



10524
6
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

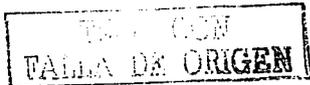
TRATAMIENTO Y DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES
PROVENIENTES DE UNA LINEA DE ZINCADO PARA
PARTES AUTOMOTRICES

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A
GREGORIO GARCIA CEDILLO

ASESOR: I.Q. MARGARITA ALONSO ESPINOSA

CUAUTITLAN IZCALLI EDO. DE MEX.

2003



A



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Tratamiento y Depuración de Agua Residual
Proveniente de un Hotel de Ciudad para
Partes Aprobatorias
que presenta el pasante Francisco Guillén
con número de cuenta 123456789 para obtener el título de Ingeniero Civil

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 01 de Julio de 2011

PRESIDENTE	Q. M. <u>Francisco Ibarra</u>	<u>[Firma]</u>
VOCAL	L. Q. <u>Graciela Delgadillo García</u>	<u>[Firma]</u>
SECRETARIO	L. Q. <u>Margarita Alonso Espinoza</u>	<u>[Firma]</u>
PRIMER SUPLENTE	L. Q. <u>Ariel Bautista Salgado</u>	<u>[Firma]</u>
SEGUNDO SUPLENTE	Q. <u>Elvira Silva Escalona</u>	<u>[Firma]</u>

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3

TRATAMIENTO Y DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES
PROVENIENTES DE UNA LÍNEA DE ZINCADO
PARA PARTES AUTOMOTRICES

GREGORIO GARCIA CEDILLO

HECHO CON
VALIA DE ORIGEN

AGRADECIMIENTOS



Me es importante decir ! Gracias, muchas gracias ! a todas las personas que se tomaron un poco de su precioso tiempo para poner atención en mis peticiones y sugerencias.

Quiero agradecer muy profundamente y con gran reconocimiento al señor Enrique Alvarez, por su apoyo, su cordialidad hacia mi persona, y su vasta cultura general, de verdad Enrique, gracias, porque no solo me apoyaste con este reporte, me sigues apoyando en la vida diaria.



Mi agradecimiento es también para el Ingeniero José Luis Soto Peña porque con su calidad humana me permitió usar una computadora de una escuela a la cuál yo no pertenezco, eso fue muy importante para el arranque y la elaboración de este reporte.



Estoy muy agradecido con el centro de computo de mi "Facultad de Ingeniería Anexo B de la UNAM" porque es ahí donde pude darle continuidad a mi trabajo, el desarrollo final lo realicé con mi propio procesador y conocimientos personales sobre el tema que vamos a tratar.

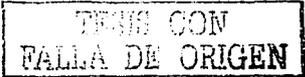


El mayor reconocimiento es para mis padres, ellos siempre me apoyaron económicamente durante toda la etapa de estudiante, con su amor, su cariño, conducción dentro de la buena moral y los valores que tienen sentido en la vida, es que ahora puedo decirsoy un profesionista.

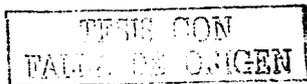
Gregorio Garcia Cedillo



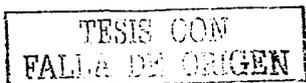
INTRODUCCION	6
OBJETIVOS GENERALES.....	8
ANTECEDENTES.....	9
1- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL	
1.1-PROPÓSITO.....	11
1.2-DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	11
2-MARCO TEÓRICO.....	14
2.1.0-LA MOLÉCULA DEL AGUA.....	14
2.1.1-La tensión superficial elevada.....	14
2.1.2-Electrolitos.....	15
2.1.3-Iones y la corriente eléctrica.....	15
2.1.4-Sistemas coloidales.....	16
2.1.5-Oxidación y reducción.....	16
2.1.6-Minerales y conductancia.....	17
2.1.7-Acidez y alcalinidad.....	17
2.1.8-Materia sólida.....	17
2.2.0-PROCESOS DE COAGULACIÓN.....	18
2.2.1-Coagulación y floculación.....	18
2.2.2-Potencial de atracción y repulsión.....	19
2.2.3-Selección del tipo de coagulante.....	20
2.2.4-Unidades de mezclado rápido.....	20
2.3.0-CROMO.....	21
2.3.1-El elemento.....	21
2.3.2-Propiedades redox.....	21
2.4.0-CROMO (III).....	23
2.4.1-Comportamiento acido-base.....	23
2.4.2-Reactivos para identificación.....	24



2.5.0-CROMO(VI).....	25
2.5.1-Propiedades acido-base.....	25
2.5.2-Compuestos.....	26
2.5.3-Reactivos especiales.....	26
2.6.0-ZINC.....	26
2.6.1-El elemento.....	26
2.6.2-Propiedades Redox.....	27
2.7.0-Zn(II).....	28
2.7.1-Comportamiento acido-base.....	28
2.7.2-Compuestos.....	28
2.7.3-Acción de los reactivos generales.....	29
3-FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.....	33
3.1-DESARROLLO.....	33
Diagrama de flujo.....	34
3.2-DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.....	35
3.2.1-Bombas.....	35
3.2.2-Tanques.....	36
3.2.3-Tubería , válvulas y Accesorios.....	37
3.2.4-Válvulas solenoide.....	37
3.2.5-Mezcladores.....	37
3.2.6-Panel de control.....	37
3.3-PROCESO DE OXIDO- REDUCCIÓN.....	38
3.4-PROCESO DE PRECIPITACIÓN.....	39
3.5-CONTROL DE pH y POTENCIAL DE OXIDO REDUCCIÓN.....	40
3.6-ELIMINACIÓN DE SÓLIDOS Y CLARIFICACIÓN.....	42
3.6.1-Sedimentación.....	42
3.6.2-Eliminación del agua contenida en los lodos sedimentados.....	43



3.6.2.1-Descarga de lodos.....	43
3.6.2.2-Filtro Prensa.....	43
3.7-FILTRACIÓN.....	44
3.7.1-Filtración del agua clarificada.....	44
3.8- PREPARACIÓN DE SOLUCIONES.....	45
3.8.1Hidróxido de sodio.....	45
3.8.2-Ácido sulfúrico.....	46
3.8.3-Metabisulfito de sodio.....	47
3.8.4-Solución de agente coagulante.....	47
3.9-MANTENIMIENTO GENERAL.....	49
4-MÉTODO EXPERIMENTAL.....	52
4.1-MÉTODOS COLORIMÉTRICOS.....	52
4.2-MÉTODOS ESPECTROFOTOMÉTRICOS.....	52
4.3-DETERMINACIÓN DE CROMO.....	53
4.4-DETERMINACIÓN DE ZINC.....	55
5.-RESULTADOS.....	58
REPORTE DE LABORATORIOS EXTERNOS PARA CROMO Y ZINC.....	61
6.0.- ANALISIS DE RESULTADOS.....	62
7.0.-CONCLUSIONES.....	63
DIAGRAMA DE FLUJO ALTERNO PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO.....	64
8-ANEXO.....	66
NORMA OFICIAL NOM-PA-CCA-031/93.....	66
Definiciones.....	66
Especificaciones(NOM-PA-CCA-031/93.....	67
NORMA OFICIAL NOM-002-ECOL-1996.....	68
Objetivo y aplicación.....	68
Definiciones.....	68
Especificaciones.....	69
BIBLIOGRAFÍA.....	70



INTRODUCCION

El agua encontrada en estado natural nunca está en estado puro, sino que presenta sustancias disueltas y en suspensión. Estas sustancias pueden limitar, de modo igualmente natural, el tipo de usos del agua. Los parámetros más comúnmente utilizados para establecer la calidad de las aguas son los siguientes: oxígeno disuelto, pH, sólidos en suspensión, DBO, fósforo, nitratos, nitratos, nitritos, amonio, amoniaco, compuestos fenólicos, hidrocarburos derivados del petróleo, cloro residual, cinc total y cobre soluble

El agua es un recurso natural no renovable, es por ello que debemos tener bien claro la importancia de no desperdiciarla, reciclarla en procesos industriales en donde no se necesita agua potable, no contaminando los mantos acuíferos, como algunas de tantas alternativas.

Con la amplia variedad de procesos industriales, el agua interviene en ellos como un agente de limpieza, como agente de intercambio de calor (procesos físicoquímicos), reacciones químicas en medio acuoso, etc. Con tantas aplicaciones, el agua al final de cada proceso no tiene la misma calidad teniendo que cargar con grandes cantidades de contaminantes disueltos, los cuales no es posible eliminar por una simple decantación o filtración. Se hace necesario un tratamiento de varias etapas que involucra procesos simples o combinados y la aplicación de uno u otro esta ligado a que tanto se encuentra contaminada nuestra agua. Estos métodos de depuración pueden ser una filtración, sedimentación, reacción de oxidación-reducción, coagulación y neutralización, etc.

La depuración del agua cobró importancia a nivel mundial en la década de 1970, debido a los problemas que se tienen cada vez en mayor grado sobre la contaminación humana del medio ambiente, en el aire, en los ríos, lagos, océanos y aguas subterráneas, por los desperdicios domésticos, industriales, municipales y agrícolas.

El tratamiento del agua residual tiene sus inicios en épocas antiguas como lo demuestran las instalaciones de alcantarillados en lugares del viejo mundo como la antigua Creta y las ciudades Asirias. Otro ejemplo lo son desagues romanos que todavía tienen alguna utilidad en nuestros días, a fines de la edad media empezaron a usarse en Europa excavaciones subterráneas privadas, y más tarde, letrinas.

Unos siglos después se retomó la idea de construir desagues en forma de canales o zanjas en la calle expuestos al ambiente. Se prohibió arrojar desperdicios en ellos, pero en el siglo XIX se consideró que vertiendo los desechos humanos a estos desagues se obtenían mejores condiciones de salud para la población. Joseph Bazalgette desarrolló entre 1859 y 1875 un sistema para derramar el agua de lluvia y las aguas residuales hacia la parte baja del río Támesis, en Londres. Con la introducción del abastecimiento municipal de agua y la instalación de canchales en las casas llegaron los inodoros y surgieron los sanitarios modernos.

En los primeros años del siglo XIX, algunas ciudades, e industrias se dieron cuenta que el vertido en los ríos de los desechos que viajan en las aguas residuales provocaba problemas de salud y de aquí surgió la idea de construir sistemas de depuración de aguas residuales.

Los principales contaminantes del agua son los siguientes:

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 y, al descomponerse, agotan el oxígeno disuelto y producen olores desagradables.

Productos químicos, incluyendo los pesticidas, diversos productos industriales, las sustancias tensoactivas 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, los suelos sin protección, las explotaciones mineras, las carreteras y los derribos urbanos.

Sustancias radiactivas procedentes de los residuos producidos por la minería y el refinado del uranio y el torio, las centrales nucleares y el uso industrial, médico y científico de materiales radiactivos.

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. 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 ceno 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 o se sospecha de la peligrosidad de sustancias inorgánicas, como el mercurio, el arsénico y el plomo. El cromo en estado de oxidación seis y el zinc son también considerados como contaminantes tóxicos que deben recibir un tratamiento químico antes de derramarse al sistema de drenaje y alcantarillado. La toxicidad del zinc pudiera deberse a que siempre esta contaminado de pequeñas cantidades de cadmio cuya presencia en el organismo es peligrosa.

La contaminación urbana está formada por las aguas residuales de los hogares y los establecimientos comerciales. En los últimos años se ha hecho más hincapié en mejorar los medios de eliminación de los residuos sólidos producidos por los procesos de depuración. Los principales métodos de tratamiento de las aguas residuales urbanas tienen tres fases: el tratamiento primario, que incluye la eliminación de arenillas, la filtración, el molido, la floculación (agregación de los sólidos) y la sedimentación; el tratamiento secundario, que implica la oxidación de la materia orgánica disuelta por medio de lodo biológicamente activo, que seguidamente es filtrado; se habla de lodo activo porque se utiliza a las bacterias contenidas en el agua residual, alimentando una corriente de aire para mantenerlas vivas mientras consumen gran parte de la materia orgánica; y el tratamiento terciario, que se usa cuando la corriente de agua tratada necesita cumplir con requerimientos gubernamentales muy estrictos, para obtener una calidad de agua casi potable, se emplean métodos biológicos avanzados para la eliminación del nitrógeno, y métodos físicos y químicos, tales como la filtración granular y la adsorción por carbón activado. La manipulación y eliminación de los residuos sólidos representa entre un 25 y un 50% del capital y los costes operativos de una planta depuradora.

Hay tres opciones para controlar los vertidos industriales. El control puede tener lugar allí donde se generan dentro de la planta; las aguas pueden tratarse previamente y descargarse en el sistema de depuración urbana, o pueden depurarse por completo en la planta y ser reutilizadas o vertidas en corrientes o masas de agua.

La contaminación de ríos, arroyos y el subsuelo por contaminantes químicos se ha convertido en uno de los problemas ambientales más graves del siglo XXI. Cada año mueren millones de personas en el mundo por beber agua contaminada, es por tal motivo nuestro interés en dar tratamiento al agua residual obtenida al final de una línea de zincado como se presenta a continuación.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

OBJETIVOS

OBJETIVO GENENERAL:

En este trabajo se realizará el tratamiento y depuración de agua residual proveniente de una línea de zincado, mediante una planta de tratamiento químico y una serie de técnicas, para reducir la contaminación del agua después de un proceso de electrodeposición(zincado) y tener la confianza de que el agua que se derrame al sistema de drenaje y alcantarillado pueda integrarse con concentraciones que estén dentro de los límites máximos aceptados por la normatividad oficial mexicana en vigencia.

OBJETIVOS PARTICULARES

1. La finalidad de este trabajo es la de **efectuar la remoción de cromo y zinc** del agua residual que se obtiene como desecho de una línea de zincado para partes automotrices..
2. **Dar cumplimiento a la norma oficial vigente NOM-002-ECOL-1996** referente al límite máximo de sustancias tóxicas que se pueden derramar al sistema de drenaje y alcantarillado.
3. Realizar los ajustes al proceso y las adaptaciones de equipo, que se requieran para alcanzar lo propuesto en el objetivo principal.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANTECEDENTES

TRATAMIENTO Y DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE UNA LÍNEA DE ZINCADO PARA PARTES AUTOMOTRICES.

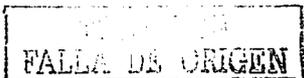
Esta línea de zincado es parte de las instalaciones dedicadas a la fabricación de autopartes, como son, las bujías para automóviles , para podadoras, para avión y para autos de carreras. En la fabricación de estas bujías se utiliza acero, el cual sirve para formar la parte metálica de la bujía como lo es el casquillo, además se usa una mezcla de componentes cerámicos para formar la parte más importante de la bujía como lo es el aislador cerámico, se dice que es la parte más importante porque es la más costosa.

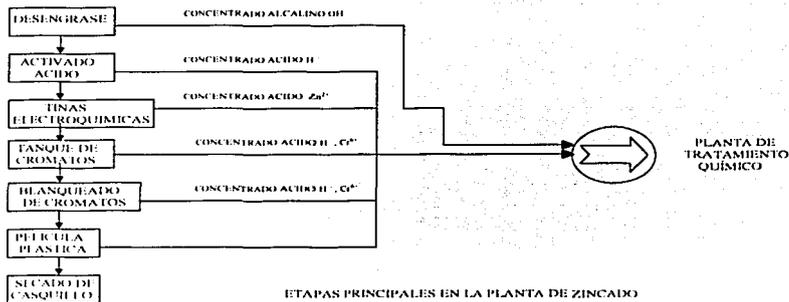
En el proceso de formación del casquillo metálico se le da forma a las barras de acero a través de un trabajo de golpeo constante y en el cual se usan dados especiales para determinar el tamaño y la forma del casquillo sin decorar, así como sus dimensiones internas para cada una de sus secciones, este casquillo pasa a otras estaciones donde se coloca la decoración, el electrodo lateral y se le da forma al tamaño de la cuerda. Ahora este casquillo está listo para zincarse, se le colocará una película de zinc por electrodeposición, que le va a conferir resistencia al ataque del medio ambiente y evitar su oxidación, una apariencia blanquizca brillante para buena presentación como producto terminado.

En el proceso de formación del aislador cerámico se utiliza una combinación de componentes cerámicos que después de un proceso de preparación de la pasta con la consistencia requerida pasa a las prensas donde se obtiene un aislador tipo crudo, en esa misma sección se le da un torneado para mejor acabado, la siguiente estación son los hornos de precocción, en los cuales se tiene una temperatura alrededor de 1500 °C, el siguiente proceso es el decorado y cocido del aislador que ha de identificar a cada tipo de bujía. La fase última es realizar el ensamble del aislador y del casquillo metálico para obtener el producto terminado, una bujía automotriz.

El tratamiento y depuración de agua residual para este caso requiere conocimientos de reacciones de óxido - reducción en medio acuoso, reacciones de precipitación de sólidos disueltos, la necesidad de controlar el pH como un parámetro que siempre va ligado a este tipo de procesos químicos y mediante el cual puede o no ocurrir una reacción química.

Sin tratar de describir o profundizar en el proceso de zincado , porque el tema en particular es el agua residual obtenida de dicho proceso, se tiene que esta línea de zincado es un conjunto de tanques o tinas acopladas a dos grúas mecánicas, llevando un recorrido programado e introduciendo barriles que contienen al casquillo que ha de zincarse, en cada una de estas tinas se efectúa una operación química o fisicoquímica. Las tinas contienen soluciones diferentes de acuerdo a cada etapa de un largo proceso, para dar el acabado deseado al casquillo metálico. Como primer paso se tiene una sección de desengrase, donde se le quita al casquillo la suciedad y grasa que trae de los procesos de maquinados, la siguiente etapa es un activado ácido, con el que se termina de preparar o limpiar al casquillo, la siguiente etapa de esta línea de zincado son las tinas electroquímicas, en esta sección hay varias tinas y en cualquiera de ellas según el programa de la grúa se introduce al barril y se da el electrodeposito del zinc sobre el casquillo metálico, el casquillo actúa como el electrodo negativo mientras las bolas de zinc contenidas en una canastilla hacen la función de electrodo positivo, el siguiente punto es el de proveer una protección al casquillo zincado, esto se provee al hacer la inmersión del barril conteniendo los casquillos zincados en una tina o tanque de cromatos , los cromatos pueden producir una apariencia amarillisa, lo que se desea es obtener un producto con apariencia de plateado, entonces se hace pasar el barril a una etapa de blanqueado de cromatos , a continuación es necesario colocar una película plástica, que le confiere al casquillo cualidades o resistencia durante el manejo de materiales, como fase final se tienen varias tinas donde se hace el secado del casquillo mediante aire caliente.





De esta línea de zincado se obtienen aguas residuales con metales disueltos como cromo y zinc, cuyas concentraciones y presencia en ciertas cantidades puede ser dañino para la salud, el subsuelo y el medio ambiente, se consideran peligrosos como para descargarlos directamente al sistema de drenaje y alcantarillado, por lo cual el efluente se conduce a 4 fosas de retención para su posterior tratamiento .

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1-DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

1.1.- PROPÓSITO

En este trabajo se hace un esfuerzo por contribuir al cuidado del medio ambiente realizando una depuración al agua residual proveniente de una línea de zincado, efectuando la remoción de cromo y zinc del agua residual que se obtiene como desecho, para dar cumplimiento a la norma oficial vigente NOM-002-ECOL-1996 referente al límite máximo de sustancias tóxicas que se pueden derramar al sistema de drenaje y alcantarillado.

Esta remoción se logra con la aplicación de técnicas fisicoquímicas y de laboratorio para la depuración del agua residual, así como las modificaciones que se han implementado para hacer frente al efluente actual de aguas generadas en dicha planta de tratamiento.

Todo el esfuerzo está enfocado a obtener un tipo de agua que contenga características físicas y químicas aceptables, tales que cumplan con los requerimientos de las leyes oficiales, que a simple vista cause una buena impresión de que se tiene un tipo de agua que ha recibido un tratamiento químico que le confiere claridad, sin turbidez, y buena calidad como para poder verse al sistema de drenaje y alcantarillado.

Con la calidad de agua obtenida se evitará derramar concentraciones altas de sustancias tóxicas al sistema de drenaje y alcantarillado, realizando así un gran esfuerzo por no contaminar el subsuelo, y por ende, el medio ambiente y los seres humanos que pudieran tener contacto con el agua sin tratar.

1.2.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

En este proceso se le da tratamiento al agua residual del efluente provenientes de la línea de zincado.

Este efluente está compuesto por un enjuague alcalino, un enjuague ácido, un concentrado alcalino y un concentrado ácido.

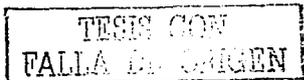
El efluente de cada descarga es conducido y contenido en una fosa de retención, los efluentes de los concentrados ácido y alcalino se envían a las fosas de retención 2 y 1 respectivamente; el concentrado ácido posee propiedades ácidas debido a que se encuentran presentes cromatos (cuya finalidad es formar una capa protectora en la superficie del casquillo zincado para que no se oxide), ácido nítrico y ácido sulfúrico, el concentrado alcalino cumple características alcalinas debido a que proviene de las celdas del proceso de electrodeposición de zinc para dar el zincado al casquillo metálico (en estas celdas se trabaja con un pH superior a 9) y de las celdas de desengrase (donde se tienen detergentes alcalinos).

El efluente del enjuague ácido se envía a la fosa de retención número 4, el efluente del enjuague alcalino se envía a la fosa número 3, la fosa 4 por el contrario sus propiedades son ácidas por la razón de que aloja los enjuagues provenientes de los cromatos y del activado ácido.

Para evitar que haya un derrame de las fosas por un caudal excesivo, parte de los concentrados ácido y alcalino se bombean a los tanques T2 y T1 respectivamente.

El tratamiento realmente comienza en el tanque T8A, en este tanque se realiza la adición de los efluentes ácidos (compuestos por el enjuague y el concentrado) y en él se lleva a cabo la reacción de óxido-reducción para reducir el cromo (VI) que se tiene en solución, a cromo (III). -Para que ocurra la reacción debe estar presente otra sustancia química que interactúe con el cromo, esto ocurre al adicionar metabisulfito de sodio. La reacción se debe efectuar manteniendo el potencial de óxido-reducción en 250 milivolts y en esta etapa del proceso se debe operar con un valor de pH máximo de 2.5.

Como segundo paso del proceso se tiene *la etapa de precipitación*, en esta etapa del proceso se van a precipitar al cromo y al zinc por formación de sus hidróxidos correspondientes. En un principio esta etapa del proceso se efectuaba en el tanque T8B y de ahí el efluente se enviaba al tanque T8C para la estabilización de la reacción y la contención del efluente tratado, al analizar el proceso se vio que todavía se presentaban sólidos disueltos que no eran satisfactorios, se tenía alrededor de 12 ppm de sólidos en solución, que no cumple con la norma NOM-002-ECOL-1996, el promedio mensual debe ser de 5 ppm *(en algunas secciones de este reporte se hace referencia a la norma NOM-003/1993 porque en el tiempo que se inició la operación de la planta esa era la norma ambiental mexicana en vigencia, para consultar referirse al capítulo de documentos aplicables o anexo)*, consultando la bibliografía, ésta mostró que el zinc y el cromo precipitan a diferente rango de pH, lo que se estaba haciendo era precipitar a los dos metales en un mismo rango de pH, para corregir esta anomalía se colocó un tanque adicional; en este nuevo tanque precipita por separado al zinc aprovechando la presencia de un agente precipitador de metales (ENTHODISPOSAL #3 ESPECIAL), el cual va a establecer una reacción química con el catión Zn^{2+} , favoreciendo la

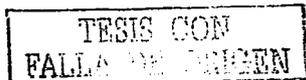


precipitación del mismo, se adiciona en una concentración de 5% en volúmen. El siguiente paso de este tratamiento consiste en bombear el efluente del tanque T8C y del tanque adicional de precipitación, al tanque polifloculador, para que en esta sección se adicione un polielectrolito que ayude a formar agregados de partículas de mayor volúmen. Estas partículas son más grandes y pesadas, con lo cual se pueden precipitar más fácilmente, del tanque polifloculador el efluente es conducido al tanque sedimentador para separar por gravedad las partículas contenidas en solución. El agua clarificada resultante de la sedimentación todavía contiene algunas partículas suspendidas que no son deseables, para eliminarlas, el efluente se bombea hacia un sistema de dos filtros de arena, y, el caudal resultante se conduce a un tanque de neutralización. En este tanque se adiciona una cantidad de ácido (si es necesario) con el fin de proporcionar al agua un pH 6-9 y poder verterlo al sistema de drenaje y alcantarillado, o dependiendo del proceso, poder canalizarlo a otra parte del mismo. Los sólidos resultantes de la sedimentación se bombean hacia un tanque espesador de lodos y de este tanque son conducidos a un filtro prensa para eliminar de ellos el agua que han arrastrado. Después de un cierto tiempo estos lodos tienen un mínimo de agua (por un análisis de humedad se determinó que todavía contienen alrededor del 75 % de agua), y, se dispone de ellos colocándolos en un recipiente con bolsa bien cerrada, debido a que estos residuos resultantes son tóxicos para el ser humano, *la empresa no realiza el tratamiento de estos lodos pero tiene contratado un servicio externo que se encarga de llevarlos y colocarlos en confinamiento*. La operación satisfactoria del sistema de tratamiento químico del agua residual va a estar regida por la dosificación adecuada de los reactivos químicos y sus concentraciones, además del mantenimiento cuidadoso de los sensores de pH y ORP (mV). Los reactivos utilizados y su dosificación deben ser adecuados al tipo de contaminantes y a la cantidad de influente que ingresa a los tanques de tratamiento, todo esto se logra con la experiencia obtenida en la operación de la planta, que esta diseñada para tratar el influente continuo de los enjuagues y una adición lenta de los concentrados ácidos y alcalinos respectivamente).

La planta de tratamiento se recibió en noviembre de 1995, y en ese momento era un proyecto ambicioso, que permitiera darle un cuidado al medio ambiente y al mismo tiempo cumplir con las demandas del gobierno local sobre la regulación de contaminantes en el medio ambiente.

En esos momentos, las lecturas de los parámetros contemplados en la normatividad oficial mexicana a través de la norma NOM-031-1993, estaban demasiado elevadas, con lo cual, en la operación de esta planta de tratamiento se tenían condiciones de funcionamiento que no eran las adecuadas.

Como información comparativa se tiene una tabla de referencia para los parámetros que afectan el proceso de tratamiento del agua residual (tabla 1-1)



Cuadro comparativo de los resultados obtenidos durante los muestreos anuales, realizados por los laboratorios externos, para la etapa inicial de operación en la planta de tratamiento químico.

TABLA 1-1

PARÁMETRO	UNIDADES	AGOSTO/94	MAYO/95	JUNIO/95	ABRIL/96	MAYO/97	NOV/97	LIM MAX P
Temperatura	°C	*	28.7	27.5	26	25.1	22.8	40 inst.
PH	unidades	*	5.8	6.6	8	8.03	7.52	6 a 9
Sólidos Sedim.	mg/l	*	62	0.2	0.10	0.10	5586.7	5
Grasas y aceites	mg/l	2740	16	7	24	36	0.1	60-100
Conductividad	micromhos	9320	6557.2	9351	9570	4290	15.1	5000
Aluminio	mg/l	*	1.12	1.15	0.17	0.239	<0.2	10
Arsenico	mg/l	*	0.05	0.052	n.d.	0.004	<0.005	0.5
Cadmio	mg/l	*	0.01	0.03	n.d.	0.042	<0.008	0.5
Cianuro	mg/l	*	1.95	n.d.	0.004	0.001	<0.005	1
Cobre	mg/l	*	0.06	0.2	0.07	0.088	<0.010	5
Cromo(VI)	mg/l	*	35.37	34.37	n.d.	0.001	<0.05	0.5
Cromo total	mg/l	6.482	103.8	104.1	8.3	12.46	2.25	2.5
Fluoruros	mg/l	*	148	169	0.3	35.218	2.21	3
Mercurio	mg/l	*	n.d.	n.d.	n.d.	0.0028	<0.004	0.01
Níquel	mg/l	*	0.14	0.14	0.13	0.18	0.047	4
Plata	mg/l	*	n.d.	n.d.	n.d.	0.029	<0.01	1
Plomo	mg/l	*	n.d.	n.d.	n.d.	0.099	0.1	1
Zinc	mg/l	61.206	96.4	96.4	17.7	28.67	7.26	6
Fenoles	mg/l	*	n.d.	n.d.	n.d.	0.004	<0.5	5
S.A.A.M.	mg/l	68.94	10.26	10.26	23.2	22.378	9.301	5
D.B.O.	mg/l	*	198	198	5.2	293	470.7	*
D.Q.O.	mg/l	*	445	445	81.7	507	250	*
Sólidos Dis. Totales	mg/l	*	*	*	*	3878	51	*
Sólidos Susp. Totales	mg/l	*	*	*	*	150	4842	*
Sólidos Tot.	Mg/l	*	*	*	*	4028	4893	*

la norma aplicada para este caso es : NOM-031-ECOL/1993 (ver página 66)
n.d. : no detectado

Lo que se ha descrito y con la información de la Tabla 1-1 respecto a los elementos químicos que se requieren eliminar, podemos resumir en la siguiente Tabla :

Tabla 1-2

PARÁMETRO A CONTROLAR	CONDICIONES INICIALES	CONDICIONES QUE SE REQUIEREN
Cromo(VI)	35.37 mg/l	.75 mg/l
Zinc(II)	17.7 mg/l	9 mg/l

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2 -MARCO TEÓRICO

NATURALEZA DEL AGUA

2.1.0-LA MOLÉCULA DEL AGUA

Mucho se ha dicho de la importancia del agua para todas las actividades de la vida diaria y como responsable de la vida en el planeta tierra así como el desarrollo de innumerables procesos industriales.

Por todo esto se sabe que las tres cuartas partes de este globo terráqueo que nos abriga, protege, y da vida están cubiertas del vital líquido incoloro y sin sabor alguno llamado agua. Se puede decir simplemente que este dato es impresionante, pero la tecnología de hoy en día nos brinda la oportunidad de decir que es poco frente a las espectaculares fotografías del espacio exterior que nos proporcionan los satélites artificiales porque con ellas podemos maravillarnos de este hermoso planeta azul bañado con agua y parcialmente cubierto de vapor de agua.

La vida comenzó en el agua, los primeros seres unicelulares pudieron evolucionar y hacerse más complejos para tener la capacidad de abandonar el mar y asentarse en la tierra, tomando el agua como componente principal de sus cuerpos.

Como el agua significa vida, el estudio del agua debe basarse en la estructura de su molécula H_2O , que además de su composición y peso molecular, revelan propiedades extraordinarias que resultan de su arreglo molecular.

Los dos átomos de hidrógeno que forman a la molécula tienen una disposición espacial de 105 grados entre sí y son adyacentes al átomo de oxígeno de manera tal que la molécula se hace asimétrica y coloca sus cargas positivas del lado de los hidrógenos y las negativas del lado del oxígeno.

Esta disposición de la molécula le confiere capacidad dipolar para formar unión de moléculas a través de puentes de hidrógeno, esto porque el hidrógeno de una molécula atrae al oxígeno de la molécula vecina.

Una de las consecuencias de los puentes de hidrógeno es que las moléculas de agua no pueden abandonar la superficie de un cuerpo tan fácilmente como lo harían de no existir esta atracción molecular, la energía requerida para romper el enlace con el enlace con el hidrógeno y liberar una molécula de agua para formar vapor es mucho mayor que la requerida para otros compuestos químicos comunes. A causa de esto el vapor de agua tiene un alto contenido energético y es un medio efectivo para transferir energía durante los procesos químicos de una industria, en la construcción y en los hogares.

Además el agua libera más calor durante la congelación que otros compuestos. Por cada cambio en el aumento de la temperatura el agua absorbe o libera más calor que otras sustancias (capacidad calorífica), de forma que resulta un medio efectivo de transferencia de calor.

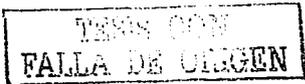
La congelación del agua es bastante distinta a la de otros líquidos. Los puentes de hidrógeno producen un arreglo cristalino que hace que el hielo se expanda más allá de su volumen original, de forma que su densidad es menor que la del líquido, y el hielo flota. Si esto no fuese el caso, los lagos se congelarían empezando por el fondo, y la vida en la forma que la conocemos no existiría.

2.1.1-La tensión superficial elevada

El agua tiene propiedades físicas muy distintas a las de otros líquidos. Su tensión superficial elevada se demuestra fácilmente mediante el experimento de "hacer flotar una aguja sobre la superficie del agua".

Esta elevada tensión superficial debida a los puentes de hidrógeno, hace que el agua se eleve en un tubo capilar. Esta capilaridad es parcialmente responsable del sistema de circulación desarrollado por las plantas.

Al agua se le llama el disolvente universal. Las moléculas de agua en contacto con un cristal se



orientan para neutralizar las fuerzas entre los iones en la estructura cristalina. Entonces, los iones libres se hidratan con estas moléculas de agua, evitando que se recombinen y recristalicen. Este efecto de dilución e hidratación se manifiesta en la constante dieléctrica cuantitativamente y relativamente tan elevada.

El agua se ioniza muy ligeramente produciendo únicamente 10^{-7} moles de hidrógeno y 10^{-7} moles de hidroxilo por litro y actúan como aislante ya que no puede conducir la corriente eléctrica. Al disolver sales u otros materiales ionizantes se desarrolla la conductividad eléctrica, la conductividad de las aguas naturales proporciona una medida de su contenido en minerales disueltos.

La presión osmótica es otro fenómeno importante que se relaciona con las disoluciones acuosas. Si dos soluciones acuosas están separadas por una membrana, el agua pasará de la más diluida a la más concentrada.

Este importante proceso controla la actuación de todas las células vivas; explica también la efectividad de la preservación de los alimentos mediante su salado; la sal crea una solución concentrada; separando las células de los organismos que pueden provocar la descomposición de los alimentos. Cuando el agua dentro de los cuerpos los abandona tratando de diluir la disolución salina externa.

La viscosidad es una propiedad final del agua que afecta su tratamiento y su empleo. Es una medida de la fricción interna, o sea, la fricción que resulta de una capa de moléculas sobre de otra. Al aumentar la temperatura del agua, esta fricción interna disminuye. Debido a este efecto de la temperatura, las sales y gases disueltos pueden difundirse más rápidamente en el agua tibia; el tratamiento químico se acelera y los procesos físicos de sedimentación y desgasificación se efectúan con mayor rapidez.

2.1.2-Electrolitos

Como el agua se ha denominado el disolvente universal, cuando disuelve a un mineral, se producen nuevos materiales a partir de los átomos liberados por el material. Estas partículas tan pequeñas se llaman iones.

La ruptura de un compuesto mediante su disolución en agua forma iones cargados positivamente, y aniones, cargados negativamente. Por lo general un aumento en la temperatura del agua conduce a un aumento de la solubilidad de la mayor parte de las sales.

Excepciones importantes y notables son CaCO_3 , CaSO_4 , MgCO_3 , y $\text{Mg}(\text{OH})_2$, todas las cuales se vuelven menos solubles al aumentar la temperatura.

Para demostrar esto, se coloca un foco eléctrico a un circuito eléctrico que tiene dos polos separados sumergidos en un vaso con agua. Se agrega sal al agua aumentando la cantidad lentamente y poco a poco la luz se va intensificando, siendo la intensidad proporcional a la cantidad de sal agregada. En agua pura, el circuito está abierto; la corriente comienza a fluir hasta que los iones sodio y cloruro están presentes para transportar electrones a través de la solución. Si se agregaran cristales de azúcar al agua en vez de sal, nada ocurriría, la sal es un electrolito y el azúcar no.

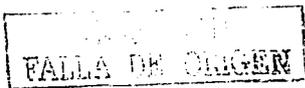
2.1.3-Iones y la corriente eléctrica.

Cuando el cloruro de sodio se disuelve en el agua para formar iones sodio y cloruro, el sodio pierde el único electrón en su órbita externa sedendiéndose al ión cloruro. El sodio habiendo perdido una carga negativa, se carga positivamente en una unidad. Si se sumergen dos electrodos en la solución de cloruro de sodio y se aplica una corriente continua, el sodio se moverá hacia el electrodo cargado negativamente (llamado cátodo) y el ión cloruro se moverá hacia el electrodo cargado positivamente (llamado ánodo). Debido a este movimiento, el ion sodio recibe también el nombre de catión y el ión cloruro negativo el de anión.

Los elementos en las columnas IA y IB de la tabla periódica se vuelven cationes con una carga de +1 cuando se disuelven en agua. En forma similar los elementos de las columnas 2A y 2B se vuelven cationes con una carga de +2.

En el lado opuesto de tabla periódica los elementos en la columna 6A se vuelven aniones con una carga de -2 y aquellos en la columna 7A se vuelven aniones con una carga de -1. Estas cargas reciben el nombre de valencias de los iones.

Los iones que están formados por diferentes átomos reciben el nombre de radicales, siendo los



más comunes en la química del agua el NH_4^{+1} , un catión ; y nitrato , NO_3^{-1} , sulfato , SO_4^{-2} , y fosfato , PO_4^{-3} , los cuales son aniones.

El sodio y el potasio son tan reactivos con el agua que liberan hidrógeno:



El magnesio no reacciona con agua fría, pero reacciona con ácido, que es una solución del ión hidrógeno:



serie electromotriz.

Entonces los cationes pueden clasificarse de acuerdo con su reactividad, en un orden que se conoce como serie electromotriz. Los metales más reactivos desplazarán al hidrógeno al igual que a los que se encuentran por debajo de ellos en la serie electromotriz. Ejemplo, si una tira de hierro se coloca en una solución de sulfato de cobre, el cobre la cubrirá mientras que el hierro pasa a la solución:



Al comparar las reacciones 1 y 2 se observa que se produce una molécula de hidrógeno por cada dos átomos de sodio, pero solo un átomo de magnesio, puesto que el sodio tiene una carga de $(+1)$, mientras que el ión magnesio tiene una carga de $(+2)$. Esto proporciona la base para el concepto de peso equivalente. El peso equivalente de un catión es el que desplazará a 1.0 gramos de hidrógeno de una solución acuosa. En la mayor parte de las soluciones el peso equivalente es el peso molecular de una sustancia dividido entre su valencia.

2.1.4-Sistemas coloidales

Algunos tipos de materia pueden dispersarse en agua aún cuando no sean realmente solubles. Esta dispersión se realiza mediante la ruptura del material en pedazos extremadamente pequeños, en el límite superior del rango de tamaño para los iones y moléculas. Las partículas de este tamaño se llaman coloides.

La superficie de casi toda la materia (vidrio, acero, plástico, etc.) tiene un residuo de cargas eléctricas. Esto lleva a la creación de un voltaje superficial elevado, como se demuestra en pequeña escala mediante la descarga de una pequeña chispa de electricidad estática en un día frío y seco, y a gran escala por los rayos.

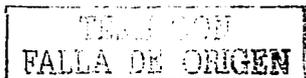
Cuando la materia se reduce de tamaño la relación entre la carga superficial y la masa aumenta exponencialmente. Supóngase que se tiene un cubo de arena que mide 1.0 milímetros de lado y se reduce al tamaño coloidal de 100 micras (micrón = 10^{-5} milímetros); esto producirá 10^{12} partículas coloidales con un área superficial 10 000 veces más grande que la del grano original con una carga superficial correspondientemente mayor.

Es esta carga superficial elevada, que es negativa para la sílice (arena), la que hace que las partículas coloidales se repelan entre sí, manteniendo de esta forma la estabilidad de la dispersión.

2.1.5-Oxidación y reducción

Gran número de elementos tienen más de una valencia. Esto pasa con el hierro, cuyo óxido es bastante soluble en agua cuando su valencia es $+2$ y casi insoluble cuando su valencia es $+3$. Si la valencia de un material se vuelve más positiva o menos negativa, se dice que se ha OXIDADO. La reducción ocurre cuando la valencia se vuelve más negativa o menos positiva; por ejemplo, en el cambio de hierro $+3$ a hierro $+2$, se dice que el hierro se ha reducido. Otro ejemplo de esto, es el radical cromato, CrO_4^{-2} , en donde el cromo tiene una valencia $+6$; cuando se reduce, el cromo cambia a la valencia de $+3$.

Con este ejemplo, un inhibidor efectivo de la corrosión, el cromato, se vuelve un catión metálico pesado sin propiedades útiles, y precipita como CrO_3 , para producir materia en suspensión.



Ciertas sustancias químicas para el tratamiento químico del agua, como el cloro, son agentes fuertemente oxidantes.

En su estado elemental, tiene valencia cero.

Si el cloro ataca al carbono en su estado elemental, el carbono cambia de valencia cero a +4 y forma CO_2 gaseoso, y el cloro se reduce del estado de valencia cero hasta el anión cloruro, Cl^- . En las reacciones de este tipo, un material se oxida y otro se reduce, con un cambio neto de cero en el balance eléctrico del sistema, puesto que hay el mismo número de cargas positivas que negativas.

2.1.6-Minerales y conductancia

Un punto importante en la química del agua es la conductividad eléctrica.

Cuanto mayor es el contenido de minerales en el agua, mayor será su conductividad. Esto tiene varias consecuencias importantes. Primero; cuanto mayor es la conductividad, más libremente podrá fluir la corriente eléctrica a través del agua y más rápida es la corrosión si las demás condiciones la favorecen. Segundo; cuanto mayor es la conductividad, menos ionizados estarán los minerales disueltos en el agua, pero los iones estarán empaquetados en forma más estrecha y chocan con mayor frecuencia. Esto disminuye el coeficiente de actividad, o libertad, aumentando la solubilidad de CaCO_3 otros materiales ligeramente solubles. Como resultado, el CaCO_3 es más soluble en el agua de mar que en el agua dulce bajo las mismas condiciones de pH, alcalinidad y temperatura.

2.1.7-Acidez y alcalinidad

El dominio típico de casi todas las aguas está caracterizado por un rango de pH de 6-8, la presencia de alcalinidad de bicarbonato y parte del CO_2 disuelto en el agua. Todas las aguas tienden a alcanzar este equilibrio; es el resultado final de las reacciones químicas que causan el desgaste de las rocas y de las reacciones de oxidación-reducción que son producidas por los organismos acuáticos. A causa de esto, las excepcionalmente pocas corrientes que contienen acidez mineral libre suelen disipar esta condición acelerando la descomposición de los componentes alcalinos de las rocas con las cuales se ponen en contacto. De esta forma cuando el pH excede 8 y la alcalinidad carbonato empieza a aparecer, ésta vuelve al equilibrio mediante la reacción con dióxido de carbono de la atmósfera o mediante la respiración de la vida acuática.

La descarga sin control de los desechos industriales puede hacer desaparecer este efecto natural de tamponeo(buffering) del equilibrio entre el entorno acuático, la atmósfera y la litósfera.

Puesto que actualmente la ley prohíbe estas descargas, los únicos casos que pueden hacer que las aguas se salgan de sus condiciones naturales son los derramamientos accidentales de grandes volúmenes de materias químicas concentradas, la filtración del desague ácido de las minas en una corriente, o la lluvia ácida causada por la contaminación ambiental. Las filtraciones de las minas pueden no ser controlables debido a la incapacidad de localizar la fuente o el punto de entradas hacia la corriente.

2.1.8-Materia sólida

La materia sólida aparece en la mayor parte de las aguas en forma de sólidos suspendidos y materia coloidal, la concentración de los sólidos en suspensión se determina mediante filtrado, secando y pesando los sólidos recogidos en la membrana de filtración. Aquellos sólidos en suspensión que son grandes y pesados se llaman sólidos sedimentables, y pueden determinarse volumétricamente en un cono de sedimentación con una prueba de control sencilla y también, pueden pesarse y secarse, los sólidos que quedan en el agua sobrenadante arriba de la materia sedimentada son muy finos y producen turbidez.

La turbidez en el agua se mide mediante el efecto de las partículas finas en suspensión sobre un haz de luz.

En algunos casos la materia coloidal en el agua es benéfica, y en otros casos es peligrosa, los coloides benéficos son aquellos que proporcionan un efecto dispersante al actuar como coloides de protección, en una suspensión de arcilla o cieno en el agua, las partículas más pequeñas suelen tener una carga negativa. Si estas cargas negativas se neutralizan, las partículas se coagulan sin embargo si se introducen partículas negativas adicionales en el sistema en forma doliberada, puede evitarse la sedimentación.

TESU COP
FALLA DE ORIGEN

Probablemente el silicato de sodio funciona de esta manera, también lo hacen otras materias orgánicas en el agua , como las ligninas y los taninos que aparecen en las fuentes de agua muy coloridas . La sílice puede resultar muy problemática, y formar un depósito muy duro cuando se deposita sobre las superficies transmisoras del calor por ello se utilizan adsorbentes para la eliminación de estas materias coloidales en el agua cuando exceden los límites máximos de concentración. Muchos de los metales pesados están presentes en forma coloidal y se eliminan del agua mediante coagulación, filtración, adsorción o una combinación de estos.

2.2.0-PROCESOS DE COAGULACIÓN

Las impurezas del agua varían en tamaño y aproximadamente en 6 ordenes de magnitud, desde unos pocos angstroms para sustancias solubles hasta unos cientos de micrones para materia en suspensión. La eliminación de una gran porción de estas impurezas se lleva a cabo por sedimentación, en el tratamiento del agua y agua residual.

Sin embargo debido a que muchas impurezas son demasiado pequeñas para obtener un proceso de eliminación eficiente por sedimentación basado solo en la gravedad, es preciso llevar a cabo la agregación de estas partículas en agregados de mayor tamaño y más fácilmente decantables con el fin de obtener una separación satisfactoria por sedimentación. Este proceso de agregación se llama *coagulación*.

Unos pocos ejemplos sirven para ilustrar la necesidad de una coagulación efectiva en el tratamiento del agua y agua residual. La coagulación se emplea corrientemente para eliminar la turbidez y el color, en la purificación del agua.

Los coagulantes como materiales químicos son polímeros orgánicos sintéticos de elevado peso molecular.

La aplicación de estos nuevos conceptos y materiales constituye una mayor contribución a la tecnología del tratamiento del agua y agua residual.

La agregación de partículas coloidales podemos considerar que implica dos etapas separadas y distintas : (1) transporte de partículas para llevar a cabo un contacto intercospartular y (2) desestabilización de las partículas para permitir la fijación cuando se produce el contacto. Las teorías del transporte de partículas están basadas en la química coloidal y superficial. El diseño de estructuras y equipos de floculación para un proceso de coagulación viene influenciado por una consideración de los contactos entre las partículas , la selección del tipo de coagulante y su dosificación están basados en la desestabilización de la partícula .El diseño de los procesos globales de coagulación debe tener en cuenta estas dos etapas.

2.2.1-Coagulación y floculación

Coagulación y floculación son dos términos químicos que involucran desestabilización de partículas.

Coagulación se refiere a la desestabilización producida por compresión de las dobles capas eléctricas que rodean a las partículas coloidales, además de la adsorción de polímeros orgánicos y formación posterior de puentes partícula-polímero-partícula en los que se toma también en cuenta el transporte de partículas.

Floculación involucra un estado de agregación de partículas en el que solo se describe el transporte de partículas.

Los procesos de coagulación y de floculación se emplean para extraer del agua los sólidos que en ella se encuentran suspendidos siempre que su rapidez natural de asentamiento sea demasiado baja para proporcionar clarificación efectiva.

El agua cruda turbia contiene material suspendido, tanto sólidos que pueden asentarse como partículas lo bastante grandes que se asientan en reposo, o sólidos dispersados que no se asentarán con facilidad. Una parte considerable de estos sólidos que no se asientan pueden ser coloides. Cada partícula se encuentra estabilizada por cargas eléctricas negativas sobre su superficie, haciendo que repelan las partículas vecinas, como se repelen mutuamente dos polos magnéticos. Esto impide el choque de las partículas y la formación de masas mayores llamadas floculos, por lo tanto las partículas no se asientan. La coagulación desestabiliza estos coloides al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, esto se logra añadiendo coagulantes químicos y aplicando energía de mezclada. Las sustancias químicas de uso común son las sales de aluminio, las sales de hierro y los polielectrolitos. Estas sustancias químicas cancelan las cargas eléctricas sobre la superficie del coluido, permitiendo que las partículas se aglomeren formando floculos. Estos floculos inicialmente pequeños, crean aglomerados de mayor tamaño que son capaces de asentarse. El floculo formado por la aglomeración de varios coloides pudiera no ser lo bastante grande para asentarse con la rapidez deseada. Un floculante reúne partículas floculadas en una red, formando puentes de una superficie a otra



y enlazando las partículas individuales en aglomerados. El alumbre, las sales de hierro y los polímeros de peso molecular alto son floculantes comunes.

La floculación se estimula por un mezclado lento que junta poco a poco los flocúlos, un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos. La floculación no solo incrementa el tamaño de las partículas del flocúlo, sino que también afecta su naturaleza física.

El proceso de desestabilización es la coagulación (neutralización de la carga), la etapa de formación de flocúlos es la floculación.

2.2.2-Potenciales de atracción y repulsión.

Desde hace mucho tiempo de ha observado que las partículas coloidales sólidas de una dispersión acuosa se mueven al aplicar un campo eléctrico, las partículas coloidales (ej. arcillas, óxidos metálicos hidratados, bacterias, fibras de pulpa, proteínas) pueden desarrollar una carga eléctrica por varios caminos. El signo de esta carga primaria puede ser negativo o positivo, aunque la mayor parte de los coloides de las aguas, y aguas residuales desarrollan una carga negativa primaria (negativa). El signo y magnitud de esta carga negativa primaria es frecuentemente afectada por el pH y el contenido iónico de la fase acuosa.

Una dispersión coloidal (fase sólida y fase acuosa juntas) no tiene una carga eléctrica neta, por lo tanto la carga primaria de las partículas debe equilibrarse en la solución acuosa.

Como resultado, existe una doble capa eléctrica en cada interfase entre un sólido y el agua.

Esta doble capa consiste en la partícula cargada y un exceso equivalente de iones de carga opuesta (contraiones) que se acumulan en el agua cerca de la superficie de la partícula.

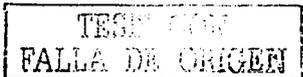
Estos iones son atraídos electrostáticamente hacia esta región interfase, esta atracción da lugar a un gradiente de concentración, de tal modo que la agitación térmica al azar pueda ocasionar que se difundan desde la superficie de la partícula hacia la masa principal de la solución en donde su concentración es menor. Estos dos procesos competitivos (difusión y atracción electrostática) extienden la carga en el agua sobre una capa difusiva, dentro de la cual la concentración en exceso de las concentraciones es mayor en la zona adyacente a la superficie de la partícula y disminuye gradualmente al alejarnos de la interfase sólido agua.

Cuando la masa principal de la solución contiene una concentración iónica intensa (fuerza iónica intensa), la capa difusiva es tan compacta que ocupa menor volumen y no se extiende tanto en la solución.

Debido a la existencia de la carga primaria, existe un potencial electrostático (voltaje) entre la superficie de la partícula y la masa principal de la solución. Podemos imaginar este potencial eléctrico como una presión eléctrica que debemos aplicar para llevar a cabo una unidad de carga del mismo signo que la carga primaria a una distancia dada desde la superficie de la partícula.

Ciertas fuerzas atractivas existen entre todos los tipos de partículas coloidales, por muy distintas que puedan ser sus naturalezas químicas. Estas fuerzas atractivas, llamadas *fuerzas de van der Waals*, son responsables para la agregación de muchos sistemas coloidales. Su magnitud depende de la clase de átomos que componen las partículas coloidales y la densidad de las partículas. Todo lo contrario de las fuerzas repulsivas, cuya magnitud es esencialmente independiente de la composición de la fase acuosa. Estas fuerzas atractivas entre dos partículas disminuyen al aumentar la distancia de separación entre las mismas.

La energía potencial atractiva V_a° , que resulta de estas fuerzas atractivas también disminuye con la separación. Los efectos de la carga sobre la estabilidad aparente de los coloides irreversibles puede determinarse por la suma de las energías repulsivas y atractivas de interacción.



2.2.3-Selección del tipo de coagulante.

La selección del tipo óptimo de coagulante, así como su dosificación, debe determinarse experimentalmente para cualquier tipo de agua o agua residual.

El diseño e interpretación de los experimentos de desestabilización requiere un poco de arte, pero las teorías de desestabilización pueden aprovecharse para sugerir parámetros que puedan influir sobre la eficacia de un coagulante. Por ejemplo la concentración coloidal, el pH, y la alcalinidad del agua o agua residual pueden controlar la eficacia de coagulantes tales como Al(III), Fe(III) y cal. Estos coagulantes pueden operar de dos formas distintas, una de ellas caracterizada por un tipo de estequiometría y posible dosificación, y una segunda en la cual la dosificación de coagulante disminuye al aumentar la turbidez y la sobredosificación no puede tener lugar.

Cuando se utilizan polímeros aniónicos para desestabilizar coloides aniónicos la teoría y la observación indican que los iones metálicos divalentes deben estar presentes (naturalmente o por adición) que debe proporcionarse un tamaño de polímero mínimo (peso molecular) con el fin de vencer la barrera energética entre las partículas coloidales, y que puede tener lugar la sobredosificación y aún sobreagitación.

El tratamiento de agua residual donde se da una desestabilización con polímeros aniónicos es más específica que cuando se utilizan sales metálicas. Las sales inorgánicas que pueden formarse con Al(III) y Fe(III) se adsorben en la mayor parte de interfaces, mientras que los polímeros aniónicos sintéticos se absorben en lugares de adsorción adecuados. Es un trabajo difícil y requiere mucho tiempo encontrar las condiciones específicas (pH, concentración de Ca^{2+} , peso molecular, fuerza iónica, grado de hidrólisis, etc.) bajo los cuales estos compuestos aniónicos pueden usarse como coagulantes para un agua residual determinada. Sin embargo, una vez determinadas estas condiciones, los polímeros aniónicos pueden ser coagulantes eficaces y económicos. Estos materiales se han usado con éxito para acondicionar (coagular) los fangos residuales antes de la filtración a vacío; su aplicación directa a la coagulación del agua y agua negra ha resultado menos satisfactoria.

Cuando los polímeros catiónicos se usan para desestabilizar coloides negativos, la desestabilización se lleva a cabo por neutralización de carga, por enlaces de puente o por una combinación de estos dos mecanismos. Ambos métodos indican una correlación estequiométrica entre la concentración coloidal y la dosificación de coagulante, y ambos predicen la reestabilización por sobredosificación. Estos polímeros catiónicos de bajo peso molecular pueden actuar como coagulantes efectivos para los coloides negativos presentes en el agua y agua residual, ya que no es necesario sobrepasar la barrera energética potencial cuando ocurre la neutralización de carga.

Los polímeros orgánicos sintéticos, catiónicos, aniónicos o no aniónicos, pueden resultar ineficaces para aguas de baja turbidez, es decir aguas con concentraciones bajas de partículas coloidales. Esto se debe probablemente a una baja velocidad de contactos entre partícula, en estos sistemas, aunque pueden estar involucrados otros fenómenos. Concentraciones excesivas de estos polímeros no producirán "un flocúlo de barrido". La adición de más materia coloidal o forma de ayuda de coagulantes (bentonita) puede incrementar la eficacia de estos polímeros; alternativamente Fe(III), Al(III) o cal pueden utilizarse junto con estos polímeros.

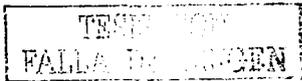
Cuando se utilizan polímeros orgánicos, la reestabilización debida a la sobredosificación puede ocurrir fácilmente; por tanto es necesario llevar a cabo "jar tests" variando la dosificación de polímero en un rango amplio, al menos de cuatro órdenes de magnitud.

2.2.4-Unidades de mezclado rápido

Los tanques de floculación se diseñan para proveer los contactos entre partículas, estos contactos se suelen llevar a cabo por medio de la floculación orgánica, es decir, las partículas coloidales colisionan mutuamente debido a los gradientes de velocidad que se producen dentro del fluido por medios hidráulicos o mecánicos. El diseño implica la selección de un gradiente de velocidad, una configuración de reactor y un tiempo de permanencia suficiente para producir agregados de tamaño adecuado que puedan eliminarse de la suspensión por medio de un tratamiento posterior.

La velocidad de la reacción global es de primer orden. Algunos tipos de instalaciones utilizan un número de tanques perfectamente agitados en serie, cada tanque está agitado con el fin de proveer movimiento al fluido para que ocurran los contactos entre partículas.

El diseño de unidades de mezclado rápido viene controlado por las reacciones que ocurren en la desestabilización de las partículas coloidales que deben agregarse. En la mayoría de los casos, los polímeros se forman en agua que se trata o se añaden directamente al proceso, siendo a continuación adsorbidos en la superficie de las partículas coloidales. Esta adsorción suele ser rápida e irreversible.



Después de la formación de los polímeros dentro del sistema o bien después de que son añadidos directamente, éstos se adsorben a continuación sobre las partículas que deben agregarse.

Es deseable un mezclado instantáneo, cuando se utilizan como coagulantes sales de Fe(III) o Al(III) debido a que (1) las velocidades de formación de polímeros son muy rápidas, (2) la producción de especies coagulantes uniformes requiere un pH uniforme y dosificación uniforme de coagulante al sistema, y (3) las velocidades de adsorción de estos pequeños polímeros también es rápida. Son innecesarios tiempos de permanencia largos, ya que estas reacciones se llevan a cabo en un segundo o menos.

Cuando las aguas naturales se tratan para uso doméstico, los coloides que deben eliminarse suelen ser muy resistentes a la ruptura y pueden soportar un periodo corto de agitación vigorosa. Esto no sucede en el tratamiento de agua residual y en el acondicionamiento de fango en estos últimos sistemas, las partículas generalmente son frágiles y de fácil ruptura. La agitación vigorosa, además de proveer una producción uniforme y adsorción de las especies del coagulante metálicas, puede también generar una considerable cantidad de área superficial coloidal. En estos casos, es preferible periodos de agitación más largos pero con agitación menos vigorosa y quizás con múltiples entradas en varios puntos de la unidad de mezclado rápido.

El mezclado instantáneo o agitación es menos esencial cuando se utilizan polímeros sintéticos de elevado peso molecular, ya que estos coagulantes no tienen que formarse dentro del sistema y sus velocidades de adsorción son más lentas debido a su mayor tamaño. Debe llevarse a cabo un mezclado uniforme de estos coagulantes en unos pocos segundos, procurando evitar una ruptura importante de las partículas coloidales.

2.3.0CROMO

2.3.1-El elemento

Descubierto por el químico VAUQUELIN EN 1797, le dio el nombre de Chome, que procede del griego Chroma, que significa color, en atención a que todos los colores conocidos de cromo, sólidos o en solución, son coloreados, circunstancia de un gran valor analítico.

Pertenece al grupo VI de la tabla periódica y tiene una estructura cortical externa 3p6, 3d5, 4s1.

Presenta los estados de oxidación más frecuentes (II), (III) y (VI), originando compuestos cromosos, crómicos y cromatos (dicromatos), respectivamente; además se conocen compuestos de cromo (VII) y cromo (IV).

El cromo considerado habitualmente como puro es de color blanco brillante, quebradizo y tan duro que raya al vidrio.

Pero el cromo purísimo obtenido en condiciones especiales, libre de impurezas, no es duro ni quebradizo, sino dúctil, por lo que la dureza y la fragilidad se consideran que son debidas a pequeñas impurezas de óxido, carburo o nitruro.

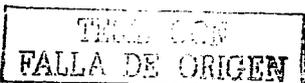
Es muy resistente a la acción de los agentes atmosféricos, lo que no deja de ser extraño dado el carácter fuertemente reductor de este metal, sin embargo este comportamiento puede explicarse por el fenómeno de pasivación que tiene lugar, formándose una capa de óxido extraordinariamente estable. Esta hipótesis la confirma el hecho de que el cromo de óxido verde, empleado en pinturas, es muy estable y resistente. La mayor parte de las aplicaciones del cromo radican en esta resistencia a los agentes físicos y químicos (aceros especiales, recipientes para productos químicos corrosivos etc.).

2.3.2-Propiedades redox

En la figura 2.1 se representa el diagrama E-pH para el sistema cromo en presencia de cloruros, se han elegido estas condiciones por ser demasiado frecuentes.

El sistema Cr(II) / Cr es bastante reductor, lo que condiciona que el metal se disuelva fácilmente en ácido clorhídrico, concentrado y diluido, con desprendimiento de hidrógeno. En ausencia de aire (atmósfera inerte) se obtiene Cr²⁺, y en presencia de aire, Cr³⁺, o mezcla de Cr²⁺ y Cr³⁺.

El ácido sulfúrico diluido ataca lentamente al cromo, con desprendimiento de hidrógeno y formación de Cr²⁺ o Cr³⁺, según exista o no oxígeno presente. El ácido sulfúrico concentrado y caliente disuelve fácilmente al cromo, originando Cr³⁺ y desprendiendo SO₂.



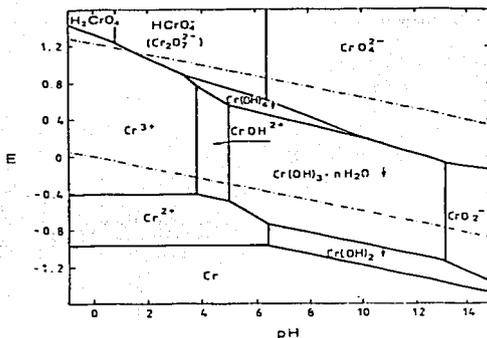
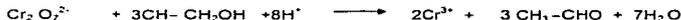


Fig. 2-1-Diagrama E-pH en presencia de Cloruros $\text{Cr}^{3+} 10^{-2} \text{ M}$

El ácido nítrico, diluido o concentrado, no ataca al cromo, al que pasiva, por formación de una capa de óxido, con lo que se hace insoluble en los ácidos, incluso en el sulfúrico concentrado y frío y en el agua regia. El efecto de pasivado hace que el metal no se ataque por el cloro seco, vapores nitrosos, dióxido de azufre, sulhídrico, álcalis cáusticos, etc. El ácido perclórico concentrado ataca y disuelve al cromo y a sus aleaciones originando Cr(VI) (dicromato).

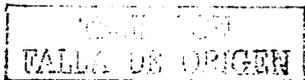
El Cr(II) , muy reductor en todo el margen de pH, es muy fácilmente oxidado a Cr(III) , incluso por el oxígeno disuelto o el ambiental, por lo que apenas tiene existencia en medio acuoso, a no ser que se consiga estabilizar esta valencia o inhibir.

El potencial del sistema $\text{Cr(VI)} / \text{Cr(III)}$ depende del pH del medio. En el diagrama se observa como en medio suficientemente ácido las sales de Cr(VI) dicromatos, son oxidantes energéticos que oxidan cuantitativamente (dicromatometrías) al Fe^{2+} , Sn^{2+} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, I^- , y $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, entre otros.



A medida que el pH aumenta el Cr(VI) se hace menos oxidante por lo que la utilización de dicromatos como oxidantes en medios alcalinos es muy restringida.

Será más fácil oxidar Cr(III) a Cr(VI) en medio alcalino que en medio ácido. En medio alcalino la reacción puede verificarse con peróxido de sodio (en frío; en caliente puede haber violentas proyecciones), peróxido de hidrógeno, perborato sódico, halógenos, hipohalogenitos, ferricianuro potásico o dióxido de plomo. Por vía seca, las sales crómicas se oxidan a cromato por fusión con carbonato sódico, o hidróxido sódico y un oxidante (KNO_3 , KClO_3 o Na_2O_2). Para verificar esta oxidación en medio ácido se necesitan oxidantes energéticos, cuyo potencial normal supere 1.30 V que suele alcanzar el sistema $\text{Cr(VI)} / \text{Cr(III)}$ en dicho medio. Se utilizan el permanganato potásico concentrado, el bismuto sódico, el peroxidisulfato potásico en presencia de nitrato de plata como catalizador, el peryodato potásico, el clorato potásico en medio nítrico concentrado o el ácido perclórico concentrado. A continuación se dan algunos ejemplos de estas reacciones:





Algunos compuestos de cromo se atacan por una mezcla de los ácidos sulfúrico y clorhídrico concentrados, en caliente, dando lugar al cloruro de cromilo, CrO_2Cl_2 , líquido de color amarillo rojizo, en el que el cromo tiene grado de oxidación (VI).

Los grados de oxidación Cr(IV) / Cr(V) que se forman no son estables como par redox.

2.4.0-Cr (III)

Origina las sales crómicas y sus compuestos, que junto con los cromatos (grado de oxidación VI) constituyen los compuestos de cromo más importantes desde el punto de vista analítico.

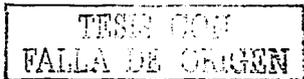
Las sales solubles en agua originan el catión Cr^{3+} , que lógicamente no se encuentra libre sino formando acuocomplejos simples, o mixtos con los aniones existentes en la disolución; la diversidad de estos complejos determina el color de las disoluciones de cromo, que presentan tonalidades verde, violeta y en ocasiones gris; así, las disoluciones que contienen las especies $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6\text{Cl}]^{2+}$ o $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_4\text{Cl}_2]^{+}$ son verdes, mientras que son violetas las que contienen $\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$. Con el tiempo, o por ebullición, puede cambiar el color al variar el complejo predominante en solución.

2.4.1-Comportamiento ácido-base

En la figura 2-2 se representa el diagrama ácido-base del Cr (III). En medios ácidos predomina la especie Cr^{3+} coexistiendo con las formas básicas CrOH^{2+} y $\text{Cr}(\text{OH})_2^+$. A valores de pH próximos a 5 precipita el óxido hidratado que se suele formular como $\text{Cr}(\text{OH})_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. El precipitado es bastante estable, si bien puede disolverse en medios alcalinos para dar cromitos, siendo el CrO_2^- , verde, la especie predominante, posiblemente también existan las formas $\text{Cr}(\text{OH})_5^{2-}$ y $\text{Cr}(\text{OH})_6^{3-}$. Los cromitos en general no son muy estables y precipitan el hidróxido por simple ebullición.

Todas las sales de cromo (III) son de color verde o violeta. Las solubles en el agua son: acetato, bromuro, cloruro, yoduro, nitrato, clorato y perchlorato. Son corrientes las sales dobles del tipo de los alumbres, de color violeta, y que responden a la fórmula general $\text{CrMe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (Me = metal alcalino). Los compuestos más insolubles son el Cr_2O_3 , negro, el $\text{Cr}(\text{OH})_3$, verde y el CrPO_4 , verde.

Posiblemente sea el Cr^{3+} , entre los cationes corrientes, el que mayor número de complejos presente. Además de los complejos acuos, citados antes forma complejos, algunos muy estables, con sulfatos, acetatos, amoniaco (de color malva), cianuros, aminas, piridina, compuestos orgánicos que contengan el grupo oxhidrilo, fluoruro, tiocianato, AEDT (violeta) y similares. Es importante señalar que muchos de estos complejos son extraordinariamente inertes.



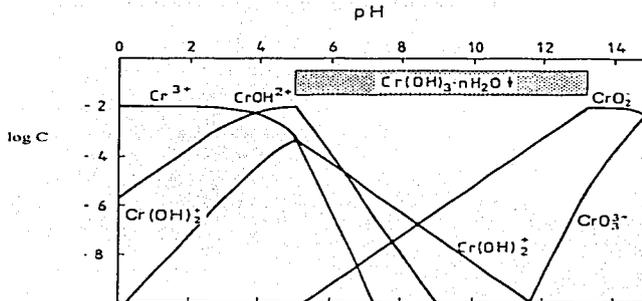


Fig. 2-2 - Diagrama log C - pH para Cr (III) 10^{-3} M.

2.4.2-Reactivos para identificación

Estos pueden ser hidróxidos alcalinos fuertes, amoníaco, carbonatos alcalinos y ácido sulfúrico.

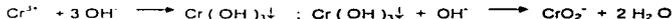
Reactivos especiales

Prácticamente todos los reactivos propuestos para la identificación del Cr (III) son, en realidad, reactivos del Cr (VI) (cromatos), lo que exige una oxidación previa del Cr (III) a cromato empleando alguno de los oxidantes consignados en propiedades redox. Sin embargo, con la introducción en análisis de los ácidos aminocarboxílicos y sus sales sódicas (complexonas), se han conseguido reactivos que forman reactivos coloreados con el Cr^{3+} , de sensibilidad suficiente para poder utilizarse como reactivos de identificación de dicho catión. El más utilizado para este fin es el AEDT.

Acción de los reactivos generales

Hidróxidos alcalinos fuertes

Precipitado gris verdoso, o violáceo, gelatinoso, de $Cr(OH)_3$, soluble en frío en exceso de reactivo, dando una solución viscosa que contiene el anión cromito CrO_2^- .



Si la disolución alcalina que contiene el cromito se diluye y se hierve, ocurre un proceso hidrolítico con reprecipitación cuantitativa del hidróxido.

Si a una suspensión de $Cr(OH)_3$ se añade hidróxido sódico y un peróxido (agua oxigenada ó PbO_2) se obtiene una solución amarilla de cromato (procedimiento utilizado para separar cromo en el grupo 3° A de la marcha analítica del sulfhídrico).



Cuando la solución de cromato se ha obtenido por oxidación con PbO_2 , al acidular con acético precipita cromato de plomo, amarillo:

2.5.0-Cr (VI)

En este estado de oxidación el cromo presenta una relación carga / radio tan elevada que no puede formar cationes en medio acuoso, sino aniones oxigenados como CrO_4^{2-} , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, etc. Anteriormente ya se indicó la presencia del ión cromilo, CrO_2^{2+} , poco estable.

2.5.1-Propiedades ácido-base

En la figura 2-3 se representa el diagrama ácido-base para las especies más importantes del Cr (VI). En medios alcalinos la especie predominante es el cromato, CrO_4^{2-} , amarillo, a valores de pH próximos a 6 el cromato acepta protones transformándose en HCrO_4^- y $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, de color rojo naranja.



El equilibrio entre las especies HCrO_4^- y $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ está condicionado por la concentración; a concentraciones elevadas predomina el dímero $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$; a bajas concentraciones predomina el HCrO_4^- .

En medios más ácidos se forma el ácido crómico H_2CrO_4 . Se conoce la existencia de los iones condensados $\text{Cr}_3\text{O}_{10}^{2-}$, rojo, y $\text{Cr}_4\text{O}_{13}^{2-}$, pardo.

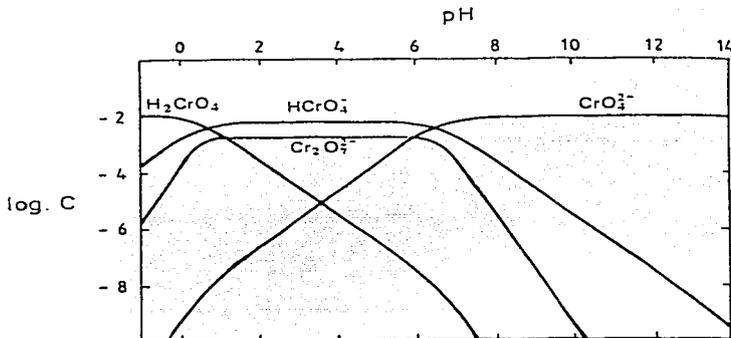


Fig. 2-3 - Diagrama $\log C \cdot \text{pH}$ para Cr (VI) 10^{-2} M.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

2.5.2-Compuestos

Los compuestos más importantes del cromo (VI) son los cromatos y los dicromatos metálicos, todos ellos son coloreados. Los cromatos más insolubles son PbCrO_4 , amarillo, Ag_2CrO_4 , rojo, Ti_2CrO_4 , amarillo, BaCrO_4 , amarillo, HgCrO_4 , amarillo, y los más solubles los de Hg_2^{2+} , Sr^{2+} , Cu^{2+} , y Fe^{2+} . Todos ellos son solubles en ácidos más o menos fuertes.

Los dicromatos son solubles, siendo las especies $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ el complejo más importante de cromo (VI); es rojizo en estado cristalino y se torna amarillo al pulverizarse. Es ampliamente utilizado en laboratorios y en ciertas industrias. Los compuestos del cromo (VI) son tóxicos, y esta toxicidad es mil veces superior a la del cromo (III). Sin embargo, el cromo metal carece de toxicidad (empleo en utensilios culinarios, cubiertos, etc.).

2.5.3-Reactivos especiales

El Cr (VI) posee unos reactivos de identificación más sensibles y selectivos que los conocidos para el cromo (III), por lo que, como ya se ha indicado, una buena forma de reconocer Cr (III) es oxidarle previamente a Cr (VI) y proceder luego a la identificación del cromato formado.

Entre los distintos procedimientos para proceder a esta oxidación, el más sencillo y cómodo de efectuar en los laboratorios, es la oxidación, en medio alcalino, con peróxido de hidrógeno.

2.6.0-ZINC

2.6.1-El elemento.

El zinc es un metal blanco azulado⁸, es duro y quebradizo⁹, pero no es un elemento abundante (aproximadamente 0.007% en masa en la corteza terrestre), su mineral principal es la esfalerita, ZnS también llamado blenda de zinc. Es un elemento esencial para la materia viviente, su presencia en el cuerpo humano es necesario para la actividad de varias enzimas como la anhídrida carbónica, que cataliza la hidratación/deshidratación del dióxido de carbono. Este metal se obtiene por tostación de sulfuro de zinc para formar un óxido:



Para después reducir el óxido con coque en un horno cilíndrico vertical:

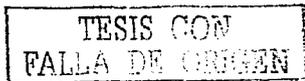


Siendo un elemento volátil se destila del horno y se colecta en un condensador. Este producto se llama peltre⁸ (o zinc comercial) contiene como impureza cadmio, plomo, hierro y arsénico. El peltre puede usarse sin ninguna purificación posterior para galvanizar el hierro. En este proceso, el hierro o el acero se cubren con una capa delgada de zinc, la combinación del zinc con el acero forma un par, que protege al acero de la acción corrosiva del ambiente, porque la película de zinc se oxidará primero dejando intacto al acero que sirvió de sustrato. *Los metales se pueden galvanizar por inmersión en caliente o electrolíticamente.* Cuando un objeto hecho de una aleación de hierro se calienta con polvo de zinc a una temperatura aproximada de 800 °C en un cilindro cerrado y giratorio, se forma en la superficie del objeto una aleación de zinc y hierro. Esta aleación superficial da la misma protección catódica que la de los productos galvanizados, pero, en este caso, el zinc está formando parte de la pieza original. Un objeto tratado con este procedimiento se llama *spheridizado*.

El zinc que se use para aleaciones se debe purificar por electrolisis. *El Zn²⁺ al igual que otros cationes es tóxico y debe manejarse adecuadamente*. Entre las aleaciones más comunes del zinc se tiene el bronce (Cu 70-95 %, Zn 25-1 %, Sn 1-18 %), el latón (Cu 60-82%, Zn 40-18%), la plata alemana (Cu 55-60 %, Zn 20%, Ni 25-20 %) y otras aleaciones de bajo punto de fusión que se usan en la fabricación de tipos de imprenta. El zinc se quema en el aire cuando se calienta a unos 500 °C. El polvo de zinc debe manejarse con cuidado porque se inflama espontáneamente en el aire húmedo, el producto de la combustión es el óxido de zinc

⁸ Química de la Materia James H. Pierce México DF 1981 páginas 748 y 749

⁹ Metalurgia y Química de los Metales Raymond Chang páginas 849,850 y 851





El cuál es un producto blanco puro, que se usa como pigmento y carga en pinturas, plásticos, hule blanco y linóleo. por sus propiedades medicinales se usa en ungüentos, por ser anfótero se disuelve en soluciones fuertemente ácidas o básicas..



En soluciones neutras o cerca de la neutralidad, el óxido de zinc precipita como floculación incolora.

El zinc forma complejos con la mayoría de los ligandos y, visualmente muestra un número de coordinación de cuatro, siendo en algunos casos de seis.

Se utiliza en la construcción de chapas para diversos usos y en la fabricación de pilas secas y como reductor en los laboratorios. El óxido, el carbonato y el sulfuro de zinc se utilizan como pigmentos blancos. El sulfuro y óxido de zinc tienen aplicaciones farmacológicas en la preparación de colirios y pomadas secantes. También el óxido se emplea en cosmética (cremas para la piel, polvos, etc.) El fosfato de zinc en la preparación de cementos dentales y el estearato en la fabricación del caucho.

El sulfuro de zinc es una sustancia blanca que se usa como pigmento en las pinturas, solo o como componente del litolón con una mezcla casi equimolar de BaSO₄ y ZnS, no se oscurece al contacto de los humos y vapores de la industria, también se usa en las pantallas de televisores debido a que emite luz cuando chocan con él rayos X o rayos de electrones.

2.6.2-Propiedades redox.

El zinc es un elemento muy reductor³. El potencial normal aparente del sistema Zn²⁺/Zn, en medio ácido es de -0.80 V, (ver figura 2-4) con este valor el zinc habría de disolverse en cualquier ácido, incluso en el acético, con desprendimiento de hidrógeno, sin embargo el zinc purísimo se ataca mal por los ácidos.

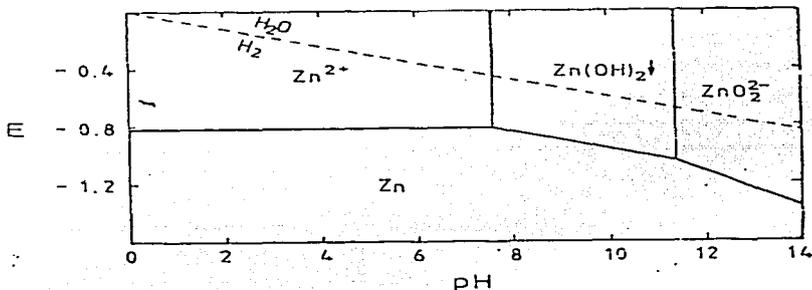


Fig. 2-4 -Diagrama E - pH del zinc. C = 10⁻² M.

Bastan vestigios de cualquier metal menos reductor (por ejemplo, adición de un poco de sulfato de cobre, que onseguida se reduce a o cobre elemental) para que la reacción se inicie y prospere rápidamente. Esto explica la fácil solubilidad del zinc comercial en los ácidos clorhídrico o sulfúrico diluidos.

El ácido nítrico diluido también disuelve al zinc, pero no hay desprendimiento de hidrógeno, sino reducción del anión nitrato a catión amonio.



Este ácido nítrico concentrado disuelve difícilmente al zinc porque el nitrato de zinc que inicialmente se forma, es insoluble en el nítrico concentrado.

En medio alcalino disminuye el potencial redox del sistema $\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}^0$ (ver diagrama). En alcalinidades fuerte puede ser inferior a -1.20 V. Por eso el zinc se ataca y disuelve en medio alcalino fuerte con formación del anión zincato, ZnO_2^{2-} y desprendimiento de hidrógeno:



En la química analítica se hace uso del zinc elemental para reducciones energéticas, solo o amalgamado, tanto en medio ácido (preparación de Cr^{2+} , V^{2+} , liberación de AsH_3 , PH_3 , SBH_3 , etc.) como en medio alcalino (reducción de los aniones nitrato y nítrico a NH_3). La presencia de mercurio en las amalgamas modifica muy poco el potencial del sistema $\text{Zn(II)}/\text{Zn}^0$, pero inhibe la reducción de los protones del disolvente, con lo que la capacidad reductora del Zn resulta íntegra en la reducción de resto de oxidantes presentes.

2.7.0-Zn(II)

En medio acuoso, el grado de oxidación (II), es el único que se considera. El catión Zn^{2+} es incoloro.

2.7.1-Comportamiento ácido-base.

El Zn^{2+} es un catión ácido que necesita acidéz para permanecer como catión libre. Si disminuye la acidéz se hidroliza precipitando sales básicas del catión ZnOH^+ , que coexiste con el Zn^{2+} .

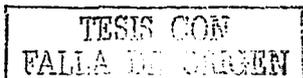
A pH próximo a 7.5 comienza a precipitar el hidróxido Zn(OH)_2 blanco amorfo (las figuras 2-4 y 2-5 han sido realizadas para la forma mas soluble del hidróxido, la amorfa, que es la que origina la forma inmediata en solución puede evolucionar a otros hidróxidos u óxidos más estables) que tiene carácter anfótero, se disuelve a pH = 11.5 o algo más elevado si ha habido evolución del sólido, para dar el anión zincato Zn_2^- . Las formas más solubles son $\text{Zn}_2\text{OH}^{2+}$, Zn(OH)_2 y HZnO_2^- .

2.7.2-Compuestos.

Las sales más solubles en el agua son el acetato, bromuro, cloruro, yoduro, nitrato sulfato y tiocianato.

Las más insolubles por orden de insolubilidad son: el sulfuro, el ferrocianuro de zinc y potasio, $\text{K}_2\text{Zn}_3[\text{Fe(CN)}_6]_2$, el hidróxido, el NH_4ZnPO_4 y el carbonato, todos de color blanco.

El Zn^{2+} forma complejos aminados y cianurados relativamente estables, de índice de coordinación 4, incoloros que son menos estables que el sulfuro y no se compleja con los haluros tan fuertemente como la hacen sus compañeros de grupo cadmio y mercurio.



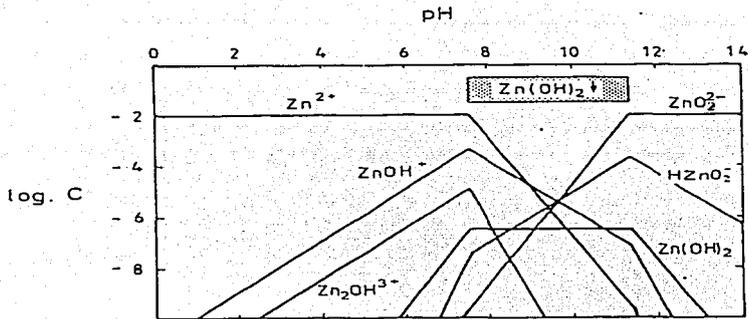
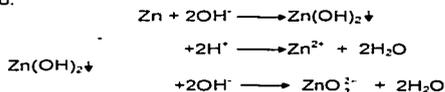


Fig. 2-5 -Diagrama log C - pH para Zn (II) 10⁻² M.

2.7.3-Acción de los reactivos generales

1. Hidróxidos alcalinos fuertes

Precipitan hidróxido de zinc blanco, gelatinoso, anfótero y, por lo tanto, soluble tanto en ácidos como en exceso de reactivo:



Diluyendo e hirviendo una solución de un zincato, que no contenga gran exceso de álcali, precipita el hidróxido.

Cuando el precipitado de hidróxido de zinc se humedece con solución diluida de nitrato de cobalto (evitando un exceso) y luego se calcina fuertemente, se obtiene una masa verde de zincato de cobalto (CoZnO₂ conocida como verde de Rinmann).

2. Amoniaco

En medio acuoso y ausencia de sales amónicas, precipita hidróxido de zinc, fácilmente soluble en exceso de reactivo formando complejo aminado



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

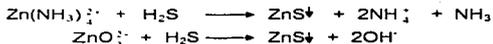
Si existen sales amónicas no precipita el hidróxido, y con ligero exceso de NH_3 se forma directamente el complejo aminado.

3. Carbonato sódico

Los carbonato sódico o potásico precipitan carbonatos básicos blancos de composición variable, insolubles en exceso de reactivo. Sin embargo, el precipitado obtenido con *carbonato amónico* es soluble en exceso de reactivo.

4. Acido Sulfhidrico

En medio ácido mineral de concentración superior a 3N, no precipita el sulfuro. En medio ácido mineral muy diluido, o en medio acético, precipita sulfuro de zinc, blanco, pulverulento, solo parcialmente. Se logra una precipitación completa elevando el pH por adición abundante de acetato sódico, a la solución ácida, o bien efectuando la precipitación en medio alcalino. El ZnS se forma incluso a partir de los complejos aminados y también de una solución de zincato; el mismo efecto produce el *sulfuro amónico* o el *sulfuro sódico*:

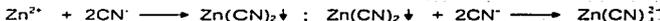


El sulfuro de zinc es difícil de filtrar y de lavar por su tendencia a la formación de coloides que pasan a través de papel filtro. Este inconveniente se evita efectuando la precipitación en presencia de gran cantidad de sales amónicas y lavando con solución concentrada de cloruro o nitrato amónicos.

El ZnS es soluble en HCl 2N.

5. Cianuro potásico

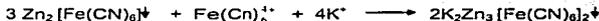
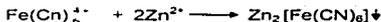
Como precipitado el cianuro de zinc es blanco y soluble en exceso de reactivo:



El H_2S precipita ZnS del complejo cianurado.

6. Hexacianoferrato (II) potásico

Inicialmente se puede formar un precipitado blanco coposo, de hexacianoferrato(II) de zinc, pero con posterior adición de reactivo se transforma en hexacianoferrato de zinc doble y de potasio, menos soluble. Este precipitado no se disuelve en ácidos diluidos, pero sí en bases fuertes formando zincato:

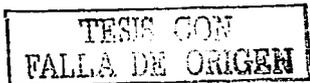


Esta reacción se utiliza con fines cuantitativos.

Reactivos especiales

1-Mercuritiocianato potásico y Cu^{2+} (Reactivo de Montequi)

Esta reacción sirve para identificar la presencia de Zn^{2+} en una solución problema, a partir de la reacción con mercuritiocianato potásico y Cu^{2+} . La formación del mercuritiocianato de cobre,



$\text{Cu}[\text{Hg}(\text{SCN})_2]$ anhidro solo se lleva a cabo si la relación $\text{Zn}^{2+}/\text{Cu}^{2+}$ es alta; en la identificación de Cu^{2+} es fácil lograr esta relación poniendo exceso de Zn^{2+} ; sin embargo, en la identificación de Zn^{2+} se debe poner cuidado de poner muy pequeña cantidad de Cu^{2+} .

Procedimiento

A unos .5 ml de problema se añade una gota de solución de CuSO_4 -reactivo a-, se agita y a continuación se agregan tres o cuatro gotas de solución de $\text{Hg}(\text{SCN})_2$ -reactivo b-, se agita y si es necesario, se ayuda la reacción con frotación de una varilla.

En presencia de zinc aparece un precipitado violeta más o menos intenso; tanto más claro, cuanto mayor es la cantidad de Zn^{2+} presente.

Reacción sensible y bastante selectiva. Mucho Cu^{2+} puede originar precipitado negro. Interfiere Co^{2+} , que origina precipitado azul. El Fe^{3+} origina color rojo, pero se le oculta por adición de NaF sólido.

Reactivos

a) solución de CuSO_4 al .1 %

b) Solución de $\text{Hg}(\text{SCN})_2$: HgCl_2 , 8 g ; KSCN , 10 g; agua, 100 ml.

1-Hexacianoferrato (III) potásico y p-fenetidina

El hexacianoferrato (III) o ferricianuro oxida a la p-fenetidina originando un producto azul y reduciéndose a ferrocianuro. La reacción es muy lenta e incompleta; pero en presencia de Zn^{2+} el ferrocianuro formado se elimina como $\text{Zn}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$, insoluble, aumentando la velocidad de la reacción y también el potencial de oxidación del ferricianuro. Además, el precipitado adsorbe el sistema ferricianuro-p-fenetidina, con lo que aumenta grandemente la sensibilidad de la reacción.

Procedimiento

En la placa de gotas se depositan, una gota de ferricianuro potásico, otra de solución de p-fenetidina, otra de ácido sulfúrico y otra de solución problema débilmente ácido. En presencia de Zn^{2+} aparece rápidamente un color azul o azul violeta.

Reacción sensible. Interfieren todos los iones que producen precipitados con ferro o ferricianuro. La reacción es especialmente útil para la detección de Zn^{2+} en presencia de Al^{3+} , Cr^{3+} y Mg^{2+} .

Reactivos

a) Hexacianoferrato (III) potásico en solución acuosa al 2 %.

b) Clorhidrato de p-fenetidina en solución acuosa al 1 %.

c) Acido sulfúrico .3 N.

1-Ditizona

La ditizona o difenilicarbazona origina quelatos coloreados con varios cationes que se pueden extraer en tetracloruro de carbono o cloroformo. El catión Zn^{2+} en solución reciente del reactivo origina, en medio débilmente acético, neutro o alcalino, un quelato de color rojo.

La sensibilidad es muy grande cuando la reacción se verifica en medio acético o neutro, pero disminuye sensiblemente en medio alcalino; sin embargo en este medio alcalino la selectividad del ensayo aumenta asiéndose muy específico.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Procedimiento

Dos gotas de la disolución(de la reacción ácida o neutra) se disponen en un vidrio de reloj y se añaden gotas necesarias de NaOH 2N hasta reacción alcalina. Se adicionan unas gotas del reactivo(disolución reciente de ditizona en tetracloruro de carbono al .05 %). Se agita la mezcla con una varilla de vidrio y se evapora el tetracloruro de carbono soplando. Un color rojo frambuesa, perceptible sobre cualquier precipitado formado al añadir la solución NaOH indica la presencia de Zn^{2+} .

Via seca

Todos los compuestos de zinc cuando son calentados sobre carbón , al soplete, dejan una masa de óxido que es amarilla en caliente y blanca en frío. Si el residuo se humedece con una disolución de diluida de nitrato de cobalto y se vuelve a calentar se obtiene un color verde(verde de Rinmann) de zincato de cobalto , $CoZnO_2$.

Ensayo directo

Previamente se separa el zinc como zincato y en la solución alcalina, después de separar cualquier precipitado formado, se identifica el Zn^{2+} , por la reacción de mercuritocianato y Cu^{2+} , acidulando antes un poco del extracto sódico con ácido sulfúrico, o bien directamente, en gotas del extracto sódico, con ditizona.

Procedimiento

A 6 gotas del problema (de reacción ácida) se añaden las suficientes de NaOH al 30% para que la solución sea alcalina. Se deja en baño de agua; se centrifuga cualquier precipitado que haya aparecido y sobre el líquido claro se verifican las reacciones citadas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3 -FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.

3.1-DESARROLLO

Se sabe que en solución tenemos Zn^{2+} y Cr^{6+} principalmente en forma de CrO_4^{2-} y $Cr_2O_7^{2-}$ (Los estudios de los laboratorios externos indican que la concentración de cualquier otra sustancia, estaría presente en cantidades despreciables que no interfieren en el desarrollo de la reacción.)

De acuerdo al diagrama de flujo para la planta de tratamiento (ver figura 3-1), el funcionamiento de esta planta se basa en las siguientes etapas o procesos:

- a) oxido - reducción
- b) precipitación
- c) floculación
- d) sedimentación y clarificación
- e) filtración
- f) neutralización

El agua obtenida al final del tratamiento y depuración en la planta de tratamiento debe cumplir con lo establecido en la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM 002-ECOL/ 1998, la cual establece los valores máximos permitidos de contaminantes que se pueden derramar al sistema de drenaje y alcantarillado, con el más firme propósito de mantener los registros en valores que estén en acorde con los establecidos en esta norma oficial mexicana , se trabajará en la planta de tratamiento con los siguientes parámetros y valores:

Tabla 3-1

Límites máximos permisibles

PARÁMETROS (miligramos por litro, ppm, excepto cuando se especifique otra)	Promedio Mensual	Promedio Diario	Instantáneo
Cromo Hexavalente	0.5	0.75	1
Zinc Total	6	9	12

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FIG 3-1 Diagrama de Flujo

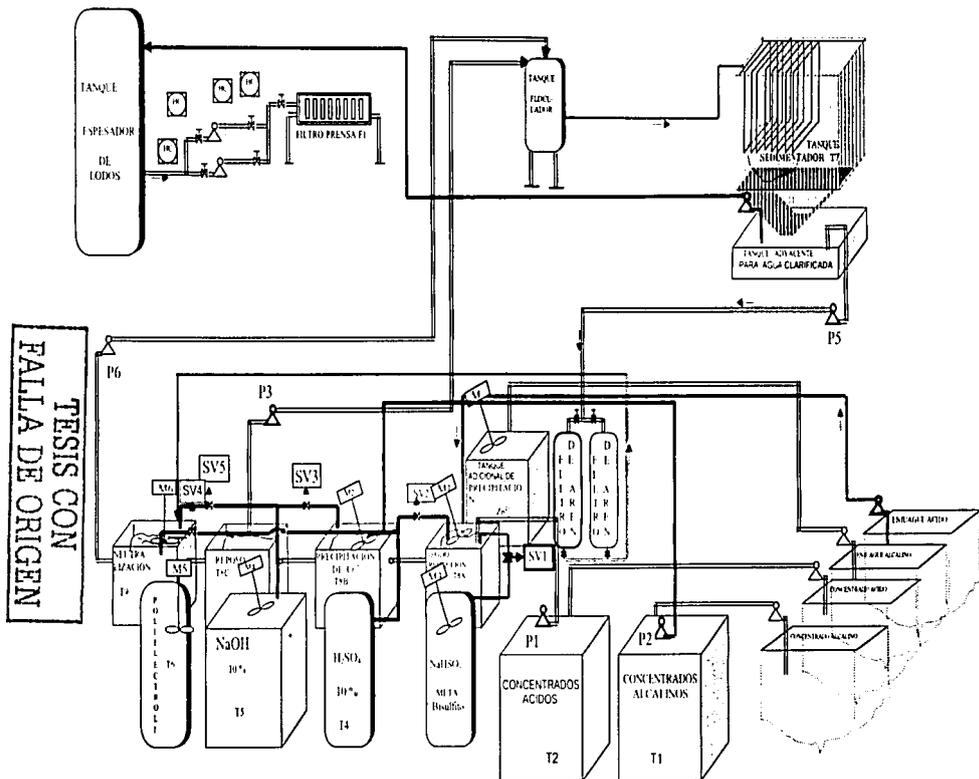


Fig. 3-1

3.2.-DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

Los equipos que se mencionen pueden no estar contemplados en el diagrama de flujo debido a que esta información es solo de referencia para ubicar al lector.

3.2.1.-Bombas.

- Estos equipos están instalados con coladeras de área y porosidad adecuada en la tubería de succión para prevenir que objetos extraños, como partículas metálicas, basura, madera, u otros materiales fibrosos lleguen y dañen la bomba.
- Toda la tubería de succión debe mantenerse cuidadosamente asegurando que no haya perforaciones por las que penetre aire y provoquen cavitación.
- Cuando se dé mantenimiento a una bomba se debe asegurar que la succión y la descarga sean estables y que la tubería esté conectada y soportada correctamente para evitar que se transmita vibración hacia los sellos y posterior daño y fuga de la tubería.
- Las válvulas de paso instaladas en la tubería de succión nunca deben estar cerradas cuando la bomba esta operando con el propósito de no operar en seco y dañarla, la situación de daño es muy evidente por las fugas que se presentan.
- Las válvulas de control de flujo a la salida de la bomba se emplean para disminuir la descarga de efluente, pero nunca se deben cerrar completamente.
- Durante la instalación de una bomba centrífuga debe chequearse que gire en el sentido correcto, si la rotación es incorrecta, verifique que el impulsor no se haya desprendido de la flecha, corrija y purgue la bomba, llene la tubería de succión para sacar el aire.
- La planta de tratamiento se diseñó para prevenir que las bombas operen en seco aplicando un buen mantenimiento. En condiciones de bajo nivel, los sensores paran las bombas automáticamente, por lo cual deben mantenerse limpios sin acumulación de sólidos, aceite o cualquier aislante eléctrico que provoque puentes conductores y deben chequearse regularmente para asegurar el apagado automático de las bombas cuando se requiera.
- Cuando una bomba se apaga automáticamente por la señal del sensor de nivel, se activa una alarma para que el operador inspeccione inmediatamente el sistema, determine y tome las acciones correctivas necesarias.

Bomba P1 :

Bomba el concentrado ácido desde el tanque T2 hacia el tanque de oxido- reducción, esta acción se realiza en forma intermitente operando manualmente el interruptor de la bomba P1 en el tablero de control por espacio de 5 minutos aproximadamente, esto con el propósito de no alterar las condiciones óptimas de operación y seguir manteniendo el control del proceso sin mucha variación en las lecturas de las variables que afectan como son el pH y el potencial de oxido- reducción(*consultar diagrama de flujo para este y los demás equipos que se hace referencia*).

Bomba P2 :

Esta bomba va a realizar el bombeo del concentrado alcalino del tanque T1 hacia el tanque de precipitación T8B, y se realiza en la misma forma y propósito como se hace con la bomba anterior.

Bomba P3 :

Va a cumplir con la función de enviar el efluente del tanque de retención y bombeo T8C hacia el tanque floculador y en ese momento en forma sincronizada debe entrar en funcionamiento la P6 para bombear polímero hacia el mismo tanque. Esta sincronización de las bombas se observa en el tablero de control porque al encenderse el indicador de la bomba P3 también debe encenderse el de P6.

Bomba P5 :

Esta bomba va realizar la función de bombear el agua del tanque de retención adyacente, hacia el tanque de neutralización.

Bomba P6 :

Su función es transportar polifloculador del tanque de polímero aniónico T6 hacia el tanque floculador, se acciona en forma sincronizada con la bomba P3.

TRIN CON
FALLA DE ORIGEN

3.2.2.-Tanques.

- Los tanques utilizados para tratamiento están fabricados en polipropileno, este tipo de material es estable y resistente al ataque químico, excepto cuando se tiene ACIDO NITRICO EN EXCESO, mas de 20% en concentración, este tipo de material no debe golpearse.
- Deben mantenerse limpios e inspeccionarse periódicamente para verificar que no haya fugas. El equipo instalado sobre ellos debe estar bien sujeto para evitar vibraciones. Si la vibración se transmite al recipiente se desarrollan tensiones produciendo fracturas.
- Los tanques de acero (el tanque de la sosa y el tanque sedimentador-clarificador) deben mantenerse limpios y pintarse con recubrimiento " pintura epóxica acuamarina para prevenir oxidación por dentro y por fuera del tanque, aunque por dentro se mantienen pasivados por la solución alcalina que contienen.
- Los soportes, escaleras y pasillos de acero deben mantenerse pintados para evitar corrosión y fallas en la estructura. Cualquier derrame sobre estos debe limpiarse.

Tanque T1 : Este tanque sirve como depósito para los concentrados alcalinos provenientes de la línea de zincado. Esta construido de polipropileno y tiene una capacidad de almacenamiento para 2000 litros.

Tanque T2 : Este tanque también sirve para almacenar concentrados, pero en este caso, de carácter ácidos, construido en polipropileno para una capacidad de 2000 litros.

Tanque T3 : Este recipiente está construido en material pvc para una capacidad de 600 litros. Este recipiente contiene solución de metaBisulfito a una concentración del 10% en volúmen y es necesario para la reacción de oxido- reducción.

Tanque T4 : Este tanque está construido en material pvc y tiene una capacidad de 600 litros. En este tanque esta contenido el ácido sulfúrico con una concentración al 10% en volúmen.

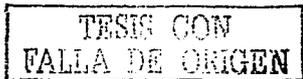
Tanque T5 : Está construido en acero al carbón y es un recipiente que puede almacenar un volúmen de 1000 litros. Este recipiente contiene sosa cáustica al 20% en volúmen.

Tanque T6 : Es un tanque construido en acero al carbón para contener un volúmen de 400 litros. Este tanque contiene polímero aniónico al 0.1 % en volúmen.

Tanque T7 : Es el tanque sedimentador-clarificador, el material de su elaboración es acero, y está conformado por el cono de sedimentación, el tanque adyacente para lodos y el tanque adyacente para agua clarificada.

Tanque T8A : Recipiente construido en polipropileno y con una capacidad para 1100 litros. En este tanque se lleva a cabo la reacción de oxido- reducción.

Tanque T8B: Este tanque está construido en polipropileno y consta de una capacidad de 1100 litros. En él se realiza la reacción de precipitación del cromo (III) .



Tanque T8C : Este recipiente está construido de polipropileno para una capacidad de 1100 litros. En él solo se retiene el efluente para su posterior bombeo.

Tanque T9 : Este tanque está construido en polipropileno para una capacidad de 1200 litros. En este tanque se lleva a cabo la neutralización del agua tratada.

Tanque adicional de precipitación : En este tanque se lleva a cabo la reacción de precipitación del zinc y es un tanque para un volumen de 520 litros.

Tanque espesador de lodos: Construido en polipropileno para contener a los lodos cuando haya mucha cantidad a tratar o en algún caso de emergencia, como alguna reparación en el sistema del filtro prensa.

Filtro Prensa : Este es un dispositivo que se va a utilizar para eliminar el exceso de agua en los lodos de sedimentación. Está compuesto por un conjunto de celdas integradas por mallas en tela filtrante con porosidad de 50 micras

3.2.3.- Tuberías , válvulas y accesorios.

- En el reemplazo de tuberías debe asegurarse su estabilidad por medio de la soportería adecuada para evitar la posibilidad de vibraciones.
- La tubería de PVC opera a una temperatura máxima de 50 ° C, por lo que se debe evitar utilizar fluidos con mayor temperatura, de lo contrario la tubería se deformará y romperá.

3.2.4.- Válvulas solenoides

- El flujo a través de estos dispositivos se ajusta operando manualmente la válvula para regular la velocidad de dosificación.
- Estas válvulas solenoide no deben operar en parpadeo, sin importar el modo de operación, manual o automático porque se puede quemar la bobina, para que esto no ocurra cheque que los relevadores de control estén bien cerrados. Si se presenta en el modo automático se puede controlar modificando el flujo de reactivo a través de la válvula.

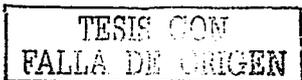
3.2.5. -Mezcladores

- Debe evitarse la presencia de objetos extraños en el tanque como piezas metálicas, madera y plástico porque se dañan las aspas del mezclador y pueden safarse, también deben evitarse tela y papel, los cuales se adhieren al mezclador y pueden producir mayor carga en el motor.

3.2.6.-El panel de control

- - Disposición del panel de control.

El panel de control es un tablero electrónico en el cual se van a tener señalados los principales controles eléctricos para controlar automáticamente la planta de tratamiento químico, es la parte más sensible de toda la planta y ello hace necesario que siempre esté limpio en todas sus partes, esta limpieza deberá realizarse con un paño y con un limpiador ligero que no sea agresivo a los componentes eléctricos y partes físicas del tablero, debe ser de tipo no acuoso para evitar riesgos de falla por humedad .



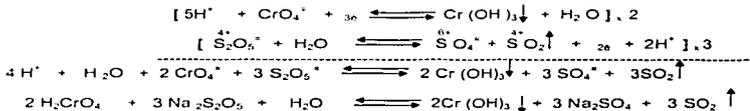
3.3-PROCESO DE OXIDO REDUCCIÓN

Para el desarrollo de esta etapa del tratamiento químico se cuenta con equipo instalado e instrumentos de medición como son: un tanque de polipropileno para efectuar la reacción de oxido-reducción, un medidor de pH, un sensor para medir el potencial de oxido-reducción generado por la reacción, y, por supuesto el influente proveniente de la línea de zincado.

Este tratamiento comienza con la introducción del influente del enjuague ácido proveniente de la línea de zincado el cual contiene una alta concentración de Cr^{III} . Esta especie química presenta una alta toxicidad y va a cambiar su estado de oxidación a Cr^{VI} , ya que el cromo en este grado de oxidación y como especie química presenta característica de toxicidad mucho menor que el Cr^{III} (la toxicidad del Cr^{VI} es unas 1000 veces mayor que la del Cr^{III}), el agua residual que se obtiene al final de todas las etapas de tratamiento debe contener una concentración de Cr^{VI} que cumpla con el criterio de la norma NOM-002-ECOL-1996, establece los límites máximos de concentraciones que se vierten al sistema de drenaje y alcantarillado; para esta especie química el valor permitido promedio es de 0.75 p.p.m., el cual se ajustará a través de esta y las posteriores etapas de tratamiento del agua residual.

Para que la reacción ocurra debe estar presente además del Cr^{III} , otra especie química que interactúe con él, y haga la función de agente reductor del Cr^{III} , esta interacción se va a poder llevar a cabo adicionando metaBISULFITO ($S_2O_4^{2-}$), se debe tener un pH = 2 - 3 porque las soluciones de Cr^{III} se reducen mejor con metaBisulfito o cualquiera de sus sales en medio ácido, cuando se tiene un pH > 3 la reacción se hace lenta, por lo tanto para no tener problemas con este parámetro se fija un valor máximo de pH = 2.5 en el tablero de control.

La reacción electroquímica es:



El influente del enjuague ácido se introduce al tanque utilizando la bomba P4 del área de fosas para retención, y los reactivos se adicionan utilizando válvulas solenoides, este tipo de instrumentos normalmente proporcionan un control adecuado y sus rangos de flujo pueden ajustarse en el panel de control para regular la adición de reactivo requerido, pero solo por prueba y error durante el ajuste inicial, además para casos de funcionamiento inadecuado o casos especiales (tapamiento de válvulas), se han colocado válvulas by-pass (las cuáles normalmente están cerradas y se abren manualmente)-Se instaló un agitador mecánico para que con el movimiento de las partículas haya mayor interacción entre ellas, y se favorezca el desarrollo de la reacción.

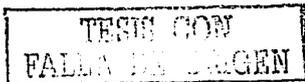
Las válvulas solenoides están conectadas electrónicamente a la señal del controlador de pH y del sensor de ORP en el tablero electrónico.

Los reactivos que se adicionan son metaBISULFITO ($S_2O_4^{2-}$ solución al 10 % en volumen) y ácido sulfúrico (H_2SO_4 solución al 10 % en volumen); el ácido se adiciona cuando el pH se eleva y alcanza o rebasa el valor límite superior preestablecido en el panel de control simbolizado como pH2 (valor máximo 2.5 unidades de pH). La adición de metaBisulfito comienza cuando se indica en el tablero una diferencia de potencial de 280 milVolts, eso nos indica que el metaBISULFITO que se adicionó con anterioridad ya reaccionó y que en solución ha vuelto a aumentar la concentración de Cr^{III} .

El concentrado ácido del tanque T2 se adiciona en pequeña cantidad y en forma intermitente (5 min. aprox. unas 7 u 8 veces durante un turno de 8 horas) para no afectar las condiciones operantes del proceso (que no haya variación apreciables en las valores de los parámetros que se están controlando), de esta forma se le da tratamiento tanto al enjuague como al concentrado.

El efluente obtenido después de la reacción de oxido-reducción es enviado a la siguiente etapa, la etapa de precipitación.

NOTA: el mezclador M1 del tanque T8A debe estar trabajando continuamente. (Para favorecer la interacción de las partículas y por ende la espontaneidad de la reacción)



3.4-PROCESO DE PRECIPITACION.

En esta reacción se tiene al cromo Cr(III) y Zn(II) como electrolitos disueltos en solución, y, para poder eliminarlos es necesario formar sus hidróxidos correspondientes.

La reacción de precipitación del cromo se realiza en el tanque T8B con el efluente que ingresa del tanque T8A, por acción de la gravedad, ya que estos tanques se encuentran interconectados, si la lectura del pH en el tablero de control no es la que se requiere se alimentará hidróxido de sodio (solución al 20%) del tanque de reactivo T5, automáticamente mediante un controlador calibrado en un rango de pH específico para la precipitación (pH 7-8), la dosificación de hidróxido de sodio se realiza mediante una válvula solenoide operada por el controlador de pH , cuando el pH está por debajo de 7, la válvula se abre para adicionar SOSA y elevar al rango establecido , en esta reacción el Cr(III) se precipita como hidróxido:



Aquí también se cuenta con una válvula by-pass para operación manual de emergencias, cuando el pH encuentre por debajo de un valor 7, se puede abrir esta válvula para dosificar hidróxido de sodio y alcanzar el pH necesario.

Todo esto es parte de las instrucciones de operación de la planta de tratamiento, pero en la práctica se debe minimizar el consumo de hidróxido de sodio, por lo tanto se adiciona enjuague alcalino en un 20% en volumen de la capacidad del tanque, de esta manera se favorece la reacción de precipitación alcanzando el pH requerido y se reduce el consumo de reactivo de hidróxido de sodio. Como se presentaba un poco de turbidez, se comenzó a adicionar un polímero catiónico (alrededor de 2.5 litros por hora de ACS -402), para neutralizar las cargas eléctricas y así precipitar todos los contaminantes diferentes de Cr(III) y Zn(II), que se han arrastrado durante el proceso completo de la línea de zincado. Después que se ha efectuado la reacción de precipitación, el efluente es enviado al tanque de retención y bombeo tanque T8C, para posteriormente bombearse al tanque floculador.

La reacción de precipitación para el zinc se efectúa en el tanque adicional de precipitación, utilizando el efluente de la fosa de retención # 3 para enjuagues alcalinos(en la cual se tiene como impureza metálica al zinc disuelto) junto con una descarga lenta del tanque de concentrados T2, en este tanque se debe cumplir con un valor en el panel de control de pH = 8 - 9, los resultados de esta reacción eran buenos puesto que la cantidad de sólidos en suspensión cumplían los valores máximos de las normas ambientales en vigencia, pero también se presentaba un poco de turbidez, esta característica se mejoró adicionando un precipitador de metales(aproximadamente 1 - 1.5 litros por hora).

Se tiene la siguiente reacción de precipitación para el zinc :



NOTA . Los mezcladores, en el tanque adicional y en el Tanque T8B deben operar continuamente, para favorecer la interacción de partículas y homogenizar la solución sin que haya acumulación de sólidos en el fondo de los tanques.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.5.-CONTROL DE PH Y POTENCIAL DE OXIDO- REDUCCIÓN.

En el tablero de control se van a fijar el valor máximo de operación para el potencial de oxidación-reducción ORP y los rangos de pH en cada tanque que requiere el control de estos parámetros, a continuación se hace una relación de acuerdo al número de tanque para identificar las situaciones de alerta y tomar la o las acciones correctivas.

Tabla 3-2

Tanque No.	Ajuste pH / ORP	Situación	Adicionar	Acción Correctiva
T8A	25mV	mV ALTO	S ₂ O ₈ ²⁻	3.5.1
T8A	2.5	pH ALTO	H ₂ SO ₄	3.5.2
Tanque Adicional	8- 9	pH BAJO	Conc. Alcalino	3.5.3
T8B	7- 8	pH BAJO	NaOH	3.5.4
T9	6- 9	pH BAJO	NaOH	3.5.5
T9	6- 9	pH ALTO	H ₂ SO ₄	3.5.6

ACCIONES CORRECTIVAS POR ALARMA DE PH

3.5.1 mV Mayor a 25 en Tanque 8A.

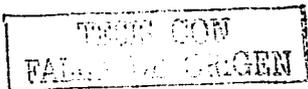
- Verifique si esta funcionando el mezclador M1.
- Cheque si se tiene solución en el tanque T3 de metaBisulfito(S₂O₅²⁻).
- Abra la válvula de control al solenoide SV1 para adición de metaBisulfito.
- Abra la válvula manual de emergencia y cierre cuando la condición se corrija.
- Cheque si la solución de S₂O₅²⁻ al 10% pasa a través de la válvula solenoide.
- Cheque la operación de la válvula solenoide, operando el switch en auto y después en modo manual.
- Si no hay adición de metaBisulfito al 10% para la alimentación del efluente y efectúe las correcciones necesarias.

3.5.2- pH mayor de 2.5 en tanque T8A

- Abra manualmente la válvula para dosificar H₂SO₄ solución al 10 % y cierre cuando la condición anormal se restablezca a 2.5 unidades de pH.
- Cheque que la solución de H₂SO₄ pase a través de la válvula solenoide SV2, si no pasa ácido verifique la operación de la válvula solenoide SV2 accionando manualmente el switch a manual, luego a posición de auto, en el panel de control.
- Verifique si hay solución de H₂SO₄ en el tanque T4.
- Verifique si el mezclador M1 esta funcionando.
- Si no se está adicionando el ácido, pare el flujo del efluente que se esta tratando hasta que la falla se corrija.

3.5.3-pH menor de 9 en el tanque adicional de precipitación.

- Verifique que esta trabajando la bomba P2 para bombeo de concentrados alcalinos, del tanque T1.
- Verifique que están trabajando los electrodos de la fosa de concentrados alcalinos.
- Verifique si hay concentrados alcalinos en la fosa correspondiente.
- Si no se puede corregir el problema con estas acciones entonces debe adicionar hidróxido de sodio.



3.5.4- ph bajo en tanque T8B.

- Abra la válvula de paso hacia la válvula solenoide SV3.
- Abra manualmente la válvula de emergencia, que se encuentra a un lado hasta que se restablezca el pH a su valor de 8.
- Cheque si la solución de hidróxido de sodio (NaOH al 20 %) pasa a través de la válvula solenoide SV3, si esto no sucede entonces :
- Verifique el funcionamiento de la válvula solenoide SV3, moviendo manualmente el switch, colocando primero en la posición manual y luego a la posición AUTO en el panel de control.
- Cheque si hay solución de NaOH al 10 % en el tanque T5.
- Cheque que el mezclador M2 del tanque T5 este funcionando.
- Si no hay adición de NaOH al 10 % detenga la alimentación a la planta hasta que la falla sea corregida.

3.5.5- pH debajo de 6 en el tanque T9

- Abra la válvula de paso hacia la válvula solenoide SV5.
- Abra manualmente la válvula de paso de emergencia hasta que la condición de pH sea de 6 y cierre la válvula.
- Cheque que este pasando NaOH (NaOH al 10 %) a través de la válvula solenoide SV5, si no es así:
- Verifique el funcionamiento de la válvula solenoide accionando manualmente el interruptor a la posición manual y luego a la posición auto, en el panel de control.
- Cheque si hay solución de NaOH al 10% en el tanque T5.
- Cheque si el mezclador M5 esta funcionando.
- Si aun se sigue sin adicionar NaOH al 10%, detenga el flujo de agua a tratar hasta que la condición se restablezca.

3.5.6- pH arriba de 9 en el tanque T9

- Abra la válvula de paso hacia la válvula solenoide SV4.
- Abra la válvula de emergencia y cierre cuando la condición de pH se corrija.
- Cheque si el ácido sulfúrico (H_2SO_4 al 10 %) pasa a través de la válvula solenoide, si no ocurre :
- Cheque la válvula solenoide SV4 operando el switch hacia la posición manual, y luego a la posición auto en el panel de control.
- Verifique que el mezclador M6 esta funcionando.

TERMINADO
FALLA DE ORIGEN

3.6-ELIMINACIÓN DE SÓLIDOS Y CLARIFICACIÓN.

3.6.1- Sedimentación

Como complemento al tratamiento químico, los sólidos que no se han podido eliminar del efluente por los procesos anteriores se van a separar por gravedad en un tanque de sedimentación y clarificación (tanque T7). La instalación del tanque sedimentador cuenta con dos tanques adyacentes, uno para descarga de lodos y otro para la retención del agua clarificada.

El efluente proveniente del tanque T8C (ver *diagrama de flujo*) se bombea al tanque floculador y se incorpora al mismo tiempo junto con el polímero aniónico que proviene del tanque T6 para producir la formación de agregados sólidos de mayor peso y volumen, por lo tanto la utilización de esta sustancia incrementa la sedimentación normal.

El polímero aniónico en solución contenido en el tanque T6 se bombea por medio de la bomba P6 a la entrada del tanque floculador , y es en una primera sección del mismo donde se dará la floculación, que se ve favorecida por una agitación rápida, en este mismo tanque se incorpora a otra sección que consta de un agitador con menor velocidad y una mampara divisoria para permitir la agregación de las partículas sin romper el floculo ya formado, de ahí pasa a la entrada del rebosadero en el tanque sedimentador.

La bomba P3 envía efluente del tanque T8C a el tanque floculador, y en forma sincronizada la bomba P6 envía el polímero aniónico necesario hacia el mismo tanque, es aquí donde se da la sincronización de la bomba P3 con la P6, si la bomba P3 envía efluente al tanque floculador, la bomba P6 automáticamente descarga polímero aniónico. El control de la bomba P3 se da por la presencia de un sensor de alto nivel (L8) que monitorea al tanque T8C, cuando el volumen en el tanque es mínimo, la bomba se detiene para conservar reactivo,(previendo así que se presente calentamiento de la bomba por ausencia de fluido). A medida que se da la sedimentación de las partículas floculadas, estas se van acumulando en el fondo del tanque y su eliminación sería mínima, para hacer más eficiente el proceso en esta etapa se han colocado placas paralelas con una inclinación de 60 grados, permitiendo más tiempo a las partículas en solución y aumentar su masa por unidad de volumen , favoreciendo la cantidad de sólidos precipitados.

La inclinación del tanque, ver figura 3-2, permite que el lodo se deslice por gravedad hasta el fondo para llevar a cabo su remoción .

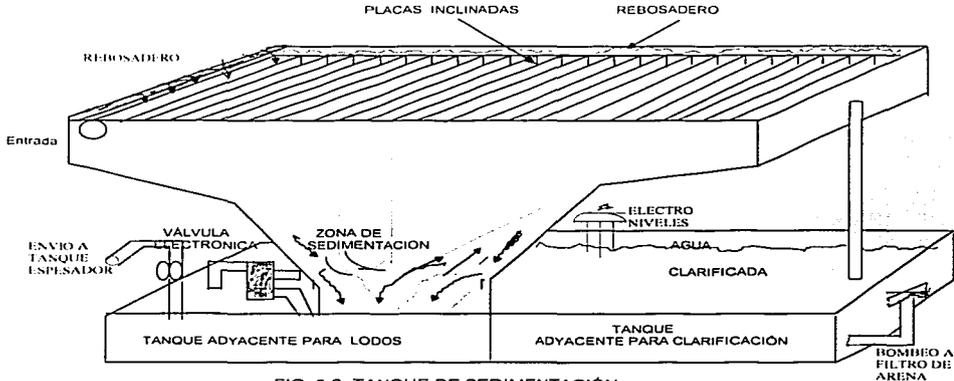


FIG. 3-2 TANQUE DE SEDIMENTACIÓN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

. El efluente resultante de este tanque se contiene en el tanque adyacente para lodos y se bombea a un "tanque espesador de lodos" utilizando una bomba neumática, a partir de este tanque los lodos por tratar se envían a un filtro prensa .

3.6.2- Eliminación del agua contenida en los lodos sedimentados.

3.6.2.1- Descarga de lodos.

-La descarga de lodos que se acumula en el fondo del tanque sedimentador se controla por medio de una válvula electrónica.- Esta válvula está controlada por un ordenador que se activa cada 7 minutos por un lapso de tiempo de 25 segundos con el objeto de eliminar los sólidos que se acumulan en el fondo del tanque sedimentador, de esta manera se esta controlando a una cantidad mínima de sólidos suspendidos en el agua que se vierte al tanque adyacente para agua clarificada(fig. 3-2).

El contenido de sólidos en el caudal del influente que se está tratando, varía por los cambios de soluciones y condiciones de trabajo en la línea de zincado, por lo tanto el trabajo que realiza la válvula electrónica no es suficiente, como un recurso práctico se tiene instalado un by-pass para efectuar una operación manual cada hora, el tiempo de apertura depende de la apariencia del efluente que sale del tanque sedimentador, y, de la experiencia del operador de la planta de tratamiento(cuando se abre la válvula el efluente sale con mucha o poca apariencia espesa debido a que la cantidad de sólidos suspendidos varía por la agregación de pequeñas cantidades de los concentrados de los tanques T1 y T2 o por lo mencionado anteriormente, se recomienda cerrar la válvula hasta que el efluente salga claro). El lodo acumulado en el tanque de retención se bombea hacia el tanque espesador, que tiene la única función de proporcionar mayor capacidad de recepción de lodos mientras se envían a la siguiente etapa de tratamiento. Este lodo retenido en el "tanque espesador de lodos" se bombea hacia el filtro prensa (F1) utilizando una bomba neumática para eliminar por filtración el exceso de agua.

3.6.2.2- Filtro prensa.

En esta etapa del tratamiento al agua residual es donde se va dar una compactación de los lodos resultantes y también una filtración del exceso de agua .

Los lodos del tanque espesador se compactan en el filtro prensa utilizando un sistema de bomba neumática controlado por un tablero electrónico, el cual apaga la bomba cuando los pulsos de la misma se hacen más lentos, alrededor de un pulso por 15 segs. Esto indica que las celdas o mallas del filtro están casi llenas, estas mallas están compuestas de tela filtrante de polipropileno con 50 micras de paso.

La forma de operación de este filtro se puede efectuar en dos modalidades; una en forma semiautomática y la otra en forma manual:

La forma semiautomática va a permitir al filtro por medio del tablero de control operar tres reguladores de presión que funcionarán 30 minutos aproximadamente cada uno; el primero trabajará en presión baja, el segundo trabajará en presión media y el tercero operará en un rango de presión alto. Este modo de operar es porque si trabajara con una sola presión y fuera alta provocaría que las mallas filtrantes se saturen y se obstruyan rápidamente. Después que se apaga la bomba, se realiza un barrido de aire para eliminar el exceso de agua remanente entre las celdas .

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.7.0-FILTRACIÓN

3.7.1-Filtración del agua clarificada.

El agua clarificada del tanque T7 (fig. 3-2) pasa por un rebozadero y de aquí por gravedad desciende a un tanque de retención y bombeo situado en la parte inferior adyacente al cono de sedimentación, en este tanque se encuentra localizado el sensor de nivel (L7), el cuál activa la bomba P5 para que el agua clarificada se bombee y fluya a través de los FILTROS DE ARENA (se cuenta con dos unidades). El bombeo se ajustará a un flujo continuo en lugar de intermitente , con el objeto de efectuar con más eficiencia la filtración y con ello se reduzca favorablemente el contenido de sólidos en el agua tratada, la acumulación de sólidos en los filtros de arena genera una contrapresión en el sistema y puede reducir eventualmente el flujo. Esta es una circunstancia no deseada que se va a corregir iniciando la operación de RETROLAVADO, para hacer limpieza de estos equipos. En este punto uno de los filtros de operación queda momentáneamente fuera de servicio, mientras el otro sigue enviando el efluente resultante hacia el tanque de neutralización (tanque T9). Después de un lapso de tiempo se invierte la operación de estos dispositivos, uno filtra el efluente y el otro se retrolava, esta función se puede realizar por medio de unos actuadores situados en cada uno de los filtros y se encargan de cambiar la dirección del flujo según se establezca en ellos, cuando se esta ejecutando la operación de filtración el efluente ingresa por arriba de la unidad y cuando se tiene la operación de retrolavado es conducido por la parte inferior del dispositivo en turno.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3 8 0. PREPARACIÓN DE SOLUCIONES

A continuación se hace referencia a la forma de preparar las soluciones utilizadas en el desarrollo del - tratamiento del agua residual de la planta de zincado, la concentración de las soluciones que se requieran para convertir los contaminantes que ingresan al sistema de tratamiento esta en función del influente, y para ello nos guiaremos por las condiciones finales de concentración que nos pide la norma ambiental para cada - contaminante, utilizando como referencia las condiciones de pH y potencial de oxidación-reducción, en la práctica se verá que la cantidad de reactivos utilizados dependerá de las variaciones de flujo y concentración provenientes de la línea de zincado, los cuales son cambiantes conforme se desarrolla el proceso de zincado en cada turno de operación y también estas condiciones están influenciadas por el cuidado que el laboratorista de cada turno tome, respecto al desgaste de las soluciones por las reacciones mismas.

3 8 1 Hidróxido de Sodio (Tanque T5 NaOH)

• Especificación

Para preparar la solución de este tanque se puede emplear hidróxido de sodio (sosa cáustica) como sólido granulado, en escamas o una solución concentrada. Este reactivo debe ser de un proveedor confiable para garantizar que no haya presencia de otro sólido o material insoluble.

• Almacenamiento

Todas las soluciones de sosa son fuertemente alcalinas, y, por lo tanto reaccionan con cualquier ácido. La sosa ataca rápidamente al aluminio y sus aleaciones, bronce, latones, estaño y materiales galvanizados (el acero y el cobre no son atacados) con liberación de gas hidrógeno, el cual presenta peligro de explosión con cualquier chispa.

Por lo tanto utilizamos un recipiente de acero para la contención de esta solución.

• Preparación de la solución

Una solución de sosa con concentración de 20% en peso es la recomendable para el tanque T5, que tiene una capacidad de 1 m³, para obtener esta concentración se adicionan 200 Kg de hidróxido de sodio.

Se debe evitar que el tanque llegue a el nivel mínimo requerido (el nivel mínimo requerido es aquel que garantiza la operación de la planta por otro periodo de tiempo pero indica una condición de nivel bajo) porque es más fácil completar el volumen total con pequeñas adiciones frecuentes.

Este tanque debe estar instalado con tubería y válvula para alimentación de agua corriente, mezclador de agitador mecánico válvula de paso (V3), sensor de nivel (L5) y válvula descarga del tanque.

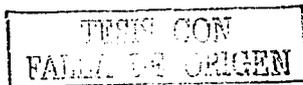
El agua se agrega al tanque hasta la mitad de su capacidad total, en este momento se acciona el mezclador M4 del tanque T5 y se agrega lentamente la sosa, permitiendo que la agitación constante la disuelva en el momento que se adiciona, hasta completar los 200 Kg.

Agregue agua hasta completar el volumen de 1m³, el mezclado debe prolongarse durante todo el tiempo que este operando la planta.

• Precauciones de manejo y seguridad

El hidróxido de sodio es muy corrosivo y puede producir quemaduras graves, esto implica que debe evitarse el contacto con la piel y los ojos.

Las indicaciones dadas arriba para preparación de la solución son válidas todas las veces que se va a preparar una solución nueva (cuando se prepara todo el volumen del tanque), pero cuando la planta esta en funcionamiento se tendrá que preparar soluciones por arriba del nivel mínimo requerido para no permitir que se vacíe el tanque y dejar al proceso sin este reactivo, en estas situaciones apague el mezclador para evitar salpicaduras en su piel o su ropa, adicione lentamente la sosa y abra la válvula para alimentación de agua hasta completar el volumen total del tanque.



Use mascarilla contra vapores, guantes, botas y tyvek (trajo de poliuretano para protección personal), cualquier salpicadura debe lavarse con abundante agua corriente, durante el manejo utilice recipientes metálicos de acero que no son fácilmente atacados por la sosa o de plástico y utilice ácidos fuertes solo para condiciones de neutralización.

- Situación de primeros auxilios

Cualquier contacto con la piel o los ojos debe atenderse rápidamente con gran cantidad de agua y de preferencia con una solución salina de ácido bórico, cuya composición debe ser la siguiente :

NaCl (Cloruro de sodio)	9 g
Acido Bórico	10 g
Agua destilada	1 L

3.8.2 - Acido sulfúrico (H₂SO₄ Tanque T4)

- Especificación

Se puede emplear ácido sulfúrico para uso industrial 77% en peso ó 98% rectificado. En ambos casos se tiene a un líquido viscoso el cual tiene una gravedad específica SpGr de 1.69 y 1.84 respectivamente a 20°C.

- Almacenamiento

El ácido sulfúrico es altamente corrosivo de metales en varias concentraciones, sin embargo no ataca al acero. Debe de almacenarse lejos del posible contacto con metales, así como evitar derrames en las áreas de almacenamiento y durante su manejo. En las instalaciones de esta planta se almacena en un recipiente de polipropileno.

- Preparación de la solución

Se debe preparar una solución de ácido al 10% en volúmen. La capacidad del tanque (T4) es de 500 litros -por lo que se adicionarán 50 L de ácido sulfúrico concentrado.

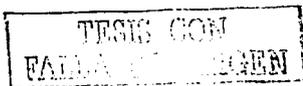
Al preparar solución nueva, adicione agua al tanque hasta la mitad de su capacidad (este tanque debe tener alimentación independiente de agua con su válvula de paso (V2), sensor de nivel (L4) y válvula de salida (V6). Adicione muy lentamente el ácido sulfúrico al agua, *nunca adicione agua al ácido*, la adición debe ser lenta porque la reacción entre el ácido y el agua es una reacción exotérmica y se genera una gran cantidad de calor que provoca que el agua hierva e incluso se evapore o se produzca una explosión, el calor que se genera puede deformar el recipiente de plástico o romperlo provocando derrames peligrosos.

Evite que el tanque disminuya su volúmen debajo de su nivel mínimo recomendado, se debe mantener lleno con adiciones periódicas de agua y ácido.

- Precauciones de manejo y seguridad

El ácido sulfúrico tiene propiedades corrosivas con las cuales quema rápidamente la piel llegando a perforarla. Son muy peligrosas las salpicaduras en los ojos y para protección siempre se debe usar gafas o careta tipo soldador.

El ácido sulfúrico no es inflamable, pero reacciona con muchos metales y se libera hidrógeno que puede formar una mezcla explosiva con el aire. Se recomienda se tenga buena ventilación en donde se maneje y se almacene y cuando se adicione ácido al agua se haga lentamente por la cantidad de calor que se genera, además agregue ácido al agua y nunca agua al ácido. Se debe tener instalada una regadera para emergencia y una manguera para lavar cualquier derrame.



- Tratamiento de primeros auxilios

Cuando la piel y/o el guante se contaminan con ácido, debe lavarse el área afectada rápidamente con gran cantidad de agua corriente o con una solución salina de ácido bórico durante 15 minutos. e inmediatamente debe recurrirse al médico.

En el caso de salpicadura en los ojos, se debe actuar más rápido, el ojo afectado debe lavarse con una solución salina de ácido bórico con la siguiente composición :

Cloruro de sodio (NaCl)	9g
Acido Bórico	10g
Agua Destilada	1g

3.8.3.-metaBisulfito de Sodio (S₂O₅²⁻)

Se puede emplear Bisulfito de sodio grado comercial o solución concentrada, no debe contener sólidos.

- Almacenamiento

Este reactivo se coloca en una zona fría, se evita la luz directamente y el contacto con los metales. La solución de metaBisulfito es corrosiva y emite vapores de SO₂, por ello debe almacenarse en lugares bien ventilados.

- Preparación de la solución

Se debe preparar una solución al 10% en peso, para hacerlo se adicionan 50 g de metaBisulfito en el volumen de operación del tanque o sea en 500 l(el volumen nominal del tanque es de 600 l). Esta reactivo se debe adicionar lentamente y con el mezclador encendido porque cuando se adiciona todo en un solo paso se forman grumos que tardan en disolverse.

- Precauciones de manejo y seguridad

Debido a que el metaBisulfito de Sodio es un fuerte reductor se debe evitar el contacto con sustancias oxidantes como el ácido sulfúrico o el ácido nítrico concentrados porque se generaría una reacción muy espontánea.

Se debe tener cuidado de no mezclarlo con cualquier ácido directamente, ya que se genera gas de Dióxido de azufre (SO₂) y se hace muy necesario contar con un lugar de trabajo bien ventilado.

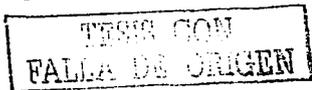
Se debe evitar el contacto directo con los ojos y la piel. No respirarlo directamente debido a que sus vapores son irritantes y podrían hacer perder el sentido. La persona responsable de esta área debe usar guantes, botas resistentes al ácido, tyvek, goggles o careta protectora y mascarilla contra gases.

3.8.4.-Solución del agente coagulante (polielectrolito)

- Descripción

Esta solución se usa para formar agregados de moléculas que por su mayor peso final se precipitan por si solos debido a la acción de la gravedad, en una etapa inicial de esta solución se forman flóculos que después realizarán la coagulación de los sólidos suspendidos, para que esto se efectúe se puede usar un agente coagulante con base amoniacal de alta calidad, o uno basado en aluminio.

Para determinar la concentración necesaria se hicieron varias pruebas dependiendo de la cantidad de sólidos suspendidos en el influente de agua residual a tratar.



- Propiedades y almacenamiento

En general los agentes coagulantes (polielectrolito) son sustancias inócuas y no son necesarias condiciones rigurosas en su almacenamiento, pero se colocan en lugares secos porque con la humedad se hacen gelatinosos y difíciles de disolver.

Este tipo de sustancia se ioniza lentamente cuando se almacena por largo tiempo y ello disminuye su acción floculante, así que una solución preparada no debe almacenarse mas de una semana.

- Preparación de la solución

El material coagulante se agrega lentamente para que el mezclado continuo homogenice la solución.

Es adecuado utilizar una concentración de 0.5% en peso (5 g / l), sin embargo las soluciones mas diluidas logran una mejor coagulación y es recomendado utilizar una concentración de 0.1 a 0.2% cuando se tiene un sistema de dosificación continuo, en nuestro caso la práctica nos ha llevado a utilizar una concentración de 0.1% y con esto se obtiene una concentración final de sólidos suspendidos muy por debajo del máximo que pide la norma ambiental(no sin antes utilizar algún otro tipo de electrolito adicional durante las siguientes etapas de tratamiento)

El tanque de polielectrolito posee un volumen aproximado de 400 litros y para preparar una solución 0.1% hacemos el siguiente cálculo :

$$400 \text{ l de distn} \cdot 0.1\% \text{ polielect} / 0.100 \text{ l de disolución} = 400 \text{ g de polielectrolito}$$

Para este cálculo se puede ser poco exigente en los cálculos y considerar una densidad 1 :1 , ademas al probar con varias concentraciones sabemos que esta nos da buenos resultados.

O sea que se requiere aproximadamente un mililitro de polielectrolito por cada litro de disolución.

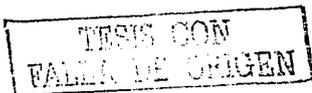
Para preparar esta solución se llena el tanque hasta la mitad de su capacidad, se pone a funcionar el mezclador M5, se regula la velocidad del agitador para no formar mucha espuma, se comienza la adición del polielectrolito vertiendolo muy lentamente en el embudo de mezclado (la construcción de este embudo permite que con la adición muy lenta del polielectrolito y la alimentación de agua se dé un premezclado que favorece su dispersión en la solución)

Para adicionar el polielectrolito se recomienda utilizar un vaso de precipitados puesto que no se requiere un gran volumen del mismo para preparar esta disolución de concentración pequeña.

La adición rápida del polielectrolito produce una deficiente humectación y la formación de esferas gelatinosas que son difíciles de disolver, entonces hay poca dispersión y disminuye la efectividad del polielectrolito.

Cuando termine de adicionar el polielectrolito continúe agregando agua hasta completar el volumen total del tanque y mantenga operando el mezclador solo por una hora, con el objeto de no romper las macromoléculas de la solución viscosa que se formó.

Si se continuara con el mezclado se romperían las macromoléculas y se podría tener una solución completamente líquida sin ninguna utilidad.



3.9.0.- MANTENIMIENTO GENERAL

Introducción

- Las siguientes notas indican un mantenimiento de tipo general y no son una regla estricta ya que dependiendo de las necesidades del proceso se van dando mejoras en la disposición e instalación de nuevos equipos que llevan implícitos cambios en la rutina diaria del mantenimiento de los equipos y reactivos.
- La disposición de los equipos debe guardar una ubicación adecuada de acuerdo a la utilidad a que estén destinados.
- Los reactivos utilizados deben estar identificados y colocados en un lugar adecuado para su localización y resguardo.
- Para una buena operación, todo el equipo debe mantenerse *limpio*, se deben evitar salpicaduras o derrames y lavarse cuidadosamente con agua corriente. Evite cualquier derrame sobre las bombas o válvulas solenoide, manténgalas limpias todo el tiempo.
- El panel de control es una parte muy importante de la planta de tratamiento porque está indicando las condiciones de cada uno de los tanques y es de primordial importancia conservarlo limpio, con el objeto de evitar cualquier corrosión y presencia de polvo y grasa.

Sistema de electrodos para medir pH y ORP (potencial de oxido-reduccion)

- Este tipo de instrumentos es una parte muy delicada de todo el sistema de tratamiento y para garantizar que su funcionamiento es el adecuado se deberá hacer lo siguiente:
- El electrodo indicador de ORP requiere ser limpiado al inicio de cada turno de operación todos los días y se hará con mucho cuidado debido a que su membrana de vidrio es muy delicada y sus lecturas no son tan confiables cuando se le acumulan adherencias, esta limpieza se hace con ácido diluido al 50% utilizando una piseta con la solución preparada.
- El electrodo indicador de pH también requiere de los mismos cuidados debido a que posee las mismas características estructurales, su limpieza se realiza utilizando una piseta con agua destilada.

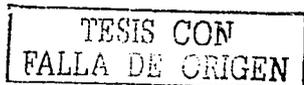
Dosificación de reactivos

Durante la operación de la planta de tratamiento debe de tener mucho cuidado de no dejar que se vacíen completamente los tanques de reactivo.

Cuando realice preparaciones de solución de polielectrolito, la solución concentrada de este producto debe adicionarse muy lentamente en el embudo mezclador y con la válvula que conecta directamente el flujo de agua, en posición de abierto; esto previene que se formen flóculos de gran tamaño del mismo producto, los cuales tapan inmediatamente el embudo de mezclador y además el producto que alcanzó a ingresar al tanque, tiene el mismo efecto, obstruyendo posteriormente las tuberías adyacentes. La agitación de la solución produce mucha espuma debido a la alta viscosidad, para evitar que haya derrames sobre el tanque que dan mal aspecto no utilice el volumen total del tanque, se recomienda usar un volumen de 383.5 litros. Si al utilizar cualquier recipiente en la preparación de la disolución este queda impregnado del producto, no trate de lavarlo inmediatamente porque con el agua se hidrata demasiado y solo aumenta su viscosidad sin lograr la limpieza del recipiente, se recomienda poner agua y dejar reposar varias horas para que se hidrate por completo, aumentando el volumen, de esta manera ya se puede desprender como un gelatina usando un estropajo.

Lubricación de las unidades de bombeo en la planta de tratamiento.

Esta es una operación del mantenimiento que se debe estar practicando periódicamente a las unidades receptoras de aceite lubricante en cada uno de los equipos de bombeo, para efectuarlo se deberá hacer lo siguiente :



Generar una orden de trabajo al departamento de mantenimiento.

Vigilar que la persona encargada de dar el servicio cambie el aceite lubricante de los recipientes contenedores.

Verificar que se vacíen los recipientes que retienen la humedad transportada en el aire de alimentación a los sistemas de bombeo.

Purgar la línea de alimentación de aire para eliminar el agua condensada en la tubería.

Fosas de retención

Estos depósitos contienen soluciones con características ácidas o alcalinas y están fabricados con paredes de concreto.

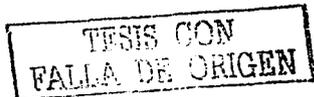
Se deberá mantener un nivel bajo de soluciones.

Para evitar filtraciones al subsuelo se deberá verificar periódicamente las condiciones de la malla de fibra de vidrio que protege las paredes, en caso de desgaste se hará la orden de trabajo al departamento de mantenimiento para que realice el cambio y colocación de otras nuevas.

Las varillas de los electrolitos en las fosas colectoras sufren desgaste por corrosión y por lo mismo deben cambiarse cuando sea requerido.

Rack para soporte de los tanques de reactivo.

Este tipo de instalación está fabricado con estructuras metálicas, las cuales soportan el gran peso de los tanques de reactivo y también están sujetas a la acción corrosiva de las soluciones, por lo cual es muy importante evitar derrames y realizar una inspección visual de sus condiciones físicas además de mantenerla bien pintada para disminuir el deterioro.



CUADRO COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR LOS LABORATORIOS EXTERNOS (las muestras corresponden al agua residual ya tratada proveniente de la línea de zincado).

Tabla 3-3

PARÁMETRO	UNIDADES	LIM MAX. PERM POR DIA	RESULTADOS AGOSTO 1998
temperatura	°C	40 inst	24
pH	U/pH	5.5/10	6.63
solid. sedim.	mg / l-h	7.5	0.1
grasas y aceites	mg / l-prom.	75	3
arsénico	mg/l	0.5	MLD
cadmio	mg/l	0.5	MLD
cianuro	mg/l	1	MLD
cobre	mg/l	5	MLD
cromo-VI	mg/l	0.5	0.001
mercurio	mg/l	0.015	MLD
níquel	mg/l	6	MLD
plomo	mg/l	1.5	MLD
zinc	mg/l	9	3.61
D.B.O.	mg/l	150	37.5
sólidos susp. totales	mg/l	125	9
materia flotante	(s/ u)	ausente	ausente

NOTA:

La norma aplicada para este caso es : NOM-002-ECOL- 1996

MLD = Menor al Límite De Detección

TIENE CON
FALLA DE ORIGEN

4 - MÉTODO EXPERIMENTAL

-TECNICAS DE LABORATORIO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PARTÍCULAS CONTAMINANTES

Para la determinación de especies químicas en solución, se pueden utilizar métodos colorimétricos o espectrofotométricos.

4.1. MÉTODOS COLORIMÉTRICOS

Para realizar una determinación de la concentración por métodos colorimétricos generalmente se debe de tener a la especie química de interés en presencia de otra entidad química que favorezca la reacción a su forma ácida o alcalina.

Entonces se hace reaccionar a la especie química con otra sustancia para transformarla en su forma salina o ácida, en cualquiera de estas formas se pueda usar un indicador ácido-base, el cual por un cambio de coloración indicará la presencia de la especie química que se quiere determinar y por lo tanto su concentración, esta concentración se determina apoyándose en métodos aprobados por marcas comerciales o laboratorios especializados que ya tienen elaborados métodos estandarizados para realizar determinaciones en un rango específico de concentración, comparando la coloración obtenida contra un estandar.

4.2 MÉTODOS ESPECTROFOTOMÉTRICOS

Este tipo de métodos se apoyan en el uso de un espectrofotómetro.

El espectrofotómetro está formado por un sistema óptico que proporciona una banda estrecha de luz monocromática y un circuito amplificador, con un bulbo al vacío, para medir la cantidad de luz que proporciona el sistema. Se puede obtener una exactitud mucho mayor con un espectrofotómetro que con método colorimétrico, aunque los dos son adecuados, dependiendo de la exactitud que se requiera es cuando se elige el uno o el otro.

Un espectrofotómetro es más sensible al cambio de tinte en el color, y el uso de luz monocromática elimina el error causado por dicromatismo, que es muy pronunciado en algunos sistemas de indicadores.

Algunos indicadores cambian de tinte al cambiar la profundidad de la solución, y se dice que son dicromáticos.

Aparentemente la razón para el cambio es que el tinte se debe a la presencia de dos o más colores, cuya intensidades se alteran al cambiar la profundidad de la solución. Si se usa luz monocromática se suministra nada más una banda de luz para adsorción por la solución.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.3-DETERMINACION DE CROMO

La determinación de cromo en solución se realiza aplicando la técnica de espectrofotometría a 540 nanómetros, que es el pico de máxima adsorción para el Cr^{6+} . Se utilizan los kids de MERCK Microquant 14756 y Spectroquant 14758 para determinaciones cuantitativas a nivel de laboratorio.

Microquant solo se llega a utilizar cuando se requiere un análisis rápido que indique concentraciones cercanas a las que se obtendrían en forma más cuantitativa por el método spectroquant. La concentración desconocida de cualquier solución que este dentro del rango de trabajo se obtendrá a través de la absorbancia que se registre en el espectrofotómetro, comparándola contra la absorbancia de un conjunto de soluciones de diferente concentración conocida.

Primero se debe de elaborar una curva de calibración para cromo, partiendo de soluciones de dicromato, se preparan varias soluciones eligiendo concentraciones diferentes para cada una a modo de formar un conjunto que represente el intervalo de trabajo del kid reactivo de MERC para la determinación.

Esta prueba sirve para la determinación de cromo en solución, realizando una reducción de cromo (VI) a cromo (III) con oxidación simultánea de difenilcarbazida a difenilcarbazona, seguida de formación de un complejo de cromo (III)-difenilcarbazona violeta rojizo.

Se toma una muestra del agua de proceso, por determinaciones anteriores se sabe que la concentración es aproximadamente de 0.025 a 2.5 mg/l (ppm), que está dentro del intervalo de trabajo del kid reactivo de MERC para la determinación de Cr^{6+} .

Ya teniendo la solución lista para el análisis se prepara la mezcla en tubos de ensayo para después colocar el volumen requerido para la determinación en cubetas rectangulares siguiendo el procedimiento, de acuerdo a la siguiente tabla, la cual indica la secuencia de agregación de los reactivos conforme al método que se haya seleccionado

Sistema de medida	Microquan 14756	Spectroquant 14758
Operación		
Núm. de determinaciones	300	600
a) Añadir Cr-IA	1 microcucharada rasa (gris) al tubo inferior	1 microcucharada rasa (gris)
b) Añadir Cr-2**	6 gotas al tubo derecho	6 gotas
c) Adición de la muestra T = 8-40' (ópticamente) T = 20-35' (fotométricamente)	6 ml a cada tubo	5 ml muestra
		10 muestra 20 ml muestra
d) Medida	5 minutos de espera	
	Comparar el color	Colorimetría a 540 nm

*) después de agitar intensamente el recipiente de ensayo herméticamente cerrado hasta Cr I A esta completamente disuelto.

CALCULOS QUÍMICOS REALIZADOS PARA ELABORAR LA CURVA DE CALIBRACIÓN

Para elaborar la curva de calibración se prepararon 5 soluciones de dicromato de potasio, estas soluciones representan el intervalo de concentración en el cual trabaja el kid de reactivos químicos que se va a utilizar para la determinación de la concentración del Cr^{6+} como principal contaminante químico.

Las concentraciones están dadas para dicromato de potasio porque en solución el Cr^{6+} esta formando esta especie química. Posteriormente se aplicará el factor adecuado para expresar la concentración en Cr^{6+} .

Datos:

PM $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ = 294.19 gr

PM Cr^{6+} = 61.996 gr

Pureza de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ = 99.932 gr

En la molécula de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ se tiene 2 átomos de Cr^{6+} , o sea 294.19 gr $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ = 103.992 gr Cr^{6+}

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

- ▼ Para una solución de concentración 2.5 ppm de $K_2Cr_2O_7$,

Se preparan 1000 ml de solución

$$1000 \text{ ml} = 1000 \text{ ml} \times \frac{2.5 \text{ mg}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{1.0 \text{ gr puros}}{1000 \text{ mg}} \times \frac{100 \text{ gr impuros}}{99.932 \text{ gr puros}} = .0025 \text{ gr de } K_2Cr_2O_7$$

- ▼ Para una solución de concentración 2.0 ppm de $K_2Cr_2O_7$,

Se preparan 1000 ml de solución

$$1000 \text{ ml} = 1000 \text{ ml} \times \frac{2.0 \text{ mg}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{1.0 \text{ gr puros}}{1000 \text{ mg}} \times \frac{100 \text{ gr impuros}}{99.932 \text{ gr puros}} = .0020 \text{ gr de } K_2Cr_2O_7$$

- ▼ Para una solución de concentración 1.5 ppm de $K_2Cr_2O_7$,

Se preparan 1000 ml de solución

$$1000 \text{ ml} = 1000 \text{ ml} \times \frac{1.5 \text{ mg}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{1.0 \text{ gr puros}}{1000 \text{ mg}} \times \frac{100 \text{ gr impuros}}{99.932 \text{ gr puros}} = .0015 \text{ gr de } K_2Cr_2O_7$$

- ▼ Para una solución de concentración 1.0 ppm de $K_2Cr_2O_7$,

Se preparan 1000 ml de solución

$$1000 \text{ ml} = 1000 \text{ ml} \times \frac{1.0 \text{ mg}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{1.0 \text{ gr puros}}{1000 \text{ mg}} \times \frac{100 \text{ gr impuros}}{99.932 \text{ gr puros}} = .0010 \text{ gr de } K_2Cr_2O_7$$

- ▼ Para una solución de concentración 0.025 ppm de $K_2Cr_2O_7$,

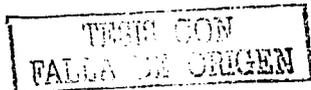
Se toman 2.5 ml de la solución de 1 ppm y se afora a 100 ml, con lo cual se tiene una dilución de 1 : 40

Para expresar la concentración de $K_2Cr_2O_7$ en concentración de Cr^{3+} tomamos cualquiera y aplicando factores de conversión se tiene:

$$0.025 \text{ gr de } K_2Cr_2O_7 \times \frac{103.992 \text{ gr } Cr^{3+}}{294.19 \text{ gr } K_2Cr_2O_7} = 0.025 \text{ gr } K_2Cr_2O_7 \times 0.3534858 \frac{\text{gr } Cr^{3+}}{\text{gr } K_2Cr_2O_7}$$

después de hacer las operaciones numéricas se tiene:

$$\text{gr de } K_2Cr_2O_7 \times .3534858 = \text{gr de } Cr^{3+}$$



4.4-DETERMINACION DE ZINC.

La determinación de la concentración de zinc se puede efectuar colorimétrica o espectrofotométricamente, debido a las concentraciones tan pequeñas que se han obtenido con el método colorimétrico,(5 a 2.5 mg/l), se efectuarán por el Método espectrofotométrico de MERC para zinc N°Cat. 14832 y celdas de 10 mm, en una longitud de onda de 565 nanómetros para máxima adsorción del Zn^{2+} .

Los iones de Zn^{2+} reaccionan con pyridylazonapitol en solución alcalina para formar un quelato rojo, complejo que es extraído y determinado fotométricamente.

Para medir fotométricamente la concentración de zinc, se prepara una curva de calibración, partiendo de una solución patrón de MERC de 1000 mg Zn^{2+} /l, los cálculos químicos se presentan a continuación:

- Se prepara una solución de 10 mg/l de concentración, por dilución 1:100 de un mililitro de la solución patrón.

$$100 \text{ ml} = (1 \text{ ml} \times 1000 \text{ mg/l}) / 100 \text{ ml} = 10 \text{ mg/l} \text{ ---solución A}$$

- Se prepara una solución .1 mg/l de concentración tomando un mililitro de la solución A y aforando a 100 ml, dilución total $100 \times 100 = 10000$.

$$100 \text{ ml} = (1 \text{ ml} \times 10 \text{ mg/l}) / 100 \text{ ml} = .1 \text{ mg/l} \text{ ---solución 1}$$

- Se prepara una solución .10 mg/l midiendo un volumen de 10ml de la solución A y aforando a 100 ml, dilución total $100 \times 10 = 1000$.

$$100 \text{ ml} = (10 \text{ ml} \times 10 \text{ mg/l}) / 100 \text{ ml} = 1 \text{ mg/l} \text{ ---solución 2}$$

- Se prepara una solución de 1.5 mg/l tomando un volumen de 15 ml de la solución A y aforando a 100 ml, dilución $100 \times 6.6666 = 666.66$.

$$100 \text{ ml} = (15 \text{ ml} \times 10 \text{ mg/l}) / 100 \text{ ml} = 1.5 \text{ mg/l} \text{ ...solución 3}$$

- Se prepara una solución de 2.0 mg/l midiendo 5 ml de la solución A y aforando a 25 ml, dilución total $100 \times 5 = 500$.

$$25 \text{ ml} = (5 \text{ ml} \times 10 \text{ mg/l}) / 25 \text{ ml} = 2.0 \text{ mg/l} \text{ ---solución 4}$$

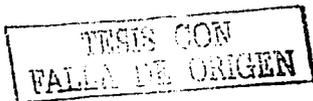
- Se prepara la solución de concentración 2.5 mg/l tomando 12.5 ml de la solución A y aforando a 50 ml, dilución total $100 \times 4 = 400$.

$$50 \text{ ml} = (12.5 \text{ ml} \times 10 \text{ mg/l}) / 50 \text{ ml} = 2.5 \text{ mg/l.} \text{ ---solución 5}$$

La prueba mide solamente iones Zn^{2+}

Material para la muestra:

Agua residual especialmente de electroplateado y fábricas de procesamiento de metal.



Contenido del paquete

1 frasco de reactivo Zn-1
1 frasco de reactivo Zn-2
1 frasco de reactivo Zn-3
1 frasco de reactivo Zn-4
1 frasco de reactivo Zn-5

2 vasijas de prueba con tapa roscada
1 jeringa de plástico graduada 5 ml
1 pipeta de solución.

-Otros reactivos y accesorios

ácido clorhídrico fumante 37
tiras indicador universal pH 0-14
solución de hidróxido de sodio al 10 %
ácido sulfúrico al 25 %
agente de extracción, isobutil-metil cetona
solución estándar de zinc lista para usarse 1000 mg / l Zn
peróxido al 30 % (H_2O_2)
pipeta para desplazamiento positivo 1-5 ml
rack para pipetas de desplazamiento positivo
celdas hechas de vidrio, ejemplo, celdas rectangulares de 10 ml.

Analizar las muestra inmediatamente después de la toma de muestras, si no es así conservar con ácido nítrico al 65% (añadir 1 ml de ácido nítrico a 1 litro de solución de muestra)

Use protección para los ojos

Muestras que contienen más que 2.5 mg/ l Zn se deben disolver con agua destilada

El pH debe estar dentro del rango 4-10

Ajustar si es necesario con solución de hidróxido de sodio ó ácido sulfúrico

Filtrar las muestras turbias, debido a que dan valores altos que son falsos .

-Procedimiento

	Muestra	Blanco (Solo para cada serie)	
Muestra pretratada (5 - 35 °C)	5 ml		Pipeteo dentro de la vasija de prueba
Agua destilada	-	5 ml	Pipeteo dentro de la vasija de prueba
Reactivo Zn - 1	5 gotas	5 gotas	Adicione y mezcle. El pH debe estar arriba de 12. Ajuste si es necesario.
Reactivo Zn - 2 Precaución, contiene cianuro de potasio.	2 gotas	2 gotas	Adicione cuidadosamente, cierre herméticamente la vasija de prueba y Mezcle.
Reactivo Zn - 3	5 gotas	5 gotas	Adicione , cierre herméticamente la vasija de prueba y mezcle.
Reactivo Zn - 4 Precaución, contiene formaldehído	3 gotas	3 gotas	Adicione cuidadosamente, cierre herméticamente la vasija de prueba y mezcle, subsecuentemente deje reposar por 3 minutos.
Reactivo Zn - 5	1 microcuchara gris al ras (dentro de la tapa del frasco de Zn-5)	1 microcuchara gris al ras (dentro de la tapa del frasco de Zn-5)	Adicione, cierre herméticamente la vasija de prueba y disuelva por sacudida vigorosa.
Agente de Extracción ¹⁾	5ml	5ml	Adicione usando una jeringa de plástico y cierre herméticamente la vasija de prueba.

1)isobutil-metil-cetona

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Sacudir vigorosamente ambas vasijas de prueba por 30 segundos y dejar reposar por 2 minutos.
- Tome el sobrenadante claro(fase orgánica) de las dos vasijas usando la pipeta de succión y adicione a las dos celdas.
- Después de 3 minutos mida la muestra contra el blanco, en el fotómetro.

Notas sobre la medición:

- El color de la solución medida permanece estable por lo menos 10 min.
- El blanco es de color amarillo.
- La medición de soluciones turbias da lecturas falsas altas. El extracto a ser medido(sobrenadante) debe estar claro. Si no es el caso deje reposar la vasija de prueba por otros 2 min, previa remoción del sobrenadante con la pipeta de succión.
- Enjuague completamente las vasijas de prueba con ácido clorhídrico y agua destilada previo a cada medición.

Para chocar los reactivos, equipo y procedimiento :

Diluir la solución estandar de zinc a 1 mg/l y analice como se describe arriba.

- Notas.

- Cierre con tapón los botes de reactivo inmediatamente después de usar.
- Las celdas deben estar limpias para mediciones fotométricas, limpie si es necesario con una tela seca y limpia.
- El contenido de las celdas y vasijas de prueba no debe vaciarse con el agua residual y debe estar dispuesto en acuerdo con la regulación oficial.

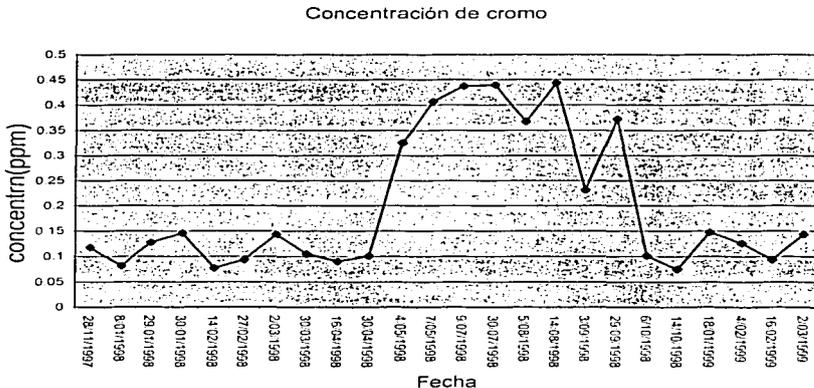
TESTE CON
FALLA DE ORIGEN

5 - RESULTADOS

Los datos siguientes corresponden a concentraciones de Cr^{6+} en el agua residual tratada, para condiciones en las que se están precipitando al cromo y al zinc en el mismo tanque y las condiciones de operación todavía no son satisfactorias.

Tabla 5-1

Concentraciones de Cr^{6+} en ppm												
Fecha	28/11/97	08/01/98	29/01/98	30/01/98	14/02/98	27/02/98	02/03/98	30/03/98	16/04/98	30/04/98	04/05/98	07/05/98
concentra cion	0.11816	0.0812	0.1275	0.14574	0.07674	0.0931	0.14356	0.10466	0.090408	0.1007	0.32535	0.40678
Fecha	09/07/98	30/07/98	05/08/98	14/08/98	03/09/98	29/09/98	06/10/98	14/10/98	18/01/99	04/02/99	16/02/99	02/03/99
concentra cion	0.43686	0.4308	0.36738	0.44298	0.23124	0.37254	0.101252	0.07514	0.14744	0.12606	0.0931	0.14356



Gráfica 5-1

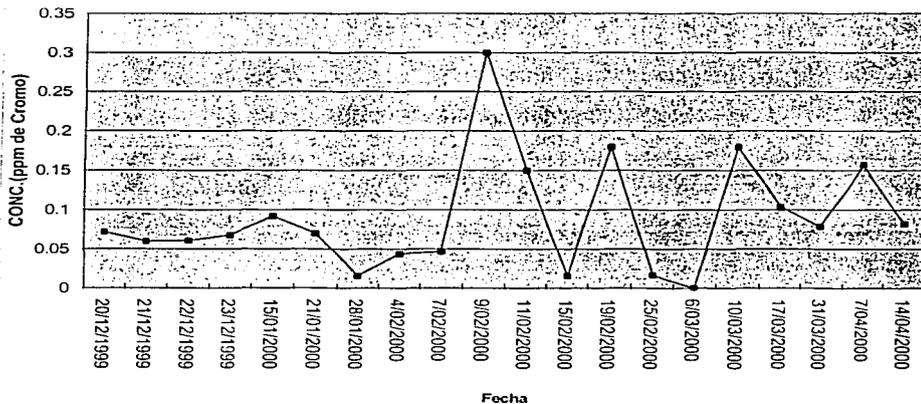
**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

A continuación se listan los resultados para las concentraciones obtenidas en la planta de tratamiento químico, estas concentraciones corresponden a las que se han registrado después de colocar el tanque adicional para precipitación, el tanque espesador de lodos y se adicionó el precipitado de metales, además de polímero catiónico y mejoramiento en la operación de la planta.

Tabla 5-2
Concentración de Cromo⁶⁺ en ppm

Fecha	20-12-99	21-12-99	22-12-99	23/12/99	15-01-00	21-01-00	28-01-00	04-02-00	07-02-00	09-02-00
Conc.	072	0599	061	0678	092	07	016	044	04672	3
Fecha	11-02-00	15-02-00	19-02-00	25-02-00	06-03-00	10-03-00	17-03-00	31-03-00	07-04-00	14-04-00
Conc.	15	016	1795	017	-	1795	104	0787	157	0819

Planta de Tratamiento

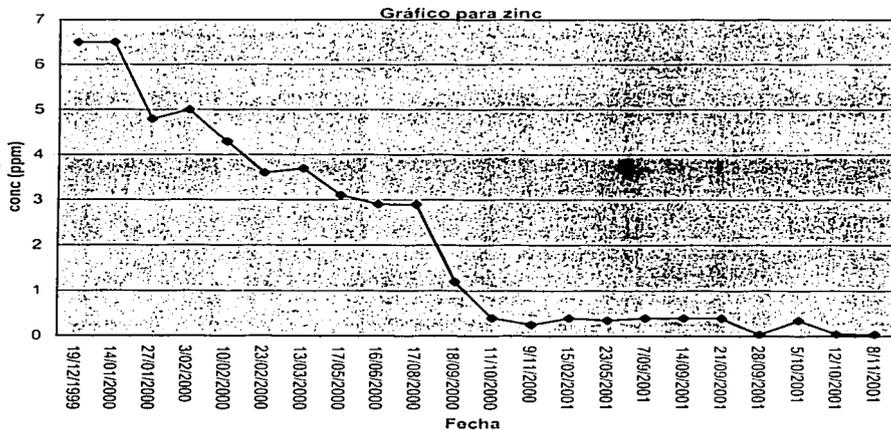


Grafica 5-2
Concentraciones para Cr⁶⁺ a partir de modificaciones y mejor operación de la planta de tratamiento.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 5-3

Concentración de Zn ²⁺ en ppm											
Fecha	19/12/99	14-01-00	27-01-00	03-02-00	10-02-00	23-02-00	13-03-00	17-05-00	16/06/00	17-08-00	18-09-00
Conc.	6.5	6.5	4.8	5.0	4.3	3.6	3.7	3.1	2.9	2.9	1.2
Fecha	11-10-00	09-11-00	15-02-01	23-05-01	07/09/01	14/09/01	21/09/01	28/09/01	5/10/01	12/10/01	08/11/01
Conc.	0.4	0.25	0.4	0.35	0.4	0.4	0.4	.03	0.35	.04	.04



Gráfica 5-3

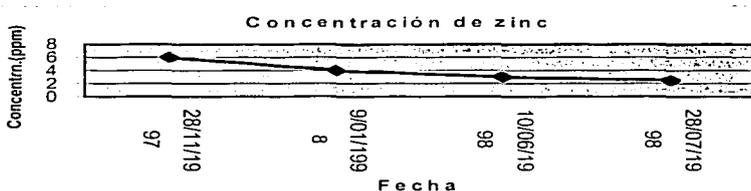
Concentraciones para Zn²⁺ a partir de modificaciones y mejor operación de la planta de tratamiento.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

REPORTE DE LABORATORIOS EXTERNOS PARA CONCENTRACIÓN DE ZINC Y CROMO VI.

Tabla 5-4
ENTHON OMI DE MEXICO S.A. DE C.V. (Laboratorio externo)

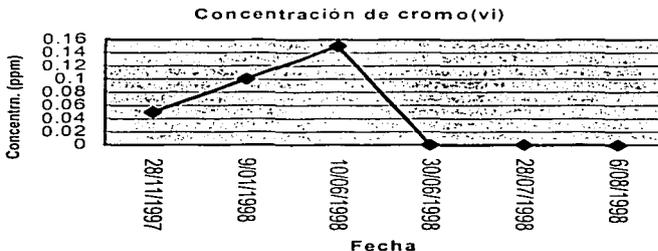
	Concentración de zinc(ppm)			
Fecha:	28/11/97	09/01/98	10/06/98	28/07/98
Concn.	6	4	3	2.5



Gráfica 5-4

Tabla 5-5
Concentración de cromo (vi) en ppm

fecha :	28/11/97	09/01/98	10/06/98	30/06/98	28/07/98	06/08/98
concentración:	0.05	0.1	0.15	n.d.	n.d.	n.d.



Gráfica 5-5

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

6 -ANÁLISIS DE RESULTADOS

Uno de los problemas que se tuvo desde el inicio fue con la conductividad, la cuál estaba en un valor de 10 000micromhos, este problema se solvento disminuyendo el consumo de sosa cáustica por dosificación intermitente de concentrados alcalinos. Sin embargo actualmente la normatividad ambiental no considera este parámetro, lo cuál nos permite olvidarnos de esta situación.

Tambien se vió que después de dar el tratamiento al agua residual se detectaba presencia de zinc en solución con una concentración que cumpliera con lo establecido por las normas oficiales mexicanas para derrame de sustancias toxicas al sistema de drenaje y alcantarillado, esta concentración producía todavía ligera turbidez en el agua tratada, para lo cuál se realizó un análisis de la misma y se determinó que el problema estaba en que tanto el zinc como el cromo tienen diferente valor de constante del producto de solubilidad y que también precipitan en un rango diferente de pH, este problema se solucionó diseñando un tanque para precipitar por separado los enjuagues alcalinos, los beneficios se observan en la curva el gráfico 5-2, al hacer la comparación con el gráfico 5-1 se ve que la variación de concentraciones para Cr^{VI} es más uniforme en el gráfico 5-2.

Los primeros reportes de los laboratorios externos se muestran en los antecedentes de la tabla 1-2 de la página 13, en esa sección se observa que en la planta de tratamiento no se tenía un control sobre la concentración de las sustancias contaminantes, los reportes para fechas actuales indican que se tiene adecuado manejo de los parámetros importantes, lo cuál permite tener concentraciones por debajo de la norma, en los gráficos 5-1 y 5-2 de las páginas 58 y 59 se observa que con el transcurso de los días y del tratamiento químico se obtienen concentraciones mas bajas de cromo (VI) , esto lo corroboran los reportes de los laboratorios externos, los gráficos 5-4 y 5-5 de la página 61 muestran los resultados con concentraciones por debajo de .5 ppm requerido por la norma como valor máximo promedio.

Los resultados de concentraciones para cromo y zinc obtenidos por los Laboratorios externos, como los obtenidos por los análisis internos, indican que las modificaciones que se han hecho en el diseño original de la planta son acertadas y que la decisión de operar en un régimen permanente de 24 horas, y no de 8 horas, como se realizaba en la etapa inicial de operación, han permitido obtener un tipo de agua con características aceptables en materia de regulación ambiental para descargas al sistema de drenaje y alcantarillado.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

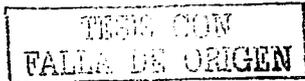
7 -CONCLUSIONES

Conclusiones:

- Con el tratamiento efectuado en esta planta a las aguas residuales provenientes de línea de zincado para casaquillo metálico se ha cumplido con las normas ambientales que rigen actualmente.
- El desempeño en esta planta de tratamiento nos ha brindado la oportunidad de realizar algunas consideraciones importantes, como la de haber concluido que a pesar de cumplir con la norma ambiental debía de reducirse aún más la concentración de la turbidez y los sólidos suspendidos, y que el nivel alto de estas características se debía a que se estaba precipitando en un mismo tanque y bajo un mismo pH a el Zn^{2+} y al Cr^{6+} , por lo cual una aportación ha sido la de colocar un tanque adicional de precipitación para separar al Zn^{2+} .
- Las instrucciones de operación para la planta estipulan un potencial de 250 milivolts, cuando la reacción alcanza este valor, el tablero electrónico envía la señal para que se adicione bisulfito, sin embargo este potencial se alcanzaba muy rápido y como producto de la reacción se obtenían concentraciones de cromo disuelto no deseables sin reducir, ésta inconformidad se resolvió adicionando menor cantidad de concentrados y cambiando la presentación comercial del bisulfito a metabisulfito, con el cual se logró mejor rendimiento.
- Otra modificación importante en el proceso es la colocación del tanque floculador dado que en las condiciones iniciales este tanque no existía y la floculación se realizaba en el tanque sedimentador, con esta acción se aplicó la teoría sobre floculación, para formar las moléculas de mayor peso y tamaño en régimen de velocidad alta, y, en ese mismo tanque, aprovechando un agitador de velocidad baja favorecer la coagulación de moléculas sin disgregarlas, con el se ha podido dar tratamiento a los lodos de sedimentación en forma programada acorde con la capacidad del filtro prensa. En el tanque adicional de precipitación se está adicionando un precipitador de metales de características ácidas y con ello se ha mejorado mucho mas la calidad del agua de tratamiento.
- Se está adicionando un polímero catiónico de peso molecular alto en el tanque T8B cuya función principal es de neutralizar, estabilizar cargas eléctricas y precipitar los contaminantes que acompañan al Zn^{2+} y al Cr^{6+} , se determinó usar polímero catiónico y no aniónico porque las pruebas de jarras indicaron que precipita mayor cantidad de contaminantes a la velocidad alta que se tiene en este tanque, aproximadamente 2000 rpm.
- Todas estas estrategias han rendido frutos porque actualmente las auditorías de la secretaria del medio ambiente son aprobatorias para nuestra planta.

Recomendaciones:

- Es muy importante que se mantenga una bitácora de registro de todas las acciones realizadas y condiciones de los parámetros que afectan al proceso como :
 - Registro de preparación de soluciones
 - Registro de pH y mV, conductividad, sólidos en suspensión y rangos de operación establecidos (límites prefijados, mínimo y máximo) así como la estandarización y calibración de electrodos.
 - Registro de incidentes inusuales (paros eléctricos, falta de reactivos, etc.).
 - Registro de órdenes de trabajo en los equipos de la planta (reparaciones o reemplazo de equipo).
- Se puede obtener mejor rendimiento en la planta de tratamiento si :
 1. Se instala otro tanque sedimentador.
 2. Un tanque adicional para concentración del agua tratada con un contenido rico en zinc.La instalación de estos equipos adicionales implicaría no mezclar el agua semitratada que sale del tanque T8C, la cual lleva un contenido de Cr^{6+} , y el agua semitratada que se obtiene del tanque adicional de precipitación



El asunto de la depuración de cualquier tipo de agua residual es un campo muy interesante y comprende una gran variedad de técnicas y temas que se relacionan unas con otras, no se debe perder de vista que todos los días pueden aparecer mejoras o nuevos métodos que permiten obtener mejores resultados. Por lo tanto lo que se ha tratado en este reporte no es lo único que se puede hacer para obtener mayor eficiencia del sistema de tratamiento. Para nuestro caso se podría realizar investigación en los siguientes puntos:

- El agua que se obtiene del tratamiento tiene alto contenido de dureza.
 - Esta agua contiene muchas sustancias del proceso y se tendría que hacer una caracterización completa para saber que se tiene realmente en cada efluente que ingresa a la planta, pero este estudio se tendría que realizar a través de un servicio de laboratorio externo.
 - El agua que se reutilizara tendría que cumplir con lo que establece la norma NOM-003 para aguas de rehuso.
 - Pasadas 36 horas el agua tratada comienza a formar complejos y las sustancias orgánicas comienzan a descomponerse y desprenden gases de olor desagradable.
 - El montaje de equipo para el tratamiento solo proporciona un tratamiento de tipo primario, para poder rehusar el agua se tendría que considerar el montaje de equipo necesario para tratamiento secundario y quizás terciario.
- El espacio en que se encuentra la planta de tratamiento no es suficiente para instalar más equipos, se tendría que utilizar un poco de espacio de la línea de zincado, o sacar la planta a el patio o a un lado del almacén de alcoholes.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

8.1-NORMA OFICIAL MEXICANA NOM -PA-CCA-031/93

PROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA

El proyecto de norma oficial mexicana NOM-PA-CCA-031/93, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal

Esta norma es aplicable para las descargas de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano y municipal, provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios de reparación y mantenimiento automotriz, gasolineras, tintorerías, revelado de fotografía y el tratamiento de aguas residuales.

Definiciones:

Aguas residuales industriales

Las que provienen del proceso de extracción, beneficio, transformación o generación de bienes de consumo o actividades complementarias.

Aguas residuales de actividades agroindustriales

Las que provienen de las actividades de la elaboración de alimentos, crianza y reproducción ganadera , porcícola, avícola y establos.

Aguas residuales de los servicios

Las que provienen de los servicios de reparación y mantenimiento automotriz, gasolineras, tintorerías, revelado de fotografías o similares.

Muestra simple

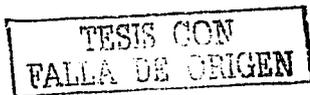
La que se tome ininterrumpidamente durante el periodo necesario para completar un volumen proporcional al caudal, de manera que éste resulte representativo de la descarga de aguas residuales medido en el sitio y en el lugar del muestreo.

Muestra compuesta

La que resulta de mezclar varias muestras simples.

Sistema de alcantarillado

Es el conjunto de dispositivos y tuberías instalados con el propósito de recolectar, conducir y depositar en un lugar determinado, las aguas residuales que se generan o se captan en una superficie donde hay una zona industrial, población o comunidad en general.



ESPECIFICACIONES (NOM-PA-CCA-031/93)

Las aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal a que se refiere esta norma, debe de cumplir con las especificaciones que se dan en la tabla :

Tabla 8-1

PARÁMETROS	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	
	PROMEDIO	INSTANTÁNEO
Temperatura (C)		40 °C(313 ° K)
pH(unidades de pH)	6 a 9	6 a 9
sólidos sedimentables (ml/l)	5	10
Grasas y aceites (mg/l)	70	140
Conductividad eléctrica (micromhos)	10, 000	15, 000
Aluminio(mg/l)	10	20
Arsenico (mg/l)	2	4
Cadmio (mg/l)	0.5	1.0
Cianuros (mg/l)	1	2
Cobre (mg/l)	5	10
Cromo hexavalente (mg/l)	0.5	1
Cromo total (mg/l)	2.5	5
Flúor (mg/l)	30	60
Mercurio (mg/l)	0.01	0.02
Niquel (mg/l)	4	8
Plata (mg/l)	1	2
Plomo /mg/l)	1	2
Zinc (mg/l)	6	12
Fenoles (mg/l)	5	10
Sustancias activas al azul de metileno (mg/l)	30	60

Como se puede observar al analizar esta tabla, nos podemos dar cuenta de que se están considerando 20 parametros importantes para la descarga de aguas residuales, sin embargo, lo que se consideró como importante se ha modificado, y actualmente estos parámetros se han contemplado de forma diferente con la aprobación de la norma oficial mexicana NOM-002-1996, la cuál también contempla los limites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

8.2-NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-002-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES A LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO URBANO O MUNICIPAL

1.0 Objetivo y campo de aplicación

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal a fin de proteger la infraestructura de dichos sistemas, así como prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, por lo cual esta norma se hace obligatoria para los responsables de descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Esta norma no se aplica a la descarga de las aguas residuales domésticas, pluviales, ni a las generadas por la industria que sean distintas a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado.

Definiciones:

Aguas pluviales

Aquellas que se originan por las lluvias, se incluyen en estas las nieves y el granizo.

Aguas residuales

Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

Aguas residuales de proceso

Las resultantes de la producción de un bien o servicio comercializable.

Aguas residuales domésticas

Las provenientes del uso particular de las personas y del hogar.

Condiciones particulares para descargas al alcantarillado urbano o municipal

El conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos y de sus límites máximos permisibles en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, establecidos por la autoridad competente, previo estudio técnico correspondiente, con el fin de proteger la infraestructura de dichos sistemas, así como prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales.

Contaminantes

Son aquellos parámetros o aquellos compuestos que, en concentraciones por encima de determinados límites, pueden producir efectos negativos en la salud humana y en el medio ambiente, dañar la infraestructura hidráulica o inhibir los procesos de tratamiento de las aguas residuales.

Descarga

Acción de verter aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

Instantáneo

Es el valor que resulta del análisis de laboratorio a una muestra de agua residual tomada de manera aleatoria o al azar, en la descarga.

Límite máximo permisible

Valor o rango asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en la descarga de aguas residuales.

Muestra compuesta

La que resulta de mezclar el número de muestras simples, según lo indicado en la tabla 8-2.

Muestra simple

La que se tome en el punto de descarga, de manera continua, en día normal de operación que refleje cualitativa y cuantitativamente el o los procesos más representativos de las actividades que generan la descarga, durante el tiempo necesario para completar cuando menos, el volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para conocer su composición, afirmando el caudal descargado en el sitio y en el momento del muestreo.

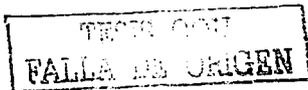


Tabla 8-2

HORAS POR DÍA QUE OPERA EL PROCESO GENERADOR DE DESCARGA	NÚMERO DE MUESTRAS SIMPLES	INTERVALO MÁXIMO ENTRE TOMA DEMUESTRAS	
		SIMPLES (HORAS)	
		MÁXIMO	MÍNIMO
Menor que 4	Mínimo 2	-	2
De 4 a 8	4	1	3
Mayor de 8 y hasta 12	4	2	3
Mayor de 12 y hasta 18	6	2	3
Mayor de 18 y hasta 24	6	3	4

Promedio diario

Es el resultado de la análisis de una muestra compuesta, tomada en un día representativo del proceso generador de la descarga.

Promedio mensual

Es el promedio ponderado en función del flujo, de los resultados de los análisis de laboratorio practicados al menos a dos muestras compuestas, tomadas en días representativos de la descarga en un período de un mes.

Punto de descarga

Es el sitio seleccionado para la toma de muestras, en el que se garantiza que fluye la totalidad de las aguas residuales de la descarga.

Especificaciones

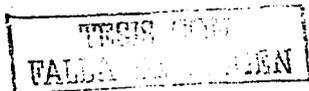
Los límites máximos permisibles para los contaminantes de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, no deben ser superiores a los indicados en la Tabla 8-3.

TABLA 8-3 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES

PARÁMETROS	Promedio Mensual	Promedio Diario	Instantáneo
(miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra)			
Grasas y aceites	50	75	100
Sólidos Sedimentables (miligramos por litro)	5	7.5	10
Arsénico Total	0.5	0.75	1
Cadmio Total	0.5	0.75	1
Cianuro Total	1	1.5	2
Cobre Total	10	15	20
Cromo Hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio Total	0.01	0.015	0.02
Níquel Total	4	6	8
Piombo Total	1	1.5	2
Zinc Total	6	9	12

Como puede verse en la tabla 8-3 la consideración que ahora se toma en cuenta es para 11 parámetros principalmente.

La presente norma abroga la Norma Oficial mexicana NOM-031-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 18 de octubre de 1993.



8 -BIBLIOGRAFÍA

- 1.-Manual del Agua-su Naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones- Nalco Chemical Company, Frank N. Kemmer-John MacCallion, Editorial Mac Graw Hill 1982.
- 2.-Fundamentos de Química Analítica Volumen 1- Raymundo Luna Rangel-Editorial Limusa 1976 1ª edición (Aplicaciones de los indicadores páginas 196-197, Balanceo de reacciones químicas por oxido-reducción capítulo 11 página 405)
- 3.-Química Analítica Cualitativa- Fernando Burriel Marti , Decimotercera Edición 1994, Editorial Paraninfo S. A. Madrid España
- 4.-Control de la Calidad del Agua ,Procesos Físicoquímicos -Walter J. Weber Junior, Edición en español, Barcelona, Editorial Henco Reverte, S.A. ,1979
- 5.-Ingeniería Sanitaria , Purificación de Aguas Residuales y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales- Fair - Geyer, Editorial Limusa 1996 Noriega Editores.
- 6.-Fundamentos de Físicoquímica - H. D. CROCKFORD, SAMUEL B. KNIGHT, Noviembre de 1989, decimonovena edición, Editorial CECSA
- 7.-Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales(Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater) - Publicado por : APHA, AWWA, WPCF-Editorial Diaz de Santos 1992, Madrid España.
- 8.-Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales-Purificación de Aguas, Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales-Gordon Maskew Fair, Editorial Limusa, México 1976.
- 9.-Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales -Fair Geyer, Editorial Limusa1996, Noriega Editores.
- 10.-Acondicionamiento de Aguas para la Industria - Sheppard T. Powel , Editorial Limusa 1974
- 11.-Análisis Químico Cuantitativo - Daniel C. Harris Gpo. Editorial Iberoamérica S.A. de C. V. 1992 (Números de oxidación- Balanceo de Ecuaciones Redox pág. 787-793 , Espectrofotometría páginas. 499,505,506,545,549 y 550).
- 12.-Manual de Riegel de Química Industrial - James A. Kent,1ª Edición en Español y 7ª en Inglés, Compañía Editorial Continental S. A. De C. V. México 1984-(Capitulo 26 Tecnología de las Aguas Industriales de Desperdicio;Niveles de Tratamiento, páginas. 867-885)
- 13.- Química Cuantitativa -Glenn H. Brown , Editorial Reverté S. A. 1967(Métodos Fotométricos páginas. 449 - 488).
- 14.-Acondicionamiento de Aguas para la Industria -Sheppard F. Powel, Editorial Limusa, 1984-.
- 15.-Química de la Materia - James B. Pierce México D. F. 1981, páginas 748 y 749.
- 16.-Metalurgia y Química de los Metales - Raymond Chang, Cuarta edición, 1ª en Español, páginas 849-851.
- 17.-Química Fundamental - Donal H. Andrews, Editorial Limusa, México 1968, páginas 566- 573.

