

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

GUÍA DE OPERACIÓN DEL EQUIPO DE CONTROL
DE CONTAMINACIÓN EN UNA PLANTA

DE GALVANIZADO

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

KARLA LISSETTE GUTIÉRREZ ALVAREZ

ASESORADA POR ING. ESDRAS FELICIANO MIRANDA OROZCO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA MECÁNICA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2,003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL II	Ing. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Bachiller Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Bachiller Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Jorge Raúl Soto Obediente
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Hector Belisario Santizo
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

GUÍA DE OPERACIÓN DEL EQUIPO DE CONTROL
DE CONTAMINACIÓN EN UNA PLANTA
DE GALVANIZADO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 20 de junio de 2003.

Karla Lissette Gutiérrez Alvarez

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	IX
OBJETIVOS	XI
INTRODUCCIÓN	XIII
1. CONTAMINACIÓN INDUSTRIAL	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Tipos de contaminación industrial	2
1 1.2.1 Contaminación del agua	2
1.2.2 Contaminación atmosférica	3
1.2.3 Contaminación por ruido	4
1.2.4 Contaminación agrícola	5
1.3 Principales fuentes contaminantes	5
1.3.1 Fuentes de contaminación atmosférica	6
1.3.2 Fuentes de contaminación del agua	10
1.4 Consecuencias generales que afectan el ambiente	11
1.4.1 Efectos de la contaminación atmosférica	11
1.4.2 Efectos de la contaminación del agua	15

2. EL PROCESO DE GALVANIZADO	
2.1 Descripción	19
2.1.1 Preparación de superficie	20
2.1.2 Fundente base	33
2.1.3 Galvanizado	35
2.1.4 Acabado	39
2.2 Diagrama de flujo	40
2.3 Tipos de contaminación generada	41
2.3.1 Contaminación del agua	41
2.3.2 Contaminación atmosférica	43
3. EQUIPO DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA	
3.1 Descripción	51
3.1.1 La estructura de la prensa-filtradora	53
3.1.2 Unidad de alimentación	53
3.1.3 Paquete de filtración	54
3.1.4 Circuito hidráulico	55
3.1.5 Gabinete eléctrico	56
3.2 Funcionamiento	56
3.2.1 Cerrado del cuerpo de filtrado	57
3.2.2 Filtrado	57
3.2.3 Abertura del cuerpo de filtrado	57
3.3 Mantenimiento	58
3.4 Sistema de tratamiento de aguas ácidas residuales	59
4. EQUIPO DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	
4.1 Equipo de control de contaminación de los gases del baño	

de zinc	61
4.1.1 Separadores ciclónicos	61
4.1.2 Operación y mantenimiento	64
4.1.3 Como mejorar el funcionamiento	67
4.2 Equipo de control de contaminación de gases del baño de ácido clorhídrico	68
4.2.1 Absorción	68
4.2.2 Torres de cámara de rocío	69
4.2.3 Operación y mantenimiento	70
4.3 Sistema de extracción de gases y vapores	76
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES	80
BIBLIOGRAFÍA	81

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Limpieza de tubos de acero con soda cáustica	25
2	Efecto de la concentración y la temperatura sobre la tasa de picleado	28
3	Tanque de enjuague a contracorriente con doble pared de separación	33
4	Diagrama de flujo	40
5	Máquina filtro prensa	52
6	Unidad de alimentación	54
7	Paquete de filtración	55
8	Circuito hidráulico	56
9	Sistema completo de tratamiento de agua	59
10	Esquemas de ciclón de involuta y paletas axiales	62
11	Esquema de una torre de columna de rocío	70
12	Sistema de control de contaminación de gases ácidos	76
13	Sistema de control de contaminación del baño de zinc	77

TABLAS

I	Límites máximos permisibles	42
II	Presión de vapor de solución HCl	45
III	Eficiencia colectora global de los ciclones	63

LISTA DE SIMBOLOS

ml	Mililitros
m ³	Metros cúbicos
mg	Miligramos
g/l	Gramos por litro
ml/l	Mililitros por litro
mg/l	Miligramo por litro
µm	Micro metro
µg	Micro gramo
HP	Caballo de fuerza

GLOSARIO

Abrasivos	Es un elemento que sirve para desgastar por medio de la fricción.
Alcalino	Es un hidróxido que es muy soluble en el agua y se usa como base.
Centrifugado	Es la acción de usar fuerza centrífuga para mover piezas.
Dioxinas	Compuestos altamente tóxicos que son poco solubles en agua y muy estables; pueden permanecer en el aire, agua y suelo por muchos años sin degradarse.
Dross	Es un residuo que está compuesto por 96% de zinc y 4% de hierro, y se forma en el fondo de la paila de zinc.
Dureza del agua	Es el contenido en abundancia de carbonatos y bicarbonatos de calcio.
Eutrofización	Enriquecimiento de lagos, ríos y mares por exceso de nutrientes vegetales.
Floculante	Es una agente que hace que las partículas sólidas se junten.
Fundente	Es una sustancia química que se mezcla con el zinc, para facilitar el galvanizado.
Furanos	Es un líquido tóxico, aceitoso, incoloro, que expuesto al aire se vuelve pardo rojizo.
Paila	Es el tanque metálico donde se funde el zinc.
pH	Es el índice que expresa el grado de acidez o alcalinidad.
Pliclorobifenilos	Sustancias consideradas como residuos tóxicos y peligrosos, que son usadas en aislamiento eléctrico y refrigeración de transformadores.
Saponificar	Conversión de un cuerpo graso en jabón.

RESUMEN

En el pasado, la industria, la agricultura y los contaminadores individuales encontraron que era más económico descargar al medio ambiente los productos de desecho, que controlarlos. Con el tiempo, según la población se preocupa cada vez más por los problemas de contaminación ambiental, se ha logrado que se le preste mayor atención a este problema. De tal manera, que se ha llegado a establecer que la contaminación no solamente concierne a los responsables de emitirla, sino también a quienes podrían sufrir las consecuencias. La industria es una gran fuente de contaminación, y como profesionales relacionados directamente con ésta, es de suma importancia que nos involucremos en el conocimiento del tema.

El galvanizado es el recubrimiento de piezas de hierro o acero con zinc. El proceso de galvanizado consta de 4 pasos principales: preparación de la superficie, fundente base, galvanizado y acabado. Los tipos de contaminación que se dan por el galvanizado son: contaminación del agua con ácido clorhídrico y hierro, que son usados en la preparación de superficie, y la contaminación del aire, cuya fuente son los vapores o emanaciones de ácido clorhídrico, cloruro de amonio y zinc, que son usados en el tanque de zinc.

Para el control de contaminación de agua, se usa una máquina prensa-filtro. Básicamente es un conjunto de filtros, que son accionados hidráulicamente y por donde pasa el agua contaminada, que deja en éstos las partículas sólidas, cuyo resultado es agua libre de contaminantes y lodos que son llevados a rellenos sanitarios. Para el control de contaminación del aire, se necesitan equipos que recolecten partículas y también que absorban los

vapores de ácido clorhídrico. El equipo necesario, para control de la contaminación, son ciclones y torres de absorción; de ambos equipos, existen varios tipos, según los requerimientos que solicite la empresa.

OBJETIVOS

- **General**

Destacar la importancia del uso y conocimiento del equipo de control de la contaminación industrial.

- **Específicos**

1. Promover el conocimiento sobre la contaminación causada por la industria y sus métodos de control.
2. Conocer los efectos generales que causa la contaminación ambiental.
3. Conocer el proceso de galvanizado y el tipo de contaminación ambiental que genera.
4. Conocer el equipo de control de contaminación en una planta de galvanizado.

INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es, sin lugar a dudas, un tema muy subvalorado y sobre todo en los países en desarrollo; probablemente se debe a que no se han percatado de los catastróficos efectos a que puede llevar una producción industrializada sin control. Esto es debido a que sólo existe una cantidad finita de aire, tierra y recursos hidráulicos.

El proceso de galvanizado se clasifica dentro de la industria de tratamientos de metales, la cual es fuente significativa de contaminación. El galvanizado genera contaminación atmosférica, del agua y de sólidos, y es éste el tema principal del presente trabajo de graduación, con el fin de mostrar una de las tantas fuentes de contaminación industrial y que se vayan tomando acciones para el control de ésta.

Dentro del equipo de control de contaminación de una planta de galvanizado, se pueden hacer divisiones principales, como la contaminación atmosférica y la contaminación del agua. Para la contaminación del agua, los contaminantes más importantes en este proceso son el ácido clorhídrico y el hierro, los cuales deben ser eliminados totalmente o mantenidos dentro de márgenes establecidos, donde el ecosistema los puede absorber.

El equipo de control de contaminación del aire se divide en dos grandes grupos, según su fuente: 1) control de gases del ácido clorhídrico y 2) control de gases o vapores del zinc, que es el elemento principal para el galvanizado.

Para ambos tipos de contaminación, existe una gama de equipo, según los requerimientos de la planta y la eficiencia que se desea lograr. La inversión en este equipo se recuperará debido al mejoramiento de eficiencia de recuperación de zinc, y a la disminución del costo de mantenimiento de la

infraestructura por el deterioro de los efectos de contaminación del ácido clorhídrico.

También se debe tomar en cuenta que la inversión en equipo de control de contaminación ayuda directamente al control de contaminación en el interior de la planta, que evita exponer a contaminantes a los operadores.

1. CONTAMINACIÓN INDUSTRIAL

2.1. Antecedentes

Con los problemas que existen actualmente, de tipo político, económico, social, se ha dejado de lado el problema de la contaminación, que es un problema que el hombre ha creado incrementando de forma gradual todos los días. El interés actual en el medio ambiente ha surgido en un momento en que las energías de los países en desarrollo, se dedican cada vez más a alcanzar la meta del desarrollo. El interés en las cuestiones relacionadas con el ambiente ha tenido su origen en los problemas experimentados por los países industrialmente adelantados. Estos problemas son el resultado de un nivel elevado de desarrollo económico. La creación de una gran capacidad de producción en la industria y en la agricultura, el crecimiento de sistemas complejos de transporte y comunicaciones, la rápida evolución de los conglomerados humanos, han causado daños y perturbaciones en el medio humano. Estas perturbaciones han llegado a alcanzar tales proporciones que en muchos sitios constituyen ya un grave peligro para la salud y el bienestar humano.

La contaminación, en términos científicos, es la impregnación del aire, el agua o el suelo con productos que afectan a la salud del hombre, la calidad de vida o el funcionamiento natural de los ecosistemas. La contaminación en general esta dañando la salud de muchas personas. Esto se debe, entre otros factores, a los cambios anteriores y actuales en las modalidades de consumo y producción, a los estilos de vida, la producción y utilización de

energía, la industria, el transporte, etc., que no tienen en cuenta la protección del medio ambiente.

Durante los últimos años, el desarrollo industrial ha hecho que un gran número de sustancias se incorporen al ambiente; es indudable que esta transformación del ambiente afecta la salud de las personas. Debido a estudios que se han realizado y que han demostrado el efecto tóxico de algunas de estas sustancias, se ha logrado cambiar la percepción que la sociedad tiene de la contaminación.

Se han realizado estudios para conocer los daños ocasionados por la contaminación, aunque la mayor parte de ellos se refiere a trabajos con exposiciones cortas y efectos agudos, mientras que el principal reto será realizar observaciones a largo plazo.

2.2. Tipos contaminación

2.2.1. Contaminación del agua

La contaminación del agua es la incorporación al agua de materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales y aguas residuales. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos deseados.

El agua sigue un ciclo muy bien conocido. En el mar, se localiza el 97.2% del agua de la tierra. El calor provoca una vaporización que en forma de nubes es arrastrada, en parte, hacia el continente. Con la lluvia, se vuelve a su estado líquido y desde el punto donde cae se dirige hacia el mar. En este recorrido, transporta sales y todo tipo de sustancias que encuentra a su paso. El ser humano utiliza el agua para cumplir tres finalidades: satisfacer sus necesidades domésticas, agrícolas e industriales; como medio de transporte y destino de sus residuos. Si la cantidad de residuos no es demasiado

grande, son descompuestos por los microorganismos y por los procesos de mares y ríos. Si sobrepasa una cantidad determinada y constantemente se le echan nuevas sustancias, el agua se degrada progresivamente. En la sociedad industrial, el consumo por habitante crece continuamente. Si nos fijamos bien en el uso del agua, observamos que se embalsa para producir electricidad, es utilizada para abastecer las necesidades de industrias y poblaciones. Una parte del agua vuelve a los ríos en peores condiciones de cuando se sacó. Si no hay una buena gestión y planificación de los recursos acuáticos, los conflictos entre los diferentes usuarios surgen inevitablemente. A pesar del hecho de que el agua es renovable, los recursos de agua dulce son finitos. Las entradas de agua (de lluvia) a la cuenca de recepción se equilibran mediante la reposición de aguas subterráneas y las salidas de la cuenca de recepción, a través del curso superficial del río, la evapotranspiración y la abstracción.

2.2.2. Contaminación atmosférica

La contaminación del aire es la presencia de material indeseable en ese aire, en cantidades bastante grandes como para producir efectos nocivos. La contaminación atmosférica puede ser por residuos o productos secundarios gaseosos, sólidos o líquidos, que pueden poner en peligro la salud humana, así como la salud y bienestar de las plantas y animales, que puede atacar a distintos materiales, reducir la visibilidad y producir olores desagradables. En la actualidad, muchos de estos contaminantes están fuera del control del ser humano. Sin embargo, en los lugares más poblados del planeta, y que tienen gran desarrollo industrial, la fuente de contaminación más importante es la producida por el humano. Por supuesto que erradicar las actividades que provocan esta contaminación, significaría un retroceso tan fuerte para el humano, que no es una opción factible. Por eso, lo que se ha propuesto es

controlar la contaminación producida por estas fuentes y continuar con la actividad industrial.

2.2.3. Contaminación por ruido

El ruido se define como un sonido no deseado, por lo que se puede considerar como el sonido inadecuado en el lugar inadecuado en el momento inadecuado. El grado de indeseabilidad es, con frecuencia, una cuestión psicológica, ya que los efectos del ruido pueden variar desde una molestia moderada a la pérdida permanente de audición, y pueden valorarse de manera diferente por diferentes fuentes. Por esa razón, los beneficios de reducir un ruido específico con frecuencia son difíciles de determinar. El ruido afecta a los habitantes, seres humanos, fauna, etc., en el medio natural. Aunque el impacto de una fuente de ruido concreta se limita a un área específica, el ruido es tan penetrante que es casi imposible evitarlo. Además de los riesgos para la salud humana, la contaminación por ruido tiene impactos ecológicos negativos sobre las especies sensibles a éste. Al igual que todos los contaminantes, reduce la calidad de vida y produce un riesgo significativo para la salud. Por ejemplo, las personas que viven junto a carreteras transitadas tienden a tener una presión sanguínea más alta. Los niveles altos de ruido en el trabajo o en casa pueden exacerbar las condiciones vigentes de la salud.

Unos niveles altos de ruido de suficiente duración pueden provocar la pérdida temporal o permanente de audición. Esto se asocia generalmente con aquellas personas que trabajan en plantas industriales o manejando maquinaria, pero también puede producirse en discotecas o junto a aviones en tierra, si el periodo de exposición es lo suficientemente largo. Sin embargo, el daño acústico medible de la mayoría de los sonidos industriales requiere una exposición diaria durante varios años.

2.2.4. Contaminación agrícola

La contaminación que procede de la industria y la actividad doméstica, aunque aún no se haya eliminado, se le presta atención y se logran avances poco a poco con el paso del tiempo. Sin embargo, la contaminación debida a la agricultura, del aire, del agua y del suelo, no se ha tratado con el mismo nivel que las anteriores. La contaminación agrícola es en gran medida una contaminación de fuente no puntual, lo que hace que la tarea de identificación y caracterización sea difícil.

2.3. Principales fuentes contaminantes

Las fuentes son de donde se originan los contaminantes, y estos dependen de los procesos y de los combustibles que se utilicen. Las fuentes pueden provenir de grandes grupos de la industria:

Industria de procesos químicos

Industria alimenticia y agrícola

Industria metalúrgica

Industria minera

Industria del petróleo y gas

Se pueden agrupar por categorías:

Fuentes de combustión de combustible

Calderas

Motores estacionarios de combustión interna

Hornos

Fuentes evaporativas

Almacenamiento, transportación y mercadeo de productos de petróleo y líquidos orgánicos volátiles (VOL)

Procesos de manufactura industrial

Recubrimientos de superficies industriales (fábricas de pinturas)

Otros usos para solventes (pegamentos, adhesivos, anticorrosivos)

2.3.1. Fuentes de contaminación atmosférica

2.3.1.1. Emisiones industriales

Se dan por la quema de combustible fósiles (petróleo, carbón, diesel o gasolina), para realizar los diferentes procesos, por la emisión de productos o desechos químicos volátiles (ácidos, solventes, catalizadores), y la modificación de las condiciones ambientales (calor y liberación de partículas inertes que modifican la visibilidad y la penetración de la luz). Se considera que se producen más de 70,000 compuestos químicos diferentes que se utilizan, tanto en la industria, como en otras actividades humanas y que, de manera ineludible, van a parar tarde o temprano a nuestro medio, a nuestra atmósfera; muchos de estos contaminantes producen importantes daños al ambiente y a la salud.

Cada año los países industriales generan miles de millones de toneladas de contaminantes. Muchos contaminantes proceden de fuentes fácilmente identificables; el dióxido de azufre, por ejemplo, procede de las centrales energéticas que queman carbón o petróleo.

La combustión del carbón, petróleo y gasolina es el origen de buena parte de los contaminantes atmosféricos. Mas de un 80% del dióxido de

azufre, un 50% de los óxidos de nitrógeno y de un 30-40% de las partículas en suspensión emitidos a la atmósfera en Estados Unidos, proceden de las centrales eléctricas que queman combustibles fósiles, las calderas industriales y las calefacciones. Un 80% del monóxido de carbono y un 40% de los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos emitidos proceden de la combustión de la gasolina y el diésel en los motores de autos y camiones. Otras importantes fuentes de contaminación son la industria siderúrgica y la de aceros, las fundiciones de zinc, plomo y cobre, las incineradoras municipales, las refinerías de petróleo, las fábricas de cemento y las fábricas de ácido nítrico y sulfúrico.

Dentro de los materiales que participan en un proceso químico o de combustión, puede haber contaminantes (como el plomo de la gasolina), o éstos pueden aparecer como resultado del propio proceso. El monóxido de carbono, es un producto típico de los motores de explosión.

2.3.1.2. Emisiones por vehículos de motor

Estas emisiones se liberan por la quema de combustibles como el diésel y la gasolina. Este tipo de contaminación es particularmente importante donde hay grandes concentraciones urbanas, sin embargo, sus efectos se empiezan a sentir en cualquier lugar del planeta. Los gases no reconocen fronteras. Entre los principales productos contaminantes, se encuentran: el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno, los óxidos de azufre, el plomo, las partículas sólidas y el ozono.

2.3.1.3. Contaminación en los hogares

Aunque sus proporciones pudieran parecer menores, comparadas con las fuentes anteriores, los hogares contribuyen: directamente a la contaminación atmosférica, a través del uso de sustancias aerosoles (en

aspersores de aromatizantes o cosméticos, o en el gas refrigerante del refrigerador o del sistema de aire acondicionado), que contienen clorofluorocarbonos que dañan la capa de ozono, mediante la quema incompleta de gas, la incineración de basura, o el uso de insecticidas; por supuesto que el uso irracional del automóvil es una fuente directa de contaminación que afecta sensiblemente el ambiente. De manera indirecta en los hogares, se produce contaminación atmosférica al derrochar energía (luz, calentadores, enfriadores, etc.) y aumentar con ello la combustión de productos fósiles en termoeléctricas o hidroeléctricas.

2.3.1.4. Emisiones producidas por la incineración de basura

Hace unas cuantas décadas, el progreso estaba asociado al deterioro ambiental. A nadie escandalizaba que el signo del éxito de las ciudades se representara por la presencia de múltiples fábricas. En ciertos momentos, pareciera que es un signo del hombre dejar deterioro y basura para mostrar que es poderoso y que tiene éxito. Nosotros sabemos ahora que eso debe cambiar. No podemos continuar produciendo diariamente miles de toneladas de basura en las diferentes ciudades del mundo, que deben ser manejadas y procesadas con el consiguiente gasto de energía y producción de contaminantes. Muchos contaminantes peligrosos para el ambiente y para la salud son arrojados al ambiente, cuando se decide incinerar la basura en los tiraderos.

2.3.1.5. El microclima de una determinada región

Influye de manera decisiva en la presencia de contaminantes atmosféricos y los efectos que éstos pueden tener. Los vientos, la temperatura y la radiación solar modifican de manera drástica la dispersión de contaminante y la presencia de reacciones químicas, que acentúan o atenúan la contaminación. El viento contribuye a dispersar los contaminantes

disminuyendo así su concentración, esparciéndolos en áreas mayores. El aumento de la temperatura acelera ciertas reacciones, que unidas al efecto luminoso de la radiación solar (reacciones fotoquímicas) hacen más energética la reacción de los contaminantes.

Otros contaminantes se forman por la acción de la luz solar sobre materiales reactivos previamente emitidos a la atmósfera. El ozono, un peligroso contaminante que forma parte del smog, se produce por la interacción de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno bajo la influencia de la luz solar.

Por otra parte, el descubrimiento en la década de 1980 de que algunos contaminantes atmosféricos, como los clorofluorocarbonos (CFC), están produciendo una disminución de la capa de ozono, protectora del planeta, ha conducido a una supresión paulatina de estos productos.

La disminución de la capa de ozono estratosférica (donde el ozono es beneficioso) no tiene nada que ver con la problemática del ozono troposférico o superficial (donde el ozono es un contaminante atmosférico que hay que evitar).

2.3.2. Fuentes de contaminación del agua

2.3.2.1. Según la procedencia de las aguas contaminadas

Aguas agrícolas: son resultantes de la irrigación y otros usos agrícolas, como la limpieza de establos que llega a arrastrar grandes cantidades de heno y de orina. Esta agua contiene sales, fertilizantes, abonos, pesticidas y restos de las diversas sustancias químicas que se utilizan.

Aguas domésticas: son las que provienen de las viviendas. Contienen excrementos humanos, restos de cocina, papel, productos de limpieza,

jabones y detergentes. Las características de las aguas domésticas varían de una comunidad. Físicamente tienen un color gris y materias flotantes. Químicamente contienen los complejos compuestos del nitrógeno de los excrementos humanos y los del fósforo de los detergentes; biológicamente arrastran gran cantidad de microorganismos.

Las aguas pluviales: cuando llueve, el agua arrastra toda clase de suciedad. Esta agua es en términos generales más sucia que la que proviene del consumo doméstico.

Las aguas industriales: su contenido depende del tipo de industria y del proceso empleado. Los productos químicos pueden ser muy diversos, algunos son tóxicos y otros inhiben los microorganismos del agua.

2.3.2.2. Principales contaminantes

Aguas residuales y otros residuos que demandan oxígeno (en su mayor parte materia orgánica, cuya descomposición produce la desoxigenación del agua).

Agentes infecciosos.

Nutrientes vegetales que pueden estimular el crecimiento de las plantas acuáticas. Éstas, a su vez, interfieren con los usos a los que se destina el agua que, al descomponerse, agotan el oxígeno disuelto y producen olores desagradables.

Productos químicos, incluyendo los pesticidas, diversos productos industriales, las sustancias tensioactivas contenidas en los detergentes, y los productos de la descomposición de otros compuestos orgánicos.

Petróleo, especialmente el procedente de los vertidos accidentales.

Minerales inorgánicos y compuestos químicos.

Sedimentos formados por partículas del suelo y minerales arrastrados por las tormentas, y escorrentías desde las tierras de cultivo; las explotaciones mineras, las carreteras y los derribos urbanos.

El calor también puede ser considerado un contaminante cuando el vertido del agua empleada para la refrigeración de las fábricas y las centrales energéticas, hace subir la temperatura del agua de la que se abastecen.

2.4. Consecuencias generales que afectan el ambiente

2.4.1. Efectos de la contaminación atmosférica

Como es bien sabido, los actuales procesos industriales, el transporte y, en general, cualquier actividad cotidiana genera una serie de residuos sólidos, líquidos o gaseosos que terminan por contaminar y dañar el entorno y, dentro de éste, a la salud humana. Entre las emisiones a la atmósfera de gases residuales, existe una serie de compuestos que, debido a su naturaleza y a sus orígenes, se encuentran en mayor cantidad en la atmósfera, lo cual incide en forma negativa sobre nosotros mismos y sobre el entorno que nos rodea.

Entre la larga lista de contaminantes atmosféricos existentes, destacan, por sus características y concentración, los siguientes compuestos: dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, hidrocarburos, sulfuro de hidrógeno.

El dióxido de nitrógeno es un gas no inflamable y tóxico, originado de forma natural en procesos biológicos, tormentas y, por la oxidación del monóxido de nitrógeno natural; se encuentra en la atmósfera en pequeñas concentraciones. De forma artificial, se genera a partir de la oxidación del monóxido de nitrógeno presente en el aire y en combustible fósiles, durante su combustión, además de procesos industriales en los que se emplea

nitrógeno. Las concentraciones altas de dióxido de nitrógeno afectan principalmente al sistema respiratorio y provocan irritación nasal, incomodidad respiratoria y dolores respiratorios agudos, mientras que la presencia de monóxido de nitrógeno no se considera peligrosa para la salud.

El dióxido de azufre es uno de los contaminantes primarios que se encuentra en mayor proporción en la atmósfera. Es incoloro y susceptible de transformarse en anhídrido sulfúrico mediante oxidación. El dióxido de azufre procede de la combustión de carbón y derivados del petróleo que contienen azufre en su composición. A concentraciones elevadas, al transformarse en ácido sulfúrico, resulta irritante en los órganos respiratorios internos, y afecta principalmente al sistema respiratorio así como la conjuntiva.

El monóxido de carbono es otro contaminante muy común; es incoloro, inodoro e inflamable. Es un gas procedente principalmente de la combustión incompleta del carbono presente en combustibles; los principales focos emisores son las centrales térmicas, refinerías y los automóviles. Su presencia afecta a la hemoglobina de la sangre, reduciendo la capacidad de transporte de oxígeno por los glóbulos rojos, y puede incluso llegar a ser fatal a altas concentraciones.

El ácido sulfhídrico. Se trata de un gas incoloro, soluble en varios líquidos y de olor penetrante. La mayor parte de este gas se encuentra de forma natural en la atmósfera, pero resulta tóxico a altas concentraciones. Procede mayoritariamente de la fabricación de papel, el refinado del petróleo y la industria textil. Su presencia afecta de forma especial el aparato respiratorio, provoca irritación en nariz, garganta y ojos, además de dolor de cabeza, mareos y vómitos.

Otro elemento o grupo de elementos contaminantes son los hidrocarburos, que conforman una gran familia de compuestos emitidos directamente a la

atmósfera; los más perjudiciales son los de peso molecular más bajo, tanto los hidrocarburos alifáticos saturados y no saturados, como los aromáticos, así como los compuestos orgánicos volátiles como pliclorobifenilos, dioxinas, furanos, etc.; el origen de estos compuestos se encuentra en los medios de transporte, la combustión incompleta de combustibles fósiles y, en general, en procesos industriales de manipulación de estos y sus derivados. Sobre la salud humana interfieren de forma distinta, desde los efectos cancerígenos y mutagénico de los hidrocarburos aromáticos, hasta los irritantes de los alifáticos, etc.

Por último, están las partículas en suspensión. Están formadas por un conjunto de partículas de compuestos de distinta naturaleza con la característica común de poseer un tamaño inferior a 10 micras, y permanecer de forma estable en el aire durante largos períodos de tiempo, las cuales pueden ser trasladadas por el viento a distancias importantes. Los principales efectos se reflejan en las vías respiratorias, ya que pueden llegar a fijarse en las paredes internas de los conductos alveolares, y puede dar lugar a la aparición de cuadros alérgicos.

Las altas chimeneas de las industrias no reduce la cantidad de contaminantes, simplemente los emiten a mayor altura, para reducir así su concentración en el lugar. Estos contaminantes pueden ser transportados a gran distancia y producir sus efectos adversos en áreas muy alejadas del lugar donde tuvo lugar la emisión. El pH o acidez relativa de muchos lagos de agua dulce ha sido alterado hasta tal punto en que han quedado destruidas poblaciones enteras de peces. Las emisiones de dióxido de azufre y la subsiguiente formación de ácido sulfúrico pueden ser también responsables del ataque sufrido por las calizas y el mármol a grandes distancias. El creciente consumo de carbón y petróleo, desde finales de la década de 1940, ha llevado a concentraciones cada vez mayores de dióxido de carbono.

Tal vez uno de los peores contaminantes atmosféricos es el esmog. El esmog es una mezcla de niebla con partículas de humo, formada cuando el grado de humedad en la atmósfera es alto y el aire está tan quieto, que el humo se acumula cerca de su fuente. El esmog reduce la visibilidad natural y, a menudo, irrita los ojos y el aparato respiratorio. En zonas urbanas muy pobladas, la tasa de mortalidad suele aumentar de forma considerable durante períodos prolongados de esmog, en particular cuando un proceso de inversión térmica crea una cubierta sobre la ciudad, que no permite su disipación.

La prevención del esmog requiere el control de la emisiones de humo de las calderas y hornos, la reducción de los humos de las industrias metálicas o de otro tipo el control de las emisiones nocivas de los vehículos y las incineradoras. Los motores de combustión interna son considerados los mayores contribuyentes al problema del esmog, ya que emiten grandes cantidades de contaminantes, en especial hidrocarburos no quemados y óxidos de nitrógeno. El número de componentes indeseables del esmog es considerable, y sus proporciones son muy variables, e incluyen ozono, dióxido de azufre, cianuro de hidrógeno, hidrocarburos y los productos derivados de estos últimos por oxidación parcial.

2.4.2. Efectos de la contaminación del agua

Los efectos de la contaminación del agua incluyen los que afectan a la salud humana. La presencia de nitratos (sales del ácido nítrico) en el agua potable puede producir una enfermedad infantil, que en ocasiones es mortal. El cadmio presente en los fertilizantes derivados del cieno o lodo puede ser absorbido por las cosechas; de ser ingerido en cantidad suficiente, el metal puede producir un trastorno diarreico agudo, así como lesiones en el hígado y los riñones.

Hace tiempo que se conoce de la peligrosidad de sustancias inorgánicas, como el mercurio, el arsénico y el plomo. Los lagos son especialmente vulnerables a la contaminación. Hay un problema la eutrofización, que se produce cuando el agua se enriquece de modo artificial con nutrientes, lo que produce un crecimiento anormal de la plantas. Los fertilizantes químicos arrastrados por el agua desde los campos de cultivo pueden ser los responsables. El proceso de eutrofización puede ocasionar problemas estéticos, como mal sabor y olor, una acumulación de algas o verdín desagradable a la vista, así como un crecimiento denso de las plantas con raíces, el agotamiento del oxígeno en aguas más profundas y la acumulación de sedimentos en el fondo de los lagos, así como otros cambios químicos, tales como la precipitación del carbonato de calcio en al aguas duras. Otro problema cada vez más preocupante es la lluvia ácida, que ha dejado muchos lagos totalmente desprovistos de vida.

2.4.2.1. Los contaminantes del agua

Los microorganismos son los causantes de las grandes epidemias que se han producido en la historia de la humanidad. Se puede citar el tifus, el cólera, la disentería y muchas enfermedades parasitarias. A pesar de todo, no todos los microorganismos son perjudiciales, porque algunos ayudan a depurar el agua de los ríos. Cada persona evacua diariamente de 100,000 a 400,000 microorganismos.

La contaminación orgánica. Químicamente se llama contaminación orgánica a aquella que posee uno o varios átomos de carbono (a excepción de los óxidos, ácidos y bases de este elemento). Históricamente se les llamó sustancias orgánicas, porque son los que constituyen la materia viva. En la actualidad, el humano ha sintetizado millares que no existían en estado natural (por ejemplo, el plástico). La contaminación orgánica es en magnitud

importante. Los contaminantes orgánicos son descompuestos por microorganismos que viven en el agua, los cuales los utilizan como alimento.

Los nutrientes. Son unos elementos escasos en la naturaleza y necesarios para el crecimiento de las plantas. Se denominan también sustancias limitantes, porque de ellos depende la cantidad de materia vegetal que puede crecer en una cierta localidad. Los productos limitantes más importantes son los compuestos de fósforo y de nitrógeno. Cuando hay un incremento de estas materias en el agua, se produce un crecimiento mayor que el ordinario de algas, que al morir y descomponerse provocan grandes problemas. Las fuentes humanas más importantes de nutrientes son los fertilizantes utilizados en la agricultura, y los detergentes que contienen una gran cantidad de compuestos del fósforo.

2. EL PROCESO DE GALVANIZADO

2.5. Descripción

Galvanizar es la práctica del recubrimiento del metal libre de óxido, con una delgada capa de zinc, para proteger la superficie contra la corrosión. El recubrimiento de zinc provee protección al hierro y acero en dos formas: 1) le provee de un escudo a la base de metal de las condiciones atmosféricas, y 2) debido a que es más electronegativo que el hierro o el acero, el zinc da protección catódica. Siempre que la superficie está muy rústica y la base de metal es expuesta, el zinc es lentamente consumido mientras el hierro y el acero permanecen protegidos contra la corrosión.

El proceso de sumergimiento en caliente se adapta, según el recubrimiento requerido para varios tipos de productos que son fabricados, como alambre, tanques, hojas de metal, pipetas y tubos, acoplamientos y estructuras de ensamble.

Galvanizar consiste en cuatro pasos fundamentales:

Preparación de superficie

Fundente base

Galvanizado

Acabado

El paso de preparación consiste en limpieza y operaciones de picleado del metal para que se tengan superficies libres de suciedad, grasa, óxidos e incrustaciones. El paso de fundente base sirve para disolver cualquier óxido que se pueda haber formado en la superficie de hierro o de acero después

del picleado, y para prevenir posterior herrumbre. Galvanizar es sumergir en un baño de zinc, piezas de hierro o acero limpias y libres de óxido. Finalmente las operaciones incluyen remoción del exceso de zinc, suavizar e inspeccionar.

2.5.1. Preparación de superficie

La cuidadosa preparación de la superficie del metal es esencial para producir recubrimientos de alta calidad con galvanizado. La preparación de la superficie comúnmente involucra una combinación de métodos para la producción de una superficie libre de óxido. La variedad de métodos es recomendable y más de alguna secuencia de los diferentes pasos puede ser usado con éxito en diferentes situaciones. La selección de la secuencia de pasos depende de costos de operación, tasas de producción, factores de higiene y seguridad industrial, así como de condiciones de almacenaje

2.5.1.1. Preparación de superficie por medios mecánicos

Los métodos por medios mecánicos incluyen: disparo de abrasivos, de barril, vibratorio, cepillado a mano, esmerilado y pulido. Uno o más métodos mecánicos pueden ser usados para remover la herrumbre, incrustaciones, arena, escoria de soldaduras y pinturas o recubrimientos de lacas. Varios de estos métodos son particularmente adecuados para la limpieza de piezas soldadas o para limpiar defectos de galvanizado y poder volver a galvanizar. Los métodos mecánicos son muy usados como primer paso en la preparación de la superficie. El trabajo de galvanizado debe realizarse rápidamente después del uso de métodos mecánicos, o de lo contrario, puede empezar la oxidación, debido a que la superficie se vuelve muy reactiva.

2.5.1.1.1. Disparo de abrasivos

La limpieza por disparo de abrasivos consiste en un poderoso chorro de partículas abrasivas que son dirigidas hacia la superficie que se va a trabajar. Los abrasivos pueden ser partículas metálicas angulares o esféricas y arenas.

2.5.1.1.2. De barril y vibratorio

El uso del barril es una operación de preparación en masa, para mejorar las superficies de un gran número de piezas por frotación y rotación de éstas. Este proceso también es conocido como de barril de frotación. La velocidad máxima de rotación es importante debido a la fuerza centrífuga, que es un importante parámetro para que se lleve a cabo la frotación.

El método vibratorio es otro tipo de preparación en masa. La máquina vibratoria da movimiento oscilatorio a las piezas y al medio de trabajo. Este movimiento produce un constante acción de arrastre y raspado. Las máquinas vibratorias pueden ser cargadas aproximadamente con un 90% de su volumen. Generalmente este tipo de preparado es completado en menos tiempo que el de barril.

Componentes como jabones, detergentes sintéticos y ácidos o limpiadores alcalinos junto con agua, son usados como el medio de frotación en el barril y la maquina vibratoria. Los agentes incluyen una amplia variedad de materiales y formas, y son usados para: 1) separar las partes y prevenir el daño que puedan ocasionarse entre sí; 2) proveer la acción de preparado de superficie.

2.5.1.1.3. Cepillado a mano

El uso del cepillo puede ser para limpiar superficies secas o mojadas. Los cepillos pueden ser de alambre o de fibras no metálicas y existen de varios tamaños. Generalmente este tipo de preparación es usado sólo para partes muy pequeñas.

2.5.1.1.4. Esmerilado y pulido

Esmerilar es una operación que puede desarrollarse usando una faja motriz o rueda, sobre la cual el material abrasivo es adherido. Debido a que el esmerilado produce superficies rústicas, es necesario, para que se vea más presentable, pulir la superficie; esto, sólo si la apariencia es importante.

2.5.1.2. Preparación de superficie por medios químicos

2.5.1.2.1. Limpieza alcalina (soda cáustica)

Un buen compuesto limpiador alcalino debe:

Humedecer fácilmente la suciedad del metal que se está limpiando.

Proveer alcalinidad. La mayoría de los jabones y detergentes sintéticos son más eficientes a valores de pH entre 7 y 13. Se requiere alta alcalinidad para las reacciones de saponificación.

Proveer acción suavizante. Los suavizantes tienden a conservar el pH original de una solución cuando el ácido es agregado. La acción del suavizante y la alcalinidad disponible dan una larga vida al limpiador con un pH constante.

Suavizar el agua. Los componentes de la dureza del agua pueden formar capas insolubles sobre la pieza que son difíciles de remover, y que inactivan los otros componentes del limpiador.

Dispersar, emulsificar y sacar la suciedad removida. Estas propiedades pueden prevenir que se vuelvan a ensuciar las piezas, y ayudan a que las suciedades sean removidas del tanque.

Enjuagar por completo las piezas. Todos los componentes del limpiador deben ser completamente solubles en agua fría.

Contener componentes estables que sean compatibles entre ellos mismos. Las sales de sodio son muy usadas y tienen bajo costos.

Limpiar la pieza en un tiempo razonable y producir una superficie que pueda ser picleada satisfactoriamente.

Evitar el exceso de espuma cuando es rociado.

Los principales componentes de esta solución de limpieza, tienen que proveer alcalinidad y otras propiedades requeridas. Los más importantes componentes sódicos usados son: carbonatos, fosfatos, silicatos e hidróxidos.

Los carbonatos sirven como suavizantes; son fuentes de alcalinidad con bajo costo y ayudan con la dureza del agua. Son pobres limpiadores, pero dan una mediana cantidad de alcalinidad (1% de solución acuosa tiene un pH de 11.5).

Fosfatos tales como pirofosfatos tetrasódicos y trípoli fosfatos sódicos, sirven como suavizadores de agua. Ellos dan alcalinidad, capacidad de enjuagar, acción suavizante y regular emulsificación. El pirofosfato tetrasódico es un buen emulsificador, detergente y agente dispersador. El trípoli fosfato sódico

es el mejor suavizador de agua dentro de los fosfatos. Provee una buena limpieza y trabaja efectivamente con los agentes activos para la superficie.

Los silicatos forman la mayor parte de los limpiadores con mayor alcalinidad. Son buenos emulsificadores, buenos suavizantes a un pH arriba de 9; mantienen la suciedad en suspensión y proveen alcalinidad activa. El metasilicato sódico es usado comúnmente en limpiadores de metal.

El hidróxido sódico (soda cáustica) no es muy caro; es un saponificador potente y a menudo es el componente principal para abastecer la alcalinidad necesaria. Su capacidad de detergente es pobre, porque no saponifica a la suciedad. Tiene propiedades de enjuague pobres y es higroscópico.

Los agentes humectantes naturales y sintéticos, son añadidos a los componentes del limpiador, para disminuir las tensiones superficiales y mejorar la acción de limpieza.

Los jabones usados en los limpiadores alcalinos son generalmente de bajo costo. La resina de sodio es usada ampliamente en lugar del jabón de grasa animal. Las resinas emulsifican algunas suciedades más fácilmente que los sintéticos, por lo que, justifican su uso en los limpiadores alcalinos. La mayoría de limpiadores contienen ambas las resinas y los sintéticos.

Los sintéticos son ampliamente usados como agentes activos para la superficie en los limpiadores, porque ellos enjuagan mejor que los jabones, ayudan a la dispersión de suciedad y previenen que se vuelvan a ensuciar. Son muy eficaces contra la dureza del agua. En la figura 1, se puede observar el paso de limpieza con tubos de acero.

Figura 1. Limpieza de tubos de acero con soda cáustica



2.5.1.2.2. Limpieza con ácidos

La limpieza con ácido es un proceso, en el cual se usa una solución de ácido mineral u orgánico en combinación con un detergente. Es empleada para remover óxidos suaves, aceites, grasas y otros contaminantes del trabajo. La diferencia entre limpieza con ácido y ácido de picleado es una cuestión de concentración del ácido. En general, el ácido para picleado se usa para tratamientos más fuertes, donde se necesita remover gran cantidad de óxido. En cambio el ácido para limpieza se utiliza en piezas que han tenido preparación por medios mecánicos; es más suave y sólo quita menores cantidades de óxido.

2.5.1.2.3. Requerimientos de equipo

Los tanques para la limpieza deben ser construidos con acero mediano rolado en caliente de un grosor de por lo menos $\frac{1}{4}$ ". Los tanques con profundidad mayor de 20 m. requieren paredes más gruesas y soportes más fuertes a los lados. Todos los tanques deben tener un bisel de hierro u otra

forma estructural, soldada en la orilla superior para reforzar y soportar el equipo y los accesorios. Las uniones deben tener doble soldadura. En la parte baja, debe existir un desagüe para el drenaje de las soluciones y sólidos. Una fosa debe estar localizada a un lado del tanque, para que reciba cualquier derrame de suciedad que se pueda acumular en la superficie de la solución limpiadora.

El calentamiento del tanque es suministrado típicamente por serpentines con vapor. Estos se localizan en uno de los lados del tanque y por transferencia de calor calientan la solución. Para optimizar este trabajo, se utiliza un medio de agitación. Una fuerte agitación es obtenida con agitadores mecánicos, bombas o alimentación de aire a presión en la parte inferior del tanque. Cuando se da una excesiva agitación, puede hacer que los limpiadores alcalinos creen espuma, que puede ser controlada seleccionando un agente activo para superficie.

2.5.1.3. Picleado

Los metales ferrosos tienen un recubrimiento de óxido o incrustaciones, los cuales deben ser removidos antes del recubrimiento con zinc, para que pueda ser aplicado exitosamente; a esta acción que se le llama picleado.

2.5.1.3.1. Elección del ácido

El ácido sulfúrico es el más usado para picleado. Sin embargo, el ácido clorhídrico es también usado para este propósito. La elección del ácido depende de varios factores: costo y rentabilidad, tasa de picleado, volatilidad, requerimientos de energía, requerimientos de acabado final, almacenaje.

Ambos ácidos pueden producir las mismas tasas de picleado con la adecuada selección de concentración y temperatura. En caliente, el ácido

sulfúrico produce mejores efectos; en cambio el ácido clorhídrico, es usado a temperatura ambiente para evitar demasiadas emisiones de vapores tóxicos.

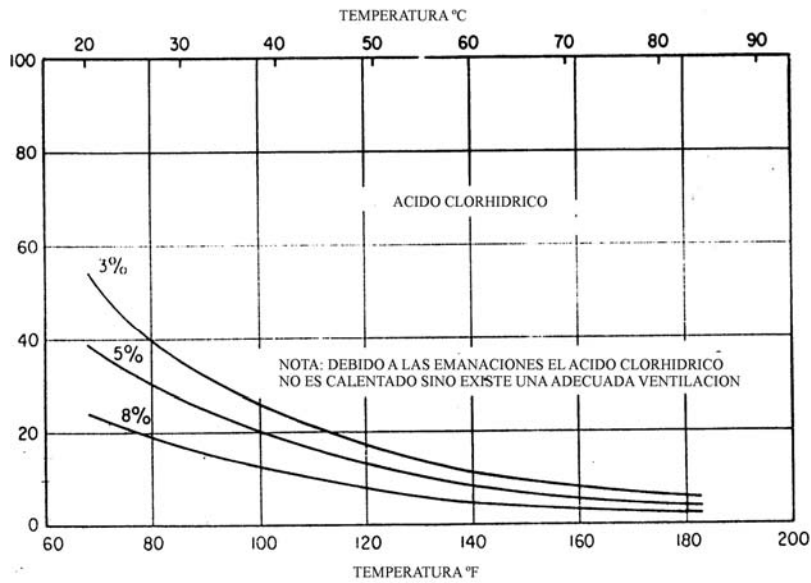
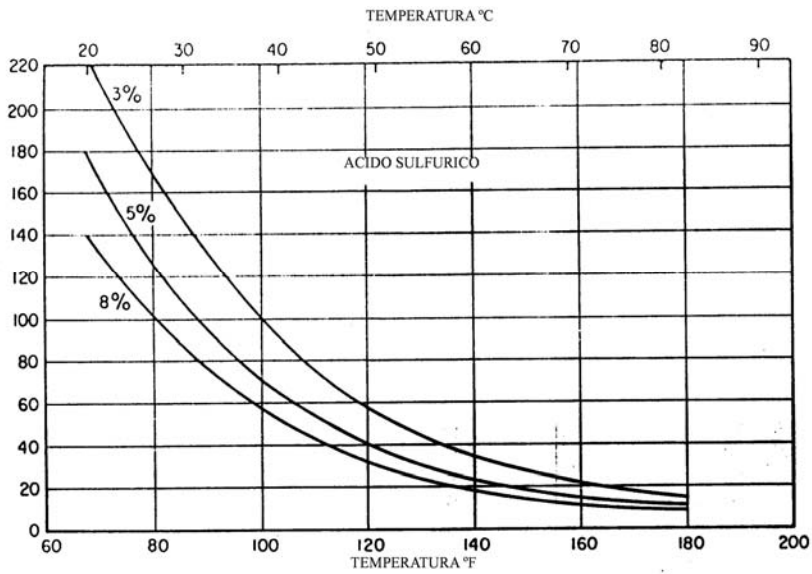
El ácido clorhídrico es altamente volátil y siempre genera vapores aún a temperatura ambiente. Los vapores aumentan con la temperatura. Estos vapores son causa de la severa corrosión en el equipo y en las estructuras cercanas al tanque de pickleado. Por consiguiente, el pickleado con ácido clorhídrico no se trabaja con alta temperatura, a menos que este disponible un buen sistema de ventilación.

El calentamiento de las soluciones de ácido sulfúrico produce vapor de agua, y éste incrementa la humedad y contribuye un poco a la corrosión, aunque en mucho menor grado que los vapores producidos por el ácido clorhídrico. La temperatura de calentamiento es de 150-180°F (66-82°C), lo cual consume más energía que el pickleado con ácido clorhídrico.

El ácido clorhídrico es adquirido con una concentración del 31%, comparado con el ácido sulfúrico del 98%, y es de considerar el volumen de almacenaje que éste produce.

El sobrante del pickleado debe ser bien enjuagado para no acarrear ningún ácido hacia el tanque del fundente base. El ácido sulfúrico es más difícil de enjuagar que el clorhídrico.

Figura 2. Efecto de la concentración y la temperatura sobre la tasa de picleado



Fuente: Manual de galvanizado de DUPONT

2.5.1.3.2. Factores que afectan las tasas de picleado

El tiempo necesario, para quitar el óxido y la incrustación, no sólo depende del espesor o tipo de incrustación, sino también de los siguientes factores:

Temperatura: los efectos de la temperatura en la tasa de picleado del ácido sulfúrico y del ácido clorhídrico están indicados en la figura 2. El ácido sulfúrico reacciona muy lento a temperatura ambiente, donde el ácido clorhídrico trabaja muy bien. El rango de temperatura recomendado para trabajar con ácido sulfúrico es de 150-185°F (66-85°C), pero las temperaturas tan bajas como 140°F (60°C) y tan altas como 200°F (93°C), pueden ser usadas. Alrededor de los 180°F (82°C), el vapor y la niebla se incrementa y debe de utilizarse un buen sistema de ventilación o extracción de vapores. La temperatura normal para el picleado con ácido clorhídrico es de 70-100°F (21-38°C)

Concentración del ácido: la figura 2 también muestra los efectos de la concentración del ácido. Bajas concentraciones de ácido sulfúrico (0-4%) tienen una baja tasa de producción; las concentraciones medias (5-25%) reaccionan relativamente rápido; por lo contrario, las altas concentraciones (50-93%) resultan inactivas. En conclusión, usar una solución de ácido más concentrada es menos económico debido al incremento de residuo perdido. Otra desventaja del picleado con soluciones mayores del 8-10% es que se necesita más agua para el desenguaje, y es mayor el tiempo que será necesario para remover todos los residuos del ácido.

Concentración del hierro: en el baño de picleado, se efectúan continuas adiciones de ácido, lo cual mantiene la concentración constante. La tasa de picleado decrecerá cuando el hierro disuelto se incremente. Cuando la concentración de hierro se aproxima de 7-10%, la tasa de picleado es considerablemente baja.

Agitación: la tasa de remoción de incrustaciones puede aumentar cuando en el baño existe agitación. La tasa del picleado resultará mejor, si el ácido es reciente y el tanque está lo más limpio posible de concentraciones de hierro. La agitación puede obtenerse por soplado de aire o vapor dentro del tanque.

2.5.1.3.3. Procedimiento general del picleado

Una concentración uniforme del ácido activo (8-10 % del peso) debe de mantenerse durante la vida útil del baño de picleado; esto se logra haciendo frecuentes adiciones de ácido. Cuando la concentración del hierro se aproxima a 4-5%, las adiciones de ácido deben detenerse permitiendo que el ácido libre se vaya agotando; se debe incrementar el tiempo de picleado, para que éste sea aceptable. Cuando la concentración del hierro se aproxima de 7-10%, la solución debe ser descartada o regenerada. Bajo estas condiciones, la concentración del ácido debería estar en un rango entre 1-4%, por peso. Cuando la acidez esta baja, la tasa de picleado puede ser mantenida aumentando la temperatura en el tanque.

2.5.1.4. Enjuague

Después de la limpieza con soda cáustica y del picleado, las piezas deben pasar a un enjuague. El enjuague debe remover los químicos acarreados desde ambos tanques, para no contaminar o alterar químicamente el siguiente paso en el proceso.

2.5.1.4.1. Enjuague después de la limpieza con soda cáustica

Este enjuague evita el acarreo de químicos y previene que éstos neutralicen el ácido libre en el baño, y debilitar así la solución del picleado. El enjuague después del lavado con soda también remueve sólidos emulsificados, que

vienen con las piezas. Este enjuague previene que aceites y grasas pasen al baño de picleado o que floten en la superficie. Se utiliza agua caliente (70-80°C) para llevar a cabo este enjuague.

2.5.1.4.2. Enjuague después del picleado

Si no se enjuaga bien después del tanque de picleado, esto puede provocar:

Acarreo de hierro al tanque del fundente base, lo cual contamina el fundente y a la vez la película de fundente base, que se forma sobre la pieza. Este hierro será acarreado a la paila de zinc, y provocará la formación de dross. El hierro reacciona con 24 veces su peso de zinc para la formación de dross.

Acarreo de ácido al baño del fundente base. Se corre el riesgo de acidificar el baño del fundente base, lo que hace que se corra el tanque, los serpentines de calentamiento y la pieza que va a ser galvanizada.

2.5.1.4.3. Mejoramiento de operaciones del enjuague

La manera más efectiva de mejorar el enjuague es minimizar el sobrante de químicos. El sobrante es la cantidad de solución, que es retenida durante el proceso y debe ser removida de la pieza. Aproximadamente el 0.5 del fluido (14.8ml) de la solución será retenida por cada pie cuadrado de superficie. La cantidad de sobrante puede disminuirse así:

Sosteniendo la pieza sobre el tanque durante algún tiempo para permitir el máximo drenaje. Un tiempo de drenaje de 10 segundos disminuirá el volumen de solución retenida aproximadamente en un 30-50%.

Usando agentes humectantes en la solución para reducir la tensión en la superficie y proveer un mejor drenaje. Esto decrecerá el volumen de la solución retenida en la superficie de trabajo en un 50-75%.

Después de que haya sido removida la mayor parte de soda cáustica o solución de picleado, el trabajo del enjuague ha terminado. El enjuague puede mejorarse así:

Proporcionando una buena agitación en el tanque de enjuague. Esto puede hacerse con aire o simplemente con movimientos de las piezas en el mismo tanque.

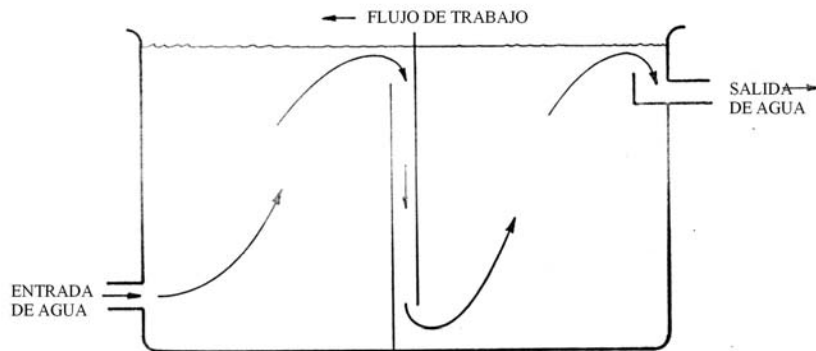
Reemplazando un poco de agua periódicamente en los tanques que no tienen agitación. El agua que ha sido reemplazada puede ser devuelta al tanque para reponer las pérdidas por evaporación.

Usando boquillas para producir una fina niebla de agua sobre las piezas que están entrando al enjuague, y esta niebla removerá cerca del 80-90% de la solución en la superficie de las piezas. Esta es una buena manera de introducir agua fresca al tanque de enjuague.

Usando un flujo continuo con el agua que entra desde abajo, fluyendo diagonalmente hacia arriba a través del tanque.

Usando en contracorriente el enjuague con dos fases. Este doble enjuague utiliza sustancialmente menos agua en comparación con el flujo continuo en un tanque simple. Una doble pared hace el sistema de contracorriente; esto es más eficiente y reducirá la cantidad de agua necesaria al mínimo. En la figura 3 se muestra un esquema del tanque de enjuague.

Figura 3. Tanque de enjuague a contracorriente con doble pared de separación



2.5.2. Fundente base

El principal propósito de un fundente base es disolver el óxido que ha sido formado sobre la pieza después del picado y prevenir la nueva formación de óxido, antes de llegar al galvanizado. Otro propósito es el de cubrir enteramente la superficie de la pieza con una capa de fundente, lo cual en algunas ocasiones no puede ser bien hecho, cuando se pasa a la etapa del fundente de superficie.

El ácido clorhídrico es usado en el paso del fundente base, pero tiene la desventaja de formación de sales de hierro sobre la superficie de la pieza. Esto aumenta la formación de dross cuando es acarreado hacia la paila de zinc.

El uso de un fundente base llamado ZACLON, en lugar del ácido clorhídrico, permite que haya mayor tiempo entre el fundente base y el galvanizado, sin que se forme óxido sobre la pieza. Adicionalmente, el uso del fundente base permite el precalentamiento de la pieza antes de la inmersión en la paila de zinc.

2.5.2.1. Remoción y purificación del hierro

Después de cierto tiempo en operación, la solución del fundente base comenzará a estar sucia, turbia y lodosa, debido a la precipitación del hierro. Para prevenir que la sedimentación en la solución sea excesiva, se debe: 1) circular continuamente a través de un pequeño filtro (procedimiento recomendado para grandes instalaciones) ó 2) sacar estos lodos en tiempo de paro de producción. Cuando hay un paro de producción, es aconsejable que se limpie la solución y bombearla a otro tanque para que la suciedad quede en el fondo. Las precipitaciones en el fondo del tanque deben ser removidas, lavar bien el tanque y regresar la solución a este tanque, y nuevamente debe revisarse la concentración de la solución del fundente base.

2.5.2.2. Secado y precalentamiento

Las piezas que van a ser galvanizadas no deberían introducirse húmedas en el baño de zinc, porque se producen peligrosas salpicaduras o explosiones de la evaporación instantánea del agua. Una de las ventajas del uso del fundente base es que la pieza es protegida continuamente con un recubrimiento; con esto, las piezas pueden ser secadas o tendidas por un período y no aparecerá necesariamente la oxidación.

La humedad atmosférica es un importante factor por la rapidez de oxidación de las piezas que ya han pasado por el fundente base. Los trabajos en laboratorio han demostrado que la oxidación puede decrecer de 8 a 10 %, cuando la humedad relativa se reduce de 75 a 32%.

2.5.3. Galvanizado

Se galvaniza por inmersión en un tanque de zinc a temperaturas entre 438-460 °C por uno a cinco minutos, según la pieza que se va a galvanizar. Se

debe mantener una capa de fundente de superficie por donde entran las piezas a galvanizar; el fundente de superficie debe mantenerse en una condición activa agregándolo periódicamente; si se usa una solución de fundente base bien concentrada, puede que sea suficiente el que se acarrea hasta la paila del zinc, y no se necesite fundente de superficie.

2.5.3.1. Construcción y equipo de la paila (tanque)

El diseño y la instalación de la paila del galvanizado con la adecuada facilidad de calentamiento son muy importantes, y debería dejarse en manos de compañías con amplia experiencia en esto.

El tipo de piezas por galvanizar determinará el tamaño y la forma de la paila. Debe de existir la suficiente capacidad de calentamiento para compensar el enfriamiento que se produce cuando son sumergidas grandes cargas de trabajo. Normalmente el peso del zinc deberá ser por lo menos 2 veces el peso de la carga de trabajo que se va a galvanizar durante una hora.

El grosor de las paredes de la paila usualmente se encuentra entre $\frac{3}{4}$ a 2" (2-5 cm.). Los materiales más comúnmente usados son planchas de acero para hornos de caldera (ASTM A129). Este material es suficientemente fuerte y tiene la capacidad de resistir el ataque de la corrosión que provoca el zinc derretido.

Las pailas para galvanizado pueden ser calentadas por la combustión de algún combustible, por resistencias eléctricas o por inducción electromagnética. La instalación tiene que proveer un eficiente y uniforme calentamiento para mantener la temperatura en un rango de 438-460°C.

La pared de la paila debe ser protegida de la llama directa del quemador, usando arcilla refractaria, ladrillo o losa en la parte externa inferior. El calentamiento debe ser aplicado a lo largo de los lados de la paila, por lo

menos a una distancia de 12" (0.30cm) y preferiblemente de 18-20" (0.46-0.51cm) del fondo.

Cuando algún proceso de galvanizado especial requiere temperatura cerca de 482°C, el metal de la paila puede ser rápidamente corroído, y provocar fallas iniciales y excesiva formación de dross. Esto también ocurre cuando hay algún problema o falla con los controles de temperatura.

La paila de zinc debe ser lo suficientemente profunda para que las partes por galvanizar dejen un espacio de por lo menos 30 cm. hasta el fondo, que es donde se acumula el dross.

2.5.3.2. Movimientos para galvanizar

Las piezas por galvanizar deben ser sumergidas, tan rápido como sea posible, para la mayor seguridad del operador. Si no se ha secado totalmente la solución del fundente base, provocará que el líquido caiga en la evaporación instantánea del agua, tan rápido como entre en contacto con el zinc fundido, y luego se darán explosiones y erupciones.

Los movimientos rápidos de las piezas, a través de la capa del fundente de superficie son importantes, ya que la cantidad de dross formada entre las reacciones del fundente de superficie y el hierro, es proporcional al tiempo de contacto entre la pieza y la capa del fundente. Cuando el fundente base tiene la adecuada composición, la película seca de fundente base, que se forma en la pieza a galvanizar, será desprendida rápidamente cuando pase a través de la capa del fundente de superficie.

La uniformidad de la capa de zinc dependerá en gran parte de la rapidez de la inmersión de las piezas en el baño. Una grúa con velocidad variable permitirá una rápida inmersión y una lenta salida. Cuando se galvanizan

piezas largas, la uniformidad del recubrimiento dependerá bastante de las habilidades y experiencia del operador

El tiempo que las piezas son dejadas dentro del baño de zinc varía, según el grosor del acero, el precalentamiento y el grosor deseado en el recubrimiento. La reacción entre el acero limpio y el baño de zinc debe permitir recubrimientos rápidos durante los primeros dos minutos, y luego irá decreciendo. Mientras mayor sea el tiempo de inmersión en el baño de zinc, más gruesa será la capa del recubrimiento.

2.5.3.3. Dross

El contenido del dross es aproximadamente de 96% de zinc y 4% de hierro. Los cristales de dross se hunden hasta el fondo de la paila de zinc y deben ser removidos periódicamente. Debido al alto contenido de zinc en el dross, su desarrollo representa un gran costo para la empresa, y éste debería ser minimizado. Dependiendo de las prácticas de la planta, el consumo de zinc que aproximadamente va a terminar en el dross está entre 10-35%. El dross se produce de las siguientes fuentes:

Sales de hierro, formadas en la solución de picado y/o en el tanque del fundente base, y luego son acarreadas por las piezas hacia el tanque de galvanizado, donde reaccionan con el zinc y con el fundente de superficie, formando el dross.

Reacción fundente-acero. La reacción entre la capa de fundente y el acero, que está siendo galvanizado, produce sales de hierro, las cuales forman dross. La cantidad de dross de esta fuente se incrementa con: 1) la temperatura del fundente; 2) el tiempo de contacto entre el fundente y el acero, y 3) la actividad en la capa del fundente (contenido de cloruro de amonio).

Reacción acero-zinc. La cantidad de dross formada por la directa reacción del zinc con el acero depende de: 1) la temperatura del zinc; 2) el tiempo de inmersión, y 3) la rugosidad de la superficie del acero.

En resumen, las siguientes son recomendaciones para minimizar la formación de dross:

Evitar el sobrepicleado.

Enjuagar bien las piezas después del picleado, para prevenir el acarreo de sales de hierro a la solución del fundente base.

Mantener el contenido de hierro en la solución del fundente base, debajo de 0.5%.

Pasar las piezas a través del fundente de superficie rápidamente, para minimizar el contacto entre el acero y el fundente.

Usar bajas temperaturas de galvanizado y acortar el tiempo de inmersión.

Evitar los excesos de concentración de cloruro de amonio en el fundente de superficie.

Mantener la temperatura del zinc con un buen control automático, y evitar que el sobrecalentamiento se localice en un solo punto.

Para acelerar la precipitación del dross, se le añade plomo; posteriormente este dross precipitado se extrae de la paila y se coloca en moldes para solidificarlo y venderlo a fundidoras que lo reciclan. El plomo añadido se va como parte integral del dross. Cuando se llevan a cabo todas estas operaciones, no hay producción de galvanizado durante todo un día.

2.5.4. Acabado

2.5.4.1. Apagado con agua

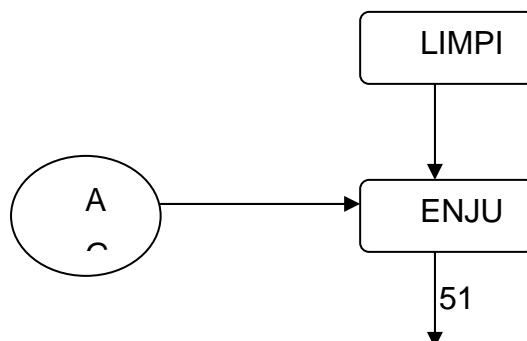
El apagado con agua caliente es recomendado para remover los residuos de fundente y minimizar la post corrosión. El apagado también previene la formación de capas grises, que son originadas por el crecimiento del recubrimiento durante el enfriamiento lento. Este es el problema de paredes gruesas en las piezas. Las piezas apagadas deberían retener suficiente calor para un secado rápido. Para prevenir la acumulación de óxido de fundente en el apagado con agua, debe existir circulación del agua en el tanque.

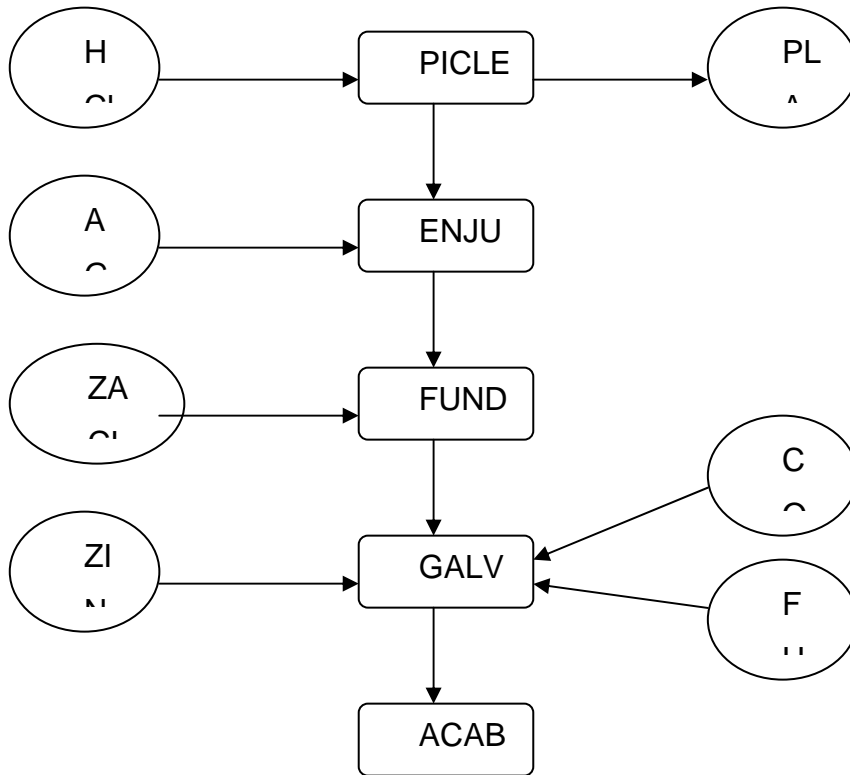
2.5.4.2. Acabado con vapor de agua

Se utiliza también vapor de agua para quitar los excesos de zinc, que hayan quedado en las piezas al salir de la paila. Las piezas son sopleteadas rápidamente con vapor, para lograr el acabado deseado.

2.6. Diagrama de flujo

Figura 4. Diagrama de flujo





2.7. Tipos de contaminación generada

2.7.1. Contaminación del agua

El principal residuo líquido ocurre cuando se cambia el baño de ácido de picleado, por agotamiento de la solución de HCl y el aumento en la concentración de hierro. El período de cambio dependerá de la capacidad del tanque (unos 15 m³ de la solución al 17%) y las toneladas de material que se sumerjan. Se estima que tal período al inicio sea de 5 semanas; luego los cambios deben hacerse cada 3-4 semanas, cuando la planta opere a 3 toneladas por hora. Durante el uso, la concentración de ácido va decreciendo y el contenido de hierro aumentando. Es común que cuando el ácido alcanza 5% y el hierro 25-30 %, la solución debe ser cambiada totalmente por una nueva. En la solución agotada, queda parte del HCl y del cloruro férrico que

se ha formado. Las operaciones básicas propuestas para el tratamiento del residuo de la limpieza son: neutralización, sedimentación y filtración.

De la unidad de tratamiento saldrá un líquido clarificado de pH neutro, libre de hierro y un sólido constituido principalmente por compuestos férricos y cloruro de calcio. El sólido, una vez separado por filtración, no es tóxico y se podrá disponer en un sitio donde no pueda ser lavado por la lluvia

2.7.1.1. Parámetros y análisis del agua residual y tratada

El sistema de tratamiento ha sido diseñado para reducir los sólidos disueltos, reducir la carga de sólidos suspendidos y ajustar el pH del efluente, a límites aceptables por la legislación nacional.

Características del agua residual

El pH generalmente se encuentra en 1.0

El hierro como Fe 100-110 gramos/litro

El cloruro férrico (FeCl_2) 227-250 g/l

El ácido clorhídrico 50-70 g/l

El agua se encuentra a temperatura ambiente.

Características del agua tratada

El pH 6-9

Sólidos sedimentables 0.5 ml/l

El hierro como Fe 3 mg/l

Temperatura ambiente.

Las características del agua después del tratamiento cumplen con las normas establecidas por las autoridades nacionales. Se puede comparar con la tabla I.

Tabla I. Límites máximos permisibles en las industrias procesadoras de metales

Contaminante	Parámetros máximos
Sólidos sedimentables	0.5 mg/l
Demanda química de oxígeno	1200 mg/l
Cadmio como Cd	1.0 mg/l
Aluminio como Al	6 mg/l
Nitrógeno amoniacal	200 mg/l
Continuación tabla I.	
Plomo como Pb	2 mg/l
Cloro como Cl	1.0 mg/l
Cromo como Cr	4 mg/l
Hierro como Fe	6 mg/l
Cobre como Cu	4 mg/l
Níquel como Ni	6 mg/l
Zinc como Zn	10 mg/l

Fuente: Artículo 12, Cáp. VI del Acuerdo Gubernativo 60-89

2.7.2. Contaminación atmosférica

Las prácticas de procesos pobres son el resultado de excesivas emanaciones y vapores. Los fundentes espumantes pueden ser usados para producir una alta calidad de galvanizado sin producir las dañinas emanaciones o vapores.

2.7.2.1. Las emanaciones o humos en la paila de zinc

Del proceso convencional de galvanizado, se incluyen las siguientes emanaciones:

Cloruro de amonio. Proviene de la evaporación del cloruro de amonio del fundente de superficie.

Cloruro de aluminio. Proviene de la reacción del aluminio dentro del zinc fundido con el cloruro de amonio en el fundente.

Amonio. Proviene de la reacción de zinc, óxido de zinc y óxido de hierro con cloruro de amonio.

Hidrogeno. Proviene de la reacción del zinc fundido y el cloruro de amonio.

Lubricantes. Proviene de la mala limpieza de la pieza la cual trae contaminantes a las soluciones del proceso, que son finalmente acarreadas a la paila del galvanizado.

Vapor. Proviene del secado incompleto de la película de fundente base o del agua, formada en las reacciones químicas en la paila del galvanizado.

Mientras todas estas fuentes generan emanaciones y vapores, la fuente de mayor importancia por su emanación es la del cloruro de amonio. A aproximadamente 660°F (349°C), el cloruro de amonio se evapora y se da la descomposición del amonio y del gas cloruro de hidrógeno. El gas cloruro de

hidrógeno caliente es muy reactivo y rápidamente removerá los óxidos metálicos. Sin embargo, cuando el exceso de amonio y gases de cloruro de hidrógeno se elevan a la parte superior de la paila de zinc, éstos se enfrían y recombinan para formar el cloruro de amonio en sólido. Las partículas que son formadas son extremadamente pequeñas (generalmente menos de 1.5 micrones de diámetro), y son las que causan el humo perjudicial.

La evolución incontrolable o excesiva del cloruro de amonio es el punto focal del problema del control de humos. Solamente una pequeña cantidad de cloruro de amonio es capaz de crear humos visiblemente intensos.

2.7.2.2. Emanaciones del baño de ácido de picleado

Las emanaciones del picleado son vapor de ácido clorhídrico. El ácido clorhídrico tiene la gran ventaja de efectuar la disolución del óxido en las piezas a temperatura ambiente. La conveniencia ambiental de esta condición puede demostrarse con los datos de presión parcial del HCl sobre soluciones de HCl. En la tabla II, se presenta esta información.

Tabla II. Presión de vapor de la solución de HCl

Temperatura °C	Presión de vapor de Parcial del HCl	de Solución de HCl al Parcial H ₂ O	de 18% en agua (mm Hg.) Total
-------------------	--	---	--

20	0.095	11.3	11.395
30	0.228	20.6	20.828
40	0.515	36.4	36.915
50	1.110	62.5	63.610
60	2.300	102.0	104.300
70	4.550	162.0	116.550
80	8.600	248.0	256.600

Fuente: Chemical Engineering Handbook, McGraw Hill 1985

Como podrá observarse en la tabla anterior, la presión de vapor a 80°C es 38 veces mayor que a 30°C. Esta correlación también da una idea de los niveles de ácido en el área de trabajo, los cuales serán más reducidos, cuanto más baja sea la temperatura.

2.7.2.3. Factores de la minimización de gases o humos del proceso de galvanizado

La minimización de gases de galvanizado significa establecer una buena práctica de galvanizado, poniendo especial énfasis en minimizar la evolución de los gases.

Algunos factores que deberían ser considerados, cuando hay gases en exceso y ocurren los humos son:

Limpiezas

Enjuagues

Picleado

Fundente base

Operación de galvanizado

Inicialización del fundente de superficie

Profundidad del fundente de superficie

Viscosidad del fundente de superficie

Adiciones del fundente de superficie

Técnicas del galvanizado

Limpieza. La película de aceites, grasas, lubricantes, pinturas, marcadores, etc., que se encuentra en las superficies de las piezas, deben ser completamente removidas por una solución alcalina. La inadecuada remoción de estas suciedades provoca contaminación en las soluciones de picleado y del fundente base. Esta contaminación no sólo disminuye el desarrollo de las operaciones de picleado y del fundente base, sino que también el acarreo de estas suciedades a la paila de zinc, crea humos.

Enjuague. La contaminación de sulfatos de la solución de fundente base (debido al mal enjuague después del picleado con ácido sulfúrico) contribuye directamente a los problemas de gases y humos, debido a que:

Incrementa la viscosidad del fundente de superficie, y reduce su habilidad de fluir alrededor del trabajo que esta siendo galvanizado.

Decrece la actividad del fundente de superficie, requiriéndose mayores adiciones de fundentes, con lo cual hay probabilidad de mayores gases o humos; esto también incrementa el consumo de fundente.

Fundente base. Para minimizar los gases, deben hacerse pequeñas adiciones de fundente activo a la paila de fundente de superficie. El método más eficiente de adición es usar el fundente base acuoso con suficiente concentración, para brindar la cantidad requerida de fundente a las piezas. El uso de fundente base no incrementará el consumo total de fundente, porque se aprovecharía un doble servicio, que previene la oxidación y el mantenimiento del fundente de superficie.

Inicialización del fundente de superficie. Probablemente los mayores problemas respecto a la emisión de gases son emitidos por el fundente fresco fundido sobre la paila de galvanizado. Generalmente, si el fundente de superficie no se adiciona usando una buena técnica, nubes densas de humo blanco aparecerán hasta que el fundente esté listo para el galvanizado. Esto es porque algunos fundentes de ZACLON son inapropiadamente usados, y sueltan más cloruro de amonio que el que debe existir a las temperaturas de galvanizado en la paila.

Profundidad del fundente de superficie. La cubierta del fundente de superficie debe ser profunda y espumosa, para que su trabajo sea llevada a cabo. Una profundidad efectiva es de 2 a 3". Usar un agente espumante en el fundente es necesario para lograr la óptima profundidad. A profundidad, la acción espumosa del fundente actúa como aislante y mantiene la mayoría del fundente en buen estado a la temperatura de la paila. Los fundentes delgados y no espumosos, que tienden a aproximarse a la temperatura de la paila, dan como resultado muchos gases y un alto consumo de fundente.

La viscosidad del fundente de superficie. La viscosidad del fundente de superficie puede tener un efecto significativo en el control de gases y el consumo de fundente. El grosor y la viscosidad del fundente pueden dar como resultado un inferior y difícil galvanizado. La viscosidad del fundente de

superficie también generará grandes burbujas de gases y eventualmente arderán formando nubes de humo. Los factores que contribuyen a elevar desmedidamente la viscosidad de los fundentes de superficie son:

Frecuencia de adiciones de fundente. Considerando los puntos anteriores, es aconsejable mantener constante la baja viscosidad del fundente, que hace pequeñas y frecuentes adiciones de fundente en lugar de grandes adiciones con menor frecuencia.

Exceso de aluminio en el baño de zinc. La concentración de aluminio superior a 0.01% en la interface de fundente-zinc hace que el fundente cese de espumar y cambia, de un fundente ligeramente blando a uno muy grueso y viscoso. Esto es debido principalmente a la reacción del aluminio con el cloruro de amonio que forma cloruro de aluminio, el cual se evapora cerca de los 360°F (182°C); estos humos contribuyen al problema total de la contaminación. El exceso de aluminio puede oxidarse por la agitación del baño de zinc, mecánicamente, con aire o con vapor.

Exceso de sulfatos en el fundente de superficie. El exceso de sulfatos en el fundente de superficie proviene de la contaminación del fundente base. La contaminación por sulfatos incrementa la viscosidad del fundente de superficie. La contaminación por sulfatos en la solución del fundente base cerca del 0.5% indica que el enjuague después del picado fue inadecuado. Los pasos para mejorar el enjuague deben ser inmediatos, para que la solución del fundente base sea purificada.

Adiciones del fundente de superficie. El fundente bajo condiciones de uso no es estable; las propiedades físicas y químicas están cambiando continuamente. El cloruro de amonio es perdido en la evaporación y forma parte de las reacciones con el hierro, el zinc y el aluminio, de tal manera que el fundente se torna menos activo con el tiempo y el uso, y es prácticamente

inactivo cuando el cloruro de amonio contenido decrece cerca del 5%. Las adiciones de fundentes activos hacia el fundente de superficie o para incrementar su actividad, son una fuente de humos, cuando no son hechas apropiadamente. Esto ocurre cuando se hacen fuertes adiciones en el área local. Como resultado de esto, las concentraciones de cloruro de amonio hacen que exista exceso de máxima solubilidad del cloruro de amonio en la región del fundente de superficie, y provocan la formación de humos.

Técnicas del galvanizado. Después de que se establezca el efectivo fundente de superficie y de que las piezas han sido limpiadas, han pasado por el piclado y por el fundente base, éstas debe pasarse a través de la paila de zinc sin producir excesivos humos. Para que esto sea posible, se debe minimizar la agitación en el fundente de superficie; lograr que el fundente base se mantenga por aproximadamente 24 horas, sin que esto afecte que se efectúe un buen galvanizado; otro detalle que requiere atención cuando se practica la minimización de humos del galvanizado es la temperatura de la paila. Además del acortamiento de la vida de la paila, el exceso de temperatura del fundente de superficie, provoca excesivos humos.

2.7.2.4. Parámetros de contaminantes atmosféricos

Las emanaciones del baño de piclado son continuamente removidas a razón de un volumen total de aire cada 1 minuto, lo cual asegura que los niveles de ácido sean menores de 8 mg/m^3 en el área de trabajo. Como referencia, se puede usar la norma del Departamento de Trabajo de los Estados Unidos de Norte América, que dicta que la máxima exposición a vapores de ácido clorhídrico debe ser 5ppm de vapor de HCl en el aire, medido por volumen o 7 mg/m^3 de HCl en el aire, medido por peso.

Los humos resultantes de la operación en la paila de zinc están constituidos por un 20 a 65% de NH_4 , 11 a 24% de Zinc, 20 a 44% de cloro y 1 a 3% de

agua. La concentración de estos materiales en el aire es del orden de 10 a 50 mg/m³, con base en un flujo de aire de 335 m³/h extraído de la superficie del baño mediante una campana.

En Guatemala, no existen regulaciones para emisiones gaseosas de galvanizado, pero como referencia se puede ver la Norma Alemana VDI 2579, que establece un límite de 80mg/m³ para este tipo de proceso.

Para la contaminación por partículas de zinc, se puede tomar como referencia la norma de la Organización Mundial de la Salud, donde se especifica que el máximo es de 100µg/m³ para 24 horas, cuando el material al que se refiere son partículas menores de 10µm.

3. EQUIPO DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA

2.8. Descripción

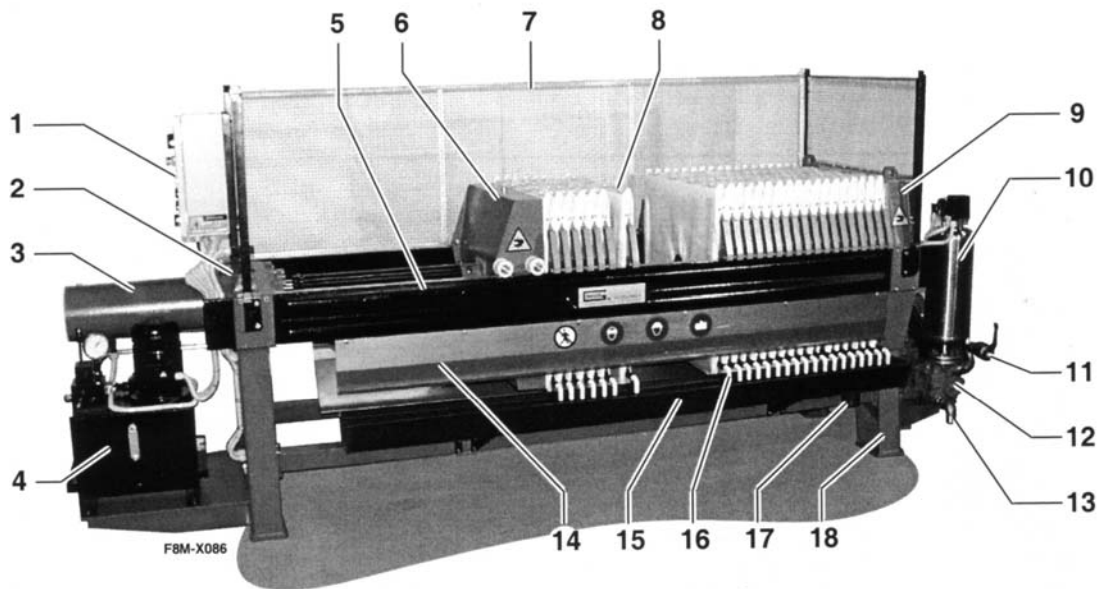
Este tipo de filtro prensa está compuesto por un número de placas suspendidas en una estructura de soporte y guía. Los extremos de dichas placas están reforzados; las placas están cubiertas por un paño filtrante que actúa como membrana aislante. Cuando se presionan dos placas, se forma una cavidad entre ellas, en la cual se deposita el lodo. Se aplica presión para prensar el agua del lodo a través del paño filtrante, a la vez que los sólidos se acumulan lentamente formando una torta, hasta llenar por completo un compartimento. El líquido filtrado fluye a través de canales en las placas filtrantes.

Las placas se separan mediante un mecanismo hidráulico para extraer la pasta del lodo. Cuando todos los compartimentos están vacíos, se cierra nuevamente la prensa para recibir otra carga. Se produce así lodo deshidratado en forma discontinua. La pasta de lodo debe desprenderse y caer al momento de abrir el compartimento. Los paños filtrantes se deben limpiar a presión, cuando se requiera hacerlo, ya que después de cada filtración, quedan sólidos finos o sustancias, que aumentan la resistencia del paso del agua.

El lodo que va a deshidratarse en la prensa se acondiciona normalmente con agentes floculantes inorgánicos (sales de aluminio y hierro, cal). El proceso específico de acondicionamiento debe tener como objetivo una determinada resistencia a la filtración.

El grado de separación de los sólidos es del 100%. Esto significa que el líquido filtrado está libre de sólidos, a menos que haya fisuras en la placa o paño filtrante. Este tipo de filtro prensa es adecuado para la filtración directa de suspensiones de hidróxidos metálicos, y produce un lodo firme con un contenido de agua de 75 a 80%. La figura 8 muestra las partes principales.

Figura 5. Máquina Filtro Prensa



- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Gabinete eléctrico | 10. Depósito de compensación |
| 2. Soporte principal del cilindro hidráulico | 11. Salida residual |
| 3. Cilindro hidráulico | 12. Bomba de alimentación |
| 4. Circuito hidráulico | 13. Entrada de bomba |
| 5. Vigas | 14. Paneles protectores |
| 6. Cuerpo móvil | 15. Canal de salida de agua |
| 7. Malla protectora | 16. Tubos de salida |

8. Cuerpo y platos de filtrado

17. Drenaje para agua de salida

9. Cabeza fija

18. Estructura de la máquina.

2.8.1. La estructura de la prensa-filtradora

Está hecha de un acero electrosoldado, el cual ha sido tratado con inhibidores de ácido, resistente a la oxidación y con dos capas de pintura epóxica especial. Las partes en contacto con los lodos están hechas de acero inoxidable.

Las partes principales del filtro prensa son:

Soporte fijo para el cilindro hidráulico, el cual es la base de la unidad de control hidráulico.

Vigas fijas forradas de hojas de acero inoxidable en las partes, en contacto con los lodos.

Vigas superiores designadas para soportar la carga cuando se encuentra con la máxima presión, y cuando el conjunto de filtrado esta cerrado.

Vigas inferiores de acero, que también sostienen el canal para el agua de salida.

2.8.2. Unidad de alimentación

La unidad de alimentación esta compuesta por:

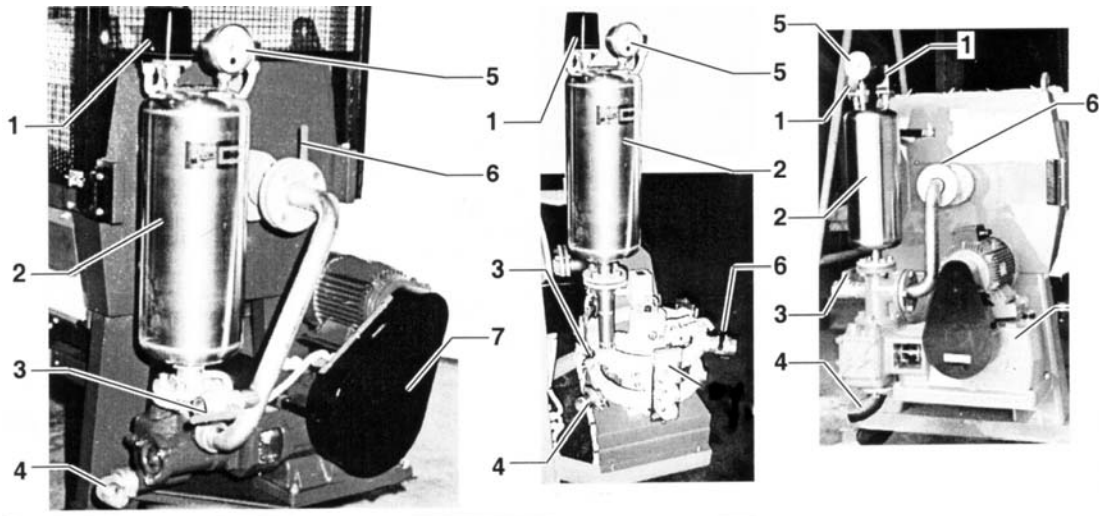
Bomba de pistón con cilindro simple de doble acción (7) sirve para la constante alimentación a la prensa-filtradora y su máxima presión de trabajo es de 15 bares.

Depósito de compensación de 24 litros (2), que tiene un interruptor para la presión de diafragma (1) y el manómetro (5).

Tubería que sirve para conectar la bomba con el filtro por medio de la válvula de bola (6), y una válvula de bola (3) para la descarga al terminar el ciclo de filtrado.

Entrada de la bomba (4).

Figura 6. Unidad de alimentación

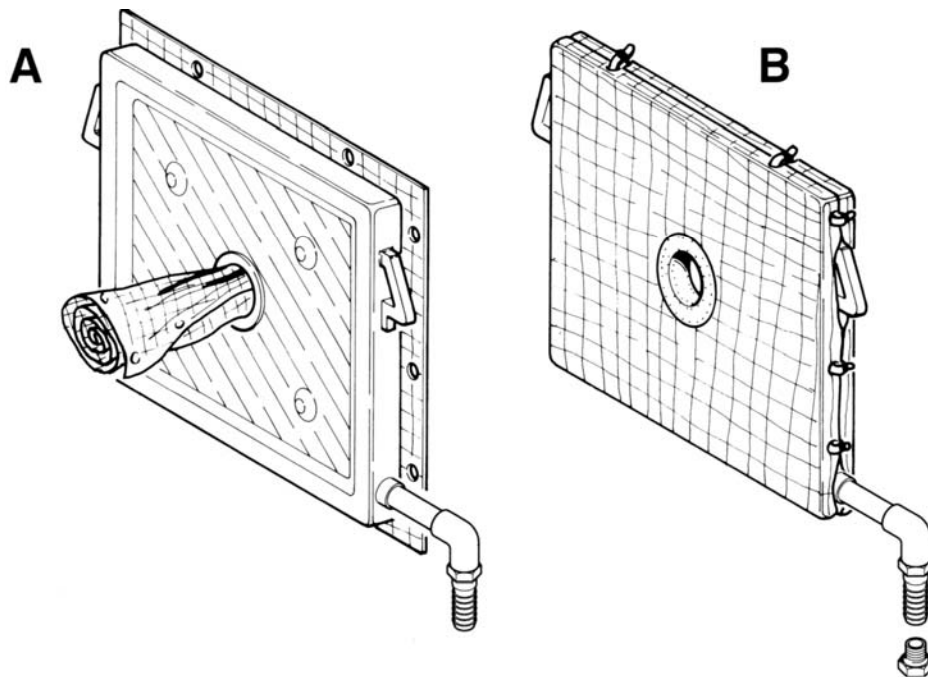


2.8.3. Paquete de filtración

El paquete de filtración está compuesto de un grupo de placas o planchas. Las planchas han sido diseñadas para proveer una máxima filtración al agua y están hechas de polipropileno, que es un material que garantiza una óptima fuerza mecánica y resistencia a los químicos. Cada

cámara de filtración tiene un volumen de 19 litros, y la superficie de filtrado es de 1.09m².

Figura 7. Paquete de filtración



2.8.4. Circuito hidráulico

El sistema hidráulico es usado para abrir y cerrar el filtro-prensa, por medio de un cilindro de doble acción, el cual opera a través de una unidad de control. Sus principales componentes son:

Bomba de engranajes

Motor eléctrico de 3 HP (6)

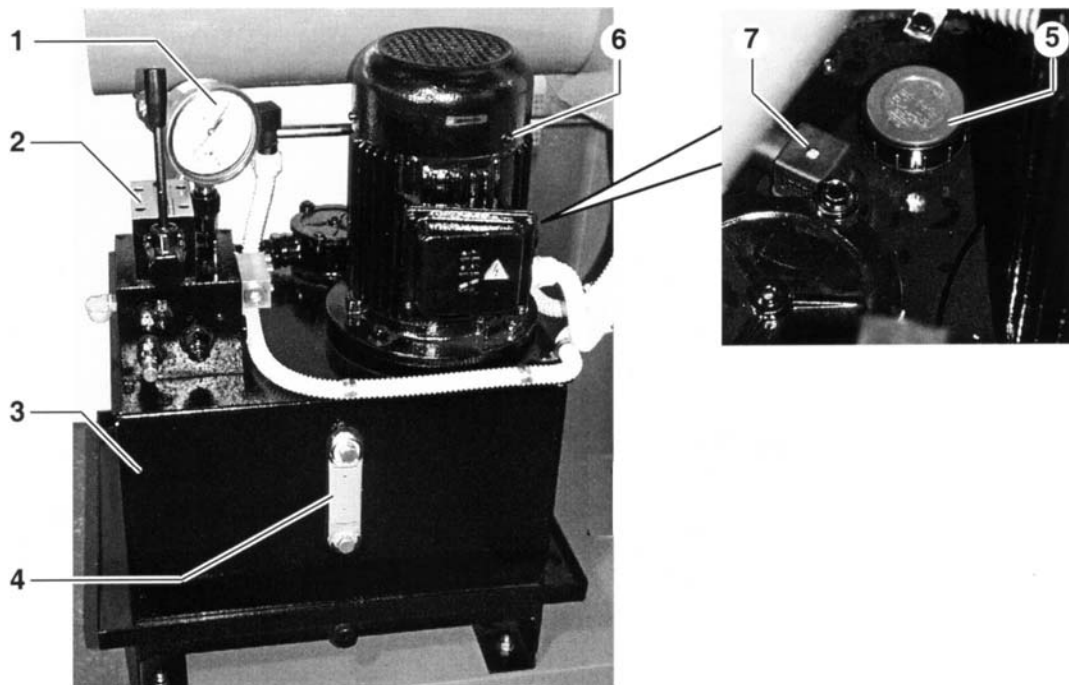
Válvulas de seguridad, de paso y de retorno, manómetro (1)

Distribuidor de nivel (2) para activar el cilindro hidráulico.

Depósito de aceite hidráulico (3) con indicador de nivel (4), tapón de llenado (5) e indicador de nivel mínimo de aceite hidráulico.

Tuberías para conexiones.

Figura 8. Circuito hidráulico



2.8.5. Gabinete eléctrico

La puerta del frente del gabinete eléctrico es la que resguarda a todos los componentes que permiten el control de la máquina filtro-prensa. El gabinete puede estar equipado con un dispositivo que señalice la finalización del ciclo de filtrado; puede ser una señal de luz o una alarma auditiva. El interruptor principal también tiene la función de llave, para asegurarse de que la máquina no se podrá encender si la puerta está abierta.

2.9. Funcionamiento

El filtro prensa es muy fácil de usar; permite de esta forma que no sea necesaria la ayuda de un experto para su operación. La máquina cuenta con tres ciclos, que se mencionan a continuación.

2.9.1. Cerrado del cuerpo de filtrado

El cuerpo de filtrado será cerrado por medio del cilindro hidráulico, y es así como se comienza el trabajo de filtración. Antes de cerrar el cuerpo de filtrado, debe asegurarse de que no exista ningún objeto extraño entre las planchas filtrantes.

2.9.2. Filtrado

Una vez que la bomba arranca gradualmente para llenar la máquina filtro-prensa, el tanque de compensación de aire amortigua suavemente el proceso, la filtración empieza y el líquido resultante sale a través de los tubos de desagüe. Una vez que la densidad del lodo se aproxime a cierto nivel, el flujo de líquido irá disminuyendo, de tal forma, que la presión se incrementará hasta que el interruptor apague la bomba. Una parte del líquido filtrado pasará a través de las planchas de filtración y la presión caerá, haciendo que el interruptor arranque nuevamente la bomba. Cuando el tiempo de intervalo de la bomba indique que la masa de lodo haya sido completada, la bomba se desconectará por la función automática de fin del ciclo.

2.9.3. Abertura del cuerpo de filtrado

Cuando la bomba se detiene, esto es señal de que el cuerpo de filtrado puede ser abierto, pero se deben observar ciertos pasos, para evitar cualquier eventualidad.

Apagar el interruptor de la unidad de control hidráulico.

Abrir la válvula de carga residual, para asegurar que toda la presión ha sido descargada.

Después, se puede comenzar a separar las planchas de filtrado una a la vez, para permitir que el lodo caiga. Cualquier residuo de lodo que quede adherido a la plancha puede ser removido con alguna espátula plástica. El lodo caerá sobre una banda en movimiento, que lo conducirá hacia un depósito donde se acumula, y luego es extraído y llevado a un relleno sanitario.

2.10. Mantenimiento

La óptima operación y de costos bajos se asegurará con la efectiva programación del mantenimiento. La máquina filtro-prensa requiere de muy poco mantenimiento, lo cual es una gran ventaja para su operación.

Cilindro hidráulico. El cilindro hidráulico no requiere de especial mantenimiento. Es suficiente con limpiarle la suciedad con un paño untado con aceite hidráulico, por lo menos una vez al día. Si el cilindro no puede mantener la presión deseada, si se notan fugas de aceite, o si el nivel en el depósito de la bomba tiene una fuerte caída, los sellos del pistón deben ser reemplazados.

Sistema hidráulico. Se debe revisar el nivel de aceite, el cual debe permanecer en el punto más alto, cuando el cilindro hidráulico está en su máxima carrera. Se debe efectuar un cambio completo de aceite cada 2000 horas de trabajo.

Planchas de filtración. Las planchas de filtración no requieren de algún particular mantenimiento; es suficiente lavarlas con un cepillo de cerdas naturales y agua, después de su trabajo normal.

Bomba de alimentación. Se debe inspeccionar la lubricación de los cojinetes, así como cualquier ruido o sensación de alta temperatura.

2.11. Sistema de tratamiento de aguas ácidas residuales

El sistema de tratamiento de aguas ácidas residuales consta básicamente de cuatro pasos, que a continuación se nombran, cuyo esquema completo puede observarse en la figura 13.

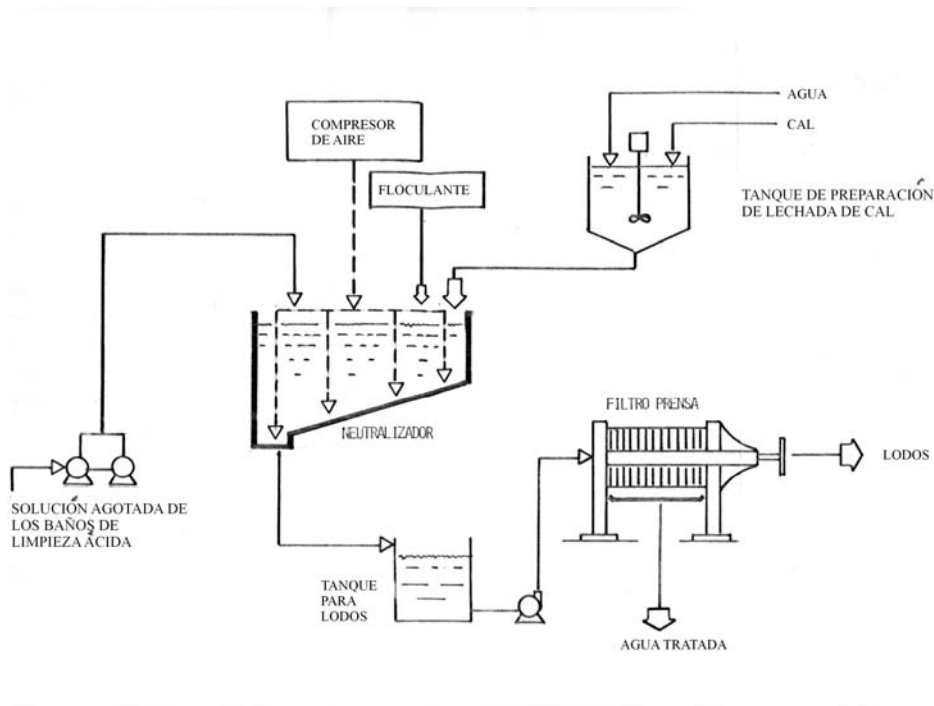
Neutralización

Oxidación del hierro

Sedimentación

Filtración y separación de lodos

Figura 9. Sistema completo del tratamiento de agua



4. EQUIPO DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

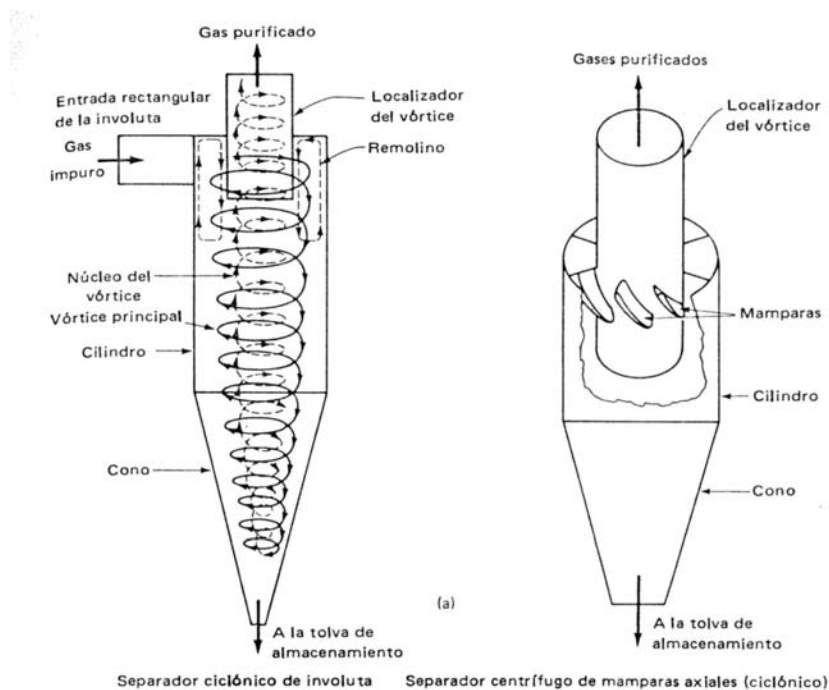
4.1 Equipo de control de contaminación de los gases del baño de zinc

2.11.1. 4.1.1 Separadores ciclónicos

Los separadores ciclónicos son dispositivos purificadores del gas, que emplean una fuerza centrífuga generada que hace girar una corriente de gas, con el fin de separar las partículas (sólidas o líquidas) del gas que las transporta. La unidad separadora puede ser una sola cámara grande, unas cuantas cámaras tubulares en paralelo o en serie, o una unidad dinámica similar a un soplador. Las unidades en paralelo suministran un aumento en la capacidad volumétrica, mientras que las unidades en serie proporcionan un aumento en la eficiencia de remoción. Existen dos clases principales de separadores ciclónicos: los tipos de paletas axiales y los de involutas. La única

diferencia que existe entre los dos se basa en el método de introducción del gas dentro del casco cilíndrico, con el propósito de darle un movimiento giratorio que sea suficiente. En el simple separador ciclónico seco, mostrado en la figura 10a, se obtiene el movimiento circular por medio de una entrada tangencial del gas. El pasaje de entrada de involuta rectangular tiene su pared interior tangente al cilindro; esta entrada ha sido diseñada para que se incorpore gradualmente con una involuta de 180 grados. La figura 10b muestra un ciclón de paletas axiales. En este caso, el movimiento ciclónico se imparte por un anillo de paletas al gas impuro que desciende gradualmente. En cualquiera de los casos, la operación depende de la tendencia (inercia) de las partículas que van a moverse en una línea recta, cuando se cambia la dirección de la corriente de gas. La fuerza centrífuga, debida a una alta tasa de rotación, lanza las partículas de gas contra las paredes externas del cilindro y del cono; las partículas resbalan por las paredes hasta llegar a la tolva de almacenamiento.

Figura 10. Esquemas de ciclón de involuta y paletas axiales



(a)

(b)

El gas gradualmente purificado invierte su espiral descendente y forma una espiral de dimensiones menores. Un tubo alimentador del vórtice que se

extienden hacia abajo dentro del cilindro ayuda a dirigir el vórtice interno fuera del dispositivo.

Por lo general, el separador ciclónico se utiliza para eliminar partículas con tamaño de 10 μm o mayor. No obstante, los ciclones convencionales rara vez remueven partículas con una eficiencia mayor del 90%, a menos que la partícula tenga un diámetro de 25 μm o mayor. Existen ciclones de alta eficiencia, que son efectivos hasta con partículas de 5 μm .

Sin importar cuál sea el diseño, la eficiencia de remoción de cualquier ciclón cae rápidamente más allá de un cierto tamaño de la partícula. Un diseño de alto volumen sacrifica la eficiencia para obtener tasas colectoras altas. Se podría utilizar como un limpiador preliminar para remover las partículas grandes, antes de que el gas pase a través de otra pieza del equipo colector. Las eficiencias globales representativas de los ciclones se presentan en la tabla III. Un ciclón determinado puede encontrarse en más de una clase, según el tamaño de la partícula que se recoge, y el modo de operación.

Tabla III. Eficiencia colectora global de los ciclones

Tamaño de la partícula (μm)	Ciclones convencionales	Ciclones de alta eficiencia
5	50	80
5-20	50-80	80-95
15-20	80-95	95-99
40	95-99	95-99

La ausencia de partes móviles confiere a los ciclones gran confiabilidad, unida a gran simplicidad, especialmente con tubos de patrón normal. Es el menos costoso de todos los colectores de partículas del tipo de alta eficiencia. El tipo de colector de paletas axiales tiene desventajas, que incluyen la erosión de las paletas (especialmente con polvos abrasivos) y el posible bloqueo de los pasajes entre las paletas. Una de las principales desventajas de los ciclones de involuta es que el tamaño y el costo aumentan, según aumenta la eficiencia requerida. Por eso, el ciclón de paletas axiales es por lo general la primera selección, si sus características de operación se ajustan a los requerimientos.

2.11.2. 4.1.2 Operación y mantenimiento

Las variables de operación en el desenvolvimiento del ciclón son: la temperatura del gas, presión, composición, características del polvo, tamaño y distribución, forma, densidad y concentración.

Incrementando la temperatura del gas, decrece la densidad y se incrementa la viscosidad. El efecto directo sobre la eficiencia por cambios en la densidad del gas se debe a descuidos, debido a que la densidad del gas depende directamente de la densidad del polvo. Si la presión en el colector es mantenida constante, la capacidad del tubo se incrementará debido a la baja densidad del gas. La alta temperatura incrementa la velocidad en el interior, lo cual incrementa la velocidad de las partículas hacia la pared. Sin embargo, debido al aumento de temperatura, la viscosidad del gas tiende a disminuir la velocidad de las partículas hacia la pared.

La erosión, aglomeración y corrosión son las causas de los mayores problemas en la operación de los ciclones. Bajo condiciones de erosión, el metal generalmente falla debido a las grietas, que le son provocadas por las partículas del gas o vapor contaminado. Una vez el agrietamiento ha

comenzado, éste se acelera a sí mismo; el metal comienza el desgaste a partir de una pequeña área. La erosión aumentará con mayor carga de gas, gravedad específica, la dureza de las partículas de polvo, velocidad del gas y el ángulo de choque de las partículas. Con bajas cargas de polvo, la erosión tenderá a concentrarse en el cono, y de acuerdo como vayan aumentando las cargas, todo el cono será afectado.

La erosión puede minimizarse con la correcta elección del diámetro del ciclón. El mantenimiento para el control de la erosión deberá incluir el uso de un metal fuerte para los conos, así como el uso de placas removibles, resistentes a la abrasión en la zona de choque, que evitará soldaduras y uniones, además, el uso de largos ciclones para prevenir el exceso de velocidad del gas.

Dos tipos de aglomeración pueden ocurrir: aglomeración de polvo en el orificio de salida y la aglomeración en las paredes. La aglomeración en el orificio de salida se debe a grandes trozos de material que se alojan en la salida, y forman así una obstrucción. El acumulamiento del polvo en las paredes y en la tolva hace que las partículas regresen o vuelvan a entrar. Una vez que la tolva está suficientemente llena de polvo, debe ser vaciada, pero siempre es común que las acumulaciones de polvo queden en la tolva después de vaciarla.

La aglomeración en las paredes se debe al acumulamiento de polvo. La primera causa para esta aglomeración es la finura del polvo, que es la que provoca mayor daño. Las partículas menores a $3\mu\text{m}$ poseen inherentemente grandes fuerzas de cohesión y adhesión. La segunda causa, para la aglomeración en la pared, es la humedad, que se forma debido a las partículas higroscópicas. La formación de esta aglomeración se puede disminuir lavando con frecuencia las paredes con agua a presión y, debido a

que es una operación en húmedo, se deben prever revestimientos resistentes a la corrosión o aleaciones especiales.

La corrosión generalmente es causada por los cloruros y sulfatos en contacto con el metal de la pared. Esta puede ser minimizada con la adecuada elección del material (aleaciones o en algunas aplicaciones, plástico). El control de la corrosión sólo se puede dar en la etapa inicial de diseño.

En la mayoría de los procesos, la temperatura del gas a la salida, es mantenida tan baja como sea posible, para obtener la mayor eficiencia y para una operación más económica. Deben tomarse las precauciones necesarias para evitar que se alcance la temperatura de punto de rocío. Algunos métodos para evitar esto incluyen el precalentamiento de los gases después de un paro, hasta que todo el polvo haya sido evacuado, y también cubrir el colector para retener el calor, o proveer de unidades de calentamiento. Estos pasos prevén la condensación de humedad y minimizan el daño de la corrosión.

Una adecuada programación del mantenimiento para los ciclones tiene grandes ventajas, debido a los costos de producción por tiempo perdido en reparaciones mayores. El mantenimiento efectivo se lleva a cabo fácilmente, siguiendo las siguientes reglas:

En la instalación inicial, se debe prever un fácil acceso para la limpieza y para remover cualquier parte del sistema. La facilidad para las adecuadas tareas de mantenimiento se debe tomar en cuenta en la planeación de la instalación. El diseño debe permitir y contemplar todas las operaciones del mantenimiento.

Se debe establecer el historial de todos los componentes del sistema. El historial debe incluir datos de operación como volúmenes de gas,

temperaturas de operación velocidad del gas, diferencial de presiones, cargas de polvo, y cualquier dato que afecte la operación.

Se deben mantener copias de diseño y planos de construcción, incluyendo listado de partes y dibujos de referencia para repuestos.

El mantenimiento se basa principalmente en los siguientes puntos: un programa regular para la remoción de material acumulado en la tolva, la inspección de todas las partes a intervalos definidos de tiempo y la limpieza o reparación del colector cuando sea requerido, según las inspecciones.

Para operar eficientemente, todos los colectores de ciclón deben mantener el flujo cerrado de aire. Los empaques deben sellar bien los acoplamientos. En ciclones de entrada axial, las uniones de las paletas deben ser soldadas perfectamente. Las puertas y cualquier agujero de control deben ser sellados para prevenir las entradas del aire exterior. Con cierta cantidad de finas partículas de polvo, que están siempre suspendidas en el aire, cualquier fuga, por pequeña que sea, provoca el retroceso del gas y el escape de polvos hacia el exterior.

La detección de fugas en el ciclón no es complicada. Uno de los métodos, para verificar fugas, es el uso de una lámpara. Por los reflejos de luz de la lámpara, la cual se debe encontrar en la parte baja del ciclón, que se perciben desde el exterior, pueden ser detectados los agujeros de erosión, fugas en empaques, y soldaduras rajadas. Para colectores de entrada axial, se pueden ver quebraduras en las paletas, empaques arruinados y grietas en paredes.

Se tiene que poner gran énfasis en la prevención de fugas. La principal razón para esto, es que la operación del ciclón se basa en el principio de inercia, y las fugas rompen el patrón del flujo de la corriente de gas, por medio de la

fuerza de las partículas que entran a través de las fugas. Se ha estimado que aproximadamente el 25% de la eficiencia del ciclón se pierde por fugas.

2.11.3. 4.1.3 Como mejorar el funcionamiento

La caída de presión dentro del ciclón determina la eficiencia. La caída de presión puede incrementarse o decrecer con la variación del diámetro del ciclón (diámetros pequeños, alta eficiencia), o por el incremento de volumen. Estas características deben tomarse como parámetros para el diseño del sistema.

En el ciclón con entrada tangencial, obtener una alta eficiencia es muy difícil, debido a que no hay parte móviles. Algunos fabricantes usan aspas en espiral, que permiten el control del volumen moviendo las aspas hacia adentro y afuera, para regular la entrada del gas. Cuando está completamente lleno, se provoca la máxima rotación, por la acción centrífuga.

Para el óptimo desarrollo en el diseño el ciclón, se deben conocer perfectamente todos los criterios necesarios. Es bastante difícil modificar un ciclón, una vez que haya sido erróneamente diseñado.

2.12. 4.2 Equipo de control de contaminación de gases del baño de ácido clorhídrico

2.12.1. 4.2.1 Absorción

El control de las fuentes de contaminantes gaseosos por lavado con líquidos, implica poner en contacto el gas impuro con un líquido limpiador, y separar posteriormente el gas limpio del líquido contaminado. En el proceso de limpieza, el gas contaminante es absorbido por el líquido de limpieza. Los

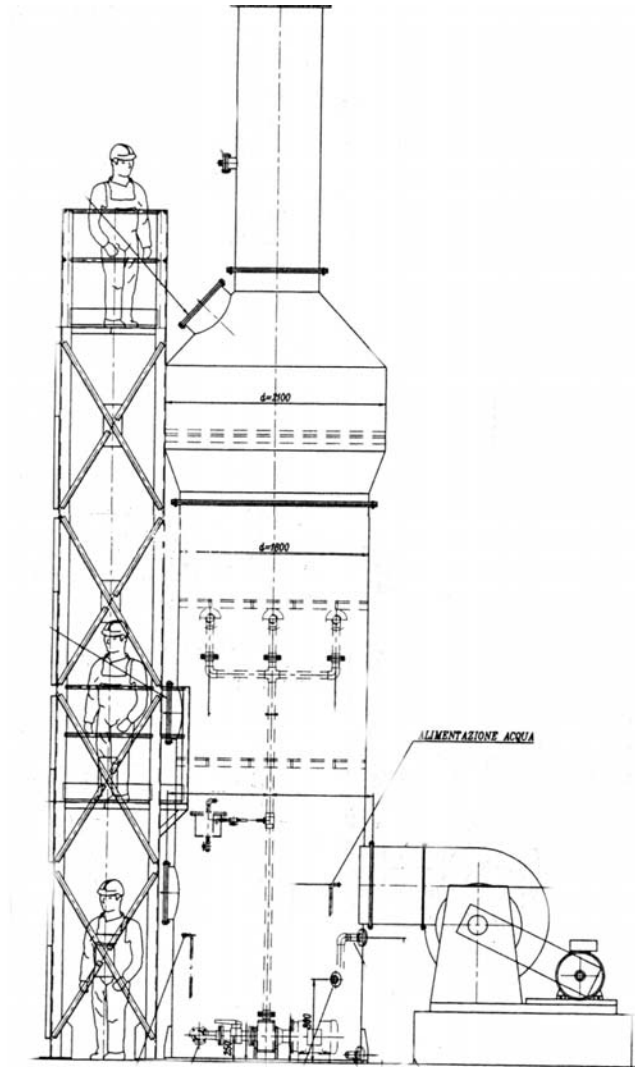
gradientes de concentración en las interfaces entre el líquido y el gas, sirven como fuerzas impulsoras; el proceso se acelera por grandes áreas superficiales de interface, turbulencia y grandes coeficientes de difusión de masa.

Las unidades de absorción de gas deberán permitir un total contacto entre el gas y el líquido, de manera que ocurra difusión en la interface. La tasa de transferencia de masa es proporcional al área superficial de la interface entre el líquido y el gas; por lo tanto, las unidades de absorción están diseñadas para tener grandes áreas superficiales del líquido con un mínimo de caída de presión del gas. El contacto entre el líquido y el gas se puede llevar a cabo por dispersión del líquido en el gas, o viceversa. Los absorbedores que dispersan el líquido incluyen torres empacadas y absorbedores venturi.

2.12.2. 4.2.2 Torre de cámara de rocío

La distribución básica de una torre que trabaja a contracorriente se muestra en la figura 11. El gas con impurezas entra por la parte inferior y el gas limpio sale por la parte superior de la torre. El líquido limpio entra por la parte superior de la torre y se extrae por la parte inferior. El gas limpio se descarga a la atmósfera a través de una chimenea. El líquido que sale de la torre se puede separar del gas contaminante, y recircularlo, o bien se le pasa posteriormente por un tratamiento residual adicional o para usarlo en el proceso. El líquido, que en este caso es agua, cae desde boquillas rociadoras, y pasa a través del gas. En esta disposición, la caída de presión del gas es pequeña, pero es difícil tender al equilibrio, ya que ese gas no entra en demasiado contacto con el agua, no obstante, se usa mucho este tipo de torre debido a su sencillez, a la baja caída de presión y resistencia a la formación de incrustación y taponamiento.

Figura 11. Esquema de torre de columna de rocío



2.12.3. 4.2.3 Operación y mantenimiento

Después del arranque, la tasa del sistema del agua y del flujo de gas, debe ser revisada para asegurarse de que están operando dentro de los parámetros de diseño. Luego de aproximadamente dos semanas de operación, el sistema debería parar e inspeccionarse, por alguna posible obstrucción en las boquillas, o para limpiar cualquier sedimentación, que con frecuencia ocurren durante las primeras dos semanas de operación. También

si es usado en el sistema algún químico reagente, diariamente se deben verificar los niveles de esta solución y la adición de la adecuada dosis. Los registros diarios de las lecturas de los aparatos de medición, tales como indicadores de presión, de temperatura, de flujo y todos los que especifique el sistema deben ser guardados para cualquier consulta posterior. Cualquier variación anormal debe quedar registrada, pues proporcionará importante información para la investigación de dicha variación. La siguiente lista es una guía de irregularidades, que pueden ser encontradas durante la operación del equipo.

Si la caída de presión a través de la torre continuamente se incrementa en un largo período de tiempo, esto se puede deber a que:

La tasa de flujo del líquido que viene del distribuidor ha sido incrementada y debe ser revisada.

La tasa de flujo de aire a través de la torre puede haber sido incrementada por cambios en la rampa de ajuste, y necesitará un reajuste.

La caída de presión a través de la torre empieza a decrecer al azar, lenta o rápidamente. Esto se puede deber a las siguientes posibilidades:

La tasa de flujo del líquido del distribuidor ha decrecido y debería ser ajustada adecuadamente.

La tasa de flujo de aire a través de la torre ha decrecido, debido a cambios en las características del ventilador o debido a cambios en el sistema de rampa de ajuste.

La obstrucción parcial de las boquillas del distribuidor. El distribuidor debe ser inspeccionado, para asegurar que puede operar en buenas condiciones.

Un cambio, en la presión o en el flujo del agua reciclable, indica que la tasa de flujo ha bajado. Esto se puede deber a:

Un filtro obstruido en la tubería de reciclaje, el cual requiere limpieza.

Las boquillas rociadoras están obstruidas, y necesitan que se limpien.

La tubería puede comenzar a obstruirse parcialmente y necesita limpieza.

El nivel de líquido en la bomba decrece, y provoca cavitación.

El impeler de la bomba puede tener desgaste excesivo.

Una válvula, en cualquiera de los dos lados succión o descarga de la bomba, pudo haber sido equivocadamente cerrada.

Un gran flujo de líquido indica lo siguiente:

Una ruptura en la tubería interna del distribuidor.

Que la boquilla rociadora puede haber sido desinstalada.

Si las lecturas indican un bajo flujo de aire o ningún flujo, a través de la torre, lo siguiente puede ser la causa:

La tasa del flujo de agua en la torre puede ser aumentada inadvertidamente, que creará restricción al paso del aire y a la caída de presión.

Las fajas del ventilador están gastadas o flojas.

El impeler del ventilador puede estar parcialmente corroído, y se reduzca su eficiencia.

Los ductos hacia o desde la torre pueden estar parcialmente obstruidos con suciedades y necesitan limpieza.

La rampa del sistema ha sido equivocadamente cerrada o han cambiado su ajuste.

Una quebradura o fuga en el ducto, que se puede deber a la corrosión.

El flujo de aire a través de la torre se está incrementado o ha sido repentinamente incrementado; esto puede ser debido a lo siguiente:

Una repentina abertura de la rampa del sistema.

Una baja en la tasa del flujo de agua en la torre.

El listado anterior contiene solamente los problemas más comunes encontrados en las torres de columna de rocío.

El mantenimiento preventivo requiere revisiones periódicas en el ventilador, la bomba de agua, la bomba dosificadora de químicos, tuberías, ductos, y en el distribuidor de agua.

Los intervalos entre las rutinas de lavado deben determinarse experimentalmente, debido a que la acumulación de materiales sólidos está en función de las condiciones específicas de operación. Para asegurar una buena operación y sin problemas imprevistos, a continuación se hace un listado de las revisiones de mantenimiento.

Mantenimiento de la bomba

Revisar la lubricación de cojinetes (semanalmente)

Revisar ruidos o excesos de temperatura en cojinetes, porque esto puede indicar el desgaste excesivo y desgastar el eje (semanalmente).

Inspeccionar los empaques en las conexiones de succión y descarga y buscar fugas (semanalmente).

Revisar la alineación del eje (mensualmente)

Mantenimiento del ventilador

Revisar el motor y los cojinetes del ventilador por vibraciones, ruidos o calentamiento excesivo (semanalmente).

Revisar la lubricación de cojinetes (semanalmente).

Inspeccionar el desgaste de las fajas y reemplazarlas de ser necesario. También revisar la tensión, y ajustar. (mensualmente)

Revisar todos los pernos del ventilador y reapretar de ser necesario (mensualmente).

Inspeccionar el impeler y los álabes del ventilador, y buscar incrustaciones o erosión. Limpiar o reemplazar el impeler, si existe excesiva incrustación o erosión. La incrustación puede provocar desbalance en el impeler, así como fallas prematuras (mensualmente).

Revisar el drenaje de la carcasa del ventilador, para verificar que no haya obstrucción (mensualmente).

Mantenimiento de la torre

Verificar la caída de presión a través de la torre (semanalmente).

Abrir las puertas de acceso de la torre, para inspeccionar el distribuidor de agua, limpiar de ser necesario (mensualmente).

Abrir todos los accesos e inspeccionar la torre internamente, así como buscar corrosión o rajaduras (semestralmente).

Mantenimiento del sistema

Revisar y limpiar los filtros en el sistema de tuberías (semanal).

Inspeccionar las uniones de la tubería de reciclaje, ductos o acoplamientos, y de todas las conexiones flexibles en busca de fugas, o para reapretar o cambiar empaques de ser necesario (mensualmente)

Inspeccionar todos los sistemas de desvío y el control de rampa, probarlas durante algunos minutos, para asegurarse de su correcta operación (semanalmente).

Inspeccionar la tubería que viene y que va hacia la torre, para buscar erosión y cualquier obstrucción; se podrá limpiar o reemplazar (trimestralmente).

Inspeccionar el ducto por sólidos sedimentados. Estos requieren ser sopleteados para prevenir restricciones del flujo de aire (semestralmente).

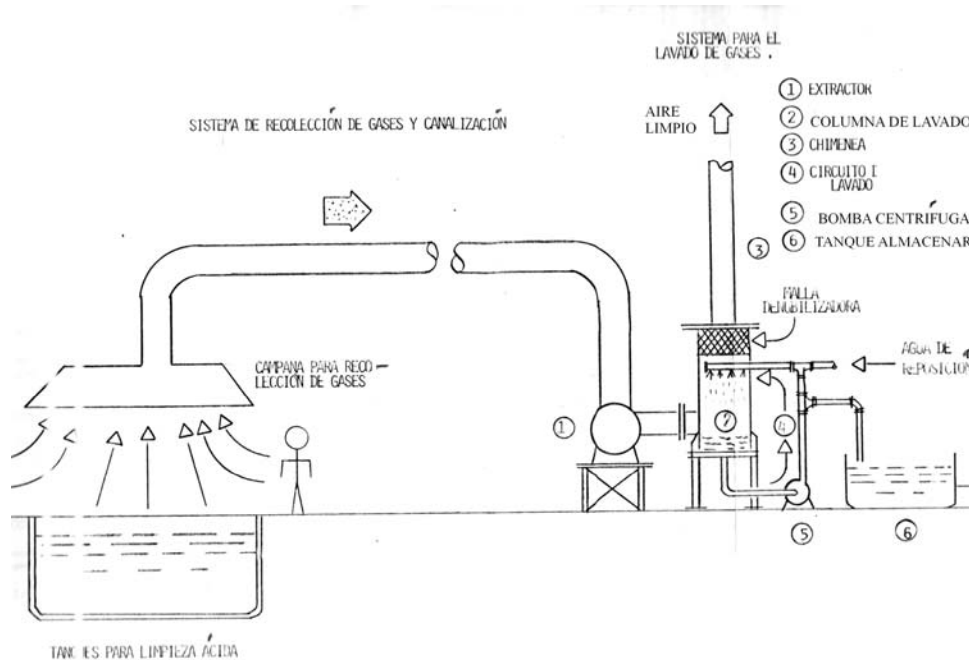
Inspeccionar ductos, ventilador y torre, en busca de corrosión externa o cualquier deterioro (semestralmente)

Inspeccionar los soportes de la estructura (semestralmente).

Toda la instrumentación debe ser revisada y recalibrada, para asegurarse de su correcta operación (mensual).

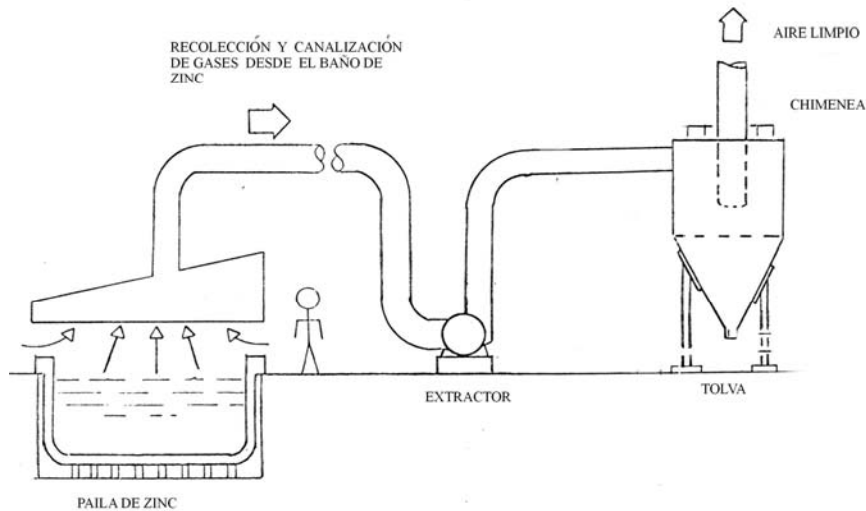
4.3 Sistema de Extracción de gases y vapores

Figura 12. Sistema de control de contaminación de gases acidos



El sistema de extracción está compuesto por dispositivos usados para capturar polvos y vapores contaminantes desde la fuente, y prevenir que estos sean descargados hacia la atmósfera. Su principal función es ayudar a que el aire contaminado sea recolectado y descargado hacia la atmósfera, en condiciones de aire puro y limpio. En el sistema de extracción, debe proveerse suficiente aire, lo cual es esencial para la completa recolección de los contaminantes. En las figuras 12 y 13, se muestran los sistemas de control de contaminación del proceso de galvanizado.

Figura 13. Sistema de control de contaminación del baño de zinc



Constan principalmente de la campana de extracción, el sistema de ductos, el ventilador y el equipo de control.

1. Campana de extracción. Las campanas son dispositivos usados dentro del sistema de control de contaminación, que sirven para capturar las emisiones de los contaminantes o aire contaminado, los cuales son transportados por el sistema de ductos hacia el equipo de control de contaminación. La cantidad de aire necesaria, para capturar y transportar el aire contaminado, está en relación con el tamaño de la campana, el cual depende de la posición en que se encuentre la fuente de emisión contaminante, la naturaleza y la cantidad de aire contaminado.
2. Sistema de ductos. El sistema de ductos es el encargado de transportar el aire contaminado hacia el equipo de control. Para su diseño, es necesario tomar en cuenta la caída de presión y la resistencia. Lo más recomendable para el diseño del sistema de ductos, es tratar de hacer todo el sistema de control de contaminación tan pequeño y compacto como sea posible, para reducir la resistencia y la energía necesaria.

3. Ventilador. El ventilador es usado para mover el aire, desde un punto hasta otro. En el sistema de control de la contaminación, imparte movimiento a masas de aire y transporta el aire contaminado, desde la fuente de generación hasta el equipo de control.
4. Equipo de control. Estos equipos fueron descritos en los incisos 4.1.1 y 4.2.2.

CONCLUSIONES

1. La contaminación industrial, en Guatemala, todavía no es tomada con la seriedad necesaria por el Estado, mucho menos por la industria.
2. Aunque a corto plazo sólo se observen efectos de la contaminación sobre infraestructura y equipo, el daño que puede provocar en el ser humano a largo plazo puede tener graves consecuencias.
3. La falta de atención de las autoridades, hace que las empresas presten muy poca atención a los efectos causados por la contaminación en el ambiente y en los operadores.
4. El uso de equipo de control de contaminación no sólo ayuda considerablemente al ambiente, sino también en algunas ocasiones permite recuperar material que puede ser reciclado por la empresa.
5. La eficiencia de los procesos se afecta por las pérdidas que ocasiona la contaminación.

RECOMENDACIONES

1. Se deben iniciar actividades con el fin de involucrar a la empresa en el concepto de producción limpia, para mejorar el control de la contaminación ambiental.
2. La Facultad de Ingeniería debe promover el conocimiento sobre contaminación ambiental, por medio de cursos en el p^éns^um de estudios, para concientizar al estudiante actual y, de esa forma, a la futura(o) ingeniera(o) o empresaria(o).
3. Es conveniente que las(os) ingenieras(os) se involucren en el campo de la industria con acciones de control de contaminación, y velen por la seguridad y protección de los operadores, ante los efectos de esta contaminación.

BIBLIOGRAFÍA

1. **De Nevers, Noel.** Ingeniería de control de la contaminación del aire. 3^a ed. México. Editorial McGraw Hill Interamericana editores, S.A. de C.V. 1,998, 546 pp.
2. Enciclopedia Microsoft Encarta 98. **Contaminación**
3. Enciclopedia Salvat. **Salvat Editores. Tomo 3**
4. Estudio de impacto ambiental en la planta galvanizadora de tubos negros "TUBAC, S.A." **1995.**
5. **Kiely, Gerard.** Ingeniería Ambiental. España. Editorial McGraw Hill/Interamericana de España, S.A.U. 1,999, 1331 pp.
6. Manual de galvanizado DUPONT. **s.d.e.**
7. *Modern Pollution Control Technology.* **Staff of research and education association. REA, New York, 1980.**
8. *Pollution.* <http://www.pollution.com> Julio 2,003.
9. **Theodore, Louis.** *Air pollution control equipment.* Estados Unidos. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida 1988. V1 y V2
10. **Wark, Kenneth.** Contaminación del aire, origen y control. 5^a ed. México. Editorial Limusa, S.A.de C.V. 1990, 650 pp.