudar en esta fase de la operación. Además de destilar las fracciones ligeras contenidas en el aceite, el vapor previene el excesivo 'cracking' del aceite a altas temperaturas. Un condensador barométrico mantiene la torre en vacío y los vapores conteniendo el vapor, los materiales orgánicos de bajo punto de ebullición y otros hidrocarburos son aspirados a través del condensador, hacia un tanque de separación. El condensado consistente en gas ligero, aceite y agua es colectado y separado en el tanque de separación. Los gases no condensables son generalmente incinerados en los hogares de los equipos de combustión. El condensado de aceite ligero es decantado del agua y utilizado como combustible líquido. El agua contaminada es bombeada hacia otros

recipientes para su drenaje y la mezcla arcilla-aceite es eliminada y filtrada.

Para la refinación de los solventes orgánicos, el proceso es similar al descrito para los aceites, la principal diferencia es que las volatilidades de los solventes orgánicos refinados son mucho mayores que los aceites de lubricación. Los principales solventes recuperados son extractos minerales, benceno, tolueno, xileno, cetonas, esterés, alcoholes, tricloroetileno, percloretireno, tricloroetano y algunos otros desengrasantes.

El sistema típico de recuperación de solventes es el siguiente: la mezcla a ser procesada es introducida a un tanque de sedimentación, para eliminar los sólidos. El líquido decantado es precalentado y cargado a un fraccionador que puede estar bajo vacío; los vapores son condensados en un condensador de superficie enfriado por agua; el condensado es acumulado en un tanque en donde se le añade una sal como carbonato de sodio, para romper el agua del solvente; el agua se sedimenta, se remueve y el solvente es envasado.

Contaminantes.

Los dos principales problemas de contaminación de aire conectados con la recuperación de aceites, son los olores; generalmente de aguas contaminadas y de gases no condensables y los vapores de hidrocarburos. En la recuperación de solvente el principal problema son los olores, aunque menos drásticos que en la refinación de aceites. Las fuentes de emisión son los tanques de sedimentación y los equipos fraccionadores.

Equipo para el control de contaminantes.

El método más efectivo para controlar las emisiones en la recuperación de aceites es la incineración, generalmente en el hogar de una caldera o de un calentador. El tanque de separación debe estar cubierto y ventilado hacia la caldera. Las emisiones del condensador barométrico o el de contacto, pueden ser controladas manteniendo el sistema de agua a circuito cerrado. El agua recirculada, altamente olorosa, debido al contacto con los vapores calientes, debe ser enfriada en un tanque de sedimentación cubierto y ventilado hacia la caldera.

B I B L I O G R A F I A

- Principles of Unit Operations. Alan S. Foust. Ed. 1961
- Chemical Engineers Handbook. Perry. Ed. 1950
- Cátalogo de Filtros. Cambridge Filters Co.
- Air Polution Control. Los Angeles County District.
- The Limiting Capacity of Dumped Tower Packing. Lobo W.E. Ed. 1945
- Unit Operations of Chemical Engineering. McCabe & Smith. Ed. 1967
- Organic Chemistry. H. Rakoff. Ed. 1967
- Organic Chemistry. Morrison A. Boyle. Ed. 1967
- Mass Transfer Operations. Robert E. Treybal. Eds. 1955 y 1968
- IRSA. División Plásticos y Resinas.
- Resinas Oroz. Polímeros y Derivados.