

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA



TRATAMIENTO QUIMICO COMPLEMENTARIO AL
SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE LO-
DOS ACTIVADOS DEL PRIMER DISTRITO DE CON-
TROL DE CONTAMINACION DE AGUAS EN
MEXICO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A N

DUNAWAY ZALDIVAR WALTER ROBERT
ZAVALA GALEANO ILSY HAYDEE

1 9 8 0

M-19102



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Jurado asignado originalmente:

PRESIDENTE	Prof. Edgar Sigler Andrade
VOCAL	" Guillermo Jose Valenzuela
SECRETARIO	" Jaime Medina Oropeza
1er. SUPLENTE	" Jesús Torres Merino
2do. SUPLENTE	" Victor Flores Zavala

Sitio donde se desarrolló el tema:

FACULTAD DE QUIMICA

Sustentantes:

Wadunaway

Dunaway Zaldivar Walter Robert

Ilizavala G

Zavala Galeano Ilsy Haydee

Asesor:



Guillermo Jose Valenzuela

Supervisor Técnico:

Edgar Sigler Andrade

Con Eterna Gratitud A Nuestros Padres:

Elvia y Max

Loly y Walter

Que estuvieron al pendiente de nuestros
problemas y nos dieron el apoyo neces-
ario para terminar nuestra carrera.

Con amor a nuestros hijos:

Ilsy Maybel, Walter Robert y Cheryl.

A nuestros hermanos.

Con todo el aprecio que se merecen.

A G R A D E C I M I E N T O S

Agradecemos de manera especial al Ing. Guillermo José Valenzuela por su ayuda desinteresada, para la realización de este trabajo así mismo agradecemos al M. en I. Edgar Sigler-Andrade que contribuyó a su supervisión.

El agradecimiento lo hacemos extensivo al Ing. Jaime Medina Oropeza, al M. en Inv. de Op. Victor Flores Zavala y al Ing. Jesús Torres Merino que nos brindaron sus conocimientos. Al M. en I. Roberto Castillo Tió por sus sugerencias, ideas e información indispensable para el desarrollo de esta tesis.

Por último damos las gracias a todos nuestros maestros- y compañeros de la Facultad de Química de la UNAM.

TRATAMIENTO COMPLEMENTARIO AL SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE LODOS ACTIVADOS DEL PRIMER DISTRITO DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN DE AGUAS EN MÉXICO.

1.- INTRODUCCION.

1.1- Objetivo del trabajo.

1.2- Localización y descripción del primer Distrito de Control de Contaminación de Aguas en México.

1.3- Planteamiento del problema.

2.- SELECCION DE LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO QUIMICO.

2.1- Alternativas de tratamiento.

2.2- Selección de los sistemas de tratamiento.

3.- BASES DE DISEÑO.

3.1- Diseño de unidades.

4.- ESTUDIO ECONOMICO.

5.- DISCUSION, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.- APENDICE.

7.- BIBLIOGRAFIA.

CAPITULO I

1.- INTRODUCCION.

1.1- OBJETIVO DEL TRABAJO.

El objetivo de este trabajo es realizar un estudio técnico-económico para proponer el proceso más adecuado que permita la eliminación de los componentes químicos presentes en las descargas de las industrias de la Ciudad del Valle de Cuernavaca (CIVAC), que alteran el proceso de tratamiento biológico de lodos activados de la planta del Primer Distrito de Control de Contaminación de Aguas en México. Se tratará a la vez de disminuir los malos olores existentes en la Zona de dichas descargas, también se buscará la solución al problema del control del pH y de las altas temperaturas de descargas para asegurar el período de vida útil del sistema de conducción de las aguas, que tienen una longitud aproximada de siete kilómetros entre la zona de descarga y la planta de tratamiento biológico.

Por otro lado se hará un análisis del efluente de la planta de tratamiento biológico existente y de la zona de descarga de esta, para valorar hasta que grado está ocasionando contaminación de las zonas aledañas, por la presencia de microorganismos patógenos.

Ahora bien, si se determina que estas aguas tratadas están causando contaminación, se propondrá un sistema de desinfección para eliminar el problema; de esta manera el agua po

drá ser usada para riego sin el peligro de propagar enfermedades.

1.2- LOCALIZACION Y DESCRIPCION DEL PRIMER DISTRITO DE CONTROL DE CONTAMINACION DE AGUAS EN MEXICO.

El primer Distrito de Control de Contaminación de Aguas - esta localizado en el Estado de Morelos en los municipios de Jiutepec y Cuernavaca que ocupa un área efectiva de 40 Km² , como se indica en el plano 1.

Este Distrito de Control de Aguas es utilizado como medio de tratamiento de las aguas a nivel regional produciendo beneficios en los rendimientos agrícolas que fueron abatidos - anteriormente por la contaminación. Estos beneficios constituyen ingresos y ventajas económicas de carácter social, debido a que las aguas residuales tratadas son utilizadas para riego.

El Primer Distrito de Control de Contaminación de Aguas - está formado por un sistema de alcantarillado separado, que capta las aguas residuales de la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca; un sistema de colectores transporta las aguas a la planta de tratamiento localizada a una distancia de 7- Km. También recibe las descargas de los poblados de Jiutepec , Talhuapan, Tejalpa y las aguas residuales de las industri-

as aledañas a la zona del CIVAC.

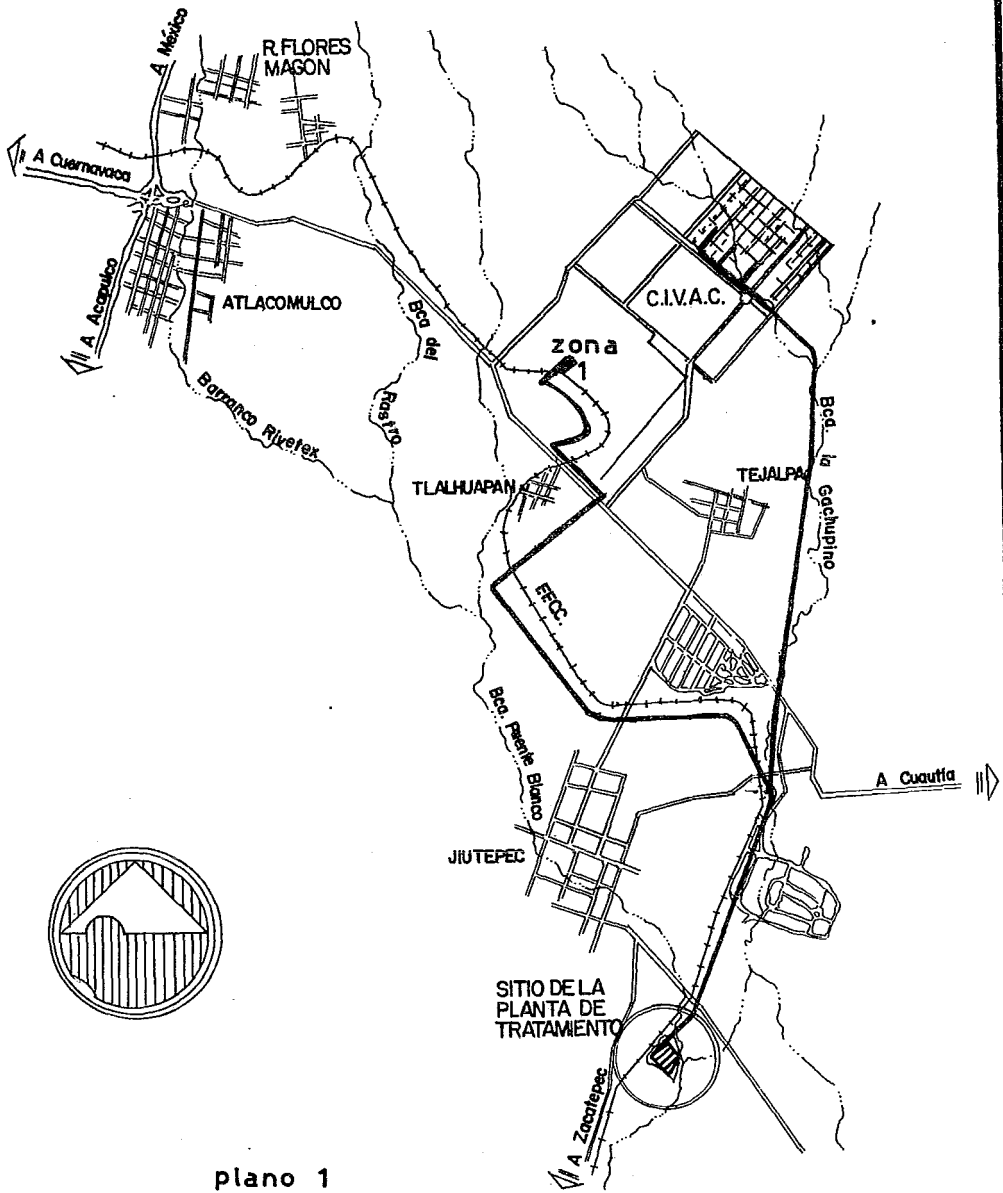
El Distrito recibe las aguas de las industrias tipos que aparecen en el siguiente cuadro:

INDUSTRIAS	CIVAC			POBLACIONES
	EN OPERACION	EN CONSTRUCCION	ALEDAÑAS A CIVAC	
QUIMICAS	12	2	1	
ELECTRICAS	3	-	1	
FARMACEUTICAS	-	-	1	7
ELECTROMOTRICES	1	-	-	
TEXTILES	4	-	5	
VARIAS	11	3	10	
T O T A L	31	5	18	7

El agua que llega a la planta para ser tratada presenta los siguientes valores promedios de características físico-químicas:

Influyente de la Planta de Tratamiento (valores promedio)

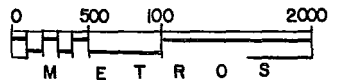
Temperatura:		Sólidos (mg/l)
ambiente: 28 °C		S.T.V. : 1059
agua: 29 °C		S.S.T. : 218
pH : 2 a 11		S.S.F. : 72
O. D. (mg/l): 0.13		S.S.V. : 161



plano 1

LOCALIZACION

ESCALA GRAFICA



D.B.O.	(mg/l)	:	595	S.T.	:	2587	(mg/l)
D.Q.O.	"	:	2250	S.T.F.	:	1536	"
G.y.A.	"	:	25	S.D.T.	:	2375	"
Fenoles	"	:	20.07	S.D.F.	:	1464	"
Detergentes	"	:	5.33	S.D.V.	:	912	"
CN ⁻	"	:	0.013	S. Se.	:	3.12	"
As	"	:	0.018	Hg	:	0.0012	"
Cr ⁻⁶	"	:	0.01	Pb	:	0.027	"
SO ₄ ⁼	"	:	250				

Coliformes NMP/100 ml *

Totales : 1.6x10⁶

Fecales : 9.2x10⁶

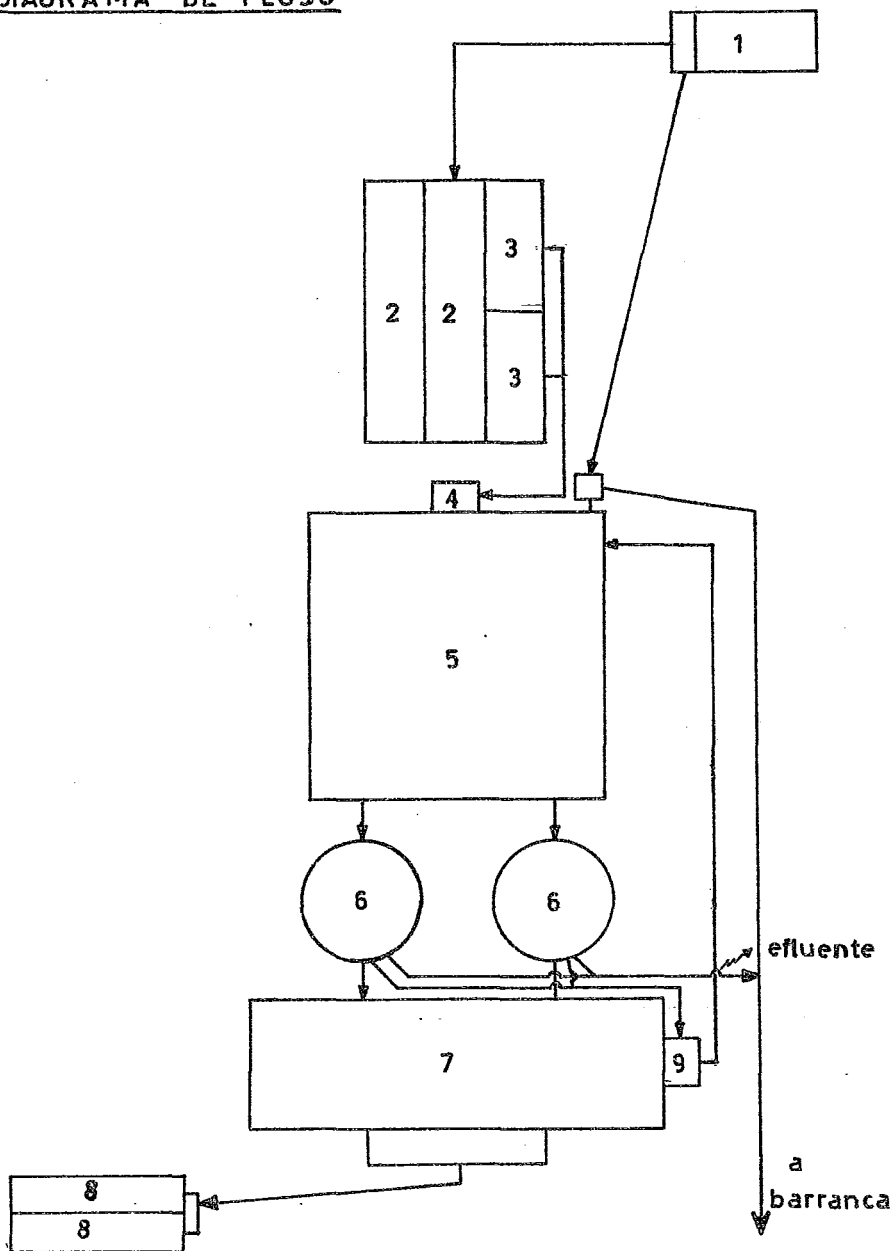
* Número más probable.

El agua residual con las características indicadas entra a una estructura de alimentación y cribado con el objeto de remover el material flotante, arenillas, y repartir el caudal a dos unidades de sedimentación primaria y se encuentra equipada con mecanismos de remoción de las partículas sedimentadas. Aunque existe un mecanismo de captación de las grasas y aceites, este no funciona de conformidad a las exigencias del proceso. Posteriormente el agua pasa a un tercer tanque de regulación de flujo; su efluente pasa a través

de un medidor Parshall para su medición y de éste al tanque de lodos activados para el tratamiento de las aguas. El efluente de este tanque alimenta dos tanques para remover DBO DQO y sólidos. El caudal de salida se descarga a una barranca localizada a unos 60 mts., de donde es utilizada para riego. Los lodos frescos son recirculados a la unidad de aireación para aumentar su eficiencia, ya que se trata de un sistema de aireación de mezcla completa. Los lodos generados en los tanques primarios y secundarios pasan a la unidad de digestión aeróbica y posteriormente, una vez digeridos, a los lechos de secado.

A continuación se presenta el diagrama de flujo del proceso.

DIAGRAMA DE FLUJO



EXPLICACION DEL DIAGRAMA DE FLUJO

- 1- Estructura de llegada y cribado: Su función es retener -- los sólidos flotantes y repartir el caudal a las unidades de sedimentación primaria, al cuerpo receptor y a la uni--dad de lodos activados.
- 2- Tanques de sedimentación primaria: Tiene el objeto de re--mover las arenas y cuerpos sedimentables.
- 3- Tanques de regulación de flujo: Esta unidad permitirá pro--porcionar un caudal constante, por medio de una válvula de mariposa de 30 pulgadas.
- 4- Medidor Parshall: Para medir la alimentación a la unidad de lodos activados o tanque de aireación.
- 5- Tanque de lodos activados: Esta unidad tiene la función -- de proporcionar el oxígeno necesario a las bacterias aeró--micas y facultativas, para oxidar la materia orgánica, ex--presada en términos de la DBO, DQO y COT,^{*} así como en Sólidos Suspendidos Volátiles.
- 6- Tanques de sedimentación secundaria: Persigue eliminar -- los lodos del agua para proporcionar el agua de riego, ob--jeto del diseño.
- 7- Tanque de digestión de lodos: Oxidará los lodos formados en las unidades de tratamiento secundario.
- 8- Lechos de secado: Como su nombre lo indica, almacenará --

los lodos ya digeridos para su secado.

9- Cárcamo de Bombeo: Recirculará parte de los lodos formados en las unidades de tratamiento secundario.

* Ver apéndice.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La oxidación bioquímica es un proceso lento y teóricamente tarda un tiempo indeterminado en completarse. Al cabo de un período de 20 días la oxidación se ha completado en un 95 a 99 %, a una temperatura de 20 °C, que es el valor óptimo para las bacterias mesofílicas. (1,3)

A distintas temperaturas se obtienen diferentes resultados en el efluente de tratamiento del sistema ya que la cinética de la reacción bioquímica está en función de la temperatura, influyendo también la concentración de microorganismos o sea, la relación de comida a organismos, así como el valor del pH en un intervalo óptimo de 6.5 a 7.5 (3).

Después de haber hecho un análisis de los efluentes de las 66 descargas, por parte de la Planta de Tratamiento del Primer Distrito de Control de Contaminación de Aguas, se determinó que los efluentes de las industrias químicas localizadas en la Zona I están ocasionando un serio problema para el funcionamiento óptimo del proceso de tratamiento biológico.

Las industrias químicas que se encuentran localizadas en la Zona I (ver plano 2) son: Química Mexama S. A., Esquim S. A., Lab. Christianson S. A. de C. V. y Lab. Julian de México S. A., cuyas descripciones se encuentran en la Tabla N^o 2.

El problema que se presenta es debido a la alta concentración de solventes orgánicos, fenoles, sulfuros, altas temperaturas y variaciones extremas de pH.

Los fenoles son inhibidores del crecimiento bacteriano, disminuyendo notablemente la cinética de la reacción de la DBO, ya que son difícilmente biodegradables. Aunque, en condiciones controladas y de aclimatación adecuadas como son temperatura, pH y cantidades de comida, los microorganismos son capaces de biodegradar el fenol y sus derivados hasta concentraciones moderadas. (22)

Los bajos pH y las altas temperaturas ponen en peligro las tuberías de concreto con recubrimiento asfáltico debido a que los ácidos atacan a éste.

La alta concentración de sulfuros ocasiona una marcada corrosividad. Los sulfatos en contacto con el concreto lo deterioran debido a ciertos cambios químicos que inducen a la formación de cristales de sulfoaluminato, los cuales originan una expansión de material que destruye su textura. También son responsables, en forma indirecta, de los olores ofensivos los cuales abundan en la zona de descarga de dichas fábricas.

El problema más grave se ha presentado por la formación de una capa de espuma en el tanque de lodos activados. Esta

T A B L A # 2

EMPRESA	TIPO DE EMPRESA	MATERIAS PRIMAS	CONSUMO DE AGUA EN $10^3 m^3 / AÑO$	GASTO DE DE SECHOS EN $\frac{Lts}{Seg.}$	CONTAMINANTES
QUIMICA MEXAMA, S.A.	QUIMICA ELABORACION DE ACIDO CI TRICO.	AZUCAR, ACIDO SULFURICO, ACIDO CLORHIDRICO, SOSA CAUSTICA, CAL Y CARBON - ACTIVO.	2 019.3	65	pH: ACIDO, TEMPERATURA: (30°C 45°C) Y SULFATOS
ESQUIM, S.A.	QUIMICA: PRODUCTOS QUIMICOS Y - FARMACEUTICOS.	HIDRATOS DE HIDRAZINA, - OXIDO DE ETILENO, EXPOXI DO, HIDRAZINA, ANHIDRIDO ACETICO, ACIDO NITRICO, - FURFURA, MORFOLINA, EPI CLORHIDRINA PARA CRESOL, ISOBUTILENO, FENOL Y ACE TONA.	48.0	1.6	pH: ACIDO, FENO LES, SOLVENTES - ORGANICOS. TEMPERATURA: -- (30°C 45°C).
LABORATORIOS CHRISTIANSON S.A. DE C.V.	QUIMICA: ELABORACION DE PRODUCTOS QUIMICOS NONILFENOL; TODA LA SERIE DE CRISANOL	ACIDO SULFURICO, SOSA -- CAUSTICA, DIETILENGLICOL, FORMAL DE MIDO, NONENO, - ALCOHOL ETILICO, MONOMERO DEL ESTIRENO, FENOL, - NASTULENO HIDROXIDO DE - POTASIO	22.0	0.8	pH: ACIDO, FENO LES.
LABORATORIOS JULIAN DE MEXICO, S.A.	QUIMICA: QUIMICOS SINTETICOS, - FARMACEUTICOS -- (SULFADIAZINA, - SULFAMETAZINA, - SULFAMERAZINA.)	NITROBUTILANILINA, ANH, - ACETICO, ACIDO NITRICO, - SOSA CAUSTICA, TOLUENO, - CIANAMIDA, ACIDO CLORHI DRICO, ACETIL, ACETONA, METILCLOROFORMO, SULFA-- GUENIDINA, SOSA EN ESCAMAS, SULFIDRATO DE SODIO, HIDROSULFITO DE SODIO Y- ALCOHOL ETILICO.	89.46	3.0	pH: ACIDO, SULFU ROS, OLOR Y FENO LES.

capa cubre completamente la superficie del agua disminuyendo el coeficiente de transferencia de oxígeno, del aire, requerido por las bacterias aeróbicas para oxidar la materia orgánica, lo mismo sucede en el tanque de digestión de lodos. - Esta capa llega a tener gran espesor que muy frecuentemente rebasa la altura del borde libre del tanque de lodos activados teniéndose que detener el sistema de aireación mecánico por ventiladores y esperar hasta que la espuma descienda y pueda ser controlada. Esta detención del sistema de aireación, para poder controlar la espuma, hace que el proceso -- tenga un elevado porcentaje de deficiencia.

Se hicieron pruebas de laboratorio para ver que sustancias son las causantes de este problema obteniéndose como resultado que el fenol en contacto con grasas, aceites y agentes tensoactivos, en concentraciones equivalentes a las existentes en la planta, al proporcionarles una agitación superficial producen espuma de la misma característica a la formada en la planta.

Los análisis realizados a las industrias localizadas en la Zona I reportaron altas concentraciones de fenoles, sulfatos, grasas y altos requerimientos de DQO que son los causantes de este problema.

En el diseño original no se considera esta situación y --

por esta razón previamente se hizo una simulación de flujo - en el que las descargas eataban separadas a distancias de -- 200 metros y 2 Km unas de otras, como lo indica el plano I.

Otro de los problemas es el ocasionado por la gran cantidad de microorganismos presentes en los tanques de aireación y de lodos activados hacen que el efluente de la planta, que será utilizado con fines agrícolas, tenga una considerable - concentración de estos y, si el ambiente es favorable en la barranca donde es descargado este efluente, estos microorga- nismos seguirán reproduciéndose debido al corto tiempo de re generación siendo una fuente de enfermedades microbiológi-- cas. (1)

Se realizaron análisis bacteriológicos a muestras tomadas en la planta y en el efluente que cae a la barranca y los re sultados fueron los siguientes:

PARAMETRO NMP/100 ml			
Descripción	Coliformes		Estreptococos
	Totales	Fecales	Fecales
PLANTA	1.6×10^{12}	3.5×10^{11}	9.2×10^{11}
EFLUENTE	2.0×10^{11}	5.4×10^{10}	1.6×10^{11}

Las condiciones de descarga establecidas a la planta por

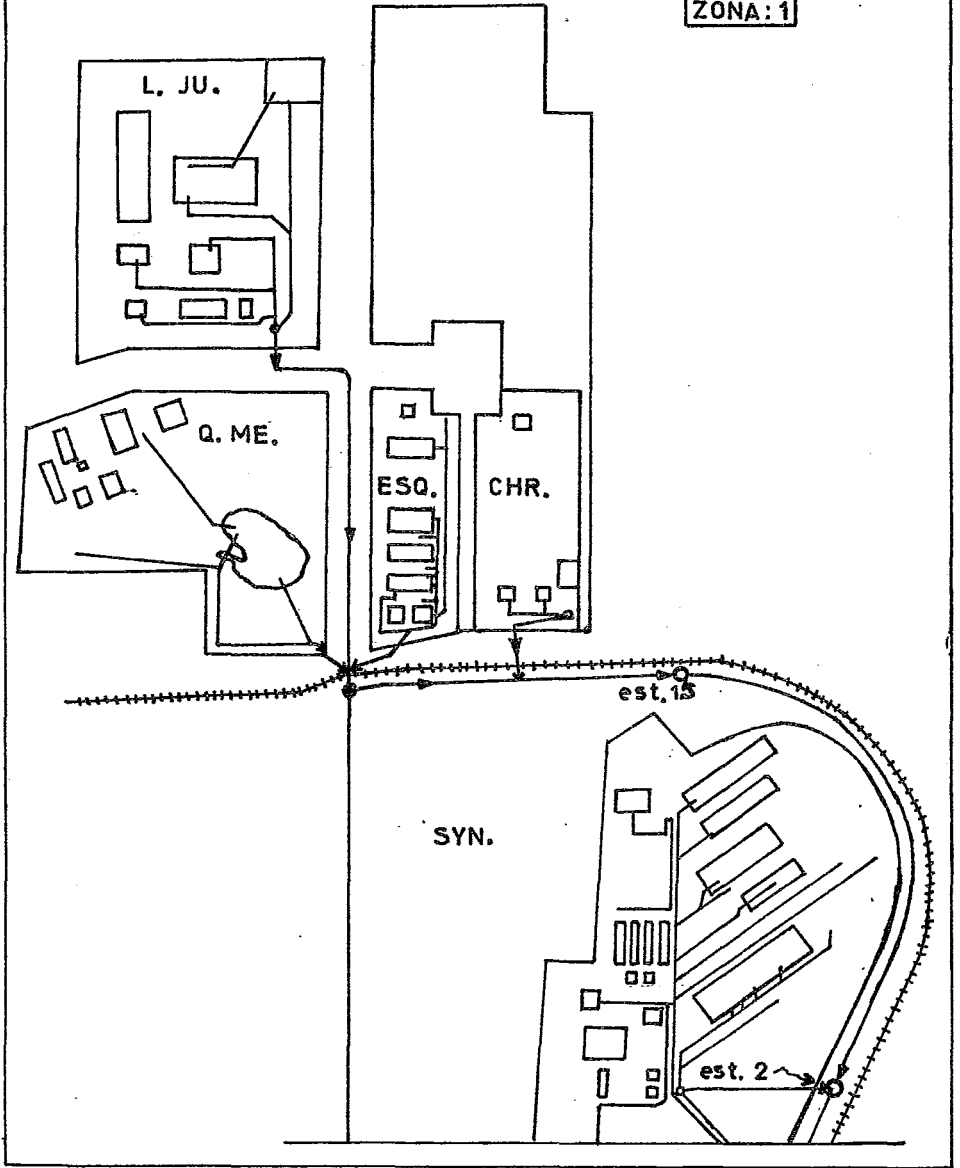
Resultado de los análisis realizados para este estudio.

Descripción	P A R A M E T R O S (mg/l)						
	pH	DBO	DQO	Fenol	SAAM	SO ₄	Grasas
MEXAMA	4.5	1217	10584	0.005	0.48	650	25.6
ESQUIM	1.7	1224	2744	77.82	0.8	117	36
LAB. JULIAN	6.6	882	3038	0.09	0.45	315	13
LAB. CHRIST.	7.6	756	2352	65.3	2.0	51	3
ESTACION I	5.4	1399	2842	29.0	1.35	544	24
SYNTEX	5.4	3622	8624	0.10	0.9	108	1
ESTACION II	5.0	1329	2842	12.3	1.2	781	26
ENTRADA PLANTA	6.7	595	2254	20.07	5.0	225	25
PLANTA	7.3	96	411	9.0	2.86	295	9
EFLUENTE PLANTA	7.4	90	352	5.0	4.0	290	4

(Estos análisis fueron realizados en el Departamento de Laboratorio de la Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica, Subsecretaría de Planeación.)

PLANO 2

ZONA: 1



la Secretaría de Recursos Hidráulicos establece un máximo de 1000 organismos por 100 ml de muestra.

Con este análisis bacteriológico se ve que existe un gran número de organismos Coliformes y Estreptococos; los organismos coliformes no son dañinos al hombre y de hecho son útiles para destruir la materia orgánica en los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales. (1)

El número tan grande de organismos coliformes se interpreta como una indicación de que los organismos patógenos están presentes y su ausencia indica que el agua se halla exenta de organismos productores de enfermedades tales como la fiebre tifoidea, disentería y otras.

Con esto se observa que es de urgencia contar con un post tratamiento del efluente de la Planta de Tratamiento Biológico de Lodos Activados ya que estas aguas son utilizadas para riego y las aerobacterias y ciertas especies como la E. Coli (Escherichia Coli), se desarrollan fácilmente en el suelo -- produciendo una contaminación rápida de la región.

Por todo lo planteado anteriormente ^{en} el siguiente capítulo se presentaran varias alternativas para solucionar estos problemas, seleccionándose la mejor desde un punto de vista técnico como económico y de esta manera la planta po--

drá cumplir con las condiciones de descarga establecidas por la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

"CONDICIONES PARTICULARES TENTATIVAS DE DESCARGA DE LA EMPRESA PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AGUA EN LA ZONA - DEL CIVAC"

Para que sus aguas residuales puedan ser utilizadas en -- tierras de cultivo (clasificación DIII), deberán respetarse los siguientes valores máximos:

Potencial de Hidrógeno (pH)	6.0 a 9.0
Temperatura en °C	Máximo 30
Grasas y Aceites	Máximo 5 mg/l
Sólidos Suspendedos Totales	Máximo 35 mg/l
Arsénico	Máximo 1.00 mg/l
Berilio	Máximo 0.50 mg/l
Bario	Máximo 5.00 mg/l
Boro	Máximo 1.50 mg/l
Cadmio	Máximo 0.01 mg/l
Cobre	Máximo 0.05 mg/l
Cromo Hexavalente	Máximo 0.10 mg/l
Mercurio	Máximo 0.01 mg/l
Plomo	Máximo 0.10 mg/l
Selenio	Máximo 0.05 mg/l
Cianuro	Máximo 0.02 mg/l
Fenoles*	Máximo 1.00 mg/l
RAS	Máximo 6.00

Coliformes Totales

Máximo 1000 organismos
por 100 ml de muestra.

*(En otros países su límite máximo es 0.002 mg/l)

CAPITULO II

2- SELECCION DE LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO QUIMICO

2.1 ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO.

En este capítulo se presentan las diferentes alternativas de tratamiento para la eliminación de los componentes químicos indeseables en las aguas de desechos de las industrias mencionadas anteriormente, para luego seleccionar el sistema de tratamiento que presente un mejor acoplamiento al sistema existente, que sea eficiente y a la vez rentable.

2.1.1 ALTERNATIVAS DE ELIMINACION DE FENOLES.

El término Fenol en aguas residuales incluye no solamente al fenol (C_6H_5OH), sino que a todos los compuestos con uno o más hidroxilos (OH), unidos a un anillo aromático como por ejemplo los orto, para y meta sustituidos (Ejemplo: el cresol).

La presencia de fenoles en el agua ocasiona efectos adversos como los siguientes: por ejemplo 0.005 mg/l de fenol producen un olor y sabor desagradables al agua potable, especialmente cuando está clorada. (El fenol se combina con el clorado.) El fenol se combina con el cloro para formar clorofenoles. Los fenoles son tóxicos en niveles bajos de 2 mg/l - para el ser humano ocasionando irritaciones renales, shocks, etc. y al ingerir dosis de 1.5 g los resultados son fatales.

La demanda teórica de oxígeno por los fenoles es relativamente alta (2.4 mg de O₂ por mg de fenol). (22)

Generalmente la recuperación de fenoles presentes en aguas residuales es sólo aplicable cuando se presentan concentraciones por encima de 2000 mg/l (22), con un flujo aproximado de 50gpm, la recolección se evalúa en base al valor de la cantidad recogida y el costo de recogerla. Este proceso de recolección se hace por medio de una extracción líquida con solventes como benceno-sosa, en una columna empacada, recolectándose del 92-93 %. El proceso se realiza a contracorriente, aquí el benceno es el solvente de extracción; la sosa caústica es usada para lavar el fenol que proviene del benceno convirtiéndolo a fenolato de sodio, usando vapor, ácido carbónico y un exceso de sosa caústica, el fenol es separado de la fase acuosa. Existen otras modificaciones para el empleo del proceso de recuperación de fenoles.

Los métodos más usados para tratar desechos fenólicos son: incineración, adsorción, tratamiento biológico y oxidación química. La selección del sistema depende de la rentabilidad y de otras consideraciones.

Incineración de Fenoles.- La incineración de fenoles consiste en la destrucción completa a dióxido de carbono y agua por la reacción química siguiente:



Teóricamente el fenol, sometido a un proceso de combustión, genera 13,300 BTU por lb de fenol; el proceso de combustión puede utilizarse en una mezcla que contenga 18 % de fenol, 82 % de agua, con 10 % de exceso de aire a 760 °C (22), sin embargo, la solubilidad del fenol en agua a condiciones ambientales es sólo del 10 % por lo que se requiere de un sistema de agitación mecánica para mantener una corriente combinada de dos fases, una fase acuosa saturada con fenol y una segunda fase de líquido pesado en donde predomina el fenol.

El incinerador es del tipo de una cámara horizontal de combustión, el fenol es almacenado en un tanque de gran capacidad equipado con agitación mecánica de donde es bombeado a un atomizador de desechos líquidos que lo alimenta a una presión de 80 psi, el vapor atomizado es suplido a 125 psi y se le adhiere gas de combustión, para mantener la temperatura de combustión a 871 °C se utiliza un lecho fluidizado de incineración para destruir los contaminantes orgánicos; los desechos son distribuidos alrededor de la periferia del lecho para mantener siempre la alimentación al sistema. El sistema opera cerca de la temperatura de fusión de los productos de incineración y los sólidos finos se granulizan.

Un sistema de este tipo puede tener una capacidad de hasta 5,000 lb/hr, con un reactor de 8.5 metros de diámetro. ^A

Tratamiento Biológico de Fenoles.- El tratamiento biológico para la destrucción de desechos fenólicos es aplicable a un amplio intervalo de concentraciones. Se han reportado tratamientos efectivos desde concentraciones de 7 a 10 mg/l y otras mayores a 1,000 ppm (37), bajo condiciones propias controladas los microorganismos pueden desarrollarse y ser apropiados para tratar desechos fenólicos. El tratamiento biológico puede ser muy efectivo si es diseñado y operado para esto. Muchas plantas reportan en el efluente final un intervalo de 0.1 mg/l a partir de un flujo de desecho alimentado -- con 1,000 ppm. (22)

El proceso biológico más aplicado es el de lodos activados, otros procesos utilizados son: lagunas de oxidación, zanjas de oxidación; para bajas concentraciones ha dado buen resultado el uso de filtros rociadores. (22)

La operación del tratamiento biológico depende de la salud y actividad de los microorganismos, estos microorganismos requieren suficiente comida y oxígeno, un ambiente estable, pH, temperatura, etc. Si esto se cumple se mantiene la óptima eficiencia.

En orden de asegurar la comida y las condiciones ambienta

les de manera que la biomasa sea constante, es necesario entonces un tanque de igualación. El diseño del tanque de igualación debe ser la diferencia entre sucesos y fallas del sistema biológico.

Muchas industrias operan sólo 5 días a la semana en lugar de 7 días, ocasionando problemas de mantenimiento óptimo de las condiciones ambientales para la biomasa cuando hay generación de fenoles. Estos aspectos podrían ser considerados con cuidado antes de seleccionar el sistema biológico para desechos fenólicos. Esta variabilidad puede ser particularmente grave para plantas municipales que contienen fenoles y en las que no se tienen conocimientos de los ciclos de operación de la industria que genera el desecho.

El influente de una planta de tratamiento podría eventualmente ser baypaseado e igualado sobre un flujo básico a una temperatura base y concentracio también base para mantener siempre las condiciones óptimas de operación.

El tanque de igualación siempre es colocado a la cabeza de la planta de tratamiento. Se diseña para tener un tiempo de retención de pocas horas a varios días, dependiendo de la variabilidad operacional de la planta para absorber las cargas pico de fenoles.

Suministro Complementario Alimenticio.- Adicionalmente se -

puede presentar el caso de tener que suministrar "comida" al tratamiento biológico, cuando se presentan períodos de baja carga, por ejemplo, en fines de semana largos, cuando el mantenimiento de la planta es mínimo. En estos casos se añade producto alimenticio sintético para mantener la biomasa constante. Si la biomasa carece de los nutrientes necesarios podría abatirse y morir.

Las lagunas aireadas y zanjas de oxidación usadas para --tratamiento diluido de desechos, son diseñadas sobre la base de varias semanas o días como tiempo de retención. En estos casos el suministro suplementario de alimento no es necesaa--rio.

Parámetros de Diseño.- El proceso de lodos activados debe --ser diseñado para el mantenimiento de condiciones óptimas de operación. Esto incluye control de pH, control de temperatura, suministro suficiente suficiente de oxígeno, nutrientes, eliminación de sustancias químicas que pueden ocurrir como resultado de una descarga inadvertida.

Diseño del Tanque de Aireación.- Este podría ser de mezcla completa. Si se decide por un tanque rectangular debe mantenerse una proporción de longitud a ancho de 2:1 o 3:1 .

Control del pH.- Intervalo de operación de 7 a 9.

Temperatura.- Se ha determinado que la temperatura óptima -- de una operación es en el intervalo de 30 a 37°C.se presenta una cierta disipación de temperatura en los tanques de igualación y su efecto debe ser tomado en cuenta.La actividad -- del decremento de la biomasa, se ve afectada por el decre -- mento de la temperatura.

Abastecimiento de Oxígeno.- Los requerimientos de oxígeno -- varían de acuerdo a la carga y temperatura. Teóricamente se requieren 2.4 lb de oxígeno por lb de fenol.

Nutrientes.- Tanto en el amonio como en el fosforo son requerimientos nutricionales para los microorganismos. El agua -- cruda deberá ser analizada para determinar los requerimien -- tos de nutrinetes ó su eliminación cuando se presentan en -- exceso. Se ha determinado que la relación de fósforo a fenol es de 1:70 para mantener la oxidación óptima y de nitrógeno a fenol de 1:10.

Carga de Fenol.- Varias plantas pilotos han sido operadas con cargas de 250 a 300 lb/día/1000 ft³ y concentración de lodos de 5,000 a 6,000 mg/l con 99.8% de remoción.

La relación de lb de DBO a lb de sólidos suspendidos volá

tiles en el licor mezclado anda en el intervalo de 0.2 á 0.3 aunque, algunas plantas tienen una relación tan baja como de 0.1.

Tiempo de retención.- Los tiempos de retención en tanques de aireación en operación varían de 15 a 24 horas.

Adsorción de Fenoles con Carbón Activado.- Generalmente el - el tratamiento de fenoles mediante carbón activado, es aplicable a bajas concentraciones de desechos fenólicos. Este tratamiento es más efectivo en compuestos aromáticos, no polares, y material orgánico de alto peso molecular. El carbón granular activado ha sido aplicado con éxito a desechos de refinerías y otras industrias. Se han reportado concentraciones finales de fenol de 1.0 mg por litro.

El carbón activado tiene una capacidad limitada de remoción de fenol y eventualmente debe ser regenerado. El fenol es removido del carbón activado por regeneración química, lo que permite recobrar de una corriente fenólica concentrada - o por regeneración termal que destruye el fenol. Pruebas realizadas en isotermas de adsorción, indican que el tratamiento con carbón activado da concentraciones tan bajas de 0.1 mg por litro.

Generalmente, la forma preferida de carbón activado es la

granular. Torres de adsorción pueden ser diseñadas para cualquier presión o flujo gravitacional, y ellas pueden ser operadas a bajo o alto flujo. Los intervalos de las velocidades de flujo son de 4 a 10 gpm por ft² de área superficial de lechos de carbón, con un tiempo de contacto que varía de 30 min. a 200 minutos.

Es necesario pretratar el desecho de fenol. La concentración de sólidos suspendidos en el influente a una columna -- de bajo flujo podría ser menos que 60 mg por litro y el contenido de aceite de 20 mg por litro. La operación con un sobre flujo requiere una baja concentración de sólidos suspendidos y generalmente es aplicado a filtros.

Resultados de operación indican que la capacidad del carbón varía de 0.4 a 0.09 g de fenol por gramo de carbón activado, correspondiendo a una remoción de DQO que varía de 1.79 a 0.42 g de DQO por gramo de carbón.

El carbón activado remueve no sólo el contenido de fenol, sino también otros materiales de tipo orgánico. De manera -- que la carga de diseño es función del total de material orgánico que puede ser adsorbido por la columna de carbón activado. Para determinar si el carbón activado es aplicable a un desecho específico, es necesario realizar varias concentraciones de granos de carbón activado con muestras de desechos y determinar la concentración final del fenol almacenado.--

El tiempo, de contacto podría estar basado en datos de condiciones de equilibrio.

Las variables a considerar incluyen el tipo de carbón y posibles pH. estas pruebas pueden determinar si el carbón -- activado puede producir el efluente deseado, y que tipo de carbón es el mas adecuado; asi es como pH. es el necesario.

Oxidación Química de Fenoles.- La oxidación química es utilizada para la destrucción de fenoles en diferente manera -- (35), para tratar lotes de desechos con altas construcciones de fenoles y bajos en otras materias orgánicas. Los fenoles se oxidan facilmente mediante una oxidación química obteniéndose como producto dióxido de carbono y agua. Un pretratamiento antes de un tratamiento biológico puede llevarse a cabo en el tanque de igualación, para reducirlo a un nivel uniforme antes de que entre al tanque de aireación.

Los agentes oxidantes pueden ser utilizados son : Peróxido de Hidrógeno, Ozono, Cloro, Dióxido de Cloro y Permanganato de Potasio. Aunque el fenol sea destruido mediante una oxidación química, la DQO permanece en el agua residual por lo que se requiere un tratamiento adicional para remover la DQO existente.

Oxidación con Peróxido de Hidrógeno.- El peroxido de hidróge

no, en presencia de pequeñas cantidades de sales de fierro, es un oxidante efectivo del fenol en un amplio intervalo de temperaturas y concentraciones.

La presencia de sales de metales, particularmente sales de fierro, son necesarias para catalizar la reacción de oxidación completa. También pueden usarse al $^{+++}$; Cu^{++} y Cr^{++} como catalizadores de la oxidación de fenoles (38).

Aproximadamente una lb de H_2O_2 oxida a una lb de fenol con un 98% de remoción de fenoles. Una relación de dos lb H_2O_2 - por una lb de fenoles proporciona mas del 99% de remoción.

Una prueba de laboratorio con agua residual que contenia 24,000 mg/l a un PH. de 6.5, utilizando 0.02% de Fe^{++} como -- catalizador mostró los siguientes resultados al ser tratada con H_2O_2 (38):

H_2O_2 /DQO relación en peso	% de remoción de fenoles	% decremento en DQO
0.3	86	28
0.4	94	32
0.6	99	40
0.7	99.8	44
0.8	99.9	52
1.0	100	69

La presencia de las otras sustancias orgánicas en la corriente hacen que incremente la cantidad de H_2O_2 requerida, -- el peróxido de hidrógeno reacciona también con sulfatos, ---

y aminas.

El tiempo de oxidación con H_2O_2 es de aproximadamente 5 minutos, en un intervalo de temperatura de 21 a 49 C°; la temperatura en este caso tiene poco efecto en la reacción. El intervalo de pH. mas efectivo es de 3 a 5, por debajo de 3 la reacción pierde eficiencia.

El peróxido de hidrógeno puede ser utilizado en sistemas intermitentes o en sistemas continuos.

En los sistemas de tratamiento biológico se tienen tanques de igualación a la entrada del sistema, el H_2O_2 puede ser utilizado cuando una carga de desechos fenólicos es alimentada inadvertidamente; también puede adicionarse al tanque de igualación en cantidades suficientes para disminuir los fenoles a niveles normales de concentración. El H_2O_2 no produce ningún efecto adverso sobre el tratamiento biológico (22).

Oxidación con Ozono.- El ozono es uno de los mas poderosos oxidantes y es altamente efectivo en la destrucción de fenoles, es casi el doble de potente que el H_2O_2 y no es tan selectivo, por lo que oxida a un amplio número de materia.

Aunque el ozono puede oxidar completamente al fenol a dióxido de carbono y agua, la práctica usual es oxidar los compuestos fenólicos a intermediarios que son facilmente biodegradables, Para esta aplicación se requieren de 1.5 a -

2.5 partes de ozono por parte de fenol.

Conforme la concentración de fenoles decrece, la cantidad relativa de ozono necesaria aumenta. En la siguiente tabla - se representan las variaciones de concentración de ozono con forme disminuye la concentración de fenoles. (22)

RELACIONES DE OZONO-FENOL.

			ppm Fenol inicial	ppm Ozono	relac. <u>ozono</u> fenol	ppm re- siduos fenolic.
Fuentes						
Planta de coque	A		1,240	2,500	2.0	1.2
"	"	"	B 800	1,200	1.5	0.6
"	"	"	C 330	1,700	5.2	1.0
"	"	"	D 140	950	6.8	0.1
"	"	"	E 127	550	4.3	0.2
"	"	"	F 102	900	8.8	0.0
"	"	"	G 51	1,000	20.0	0.4
"	"	"	H 38	700	18.0	0.1
Plantas Químicas			290	400	1.4	0.3
Refinerías	A		605	750	1.3	0.3
"	B		11,600	11,000	1.0	2.5

Si en las aguas residuales a tratar con ozono existen otras materias DQO, el requerimiento de ozono será mayor para --

compensar esta demanda adicional.

El ozono puede oxidar los fenoles en un amplio intervalo de pH 11.5 a 11.8 resulta una selección selectiva del fenol (34) sobre otras sustancias. Por ejemplo en un desperdicio - con una concentración de 2,500 ppm de fenol, la cantidad de ozono requerida para remover el 99 % de fenol fué de 1.7 lb de ozono por lb de fenol y el tiempo de contacto fué de aproximadamente de 60 min. Para un pH de 11.0; la misma muestra a un pH de 8.1 requirió 5.3 lb de ozono por lb de fenol y el tiempo de contacto fue de 200 min. (39).

En los límites bajos de concentración de fenoles, el costo de la cantidad de ozono requerida debe ser evaluado en relación de otros sistemas.

El ozono puede ser empleado ya sea en operaciones intermitentes o en continuas.

Es necesario que el ozono requerido para el tratamiento - sea producido en el mismo sitio donde se realiza el tratamiento por lo que se requiere de la instalación de un sistema de producción de ozono.

Oxidación con Permanganato de Potasio.- La oxidación de fenoles con permanganato de potasio está regida por la estequiometría siguiente:



Teoricamente se requieren 15.7 lb de KMnO_4 por lb de -- fenol. Se ha comprobado que en el intervalo de pH entre 7 y 10, esta reacción se vé favorecida, si el pH es menor se obtiene un aumento excesivo en el tiempo de reacción (22).

En esta oxidación el permanganato de Potasio forma dióxido de manganeso que precipita en forma de lodo hidratado que -- puede ser removido en este proceso, seguido de la oxidación viene la clarificación la cual se puede realizar por decañación si no se lleva a cabo esta eliminación del precipitado formado en la reacción, puede ocasionar problemas mas adelante.

El permanganato de potasio es utilizado para tratar desechos de fundición y de pinturas.

Oxidación con Cloro.- La destrucción de fenoles por la oxidación con cloro se puede realizar cuando se tienen aguas residuales con concentración de fenol que no exceda de 200 ppm - este proceso debe de realizarse en un intervalo de pH de 7 a 10 con un mínimo de 100 ppm de cloro residual (14).

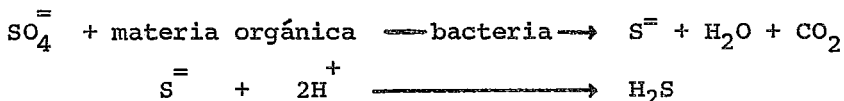
La relación de cloro a fenol que acompaña a la destrucción está estimada en 6:1 y en 10:1, pero en la práctica se requiere un gran exceso de cloro (33).

Se ha visto en las plantas de coque que se requieren 5,000 ppm de cloro para destruir desechos con 100 ppm de fenol. El tiempo de contacto varia desde pocos minutos (5 a 10) con 1,000 ppm 3,000 ppm de cloro residual, o de dos a 5 horas con 50 a ppm de cloro residual (14).

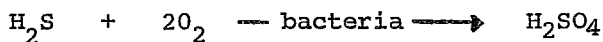
Generalmente la cloración no se considera satisfactoria para una oxidación cuando se tienen fenoles presentes en los desechos debido a la formación de desechos clorados que son altamente tóxicos, produciendo a la vez olores y sabores mas desagradables que los compuestos fenolicos originales (22).

2.1.2. ALTERNATIVAS DE ELIMINACION DE SULFUROS.

El ion sulfato se presenta en la mayoría de los suministros de agua y también en el agua residual. Los sulfatos son reducidos químicamente a sulfuros y sulfuro de hidrógeno (H₂S) por las bacterias anaeróbicas, como se muestra en la siguiente reacción:

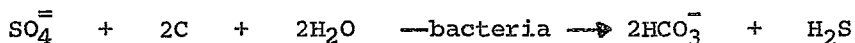


El H₂S puede ser oxidado biológicamente a ácido sulfúrico el cual es corrosivo para las tuberías de alcantarillado:



Bajo condiciones anaeróbicas las bacterias reducen los --

sulfatos a sulfuros utilizando el oxígeno liberado por los sulfatos al oxidar la materia orgánica presente:



C= materia orgánica presente

La presencia de azufre en aguas residuales ocasiona efectos adversos a la calidad del agua ya que hacen que disminuya el pH, incrementan el contenido de sólidos disueltos y reducen la concentración del oxígeno disuelto.

En los desechos industriales se puede encontrar el azufre en varias cantidades y diferentes tipos de azufre ya sea como ácido sulfurico, sulfitos, sulfatos, sulfuros, tiosulfatos, dióxido de azufre y mercaptanos .

La presencia del azufre causa malos olores y crea problemas de corrosividad por lo que se requiere removerlo de las corrientes de aguas.

Existen muchos métodos para eliminar la presencia del azufre o para llevarlo a un compuesto estable.

Tratamiento Biológico para eliminar el Azufre.- El proceso de tratamiento biológico a los desechos conteniendo compuestos de azufre envuelven tanto a bacterias anaérobias como a las aerobias, para reducirlos en forma de azufre en el desecho el tratamiento aerobio es factible la producción de tiosulfatos ó sulfatos como productos finales (26).El tratamiento anaerobio

produce la oxidación de sulfatos a sulfuros.

El tratamiento biológico aerobio puede remover el azufre a partir de aguas residuales conteniendo sulfitos o tiosulfatos requiriendo para esto que exista suficiente oxígeno en el --- influente para oxidar este compuesto, estudios realizados muestran que una aclimatación adecuada de las bacterias aerobias reducirán o eliminarán cualquier inhibición o efecto tóxico - de este tipo de desecho (26).

El tratamiento biológico anaerobio remueve el azufre de -- los desechos generando sulfuro y con esto ocasionando problemas de olores fuertes. Si se mantiene una concentración de --- sulfatos de 100 mg/l en la alimentación, no se tendrá ningún valor significativo de olor en una laguna anaerobia. para -- tratar desechos industriales con alto contenido de sulfatos, el tratamiento anaerobio es fácil de utilizar se se cuenta - con un adecuado control de los sulfuros (2). Con este sistema puede reducirse el 89 al 98 % en un influente que contenga - sulfatos desde 80 mg/l ó mas de 400 mg/l (26).

Tratamiento Químico para eliminación de Sulfuros.-El trata -- miento químico de desechos que contienen sulfuros es efectivo ya sea por medio de oxidación o por precipitación para contro -- lar las diferentes formas del azufre convirtiendolos en compues -- tos menos dañinos o más estables.

Las diferentes formas del azufre pueden ser oxidadas con oxígeno, cloro, ozono, peróxido de hidrógeno ó con el permanganato de potasio.

La eficiencia de la oxidación depende de muchas variables como son : temperatura, pH, concentración, acción catalítica y tiempo de contacto.

Oxidación Química.- La oxidación química de compuestos sulfurados ya sea con H_2O_2 ó con ozono produce compuestos del azufre más estables y menos dañinos ; con una disminución en la demanda de oxígeno (DQO). El peróxido de hidrógeno reacciona con el sulfuro de hidrógeno para producir azufre (bajo condiciones ácidos), o sulfatos (bajo condiciones alcalinas). La oxidación típica de compuestos orgánicos sulfurados produce sulfatos como producto final. La oxidación con cloro produce sulfatos y ácido clorhídrico. En presencia de cantidades suficientes de cloro, la reacción produce ácido clorhídrico y ácido sulfúrico. (26,40).

Precipitación de Sulfuros .- Las sales de muchos metales pueden reaccionar con el ion sulfuro formando sulfuros insolubles (26). Que pueden ser removidos por filtración o por otras técnicas de clarificación. El fierro es uno de los mas frecuentemente usados para el control de sulfuros, ya sea una sal ferroso o férrica produce sulfuros insolubles, pero una mezcla de -

ambas sales ferrosas y férricas produce una buena precipitación. Un pequeño exceso de fierro reduce al azufre disuelto a concentraciones menores de 0.5 mg/l . El precipitado de sulfuros de fierro puede ser oxidado con oxígeno para obtener el azufre elemental.

El zinc produce un precipitado con menor solubilidad que el sulfuro de fierro. El plomo, la plata y el cobre forman sulfuros extremadamente insolubles, pero tienen un alto costo que hace incosteable el uso de estos metales para remover sulfuros (26), otros métodos menos usados para la eliminación de sulfuros son: adsorción con carbón activado y el uso de membranas de intercambio iónico (electrodialisis y osmosis reversible). (26)

2.1.3 ALTERNATIVAS DE ELIMINACION DE GRASAS Y ACEITES.

El término grasas y aceites se aplica en una amplia variedad de sustancias orgánicas con características especiales como las de baja solubilidad en el agua y su tendencia a formar películas muy finas en la superficie de esta. Las grasas son de los compuestos orgánicos mas estables y no son descompuestas facilmente por las bacterias (1). Sin embargo, los ácidos minerales las atacan tanto como resultado la formación de gliserinas y ácidos grasos. En presencia de álcalis tales como el hidroxido de sodio, la glicerina se libera y se forman

sales alcalinas de los ácidos grasos.

Estas sales alcalinas son conocidas como jabones. Las grasas y aceites incluyen hidrocarburos, ácidos grasos, jabones, grasas, ceras, aceites y cualquier otra materia que sea extraída por el solvente de una muestra acidificada y que no se volatilise durante las manipulaciones de la determinación.

Particularmente se clasifican como "grasas" aquellos aceites, ceras, grasas y ácidos grasos de alto peso molecular (13),-- que en condiciones naturales y temperaturas ambiente están en estado sólido.

El término "aceite" representa una amplia variedad de hidrocarburos de bajo a elevado peso molecular, de origen mineral - que abarca desde gasolinas hasta combustibles y aceites lubricantes. Además incluyen todos los glicéros de origen animal y vegetal, que son líquidos a la temperatura ambiente (13). Los problemas causados por las grasas y aceites están originados en su baja solubilidad en el agua y en sus tendencias a formar películas muy finas en la superficie lo que interfiere en la transferencia de oxígeno atmosférico que es indispensable tanto para la autopurificación de los cuerpos naturales del agua, como en los sistemas de tratamiento biológico.

En el tratamiento del lodos activados, las grasas generalmente se acumulan en bolas de grasa impartiendo aspecto desagradable a los tanques de sedimentación. En los sistemas de -

alcantarillados causan problemas por el taponamiento de las alcantarillas, además las grasas y aceites imparten sabor y olor desagradable al agua afectando también el sabor de los peces para consumo humano. (1).

Procesos de Remoción de Grasas.—Existe una gran variedad de aparatos para remover las grasas y aceites entre los cuales se tienen: separadores por gravedad que incluyen separadores API, tanques simples con aparatos para desnatar y clarificar, estos son eficientes para remover grandes cantidades de aceite libre y algunos aceites emulsionados en las aguas residuales. Aunque la mayor parte de las emulsiones no pueden ser separadas por este tipo de equipo (27), existen tres tipos comunes de separadores por gravedad que son: el tipo API, y el interceptor de platos paralelos (PPI) y el interceptor de platos corrugados (CPI). El PPI y el CPI son similares en el diseño, aunque el PPI no es usado extensivamente.

El separador API consiste en un tanque circular o rectangular en donde las aguas de desecho fluyen horizontalmente mientras que las partículas de aceite libre se elevan debido a la fuerza de flotación. Teóricamente las gotas de aceite se elevan linealmente como predice la ley de Stokes (27), aunque en las prácticas prevalece la turbulencia.

Flotación por Aire Disuelto.- Es otro proceso utilizado para remover grasas y aceites. En este proceso toda la corriente de agua residual ó una fracción de esta es saturada bajo la presión con un gas, usualmente aire.

, Conforme se iguala la presión, el aire en exceso debido a la saturación se libera de la solución formando burbujas de aproximadamente 30-120 micras (27) de diámetro las burbujas formadas en la superficie de los materiales aceitosos hace que se forme un agregado con una densidad promedio menor que la del agua lo que hace que flote en la superficie del agua residual.

Coagulación-Floculación y Sedimentación.- Este proceso incluye la adición de un coagulante químico para producir microflocúlos por coagulación, estas pequeñas partículas son removidas por sedimentación. La combinación de una floculación y una filtración es lo más práctico. Los productos químicos adicionales son generalmente cal, aluminio y polielectrolitos, antes que el agua residual entre al clarificador.

Filtración.- Este sistema tiene aplicación en la separación del aceite libre o el emulsificado en las corrientes de desechos. Una gran variedad de materiales que incluyen vidrio, cerámica porosa, metales, plástico, antracita y grafito, pueden

ser utilizados como filtros. El aceite coagulado tiende a acumularse en la parte superior del filtro formando un empaque - que hace que se necesite un mayor tiempo de filtrado del flujo.

Proceso Biológico para eliminar Grasas y Aceites.- Este proceso de tratamiento tiene sus limitaciones en esta aplicación.- Los organismos biológicos son eficientes en oxidar compuestos orgánicos solubles incluyendo algunos dispersos o aceites --- emulsificados. Una gran cantidad de aceite libre o un exceso de aproximadamente 10 lb/lb de sólidos volátiles suspendidos debe ser evitado ya que inhibe al proceso biológico al no permitir la transferencia de oxígeno a la biomasa y reduciendo a la vez la estabilidad de los lodos.

El proceso biológico requiere de un orden en las descargas. contando con un diseño adecuado de pretratamiento que facilite la captación ó remoción del aceite a niveles de concentración en donde el proceso biológico pueda tratarlos eficientemente (27).

Adsorción de Grasas y Aceites con Carbón.- El carbón activado tiene muchas limitaciones en la adsorción para remover grasas y aceites. (27) Una adsorción preliminar remueve el aceite soluble. El uso del carbón activado para la adsorción requiere

que este sea pretratado para evitar obstrucciones o recubrimientos del carbón activado. Si la unidad de adsorción con carbón activado no tiene una protección adecuada, esta tendrá -- que estar siendo lavada frecuentemente y el carbón activado -- tiene que ser reemplazado también.

Se ha reportado estudios de remoción en niveles de 1.7 a -- 10 mg/l de grasas y aceites en plantas pilotos equipadas con carbón activado, que han sido usadas para tratar efluentes de sistemas de lodos activados. (27)

2.1.4 SISTEMAS DE NEUTRALIZACION.

La concentración del ion hidrogeno es un parámetro de calidad tanto en las aguas naturales como en las residuales. El agua residual con una concentración adversa del ion hidrogeno es difícil de tratar por medios biológicos (1) y si la concentración no se altera antes de la evacuación, el efluente puede alterar la concentración de las aguas naturales.

La forma usual de expresar la concentración del ion hidrógeno es como pH que se define como el menos logaritmo de la concentración del ion hidrógeno.

$$\text{pH} = - \log \text{H}^+$$

definiendo el pOH como el menos logaritmo de la concentración del ion hidroxilo:

$$\text{pOH} = - \log \text{OH}^-$$

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14$$

Existen varios sistemas de neutralización de las aguas residuales que pueden ser tratadas con carbonato de calcio, sosa caústica (ash), cal hidratada o por mezclado de aguas residuales de diferentes pH's.

Neutralización con Carbonato de Calcio.- Se lleva a cabo al hacer pasar las aguas residuales ácidas por empaques de piedra caliza (CaCO_3). En este proceso se usan tanques en donde el agua puede pasar al empaque en dirección ascendente ó descendente. Para lograr la neutralización se debe tener un tiempo de contacto suficiente para que se lleve a cabo la reacción.

Este método presenta el inconveniente de formación de espumas cuando los desechos son demasiados ácidos, con materia orgánica presente (25).

Neutralización con Hidróxido de Calcio.- Este proceso es similar al anterior necesitando un tiempo de retención considerable, de los desechos; aunque en este caso se tiene un mayor poder neutralizante y el proceso puede acelerarse por calentamiento (23). La suspensión de hidróxido de calcio que se utiliza debe de manejarse rápidamente para evitar sedimentación de partículas. Esta solución alcalina tiene un pH de 12.5

a 25 °C.

Neutralización con sosa Caústica.- Este proceso reacciona rápidamente, necesitándose una menor cantidad de reactivo ya que a la vez es más poderoso que los dos anteriores los productos de reacción son solubles y no incrementan la dureza de las -- aguas tratadas (4). Este reactivo (NaOH) es mucho más caro que los dos anteriores.

Neutralización por mezclado.- Este proceso de neutralización puede realizarse si se cuenta con aguas residuales ácidas y - alcalinas en algunas plantas cercanas. Con un mezclado adecuado se obtendría un pH neutro o bastante (23) aproximado a este. Los equipos necesarios para este proceso serian tanques - de mezclado y almacenamiento, equipo de agitación, medidores- y potencionómetros.

2.1.5 SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO DE AGUA.- La temperatura del - agua residual es generalmente más alta que la del suministro, debido a la adición de agua caliente procedente de las casas y de actividades industriales. Como el calor específico del - agua es mucho mayor que el del aire, las temperaturas de las aguas residuales observadas son mas altas que las temperaturas locales del aire durante la mayor parte del año y sólo son más

bajas durante los meses más cálidos del verano.

La temperatura es un parámetro muy importante por su efecto en la vida acuática, en las reacciones químicas y velocidad de reacción y en la aplicación del agua y sus usos útiles. Por otro lado, el oxígeno es menos soluble en el agua caliente que en la fría (1). El aumento de la velocidad de las reacciones químicas que suponen un aumento de la temperatura junto con la disminución del oxígeno presente en las aguas superficiales pueden frecuentemente causar graves agotamientos de las concentraciones de oxígeno disuelto, en los meses de verano.

Los métodos más usados para enfriar el agua residual son: lagunas de enfriamiento, albercas, torres de enfriamiento y - cambiadores de calor enfriados por aire. Existen otros métodos más prácticos en el caso de aguas residuales como son canales al aire libre y pequeñas cascadas sucesivas al aire libre.

Laguna de Enfriamiento.- Este proceso requiere de una gran extensión de terreno por lo que se recomienda utilizarlo cuando se dispone de una laguna natural cercana. Este proceso se efectúa depositando el agua caliente en un extremo de la laguna y tomándola en el otro extremo (23).

Albercas de Enfriamiento.- Este sistema debe contar con rocea

dores instalados en la superficie del agua. El agua debe de bombearse a un sistema de espreas con los orificios hacia arriba . El agua sale a presión por los orificios , enfriándose a medida que cae a la alberca. Los orificios deben producir pequeñas gotas y no niebla, para evitar pérdidas de agua por el arrastre del viento,

Torres de Enfriamiento.- Estas pueden ser por enfriamiento -- atmosférico, tiro natural y por tiro inducido.

Las Torres de enfriamiento atmosférico funcionan en forma similar a las albercas con roceadores, requieren que la velocidad del viento este entre 5 y 6 mph. estas torres operan -- a flujo cruzado con el viento (7).

Las torres de enfriamiento de tiro natural están empacadas con madera. El agua cae desde la parte superior através de un sistema de distribución golpeando el empaque al bajar y forman dose gotas que aumentan el área de contacto aire-agua, necesario para la transferencia de calor. En este sistema el aire fluye a contracorriente. Este tipo de torre puede diseñarse para operar sin viento ya que al calentarse el aire sube, formando una corriente por el vacío generado al elevarse el aire.

Las torres de tiro inducido son similares a las anteriores

pero los ventiladores están colocados en la parte superior de la torre. Permittiendo velocidades mayores de salida y por lo tanto menor circulación del aire húmedo y caliente.

Cambiadores de Calor Enfriados por Aire.- Estos equipos actúan como radiadores. El aire no se pone en contacto directo con el agua, no existe la evaporación y se necesita por lo tanto mayores áreas de transferencia lo que hace que aumenten los costos.

Canales al Aire Libre.- Estos son pequeños canales abiertos - por donde el agua fluye, en estos sistemas se utiliza el aire del ambiente como medio de enfriamiento. Generalmente estos canales son construidos con concreto y recubiertos con fibra de vidrio.

Cascadas Sucesivas al Aire Libre.- Se utilizam como sitema de enfriamiento ya que aumentan la suferficie del líquido con lo que, se obtiene una mayor área de transferencia entre el agua caliente y el aire del medio ambiente. Este sistema es recomendable cuando se dispone de un espacio considerable para construir la estructura de dichas cascadas aprovechando, los desniveles del terreno. La inversión fija es relativamente baja y no necesita de mucho mantenimiento.

2.1.6 ALTERNATIVAS PARA LA DESINFECCION DEL EFLUENTE DE LA --
PLANTA DE TRATAMIENTO BIOLOGICO DE LODOS ACTIVADOS.

La desinfección consiste en la destrucción selectiva de --
microorganismos patógenos. No todos los microorganismos se --
destruyen durante este proceso ya que no se esta llevando a --
cabo una esterilización, que es la destrucción de todos los --
organismos vivos, lo cual es poco práctico e innecesario (8).

La tabla N°3 nos muestra las características de un desin--
fectante químico ideal (1).

Tabla N°3 Características de un desinfectante químico ideal.

Características	Observaciones
Toxicidad a los microorganismos.	Deberán poseer un amplio espectro de actividad de altas diluciones.
Solubilidad	Debe ser soluble en agua o tejido celular.
Estabilidad	La pérdida de acción germicida al estar en reposo deberá ser pequeña.
No tóxico a formas superiores de vida.	Deberá ser tóxico a los organismos y no tóxico al hombre y otros animales.
Homogeneidad	La solución debe tener una composición uniforme.
Interacción con materias extrañas.	no deberá ser absorbido por la materia orgánica.
Toxicidad a temperatura ambiente	Deberá ser eficaz en el intervalo de temperatura ambiente.

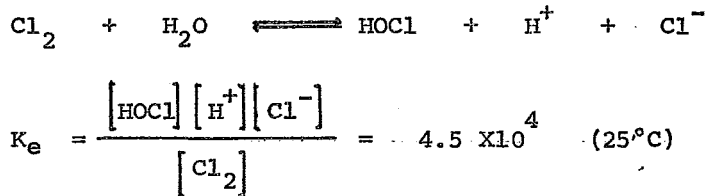
Penetración	Deberá tener capacidad de penetración a través de la superficie
No corrosivo y que no manche.	No debe atacar a los metales ni manchar la ropa.
Aptitud desodorizante.	Deberá desodorizar mientras desinfecta.
Capacidad detergente.	Deberá poseer acción limpiadora para mejorar la acción del desinfectante.
Disponibilidad.	Deberá estar disponible en grandes cantidades y a precios razonables.

Los factores que influyen en la acción de los desinfectantes son: 1) Tiempo de contacto, 2) Concentración y tipo de agente químico; 3) naturaleza del agente, 4) Temperatura, 5) Número de microorganismos, 6) Tipos de microorganismos, 7) Naturaleza del liquido . (5).

Los agentes químicos usados en la desinfección son: alcoholes, yodo, cloro y sus compuestos, compuestos amoniacales, compuestos fenólicos (fenol), bromo, ozono, agua oxigenada, jabones y detergentes sintéticos, diversas alcalis y ácidos . Los desinfectantes de uso común son los productos químicos oxidantes de los cuales el cloro es el más utilizado desde 1896 (1,3).

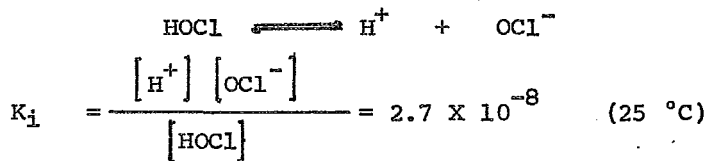
Desinfección con Cloro.- La acción bactericida del cloro se explica mediante las dos reacciones que tienen lugar cuando el cloro es añadido al agua: hidrólisis e ionización (1,3,33)

La hidrólisis se define como :



Debido a que la constante de estabilidad es un valor grande, se pueden disolver grandes cantidades de cloro en agua.

La ionización se define como:



Las concentraciones del ácido hipocloroso y del ión hipoclorito son importantes ya que la eficiencia del HOCl es alrededor de 40 a 80 veces la del OCl⁻, la destrucción de los microorganismos resulta de la reacción química del ácido hipocloroso con una enzima en la célula. La enzima probablemente atacada es la tiofosfato de hidrogenasa, la cual esta presente en casi todas las células y es indispensable para la asimilación de glucosa, lo que hace que la célula sea sensible al cloro (1,6).

Los compuestos del cloro que más frecuentemente son utilizados en el tratamiento de aguas residuales son el hipoclorito de sodio, el hipoclorito de calcio y el gas cloro.

Hipoclorito de Calcio.- Se puede encontrar en forma seca ó -- húmeda. El hipoclorito de calcio contiene por lo menos un 70 % de cloro disponible. En forma seca se encuentra en gránulos ó en polvo, también se encuentra en forma de pastillas. Las -- formas preferidas son las pastillas y los gránulos ya que se disuelven fácilmente en agua. Dado su potencial oxidante, el hipoclorito de calcio debe guardarse en un lugar seco y frío, apartado de otros productos químicos y en recipientes anticorrosivos.

Hipoclorito Sódico.- Se puede encontrar en el comercio en --- concentraciones de 1.5 a 15 %. La solución se descompone fácilmente a medida que aumenta la concentración, ya que es afectada por la exposición a la luz y al calor, debe guardarse en un lugar frío y en tanques anticorrosivos.

Cloro.- Se encuentra comercialmente como un gas licuado a alta presión, en recipientes de variados tamaños, desde 50 Kg hasta recipientes de toneladas como camiones cisterna con capacidades de 16, 30 y 55 toneladas. La elección del tamaño de reci-

pientes a presión depende del estudio económico sobre costos de transporte, almacenamiento, espacio ocupado y cantidad de cloro a utilizar (30).

Los dos primeros compuestos se han empleado en plantas de tratamiento muy pequeñas, tales como plantas prefabricadas -- donde la sencillez y la seguridad eran más importantes que el costo (1,4).

La dosis requerida para la desinfección dependerá de las características del agua residual, siempre que sea factible - se deberá realizar estudios experimentales en laboratorios para determinar las dosis óptimas.

La Tabla N°4 indica las dosis típicas para desinfección.

Tabla N°4 Dosis de Cloro típicas para desinfectar.

Efluente de	Dosis mg/l
Agua residual sin tratar (precloración)	6-25
Sedimentación primaria	5-20
Planta de Precipitación Química	2-6
Filtros goteadores	3-10
Filtros percoladores	3-15
Lodos Activados	2-8
Filtros multicapas a continuación de Fangos Activados	1-5

Desinfección con Ozono.- El uso del ozono es muy antiguo, más aún que la cloración (13). El ozono es germicida de alta potencia y efectivo en el tratamiento de aguas residuales.

En Europa las plantas municipales han usado en la mayoría de los casos, por más de 50 años, el ozono como desinfectante (11). El ozono es relativamente más caro que el cloro, siendo estos los elementos de desinfección más económicos, siendo el olor y el sabor del agua ozonizada mejor que el del agua clorada. El ozono tiene la persistencia de un germicida residual, al descomponerse muy rápidamente a oxígeno molecular (11).

Con la ozonización de aguas turbias se obtienen reducciones considerables en los índices coliformes y cuentas bacterianas.

Los métodos para ozonizar agua son el de Otto que consiste en mezclar el aire cargado electricamente con el agua, introduciéndolo en un emulsificador, manteniendo un exceso en el agua durante 5 ó 6 minutos en albercas de 4.5 a 6.0 metros de profundidad (11).

Otro método es la dispersión del aire ozonizado bajo presión a través de un medio poroso en la base de un tanque diseñado para un tiempo de retención de 5 a 10 minutos. La demanda de ozono depende de la calidad del agua a tratar.

2.2. SELECCION DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO

Para una buena selección del sistema adecuado para tratar desechos industriales deben considerarse con bastante cuidado todas las ventajas y desventajas de un sistema en particular y luego compararlo con otros sistemas.

Estas comparaciones de alternativas deben incluir tanto -- aspectos técnicos como eficiencia, cantidad de reactivo, condiciones de operación, etc. y a la vez considerar los aspectos económicos como costos de reactivos, equipos proveedores, demanda en el mercado de los reactivos a emplear, y otros.

2.2.1 SELECCION DEL SISTEMA DE ELIMINACION DE FENOLES.

El procedimiento seleccionado para la eliminación de fenoles es la oxidación química con ozono ya que presenta muchas ventajas en este caso, sobre las otras alternativas.

El ozono oxida completamente al fenol hasta dióxido de -- carbono y agua, pero en este caso la DQO es bastante grande por lo que el ozono atacaría a esta otra materia, al adicionar un exceso de ozono se obtendría una oxidación parcial del fenol, donde los productos de reacción serían compuestos intermedios biodegradables y productos de oxidación completa; a la vez se disminuirían los malos olores.

Estos compuestos intermedios serían oxidados completamente sin ninguna dificultad, en la planta de lodos activados.

Otra ventaja del uso del ozono es que el ozono residual -

rápídamente se descompone en el agua residual a oxígeno molecular (O_2), con lo que se aumenta la concentración del oxígeno disuelto, que es indispensable para el tratamiento biológico.

En el caso del cloro presenta la desventaja de que se requiere una super-cloración, con un gran exceso de cloro para mantener un valor elevado de cloro residual (50 a 100 ppm) (33),-- como existen otras sustancias reactivas al cloro se presentaría el problema de la formación de fenoles clorados, al no -- llevarse a cabo la oxidación completa del fenol. Estos cloros fenoles formados son mucho más difíciles de biodegradar que el fenol (22), con lo que se estaría aumentando el problema en la planta de lodos activados. Por otro lado la gran cantidad de cloro residual necesaria, haría que a la entrada de la planta de lodos activados se tuviera una alta concentración de cloro, que actuaría como agente bacteriostático con lo que disminuiría notablemente la eficiencia de la planta de tratamiento -- biológico.

El uso de permanganato de potasio para la oxidación de --- fenoles es desechada debido al alto costo de este, comparado con el cloro y con el ozono, a la vez los productos de la --- oxidación de fenoles con permanganato de potasio son precipitados lo que requerirá de un sistema complejo para la eliminación de estos precipitados formados.

La ventaja que ofrece el cloro sobre el ozono es sólo un -
bajo costo en el mercado, pero requiere de los mismos equipos
de inyección y de contacto que el ozono. Para obtener el ozo-
no hay que instalar una planta en el lugar de tratamiento con
la ventaja de que no se dependerá de ningún proveedor, aunque
los equipos para la obtención de ozono son muy sencibles ya -
que la mayoría son electrónicos y sufren averías afectando con
esto el sistema de tratamiento, con un buen mantenimiento y -
una supervisión constante se eliminaría en gran parte este --
problema. La inversión inicial del equipo para producir el --
ozono es relativamente alta, pero con el tiempo se paga el só
lo, al no tener que comprar el reactivo para el tratamiento.

Los sistemas de incineración y de adsorción son descartados
ya que el primero requiere de un equipo de atomización y de -
un cuarto de incineración que opere a altas presiones lo cual
involucra un costo sumamente elevado para las condiciones --
existentes, ya que hay una inversión previa que debe tomarse
en cuenta. Por otro lado se requeriría de un sistema de pre -
calentamiento para mantener la temperatura de combustión, es-
to hace que los costos de operación aumenten aún más, con la
ventaja de obtener una gran eficiencia en este proceso.

El sistema de adsorción presenta el problema de que es nece-
sario pretratar el desecho fenólico antes de entrar a la colum

na de adsorción para controlar las concentraciones de los sólidos suspendidos, grasas y aceites. Por otro lado la capacidad de adsorción del carbón activado es baja (0.4 a 0.9 g de fenol por g de carbón activado) lo que hace que se requiera de columnas de adsorción grandes para las condiciones existentes y a la vez se tendría la necesidad de estar cambiando el empaque de la torre de adsorción frecuentemente por el tipo de desecho existente (alto contenido de sólidos en suspensión).

2.2.2. SELECCION DEL SISTEMA DE ELIMINACION DE SULFUROS

Para la eliminación de los sulfuros se selecciona el sistema de oxidación química con ozono, ya que el ozono además de oxidar al fenol y materia orgánica, también oxida a los sulfuros a sulfatos en condiciones alcalinas. Estos sulfatos son bastante estables y al mantener oxígeno disuelto en el agua residual hace que estos sulfatos sean más estables, con esto se logra un gran porcentaje de eliminación de malos olores. El ozono en este caso es el agente químico más efectivo para oxidar los sulfuros, con la ventaja de no requerir de catalizador.

Para que este sistema de pretratamiento sea eficiente se tendrá que determinar los requerimientos de ozono, el ozono en exceso y el ozono residual.

2.2.3 SELECCION DEL SISTEMA DE ELIMINACION DE GRASAS Y ACEITES.

La mayoría de los sistemas de remoción de Grasas y Aceites son mecánicos y presentan una gran eficacia si son diseñados adecuadamente. Otros sistemas utilizados son los de coagulación, por la adición de agentes coagulantes químicos.

La oxidación química no es recomendable para la eliminación de grasas y aceites ya que presenta dificultad por largas y ramificadas cadenas.

En este caso no se propondrá ningún sistema de eliminación de grasas y aceites ya que no se justifica debido a que hay otras descargas en otras zonas que mandan grasas y aceites. - Además la planta de tratamiento biológico cuenta con un sistema mecánico de desnatación y sedimentación para la eliminación de grasas y aceites, actualmente este sistema no funciona adecuadamente por tener fallas de diseño.

Resulta más económico invertir en adaptar el sistema existente para que pueda ser operado de manera que elimine las grasas y aceites que entran a la planta, que el tratar de establecer un nuevo proceso de eliminación de grasas y aceites.

2.2.4 SELECCION DEL SISTEMA DE NEUTRALIZACION.

Para la neutralización de los desechos se propone una neutralización con sosa cáustica, debido a su alta reactividad

con los desechos ácidos a la vez presenta mayor solubilidad - en el agua que hidróxido de calcio y el carbonato de calcio.

Por la alta reactividad del hidróxido de sodio hace que se requieran cantidades pequeñas para neutralizar a la vez, esto compensa su costo comparado con el carbonato de calcio.

La ventaja más grande que presenta el uso de sosa caústica es que al reaccionar con la materia orgánica y con el ácido - acético y el ácido cítrico, que son los causantes de la acidez no forma precipitados ni sólidos sedimentados, que es lo que - sucede al utilizar carbonato de calcio, forma espuma y partícu las sólidas las cuales hay que eliminar para evitar problemas secundarios. Además el uso del hidróxido de sodio no produce contaminación lo que si sucede con los carbonatos que endurecen el agua (1).

Sosa Texcoco vende hidróxido de sodio en solución al 50 % lo que facilitaría el manejo de este proceso al no tener que preparar la solución. Se requerirá de un sistema de dosificación y de tanque de almacenamiento provisto con agitación.

En el tanque de contacto no se requerirá un sistema de agi tación ya que debido a la alta reactividad y solubilidad del hidróxido de sodio hace que este se disperse rápidamente en - el agua por acción de la turbulencia que existe a la entrada del tanque de contacto. Con el uso de hidróxido de sodio se - estará disminuyendo el tiempo de contacto por lo que se reque

rirá de un pequeño tanque solamente.

2.2.5 SELECCION DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.

El sistema de enfriamiento seleccionado será el de cascadas al aire libre por contar con el espacio suficiente para construir dichas cascadas. Este sistema presenta muchas ventajas al no requerir de mantenimiento constante y sólo requiere de una inversión inicial. Las otras alternativas requieren -- primeramente de una inversión alta y de un mantenimiento constante, y de variedad de equipos como son bombas, compresores, reguladores de flujo, etc.

En el sistema de albercas de enfriamiento se requiere de un sistema de bombas y de un sistema de esparado teniendo un alto costo de operación, que en el caso de cascadas de enfriamiento se evitan estos costos de operación ya que el agua fluye por gravedad.

2.2.6 SELECCION DEL SISTEMA DE DESINFECCION.

De las alternativas de desinfección se selecciona la cloración ya que el cloro es el agente químico desinfectante que mas se ajusta a las características de un desinfectante químico ideal (Tabla N°3).

El cloro presenta una gran solubilidad en el agua por lo que

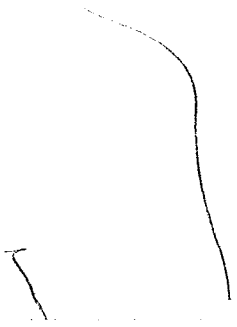
se puede mantener una concentración de cloro remanente en el tanque de contacto lo que no se puede hacer con el ozono debido a que éste se descompone rápidamente.

El cloro gaseoso al interaccionar con el agua forma el ácido hipocloroso que es el destructor de los microorganismos.

El cloro presenta ventajas en su almacenamiento al encontrarse en el mercado recipientes de varios tamaños. Se puede elegir el tamaño dependiendo de la cantidad requerida y la cantidad de cloro que se desea tener en reserva.

, El uso de los hipocloritos se desecha ya que representan cuidados especiales en su manejo por su fácil descomposición requiriendo de sitios especiales para su almacenamiento.

CAPITULO III



3- BASES DE DISEÑO.

En base a la selección de alternativas para la solución del problema planteado se desarrollará el diseño de las unidades de tratamiento necesarias para el funcionamiento del proceso de tratamiento químico que se propuso para los desechos industriales mencionados.

Este proceso constará de un sistema de neutralización, un sistema de enfriamiento y un sistema final de oxidación química con ozono. También se presentara el diseño del sistema de desinfección propuesto para el efluente de la planta de lodos -- activados.

La localización propuesta como la más adecuada para situar este sistema de tratamiento químico es la que, en este trabajo se denomina como Estación 1 (ver mapa N°2), por encontrarse -- muy proxima al colector común (100 mts) de las descargas de -- las industrias. Junto a esta estación existe el espacio para poder establecer las unidades de tratamiento requeridas, este terreno es propiedad de una de las compañías cuyos efluentes se van a tratar. Se tiene que desviar el flujo del agua -- hasta este lugar para luego regresarlo a la tubería existente y transportarlo a la planta de lodos activados.

El proceso del sistema de tratamiento químico que se propone funcionará de la siguiente manera: los desechos serán desviados hasta un tanque de neutralización en donde se modifica

hidróxido de sodio. En este tanque se aprovechara la temperatura del agua para hacer más rápida la neutralización. De este tanque de neutralización, el agua se hará pasar en forma de flujo en película por un sistema de cascadas continuas donde se logrará el enfriamiento del agua por evaporación hacia el aire del ambiente. Esta agua enfriada será recibida en un tanque de poca profundidad de donde será succionada por un sistema de bombeo para ser mandada al ozonizador donde el agua interaccionará con el ozono, para luego pasar a un tanque de contacto, permanecerá por un corto tiempo (10 min) para lograr una eficiente oxidación con el O_3 . El agua tratada regresará a la tubería original que va hacia la planta de lodos activados.

3.1 DISEÑO DE UNIDADES.

3.1.1 DISEÑO DE LA UNIDAD DE NEUTRALIZACION.

La unidad de neutralización, como se menciono anteriormente, constará de un tanque de almacenamiento de hidróxido de sodio al 50 %, un sistema de dosificación y un tanque de dosificación

A la unidad de neutralización entrará un gasto promedio de agua residual de 70.4 l/seg ($4.224 \text{ m}^3/\text{min}$) que equivale a la suma de los efluentes de las cuatro industrias mencionadas.

Por las variaciones existentes en el pH del flujo del agua a tratar , se requiera de un sistema de control y grabador -

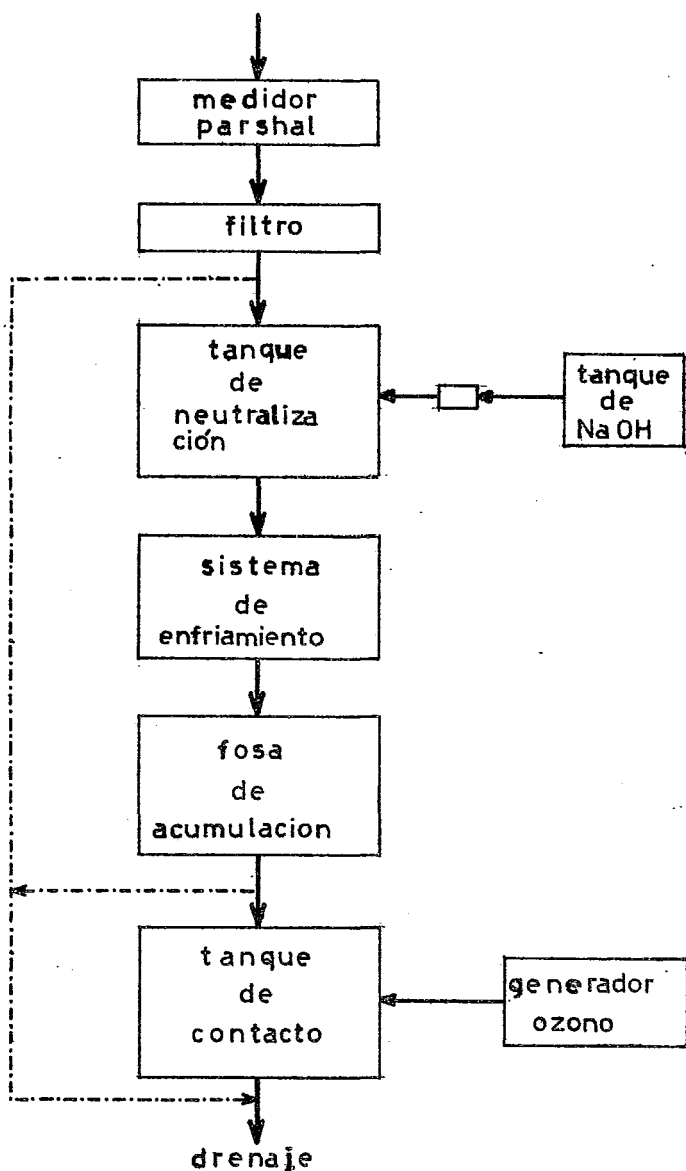


DIAGRAMA DE FLUJO
DEL TRATAMIENTO PROPUESTO

automático para la dosificación del hidróxido de sodio. Este control contará con 2 potenciómetros: uno en el fondo y otro a la salida del tanque de neutralización. La dosificación de la solución neutralizadora se llevara a cabo en tres puntos - del tanque.

El primer punto será a la entrada del flujo, el segundo punto estará a un nivel de agua cercano a la superficie y en dirección al flujo entrante, el tercer punto se encontrará en el fondo del tanque; como se representa en la figura N°2 .

El tanque de almacenamiento de NaOH al 50 % sera cilíndrico y de lámina de hierro, sus dimensiones se determinarán a continuación, en base a la cantidad almacenada, en este caso seran 10 toneladas de NaOH que equivalen a una reserva de 15 días ya que el requerimiento maximo de NaOH es de 100 mg/l que equivale a un consumo de 640 kg /día para el caso más extremo de acides.

Propiedades de la Sosa Caústica.- El pH de una solución con 1 % de sosa caústica es de 13.4, la densidad del NaOH al 50 % es de 1.5253 ton/m³ , por lo que el volumen del tanque de almacenamiento sera:

Volumen del tanque de almacenamiento de NaOH 50 % = $10 \text{ ton} / (1.5253 \text{ ton/m}^3) = 6.53 \text{ m}^3$

Por lo tanto se contará con un tanque de 7 m^3 de acero suave (que es el recomendado para el caso de 50 % de NaOH (35)), con las siguientes dimensiones:

Diámetro del tanque = 1.5 m

Longitud del tanque = 4.0 m

$$\text{Vol.} = \pi \times (0.75)^2 \times 4.0 = 7.0 \text{ m}^3$$

La ventaja de utilizar un tanque cilíndrico es que presenta la facilidad de que puede colocarse de tal manera que el fluido fluya por gravedad, evitando con esto el uso de bombas de alimentación (vease fig. N°1)

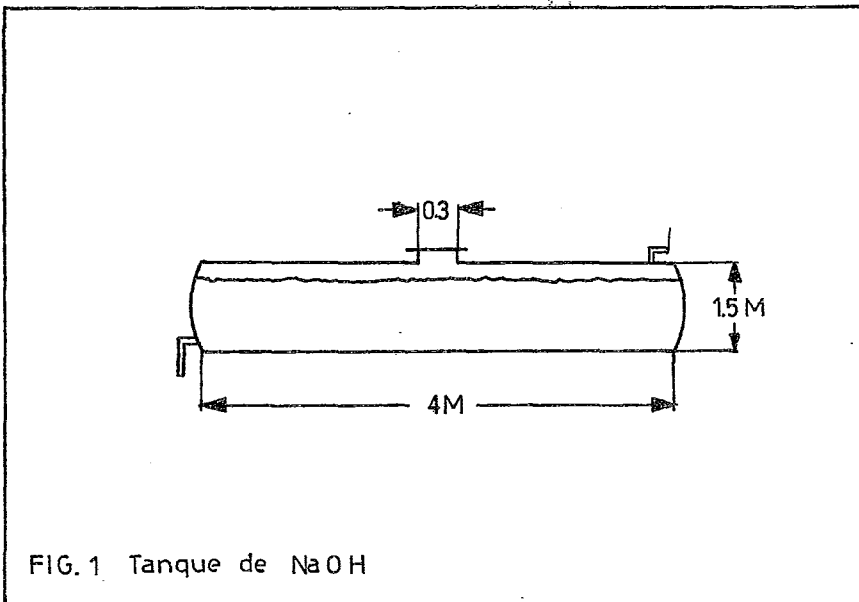


FIG. 1 Tanque de NaOH

El tanque de neutralización será de concreto y tendrá un tiempo de contacto de 8 minutos por lo que su volumen se puede determinar con el gasto de entrada.

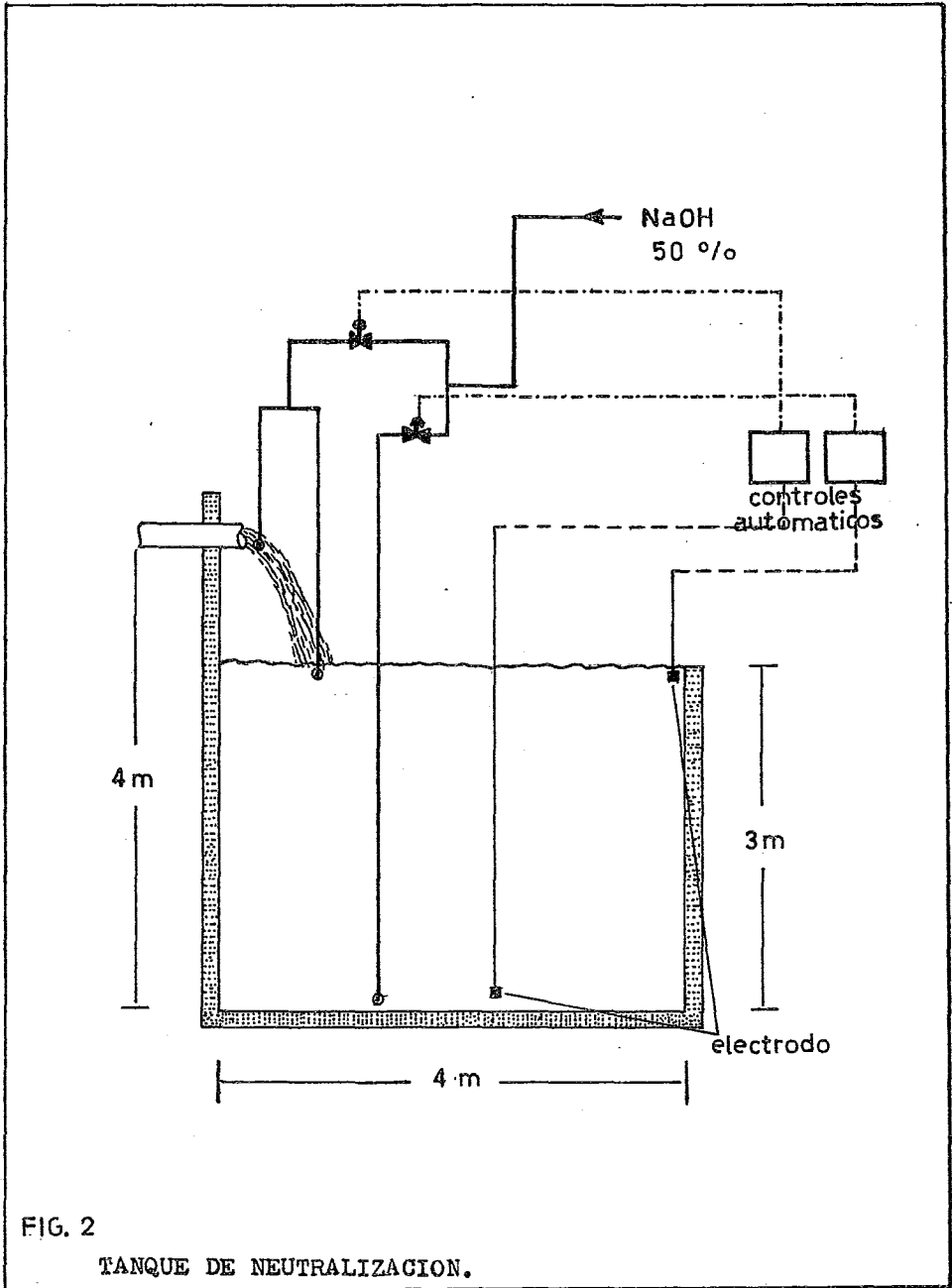
$$\begin{aligned} \text{Volumen del tanque} \\ \text{de neutralización} &= 70.4 \frac{\text{l}}{\text{seg}} \times 60 \frac{\text{seg}}{\text{min}} \times 8 \text{ min} \\ &= \frac{70.4 \times 60 \times 8}{1000} \text{ m}^3 = 34.0 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Dimensión del Tanque de Neutralización.- La entrada del agua al tanque de neutralización estará a 1 metro por encima de la superficie del agua, la salida del agua neutralizada ocupará todo el ancho de la pared del tanque ya que será indispensable para poder realizar el sistema de enfriamiento propuesto .

- Borde libre en tres paredes = 1 metro
- Pared del agua = 3 "
- Lado = 3.8 m X 3.0 m

Este arreglo corresponde a un tanque con un volumen de 34.0 m³:

El sistema de dosificación se muestra en el siguiente esquema (Fig. N°2).



3.1.2.- DISEÑO DE LA UNIDAD DE ENFRIAMIENTO.

La unidad de enfriamiento, como se mencionó en la parte de selección de alternativas, estará formada por un sistema de caída de flujo en película como lo muestra la Fig. 3.

La temperatura promedio de entrada del agua al sistema de tratamiento es de 36°C pero en el proceso de neutralización se produce un aumento en la temperatura y esto es debido a que la reacción de neutralización es exotérmica (42), por lo que se tendrá que determinar este aumento de temperatura debido a la reacción de neutralización para poder conocer la temperatura de entrada a la unidad de enfriamiento y de esta manera llevar a cabo un buen diseño.

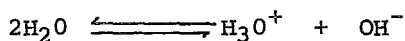
Temperatura de Salida del Proceso de Neutralización.

Considerando un pH = 2 como el más extremo, se tiene que:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] = 2.0$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-2.0} = 0.01 \text{ moles/l}$$

La formación de iones $[\text{H}_3\text{O}^+]$ se debe también a la ionización del agua y esta ionización se representa de la siguiente manera:



Por lo que la constante de ionización del agua a -
36°C será:

$$K_{H_2O} = [H_3O^+] [OH^-] = 1.718 \times 10^{-14}$$

Los moles neutralizados se determinan de la siguiente
forma:

Para el agua:

$$[H_3O^+] = [OH^-]$$

En base a la constante de ionización del agua:

$$1.718 \times 10^{-14} = [H_3O^+]^2$$

$$[H_3O^+] = 1.37 \times 10^{-7}$$

$$[H_3O^+]_{Tot} = H_3O^+_{agua} + H_3O^+_{ácido} = 0.010 \text{ moles/l}$$

Como se tiene un flujo de 70.4 l/seg, los moles a neu-
tralizar por unidad de tiempo serán:

$$n = 0.01 \text{ moles / l} \times 70.4 \text{ l/seg.} = 0.704 \text{ moles/seg.}$$

El calor de reacción se evalúa de la siguiente forma:

$$Q = H = H_P + \Delta H^{25} - H_R$$

Cuando una solución de cualquiera de los ácidos fuer-
tes (clorhídrico sulfúrico ó nítrico) es neutralizada con una --
base fuerte (NaOH ó KOH) ocurre siempre la misma reacción, la -
formación de agua a partir de los iones hidrógenos y los iones -

hidroxilos y el calor de reacción es casi siempre cercano a -13.36 Kcal/g-mol (42)



$$H^{25} = -13.26 \text{ Kcal/g-mol}$$

$$H^{25} = -13.26 \text{ Kcal/g-mol} \times 0.704 \text{ mol/seg} = -9.34 \frac{\text{Kcal}}{\text{seg}}$$

$$H|^{36^\circ\text{C}} = H^{25} + n \int_{25}^{36} C_{pP} dt - n \int_{25}^{36} C_{pR} dt$$

$$C_{p\text{H}_2\text{O}} = 0.9986 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$$

$$C_{p\text{HCl}} = 0.74 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$$

$$C_{p\text{NaOH}} = 0.7383 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$$

$$H|^{36^\circ\text{C}} = -10.84 \text{ Kcal/seg}$$

$$Q = m C_p \Delta t = 10.84 \text{ Kcal/seg}$$

$$m = 3,911.1 \text{ g-mol/seg}$$

$$C_p = 1.0 \times 10^{-3} \text{ Kcal/g}^\circ\text{C}$$

$$t = 2.77 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 36.0 + 2.77 = 38.77 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Esta será la temperatura con la cual el agua entrará al sistema de enfriamiento.

Determinación del Area requerida para el Enfriamiento.

DATOS:

$T_{\text{agua caliente}} = 39 \text{ } ^\circ\text{C}$

$T_{\text{bulbo seco del aire}} = 30.^\circ\text{C}$

$T_{\text{bulbo húmedo del aire}} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$

Humedad relativa del aire = 40 %

Presión = 600 mmHg

Gasto de H_2O = 70.4 lps

Velocidad del viento = 1 m/seg *

Esta temperatura de bulbo seco de $30 \text{ } ^\circ\text{C}$ se toma para el diseño ya que es la más frecuente del medio día de la estación de verano en la zona de Cuernavaca.

Se espera que la temperatura de salida del agua de la estructura de enfriamiento sea de 25°C , ya que la temperatura máxima a la que se puede enfriar es hasta la temperatura de bulbo húmedo ($20 \text{ } ^\circ\text{C}$) pero, para lograr esto, se requiere de un área infinita de contacto.

Como la velocidad del aire es muy baja para poder

* Dirección del viento: sur-oeste

llevar a cabo este enfriamiento, se usará un sistema de ventiladores para poder aumentar la velocidad del aire hasta 15 m/seg, estos ventiladores estarán colocados en la parte superior de la estructura de enfriamiento, la cual estará cubierta completamente por láminas plásticas de manera que formen un tunel sobre la estructura, estos ventiladores succionarán el aire que entrará por la parte inferior de la estructura y a contracorriente de agua a enfriar (fig. No. 3).

El calor que hay que eliminar del agua para que se enfrie hasta 25°C se determina de la siguiente manera:

$$Q = m C_p \Delta T$$

$$T_1 = 39^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 25^\circ\text{C}$$

$$m = 7.04 \times 10^4 \text{ g/seg.}$$

$$C_p = 1.0 \times 10^{-3} \text{ Kcal/g } ^\circ\text{C}$$

$$Q = 7.04 \times 10^4 \frac{\text{g}}{\text{seg}} \times 1.0 \times 10^{-3} \frac{\text{Kcal}}{\text{g } ^\circ\text{C}} \times (25-35)^\circ\text{C}$$

$$Q = -704 \frac{\text{Kcal}}{\text{seg.}}$$

Con este valor de calor se puede determinar la masa del agua evaporada de la siguiente forma:

$$Q = m \lambda$$

$$Q = -704 \text{ Kcal/seg.}$$

$$\lambda = 0.635 \text{ Kcal/g de H}_2\text{O}$$

$$\text{mev.} = \frac{704 \text{ Kcal/seg}}{0.635 \text{ Kcal/g de H}_2\text{O}} = 1,109.35 \frac{\text{g de H}_2\text{O}}{\text{seg.}}$$

Considerando que el aire sale saturado con vapor de agua, al final del área de enfriamiento, y que esta saturación se lleva a cabo adiabáticamente, de la carta psicométrica se obtienen los valores de humedad absoluta para las condiciones de entrada y salida del aire.

$$H_1 = 0.015 \text{ g H}_2\text{/g a.s.*}$$

$$H_2 = 0.02 \text{ g H}_2\text{O/g a.s.*}$$

La cantidad de agua absorbida por el aire será:

$$H_{Ab} = H_2 - H_1 = 0.020 - 0.015 = 0.005 \text{ gH}_2\text{O/g a.s.}$$

$$= (0.00806 \frac{\text{g-mol H}_2\text{O}}{\text{g-mol a.s.}})$$

Los gramos de aire requeridos para poder absorber el agua vaporizada seran:

$$m_{a.s} = m_{H_2O} / H_{Ab} = (1,109.3 \frac{g H_2O}{seg}) / (0.005 \frac{g H_2O}{g a.s}) =$$

$$m_{a.s} = 221,860 \text{ g a.s./seg.}$$

La superficie por donde fluirá el agua en forma de película estará construida con láminas corrugadas de asbesto instaladas sobre una estructura de concreto con un ancho de 3 metros.

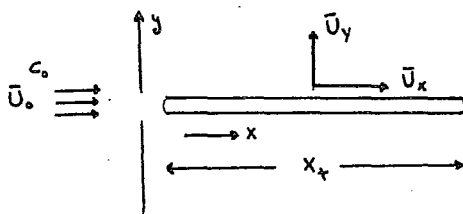
Cada lámina de asbesto tiene un área efectiva de - 3.63 m² con las siguientes dimensiones:

largo	3.0 m
ancho	1.0 m
ancho real	1.21 m

Con los datos anteriores se determinará el área total requerida para llevar a cabo este enfriamiento. Estos cculos se basan en las leyes que rigen a un flujo laminar sobre un plano de longitud "X_t". El plano está paralelo a la dirección del flujo. Este flúido que entra a la placa de enfriamiento tiene una concentración de soluto {C_o} y una velocidad $\bar{U}_x = \bar{U}_o$

Si la concentración en la superficie del plano de enfriamiento se mantiene constante, el problema es determinar la transferencia de masa como una función de \bar{U}_o , las propiedades físicas del flúido, la distancia "X" desde el borde

principal de la placa de enfriamiento y el espesor de la película que fluye.



Las ecuaciones básicas existentes son: (43)

$$\frac{\partial \bar{U}_x}{\partial x} + \frac{\partial \bar{U}_y}{\partial y} = 0$$

$$\bar{U}_x \frac{\partial \bar{U}_x}{\partial x} + \bar{U}_y \frac{\partial \bar{U}_x}{\partial y} = \nu \frac{\partial^2 \bar{U}_x}{\partial y^2}$$

$$\bar{U}_x \frac{\partial c}{\partial x} + \bar{U}_y \frac{\partial c}{\partial y} = D \frac{\partial^2 c}{\partial y^2}$$

(la variación de la densidad del fluido con X, Y y C es despreciable.)

En condiciones límites (frontera) $\bar{U}_x = \bar{U}_y = 0$ y $y = 0$

$c = c_0$, la difusión en la dirección "X" es despreciable.

La expresión obtenida para el coeficiente de transferencia de calor fué transformada por Schlichting (43) para usarse en la transferencia de masa y está dada por:

$$\frac{K_c X}{D} = 0.332 (\text{Rex})^{1/2} (\text{Sc})^{1/3}$$

DONDE:

K_c = Coeficiente local de transferencia de masa a-

\mathcal{V} = la distancia "X" desde el borde inicial.

D = Viscosidad cinemática cm^2/seg .

$$K_c = \frac{N_a}{(C_i - C_o)}$$

$$N_a = \text{gmol}/\text{seg cm}^2; \quad C = \text{gmol}/\text{cm}^3$$

El valor de la transferencia de masa sobre el largo del plano " X_t " en la dirección corriente abajo es obtenida -- por:

$$(K_c)_{av} = \frac{1}{X_t} \int_0^{X_t} K_c dx$$

$$\frac{(K_c)_{av} X_t}{D} = 0.664 (\text{Rex}_t)^{1/2} (\text{Sc})^{1/3}$$

$$\text{Rex}_t = \frac{\bar{U}_o X_t}{\mathcal{V}}; \quad \text{Sc} = \frac{\mathcal{V}}{D_{AB}} = \text{N}^\circ \text{ de Schmidt}$$

D_{AB} = coeficiente de difusión binaria = cm^2/seg .

La expresión para el espesor de la película, y_0 , en función de la velocidad U_x a la distancia "Y" de la pared son fácilmente obtenidos de las ecuaciones básicas:

$$y_0 = \left(\frac{3 \mu T'}{\rho^2 g} \right)^{1/3} = \left(\frac{3 \nu q}{g} \right)^{1/3}$$

y_0 = espesor de la película

μ = viscosidad del líquido

ν = viscosidad cinemática (/) líquido

ρ = densidad líquido

g = gravedad (cm/seg²)

T' = flujo en g/seg. x perímetro (cm)

La velocidad superficial será $3/a \bar{U}_{av}$ = cm/seg.

$$\bar{U}_{av} = \frac{1}{y_0} \int_0^{y_0} \bar{U} dY = \frac{T'}{\rho y_0} = \frac{q}{y_0}$$

$$q = \text{cm}^3 \text{ seg.}$$

$$\bar{U}_x = \frac{g y_0^2}{2 \nu} = \frac{3}{2} \bar{U}_{av} ; \text{ a } (Y = y_0)$$

El número de Reynolds que caracteriza a este flujo está definido por:

$$R_e = \frac{4 T'}{\mu} = \frac{4 \bar{U}_{av} y_0}{\nu}$$

Cálculos.-

$$\rho_{H_2O} = 1 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{\text{aire}} =$$

$$\mu_{H_2O} = 0.007 \text{ g/cm seg}$$

$$\nu = 0.00707 \text{ cm}^2/\text{seg}$$

$$g = 980 \text{ cm/seg}^2$$

$$\bar{V} = 7.04 \times 10^{14} \frac{\text{cm}^3}{\text{seg.}} \times \frac{1}{300 \text{ cm}} = 2,346.7 \text{ cm}^3/\text{seg cm.}$$

El espesor de la película de flujo será:

$$y_o = \left(\frac{3 \nu \bar{V}}{g} \right)^{1/3} = \left(\frac{3 \times 0.00707 \times 2,346}{980} \right)^{1/3} = 0.370 \text{ cm}$$

Utilizando la Ecuación de Guilliland para calcular la difusividad molecular (D_{AB}) se tiene:

$$D_{AB} = \frac{0.0043 \sqrt{T^3 \left(\frac{1}{M_a} + \frac{1}{M_b} \right)}}{P \left(V_a^{1/3} + V_b^{1/3} \right)^2}$$

donde:

$$P = 600 \text{ mmHg (0.7895 atm)}$$

$$V_a = \text{Volumen molar del agua (18.8 cc/g-mol)}$$

Vb = Volumen molar del aire (29.9 cc/g-mol)

Ma = Peso molecular del agua (18 g/g-mol)

Mb = peso molecular del aire (29 g/g-mol)

T = Temperatura (305 °K)

$$D_{AB} = \frac{0.0043 \sqrt{(305)^3 \left(\frac{1}{18} \frac{1}{29} \right)}}{0.7895 (18.8^{1/3} + 29.9^{1/3})^2} = 2.9 \frac{\text{cm}^2}{\text{seg}}$$

La cantidad de agua absorbida por el aire en g-mol/
(seg) (Cm²) sera "Na"

$$Na = \frac{D_{AB} P}{R T Y_o} (C_{ai} - C_a)$$

Donde:

$$R = 82.07 \text{ cc atm/g-mol } ^\circ\text{K}$$

$$C_{ai} = 1.0 \text{ g-mol/cc}$$

$$C_a = 0.7 \text{ g-mol/cc}$$

$$P = 0.789 \text{ atm}$$

$$T = 293 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$Y_o = 0.37 \text{ Cm.}$$

$$D_{AB} = 2.9 \text{ Cm}^2/\text{seg}$$

$$Na = \frac{2.9 \text{ Cm}^2/\text{seg} \times 0.789 \text{ atm}}{82.07 \frac{\text{Cm}^3 \text{ atm}}{\text{gmol } ^\circ\text{K}} \times 293^\circ\text{K} \times 0.37 \text{ Cm}} \times 0.3$$

$$Na = 0.0000772 \text{ gmol/seg Cm}^2$$

$$Na = 0.0000772 \frac{\text{gmol}}{\text{seg Cm}^2} \times \frac{(100)^2 \text{ Cm}^2}{\text{m}^2} = 0.772 \frac{\text{gmol}}{\text{seg m}^2}$$

$$Na = 13.9 \text{ g/seg. m}^2$$

Conociendo el valor de "Na", en función de la difusividad, se puede determinar el área de contacto requerida, de la siguiente manera:

$$Na \times Ae = m_{\text{agua ev.}}$$

Donde:

$$Na = \text{g}/(\text{seg}) (\text{m}^2)$$

$$Ae = \text{Area efectiva de contacto (m}^2)$$

$$m_{\text{agua ev.}} = \text{Cantidad de agua evaporada (1,109.3 g - agua/seg)}$$

$$Ae = \frac{1,109.3 \text{ g agua/seg}}{13.9 \text{ g}/(\text{seg}) (\text{m}^2)} = 79.8 \text{ m}^2$$

Para poder proporcionar esta área se requerirá instalar las siguientes láminas:

$$\text{No Láminas} = 79.8 \text{ m}^2 / (3.63 \text{ m}^2/\text{lamina})$$

$$\text{No Láminas} = 21.8 \text{ láminas.}$$

Con esto, las dimensiones de la estructura serán:

$$\text{Ancho} \quad 3.0 \text{ m}$$

$$\text{largo base} \quad 21.8 \text{ m}$$

$$\text{pendiente} \quad 22.0 \text{ m}$$

altura en

$$\text{un extremo} \quad 3.0 \text{ m}$$

Evaluación del Área Mínima de los Ventiladores.

Esta evaluación se hará tomando como referencia el artículo de la A.P.I. Standard 661 "Air Cooled Heat Exchanger for General Refinery Services"

$$\text{FAPF} = \frac{\text{Area}}{\text{No Vent}} = \frac{0.4 \times \text{Fa}}{\text{No Vent}} = \frac{0.4 \times 48.4}{2} = 9.68 \text{ pies}^2$$

$$\text{FAPF} = 0.999 \text{ m}^2$$

$$\text{Fa} = \text{L} \times \text{h}$$

$$\text{L} = \text{ancho} (9.84 \text{ pies})$$

$$\text{h} = \text{altura} (4.92 \text{ pies})$$

$$\text{No vent} = 2 \text{ ventiladores.}$$

Díametro de los Ventiladores.

$$D_v = \sqrt{\frac{\text{FAPF}}{0.785}} = \sqrt{\frac{9.68}{0.785}} = 3.51 \text{ pies} = (1.07 \text{ m})$$

De acuerdo a esta evaluación se requeriran 2 ventiladores de 1.07 m de diámetro.

Cálculo de la caída de presión del Aire.-

$$\Delta Pa = \frac{Fp \times N}{Dr} = \frac{0.121 \times 4}{0.90} = 0.54$$

Donde:

Fp = Factor de caída de presión (0.121)

N = No de mamparas (4 mamparas de 0.75 m)

Dr = Factor de corrección para la densidad (0.90)

Cálculo del volumen del aire usado.

$$ACFM = \frac{(0.222)(Wa)}{Dr} = \frac{0.222 \times 36,338.4}{0.90} = 8,963.5/\text{por venti} \\ \text{lador}$$

Donde:

Wa = masa velocidad (36,338.4 lb/seg pies²)

Cálculo aproximado de la caída de presión total.-

$$PF = \Delta Pa + \left[\frac{ACFM}{4,000 (Ae)} \right]^2 \times (Dr)$$

Donde:

ΔPa = Caída de presión del aire

ACFM = Volumen de aire por ventilador

Ac = área efectiva de enfriamiento (858.96 pies²)

$$PF = 0.54 + \left[\frac{8,963.5}{4000 \times 858.96} \right]^2 \times 0.90 = 0.54$$

Evaluación de los Hp (caballos de fuerza) requeridos por los ventiladores.

$$Hp = \frac{(\text{ACFM vent.}) \times (PF)}{(6,370) \times 0.70}$$

$$Hp = \frac{8,963.5 \times 0.54}{6,370 \times 0.70} = 1.1$$

Por lo que se requerirá de dos motores con 1.1 Hp de potencia para mover los ventiladores, con esto se mantendrá un flujo de aire con una velocidad promedio de 15 mps.

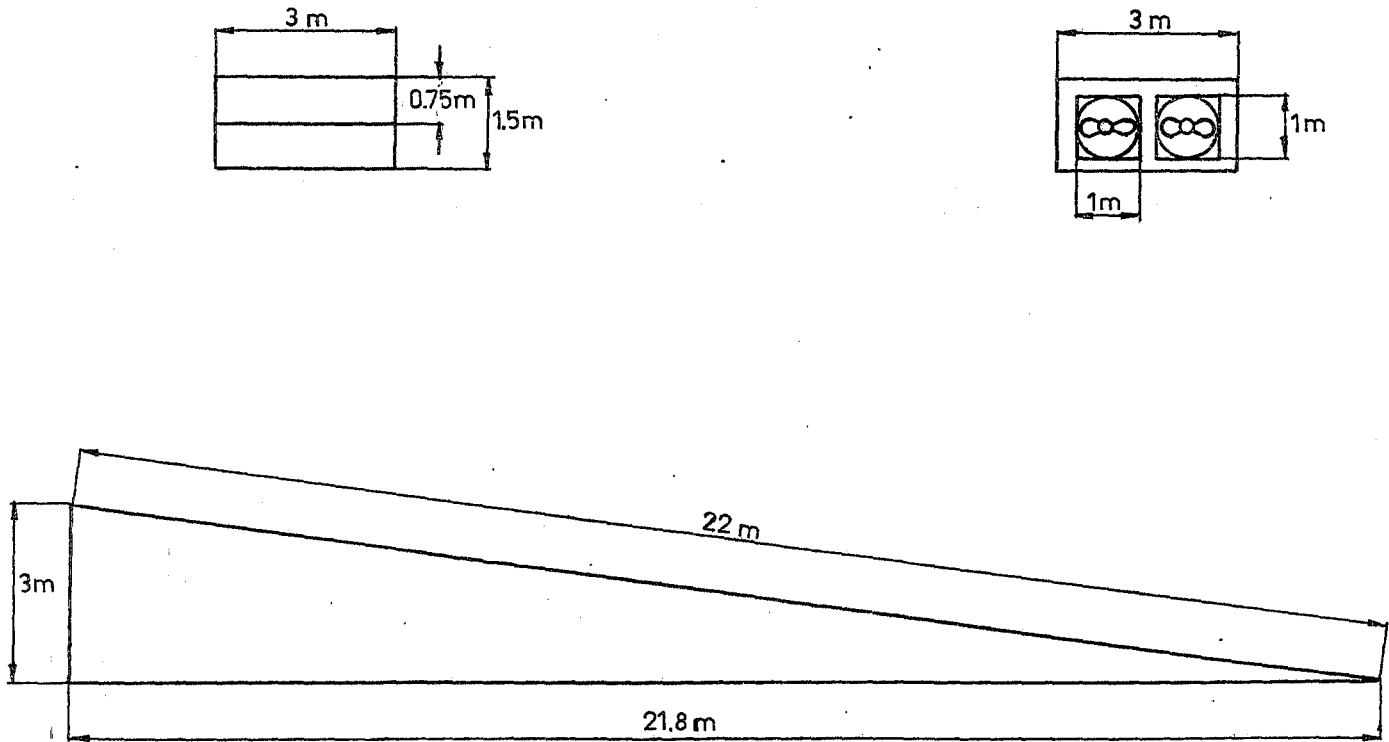


FIG. 3 Sistema de Enfriamiento

3.1.3. DISEÑO DE LA UNIDAD DE OXIDACION QUIMICA.

La unidad de oxidación química estará formada por un sistema de ozonización. Este sistema de ozonización estará equipado con bombas de alimentación, un generador de ozono y los accesorios necesarios para su funcionamiento; también requerirá de un equipo de inyección y de un sistema eléctrico.

Como la finalidad del ozono en este caso es oxidar completamente a los fenoles y estabilizar a los sulfuros y mercaptanos presentes en el agua residual. Se debe determinar la cantidad requerida de O_3 para realizar esta oxidación, -- por los análisis realizados se sabe que las Cantidades promedio presentes de estos compuestos son las siguientes:

Fenoles	182.5 Kg día	
Sulfatos	656.0	"
G y A	146.0	"
DQO	17,287.0	"
DBO	8,509.5	"

Para cumplir con el requerimiento de O_3 , de 1.8 Kg de O_3 por Kg de fenol (21, 22), y mantener una cantidad tal que varíe según la contaminación y pueda estabilizar a los sulfuros, hay que suministrar una cantidad promedio de 1400 Kg de ozono por día.

Se requerirá por lo tanto de un conjunto de generadores de ozono para poder suministrar 1500 Kg de ozono por día.

Se ha comprobado en las plantas de oxonización para tratamiento de agua potable en México, como lo es la planta localizada en el pueblo de Zapotitlán, D.F. (Kilómetro 23.5 sobre la carretera México-Tlahuac-Tulyehualco.), que aproximadamente el consumo de energía para la producción de un kilogramo de ozono es de 30 kilowatts-hora incluyendo el compresor y el secador. Operando con aire y al emplear oxígeno se tiene una reducción de casi el 50% en el costo (44), debido a que se evita la formación de subproductos que acompañan a la formación del ozono.

Existe una variedad de marcas de generadores de ozono, los generadores modernos emplean una lámpara con tubo de cuarzo que emite una luz donde predominan longitudes de onda de $1,848 \text{ \AA}$, como se vé en la Fig. 4. Bajo el efecto de esta radiación el oxígeno presente en el aire es convertido parcialmente a ozono. Cada lámpara de 40 Watts en el generador de ozono produce 2 lb de ozono/día aproximadamente - - - - (0.90718 Kg/día) (45). En estos ozonizadores hay que someter a presión al aire, antes que entre a la cámara de luz. Un generador de ozono sencillo, de este tipo, está equipado con 64 tubos.

Estos generadores de ozono también pueden trabajar con oxígeno o con aire. La ventaja de usar un ozonizador del tipo de lámpara es que no es necesario secar el aire antes de

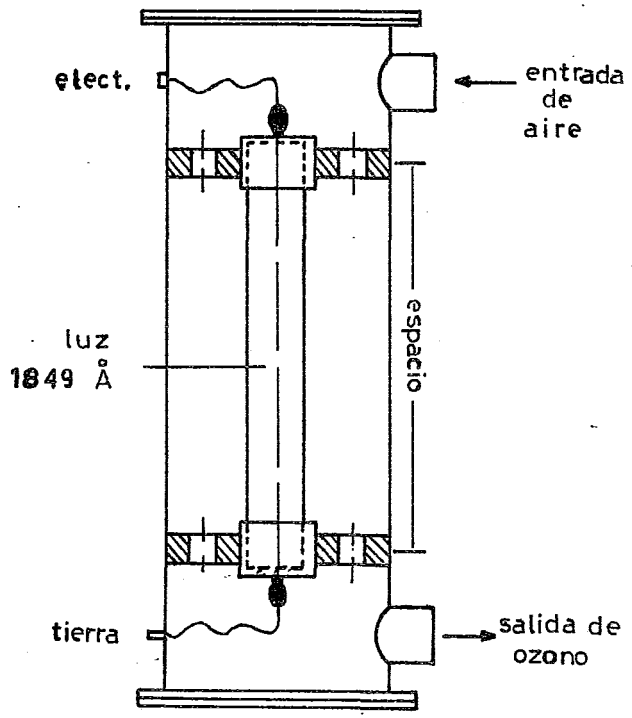


FIG. 4 GENERADOR DE OZONO

que entre al generador; el nitrógeno, oxígeno y la humedad - presentes en el aire son combinados para formar oxidos nitrosos antes que el ozono (44).

Las plantas de ozonización existentes en México usan Generadores Welsbach los cuales generan ozono mediante descargas eléctricas en tubos donde se alimenta aire seco continuamente. Estos generadores operan a 15,000 volts de corriente-alterna y 60 ciclos por segundo, con una energía de carga de 385 a 440 watts por metro cuadrado consumiendo en estas condiciones 1 kilowatt-hora por cada 50 a 60 gramos de ozono. - Para proteger el material dieléctrico con que estan hechos - hay que alimentar el aire al ozonizador con una temperatura-de rocío inferior a -50°C , por lo que es indispensable instalar un sistema de enfriador-refrigerador que elimine la humedad del aire por condensación de vapor de agua.

En este caso se propone el uso de 10 generadores de ozono del tipo Pielkenroad dobles equipados cada uno con 165 tubos que generan un promedio de 150 Kg de O_3 por día, consu--miendo 6.6 Kilo-watts y ocupando un espacio de 350 m^2 para - la instalación de los generadores de ozono.

Inyectoras y Tanques de Contacto.- En la selección del sistema de contacto se debe enfatizar el favorecer el efecto del-contacto de la burbuja de O_3 con la materia a oxidar con con-diciones de mezclado apropiado y evitando la desorción del -

gas durante el tiempo de mayor acción del O_3 residual en el agua (28). La solubilidad del O_3 en agua depende de la temperatura, la presión de la fase gaseosa y la concentración o presión parcial del O_3 en el gas. La solubilidad del O_3 en agua disminuye con el aumento de temperatura y aumenta linealmente con la presión.

Un uso apropiado de la capacidad de oxidación requiere mantener una concentración residual de 0.2 a 0.4 ppm durante un tiempo suficiente.

En este diseño se ha seleccionado para la inyección y dispersión del O_3 dentro del agua, el uso de dos turbinas de 40 cm de diámetro instaladas en la base de un tanque cerrado provisto de mamparas como se muestra en la Fig. 5, la concentración del ozono residual se disuelve en el agua después de 6 minutos de contacto requiriéndose de 2 minutos para la inyección y 4 minutos para la acción residual.

Esta turbina consiste en una rueda que gira, succionando y mezclando el aire ozonizado dentro del agua circulada. Esta turbina es accionada por un motor de 1,450 rpm y una potencia de 0.5 Hp (Fig. 6). Este sistema de inyección de ozono requiere de 5 a 6 watt-hora por g de ozono inyectado. El costo de la compresión del aire es de 2 a 3 watt-hr por g de ozono.

Dimensiones de la Cámara de Inyección.- Este tanque de inyección tendrá un tiempo de retención global de 10 min. por lo que se requerirá de el siguiente volumen:

$$\text{Vol} = 4.224 \text{ m}^3/\text{min} \times 10 \text{ min} = 42.24 \text{ m}^3$$

Con el siguiente arreglo:

Borde libre: 0.5 m

Pared del agua: 3.0 m

Lado: 2.5 m x 8.5 m

Este arreglo se presenta en la Fig. 5.

Es indispensable, para alimentar el agua a la cámara de oxidación, de el uso de dos bombas que manejen $2.5 \text{ m}^3/\text{min}$ -- con una cabeza de descarga de 5 metros requiriendo para esto que dichas bombas esten equipadas con motores de 4 Hp.

Para el manejo del aire ozonizado se requerirá de tubería de 3 cm de diámetro y para el agua se requerira tubería de 36 cm de diámetro.

El sistema eléctrico requerirá de una subestación eléctrica con una relación de transformación 20/0.44 KVA y una capacidad de 600 KVA con 200 KVA adicionales para emergencias y dos tableros de control alojados en la sala de los ozonizadores para controlar la alimentación y dosificación en todo el sistema de tratamiento. Estos tableros controlaran las -- bombas de alimentación. motores, ventiladores y las válvulas

de dosificación automática.

Para la construcción de la planta y localización de los equipos se requerirá un área no mínima de 750 m² para poder tener caminos de acceso y espacio suficiente para la movilización de equipos si fuese necesario.

cámara de inyección y contacto
de ozono

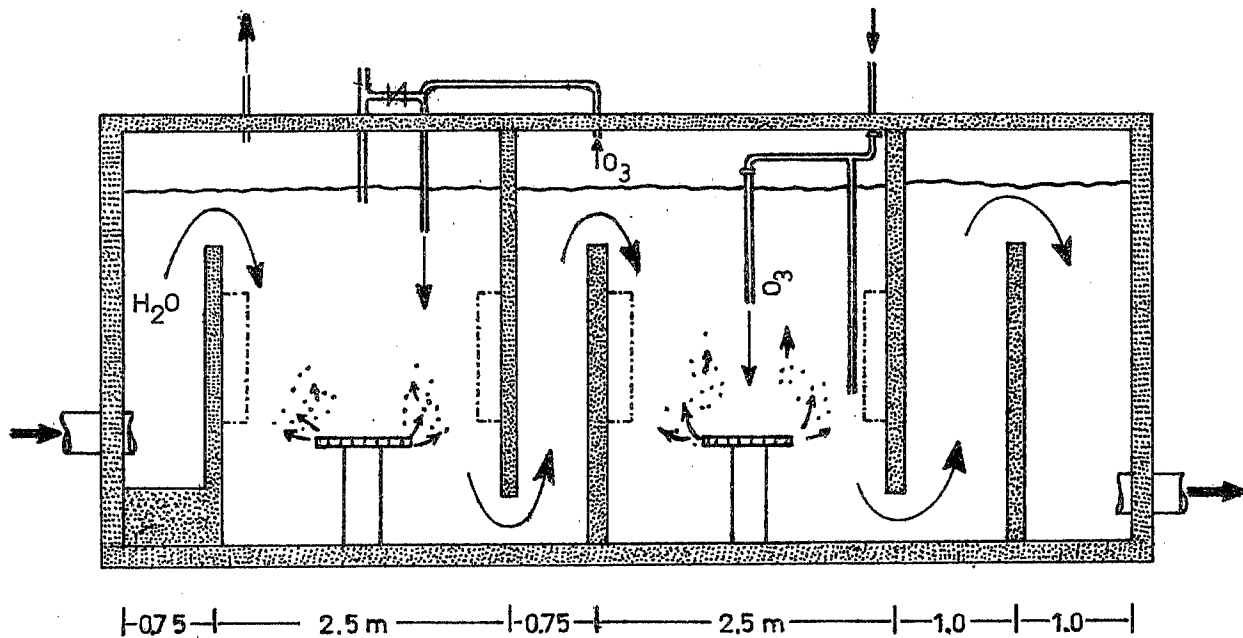


FIG. 5

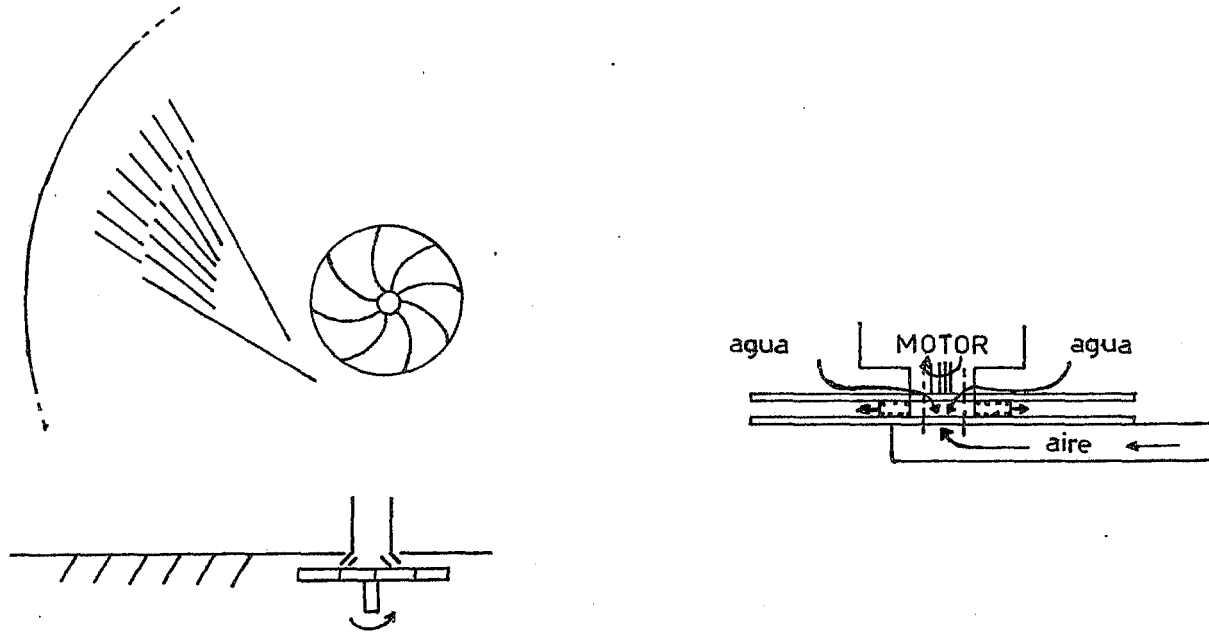


FIG. 6 turbina de ozonización

3.1.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE DESINFECCION.

Este sistema de desinfección estará localizado en el lugar donde se encuentra la planta de tratamiento biológico. En este lugar existe suficiente terreno para construir las estructuras necesarias e instalación del equipo requerido en este proceso de desinfección.

Como se mencionó en el capítulo anterior, se seleccionó al cloro como agente desinfectante por las condiciones antes expuestas. Para poder realizar este proceso de desinfección se requerirá de un equipo de dosificación de cloro, un tanque de contacto, bombas para alimentar el efluente de la planta de tratamiento biológico a la presión requerida en el dosificador también sera indispensable el uso de una báscula para pesar los tanques de cloro, como de un sistema de tuberías para manejar el flujo de cloro y accesorios.

A continuación se presentarán algunos datos requeridos para el diseño.

Alimentación de Cloro.- Puede hacerse directamente como gas o en solución acuosa. La alimentación directa se lleva a cabo -- cuando el cloro como un gas se adiciona directamente al flujo a tratar. La alimentación en solución se realiza al disolver el gas en el menor flujo de agua necesaria y luego inyectar -- la solución obtenida al efluente a desinfectar.

Los cloradores mas generalizados son los que emplean dispositivos de alimentación en vacío. Como muestra la figura N°7, se utiliza un eyector o aspirador para crear un vacío que -- arrastre al cloro a través de este dispositivo de medida se mantiene constante o puede variarse según el flujo, cambiando el grado de vacío. El gas cloro es adsorbido en la corriente del eyector y se descarga en el agua residual en forma de solución de cloro (1,9).

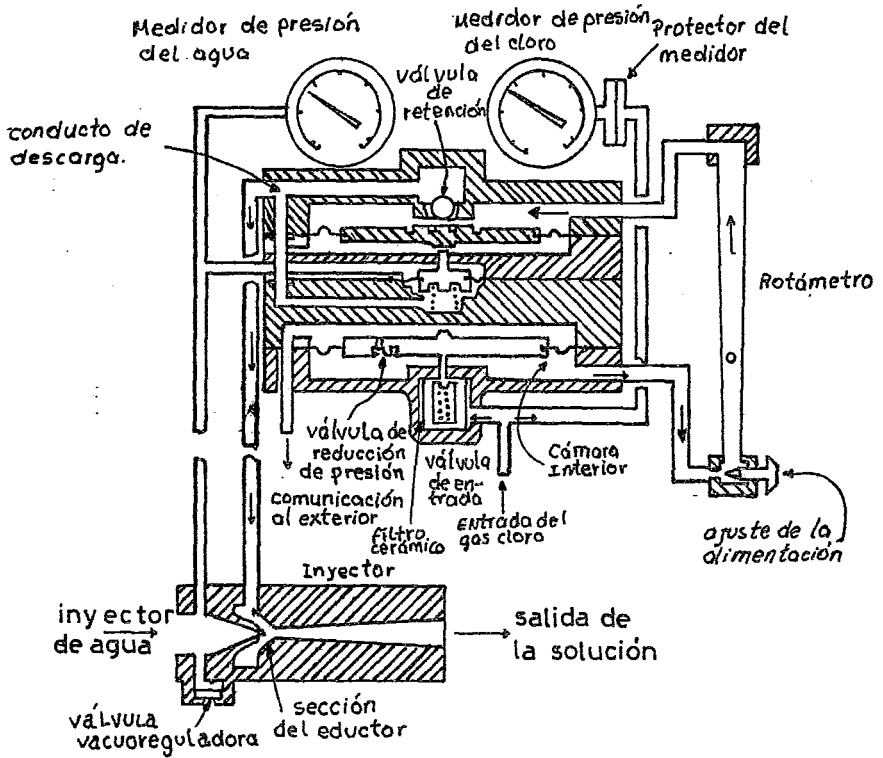
Control de la Dosificación.- Puede realizarse por tres métodos básicos como son el manual, programado y el automático.

La cloración por control manual se lleva a cabo cuando se tiene un gasto constante del efluente a clorar, así como una demanda constante de cloro.

El método de cloración programado consiste en un sistema que cambia el régimen de alimentación de acuerdo con un modelo preseleccionado donde el clorador posee una válvula de control del gasto de cloro y hay un dispositivo que para y arranca a un intervalo de tiempo fijado.

El método de cloración automático es utilizado cuando el efluente a clorar tiene un caudal variable de agua pero requiere de una cantidad constante de cloro, o cuando se tiene un efluente constante y una demanda variable de cloro ó, en los casos en que las dos sean variables (7,8).

SISTEMA REGULADOR



Clorador típico de alimentación al vacío.

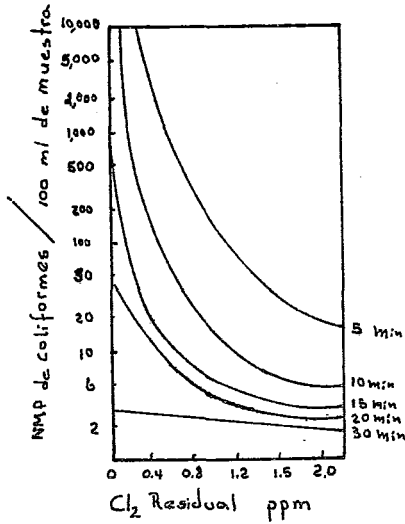
FIG. 7

En general, la dosificación requerida se determina midiendo el cloro residual después de 15 minutos de contacto y ajustando la dosis hasta obtener un cloro residual de 0.5 mg por litro, (2,11), que será la cantidad suficiente para una desinfección corriente. (La destrucción de quistes de amebas puede exigir 2 ppm de cloro libre residual al cabo de 30 min de contacto).

Tanques de Cloración.- El tiempo de contacto es un factor importante para lograr la eliminación de microorganismos. Este tiempo de contacto viene especificado por las autoridades encargadas del control y oscila entre 15 y 30 minutos. Es importante tener cuidado, para el diseño del tanque de cloración, - de que al menos un 80-90 % del agua residual sea retenida en el tanque durante el tiempo de contacto especificado lo cual - se logra utilizando una serie de tanques interconectados o con compartimientos, o bien, un reactor de flujo en pistón (13).

El sistema de desinfección propuesto funciona de la siguiente manera:

El agua tratada sale del tanque de sedimentación secundario - donde fueron eliminados los lodos presentes en el agua, esta - agua sera bombeada al dosificador para luego pasar a un tanque de contacto de donde, después de un tiempo de residencia, el -



NMP de bacterias coliformes contra cloro residual (14).

$$\text{Log } N = \frac{1}{a - bR}$$

N = NMP de organismos coliformes

R = Cloro residual

a y b = ctes. que dependen del tiempo de contacto.

Tiempo de contacto	a	b
5 min	0.17	0.32
10 "	0.21	0.74
15 "	0.28	1.04
20 "	0.65	1.02
30 "	1.91	0.47

agua caerá a la barranca.

Se tendrá un gasto de 250 litros por seg. de agua a desinfectar, se empleará cloro gaseoso por su facilidad en el manejo y en el almacenaje de los cilindros.

El clorador a utilizar contará con un sistema de control manual de dosificación esto es debido a que se tendrá un flujo constante en el efluente de la planta de tratamiento biológico y así también se tendrá una demanda constante de cloro, lo que facilita el control manual.

Como se trata del efluente de una planta de lodos activados y el tipo de tratamiento apropiado es el de desinfección - se requerirá de una dosificación de 8 ppm y de 0.5 mg /l de cloro residual, tomando como referencia el manual de tratamiento de aguas "Degremont, G " y el manual de cloración " Clifford - White, G".

La inyección del cloro se llevará a cabo a la entrada del tanque de contacto, este tanque constará con mamparas obteniendo un tiempo de contacto de 30 min.

Demanda de Cloro.-

$$\begin{aligned} \text{Gasto de agua} &: 250 \text{ lts/seg} \times \text{m}^3 / 1000 \text{ lts} \times 86400 \text{ seg/día} \\ &= 21,600 \text{ m}^3 / \text{día} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Demanda de cloro} &: 21,600 \text{ m}^3 / \text{día} \times 0.008 \text{ Kg} / \text{m}^3 = \\ &= 172.8 \text{ Kg de cloro} / \text{día} \end{aligned}$$

Por lo que se requerirá de un dosificador de cloro con una capacidad de 225 Kg /día, con un intervalo de 20:1 que reciba la señal de un diferencial de presión del flujo de entrada y que cuente con un sistema de análisis de cloro residual, con gráficas y alarma. Además debe incluir :

- 1 Eductor
- 1 Malla contra insectos
- 1 Rotámetro indicador de cloro
- 3 Mangueras de 1/2 pulg. para solución venteo
- 1 Inyector para inyección del cloro gas a la tubería del agua
- 1 Válvula reductora de presión
- 1 Juego de válvulas y conexiones para 1 cilindro de 1 ton.
- 1 Manómetro para gas cloro
- 1 Válvula de línea
- 1 Filtro para la línea del cloro.

También se necesitará una báscula para pesar los cilindros del gas cloro con capacidad de una tonelada (cada cilindro) , dos bombas de ayuda para el clorador, con capacidad de 125 lps, manómetros y tubería con sus conexiones.

Volumen del Tanque de Contacto.-

Vol. Tanque = ... gasto X tiempo de contacto

$$\text{Gasto} = 21,600 \text{ m}^3 / \text{dia} \times 1 \text{ dia} / 1,440 \text{ min} = 15.0 \text{ m}^3 / \text{min}$$

$$\text{Vol. tanque} = 15.0 \text{ m}^3 / \text{min} \times 30 \text{ min} = 450.0 \text{ m}^3$$

Dimension de Tanque de Contacto.-

$$\text{Borde libre} = 0.5 \text{ m}$$

$$\text{Pared del agua} = 3.0 \text{ ''}$$

$$\text{Lado} = (16.6 \times 9.04) \text{ m}^2$$

Este arreglo corresponde a un tanque con una capacidad de 450 m³.

Número de Cilindros de Cloro.- Como se utilizará cloro gas se requeriran cilindros con capacidad de una tonelada (de venta en el mercado). Se tendrá en inventario el cloro suficiente para un periodo de operación de 25 dias.

$$\text{cilindros en uso} = 1$$

$$\text{cilindros en reserva} = \frac{5}{6}$$

Total 6 cilindros de cloro

Como se tendrá en reserva 5 cilindros de cloro por lo que será indispensable contar con un espacio de almacenamiento a decuado, equipado con un sistema para manejar los tanques de cloro y una báscula para determinar la cantidad de cloro presente en los tanques.

A continuación se presentarán los planos del sistema de --
desinfección y la instalación de los cilindros de cloro.

En el siguiente capítulo se presentará el análisis del --
costo de equipo basado en cotizaciones realizadas.

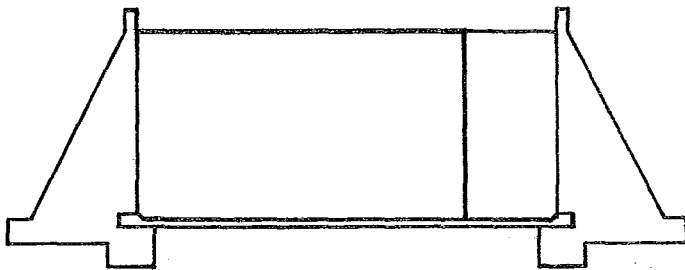
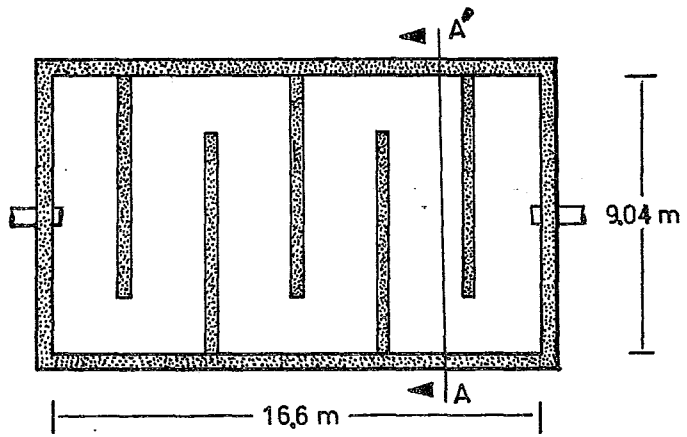


FIG. 8

Tanque de Contacto de Cloro.

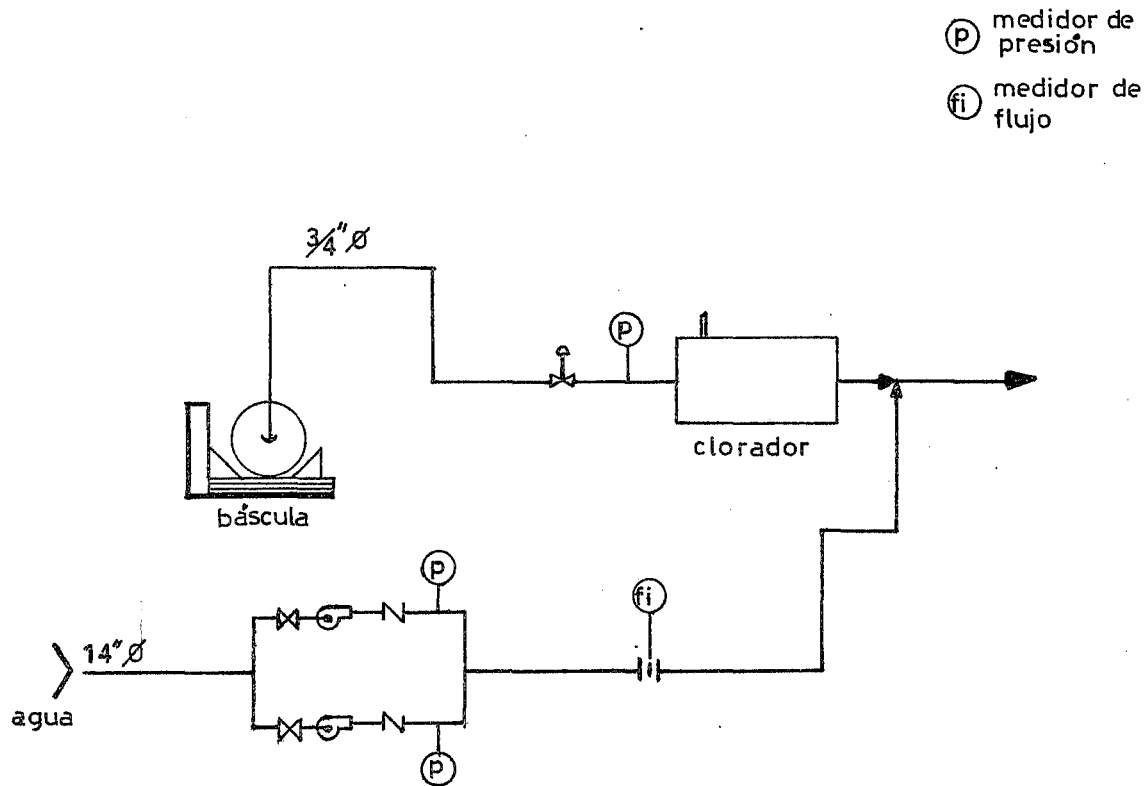


FIG.9 DOSIFICADOR DE CLORO

CAPITULO IV

4.- ESTUDIO ECONOMICO

El estudio económico se realizará en base a las cotizaciones de los equipos y servicios requeridos para poder llevar a cabo el proceso de tratamiento, así también se tomará en cuenta los gastos de mano de obra, mantenimiento, reactivos químicos y supervisión.

La evaluación económica se hará para cinco años considerando que las cuatro industrias, cuyas descargas hay que tratar, están operando a su máxima capacidad y se espera que en los próximos cinco años no tengan ampliaciones de producción considerables, que aumenten significativamente las descargas de las aguas residuales.

4.1.- EVALUACION ECONOMICA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Esta evaluación se desarrollará analizando primeramente, para cada unidad, los equipos y sus costos incluyendo el transporte hasta la planta. Luego se evaluará la inversión fija, costos de tratamiento, servicios necesarios, supervisión y mantenimiento; con estos gastos se conocerá el costo de 1 m³ de agua tratada.

A continuación se presenta la evaluación económica del proceso de tratamiento.

Unidad de Neutralización

Equipo	Material	Precio (pesos)
1 Tanque de NaOH 50 % con D=1.5 m, L=4 m	Hierro	150,000.00
1 Tanque de contacto con Vol=34 m ³	concreto	150,000.00
1 Dosificador y accesorios	acero inox.	200,000.00
2 Bombas de alimentación	acero	130,000.00

Unidad de Enfriamiento

1 Estructura de enfriamiento con 20 escalones.	concreto	180,000.00
1 Fosa de acumulación con Vol=24 m ³	concreto	100,000.00

Unidad de Oxidación

10 Ozonizadores y accesorios	acero inox.	10,000,000.00
2 Turbinas inyectoras y accesorios	acero inox.	450,000.00
2 Bombas centrífugas	acero	130,000.00
1 Tanque de contacto con Vol=42.24 m ³	concreto	280,000.00
1 Sub-estación eléctrica		1,000,000.00

La suma total del costo de equipos es: 12,770,000.00 pesos. (Los costos de los equipos fueron proporcionados por - AQUA MEX, S. A.)

Este costo total se refiere a los equipos sin instalar, - por lo que la inversión fija será calculada de la siguiente forma:

Inversión Fija	Precio (pesos)
Equipo	12,770,000.00
Instalación e instrumentación	1,200,000.00
Tuberías	75,000.00
Edificios	400,000.00
	<hr/>
Total	14,445,000.00

Este total se multiplica por un factor práctico de 1.25 - el cual incluye terreno, gastos de ingeniería, preparación - del sitio y otros. Por lo tanto, la inversión fija para el año 1980 sera de 18,056,250.00 pesos.

Costo de Tratamiento.- Este costo incluye los reactivos uti lizados estimando que el incremento en el precio de los reac tivos será del 10 % anual.

Año	NaOH 50 %		\$/año
	Toneladas consumidas	Costo \$/tonelada	
1980	175.2	4,606.6	807,076.32
1981	175.2	5,067.25	887,782.20
1982	175.2	5,573.97	976,559.54
1983	175.2	6,131.37	1,074,216.02
1984	175.2	6,744.51	1,181,637.63

Gastos por Servicios.- Estos gastos involucran gastos de energía eléctrica y agua.

Servicio	Equipo	Consumo Kw-hr	Costo \$/Kw-hr	Total (Pesos)
Electric.	Ozonizador.	456,200	0.95	433,390.00
"	Bombas	110,000	0.95	104,500.00
"	Ventilador.	52,000	0.95	49,400.00
"	Turbinas	20,667	0.95	19,633.65
Agua	doméstico	300 m ³	0.90 $\frac{\$}{m^3}$	270.00
				<u>607,193.65</u>

Dentro de los costos de tratamiento tambien se incluyeron la mano de obra, supervisión y mantenimiento. La mano de obra tiene un incremento anual del 15 %, la supervisión y el mantenimiento tienen un incremento del 10 % anual.

Se considera que en esta planta trabajaran dos personas - por turno (tres turnos) unicamente, debido a que en la planta principal (de todos activados) laboran un gerente general un gerente de planta, 3 ingenieros, un personal de laboratorio y además varios obreros y empleados de oficina, por lo que, no se justifica el empleo de un número mayor de personal.

El mantenimiento se considera como el 5 % de la inversión inicial y la supervisión como el 2 % de la misma.

En este caso la depreciación es del 10 % anual sobre la inversión depreciable, es decir, el plazo de depreciación se estima sobre la base de 10 años para el equipo y 20 años para los edificios. Entonces, la depreciación será igual a la inversión menos el costo del terreno.

$$\text{Depreciación de equipos} = \frac{18,056,250.00 - 580,000.00}{10 \text{ años}} =$$

$$\text{Depreciación de equipos} = 1,747,624 \text{ pesos/año}$$

$$\text{Depreciación de edificios} = \frac{400,000.00}{20 \text{ años}} = 20,000 \text{ pesos/año}$$

$$\text{Depreciación Total} = 1,767,625.00 \text{ pesos/año}$$

COSTO TOTAL DEL TRATAMIENTO POR AÑO

(M I L E S D E P E S O S)

AÑO	REACTIVO	MANO DE OBRA	MANTENIMIENTO Y SUPERVISION	DEPRECIACION	SERVICIOS	TOTAL
1980	807.076	438.000	977.650	1,767.625	607.194	4,597.55
1981	887.782	503.700	1,075.415	1,767.625	607.194	4,841.72
1982	976.555	579.255	1,182.957	1,767.625	607.194	5,113.58
1983	1,074.216	666.143	1,301.252	1,767.625	607.194	5,416.43
1984	1,181.637	766.065	1,431.377	1,767.625	607.194	5,753.90

Costo de Salario a Obreros.- El pago de obreros será de 200 pesos diarios con un aumento anual del 15 %.

El costo por m^3 de agua estará en función de la cantidad de agua que se trate por año. En este caso el valor promedio del agua a tratar por año es $2.22 \times 10^6 m^3$.

AÑO	1980	1981	1982	1983	1984
$\$/M^3$ de agua tratada	2.07	2.18	2.30	2.43	2.59

4.2 EVALUACION ECONOMICA DEL SISTEMA DE DESINFECCION.

Esta evaluación seguirá la misma secuencia que el caso anterior, para poder conocer el costo de $1 m^3$ de agua desinfectada.

Equipo	Material	Precio (pesos)
1 Inyector de cloro gas y sus accesorios.	acero inoxidable	845,000.00
1 Tanque de contacto de cloro	concreto	450,000.00
1 Báscula	acero	130,000.00
1 Edificio	concreto	150,000.00

Tubería	acero inoxidable	20,000.00
2 Bombas ayuda		<u>180,000.00</u>
	Total	1,775,000.00

(Cotización del inyector de cloro a Wallange and Tiernan, S. A.)

Inversión Fija	Precio (pesos)
Equipo	1,775,000.00
Instalación	270,000.00
Instrumentación	<u>355,000.00</u>
Total	2,400,000.00

Para 1980 la inversión fija será:

$$2,400,000.00 \$ \times 1.25 = 3,000,000.00 \$$$

Costos de Tratamiento.

Reactivo.-

AÑO	Cloro gas		\$/año
	Toneladas consumidas	Costo * \$/ton	
1980	63.1	7,312.0	461,387.2
1981	63.1	8,043.2	507,525.92
1982	63.1	8,847.52	558,278.51
1983	63.1	9,732.27	614,106.24

AÑO	Cloro gas		\$/año
	Toneladas consumidas	Costo * \$/ton	
1984	63.1	10,705.49	675,516.98

* (Pennwalt vende cloro gas a un precio de 6,812 \$/ton libre a bordo.)

Gastos por Servicio.-

Servicio	Equipo	Consumo Kw-hr	Costo \$/Kw-hr	Total (pesos)
Electricidad	Bombas	130,000	0.95	123,500
Electricidad	inyector y controlador	80,000	0.95	76,000
Electricidad	Auxiliares	15,000	0.95	14,250

Total = 213,750

$$\text{Depreciación de equipos} = \frac{3,000,000.00 \text{ \$}}{10 \text{ años}} = 300,000 \text{ \$/año}$$

Mano de Obra.- 1 operador por turno con sueldo de 200 \$/días más 15 % de incremento anual.

Mantenimiento.- 5 % de la inversión inicial más el 10 % de incremento anual.

Supervisión.- 2 % de la inversión inicial más el 10 % de in-

COSTO TOTAL DE LA DESINFECCION POR AÑO

(P E S O S)

AÑO	Reactivo	Mano de obra	Mantenimiento y supervisión	Depreciación	Servicios	Total
1980	416,387.20	219,000.00	210,000.00	300,000.00	213,750.00	1,359,139.20
1981	507,525.92	251,850.00	231,000.00	300,000.00	213,750.00	1,504,125.92
1982	558,278.51	289,627.50	254,100.00	300,000.00	213,750.00	1,615,756.01
1983	614,106.24	330,071.63	279,510.00	300,000.00	213,750.00	1,737,437.87
1984	675,516.99	333,032.37	307,461.00	300,000.00	213,750.00	1,879,760.36

cremento anual.

El valor promedio del agua a desinfectar es de $7.9 \times 10^6 \text{ m}^3$ por lo que el costo por m^3 de agua desinfectada será:

AÑO	1980	1981	1982	1983	1984
$\$/\text{m}^3$ agua desinfectada	0.172	0.190	0.204	0.220	0.238

CAPITULO V

5.- DISCUSION, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

DISCUSION

El que la Planta de Tratamiento Biológico de Lodos Activados opere adecuadamente es importante, ya que evita que cada industria desarrolle una función operativa adicional a las que le son propias al tener que realizar el tratamiento de sus aguas de desecho, lo cual implica una inversión en equipos para el tratamiento de sus aguas residuales con características particulares y un elevado costo de operación debido al bajo flujo de desechos comparado con el flujo total de desechos de todas las industrias del CIVAC.

Por otro lado para el gobierno municipal, el que la planta funcione eficientemente representa una serie de ventajas al poder disponer de agua para ser reutilizada, no sólo para fines agrícolas sino también para limpieza, riego de parques y jardines pudiendo con esto completar el servicio de agua deficiente. El disponer de agua en condiciones de utilización y la supresión de plagas y malos olores permite el desarrollo turístico, así como un aumento de la demanda de terrenos residenciales y su valor: por consecuencia aumentan las inversiones y la actividad de construcción.

En las condiciones de salud de la población es importante el aspecto de contar, en la región, con agua tratada al gene

rar ahorros en la población, que gastaría menos en servicios médicos, el gato público destinado a la salud bajaría en --- gran proporción al no tener incidencia de enfermedades gastrointestinales, que en esta región ocupa uno de los primeros lugares.

La realización de el proyecto de tratar en un sólo sistema todas las aguas de desecho del CIVAC y alrededores es indispensable por las innumerables ventajas que representa.

Se hará una cuantificación de los beneficios sobre la producción agropecuaria con base en los censos elaborados por la Secretaría de Industria y Comercio y la Secretaría de Agricultura y Ganadería.

Los municipios que son afectados en diferentes grados son mayormente los de: Jiutepec, Emiliano Zapata, Tlaltizapan y Xochitepec, y de manera secundaria los de Jojutla, Puente de Ixtla, Temixco, Yautepec y Zacatepec. Por la ubicación de la planta, el municipio de Cuernavaca sólo sufre efectos marginales ya que la principal fuente de contaminación son sus -- propias aguas negras.

La superficie total de los municipios afectados suma: --- 1,221.38 Km², correspondiendo 537.43 Km² a los afectados directamente (44 % del total) y 683.95 Km² a los afectados de manera secundaria (56 % del total).

Cuadro 1

MUNICIPIOS AFECTADOS POR LAS AGUAS RESIDUALES DEL CIVAC

Municipios más afectados	Superficie Total Km ²	%	Temporal (Ha)	%	Riego y Humedad	%
Jiutepec	70.45	5.8	370.4	2.2	945.9	5.5
Emiliano Zapata	66.71	5.5	439.1	2.6	1,381.2	8.0
Xochitepec	99.13	8.1	653.9	3.8	1,787.6	10.4
Tlaltizapan	301.14	24.6	2,736.4	15.9	4,434.0	25.7
Sub-total	537.43	44.0	4,199.8	24.5	8,548.7	49.6
Municipios menos afectados						
Temixco	75.75	6.2	788.6	4.6	652.0	3.8
Yautepec	140.90	11.5	3,078.7	17.9	3,862.6	22.4
Zacatepec	26.81	2.2	489.3	2.9	776.1	4.5
Puente de Ixtla	333.56	27.3	4,886.4	28.5	1,302.4	7.6
Jojutla	106.93	8.8	3,709.8	21.6	2,088.1	12.1
Sub-total	683.95	56.0	12,952.8	75.5	8,681.2	50.4
T O T A L	1,221.38	100.0	17,152.6	100.0	17,229.9	100.0

Las tierras de labor en la zona considerada suman -----
 34,382.5 Ha (hectáreas), de las cuales 17,152.6 Ha son de ---
 temporal y 17,229.9 Ha son de riego y humedad.

En los municipios más afectados por las aguas residuales del CIVAC predominan las tierras de riego y humedad (67.1 %) sobre las de temporal (32.9 %), en las afectadas secundaria- mente se tiene 59.9 % de tierra de temporal y 40.1 % de tierra de riego y humedad.

Las bajas en los rendimientos agrícolas por efecto de la contaminación se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 2

<u>Municipios</u>	<u>Rendimiento en % respecto al que tenían antes de recibir las descargas del CIVAC.</u>
Jiutepec	50
Emiliano Zapata	50
Xochitepec	55
Tlaltizapan	55
Temixco	50
Yautepec	60
Zacatepec	70
Puente de Ixtla	80
Jojutla	80

En el caso de Temixco habrá que considerar que ese abatimiento de los rendimientos ha sido propiciado en mayor grado por la contaminación de las aguas negras de la Ciudad de --- Cuernavaca.

El Consejo de Administración del Primer Distrito de Control de la Contaminación de Aguas contrató a una compañía -- responsable, para que realizara una evaluación de los benefi cios que se alcanzarían cuando esta planta de tratamiento -- biológico de lodos activados comenzara a funcionar a toda su capacidad, esta fecha estaba fijada para 1976. Esta evalua ción fue solamente del tipo agrícola, se presenta a continua ción los resultados esperados para el año 1976. (Cuadro 3).

En el Cuadro 4 se encuentran los valores de la produc--- ción esperada para 1976 considerando el promedio de superfi- cie cosechada en 1971-1973, los rendimientos promedio y los abatimientos de los mismos. Para estimar el valor de la pro- ducción se multiplicará el resultante de los rendimientos -- por el incremento del índice de precios entre 1973-1976.

Cuadro 3

RENDIMIENTO POR MUNICIPIO

Rendimientos por Hectárea

	1971		1972		1973		Promedio	
	Ton.	\$	Ton.	\$	Ton.	\$	Ton.	\$
Jiutepec	10.2	13171	10.3	7302	9.3	13318	9.9	11264
Emiliano Zapata	6.8	3684	6.9	3034	7.1	5073	6.9	3930
Xochitepec	6.8	3955	6.2	2599	6.2	3919	6.4	3491
Tlaltizapan	9.8	3921	9.3	2893	8.9	4112	9.3	3642
Sub-total	8.7	5752	8.4	3742	8.1	6081	8.4	5192
Temixco	5.3	2556	5.5	2457	6.1	3194	5.6	2736
Yautepec	8.2	3594	7.6	2484	7.4	3416	7.7	3165
Zacatepec	9.0	3956	12.0	3072	12.9	4564	11.3	3864
Puente de Ixtla	9.0	7106	8.3	4136	8.8	7485	8.7	6242
Jojutla	10.8	8415	10.1	4629	10.1	8566	10.3	7203
Sub-total	8.7	5190	8.5	3294	8.6	5332	8.6	4605
T O T A L	8.7	5455	8.4	3506	8.4	5684	8.5	4882

(Fuente: S. A. G. Dirección General de Economía Agrícola)

Cuadro 4

PRODUCCION ESTIMADA PARA 1976

Cálculo de la producción a 1976

Municipios	Superficie cosechada Ha.	Volumen Ton. (1)	Valor en Miles \$ (2)	
			A precios de 1973	A precios de 1976 (3)
Jiutepec	4220	20889	23772	39224
Emiliano Zapata	3586	12372	7052	11635
Kochitepec	4519	15907	8685	14330
Tlaltizapan	8645	44219	17334	28601
Sub-total	20970	93387	56843	93790
Temixco	2903	8128	3975	6559
Yautepec	9515	43959	18067	29811
Zacatepec	2025	16018	5478	9039
Puente de Ixtla	3126	21757	15600	25740
Jojutla	5969	49185	34380	56727
Sub-total	23538	139047	77500	127876
T O T A L	44508	232434	134343	221666

NOTAS:

- (1) El volumen resulta de multiplicar la superficie por el rendimiento al nivel abatido, según cuadros 2 y 3.
- (2) El valor es el resultado de multiplicar este volumen por el valor de la tonelada promedio, según cuadro 3.

- (3) Se calcula inflando los valores con el índice nacional de precios al consumidor, del Banco de México, que entre 1973 y 1975 se elevó un 56.9 % en el renglón correspondiente a productos agropecuarios, más un 8 % -- por el período de medio año de 1976, o sea que los valores de este último año son 65 % más altos que en --- 1973.

Por problemas de presupuesto, políticos, devaluación de la moneda y otros, no se pudo lograr que la planta entrara a funcionar en la fecha que se había fijado y, hasta el momento la Planta de Tratamiento Biológico de Lodos Activados no está operando eficientemente como era de esperar, debido a fallas en el diseño como los que se mencionaron anteriormente en este trabajo.

Considerando toda esta problemática, se puede concluir -- que el tratamiento eficiente de estas aguas residuales tendrá un doble efecto. Por una parte restablecer los rendimientos agrícolas a su nivel anterior a la contaminación y -- por otro lado, aumentar la producción al usar el agua tratada en riego de superficies que antes eran de temporal. En -- el primer caso se supone además un incremento del 10 % sobre el nuevo nivel de la producción, como consecuencia de mejoras en los cultivos, por cuestiones técnicas y de mercado -- que antes no podían hacerse.

Como promedio, el rendimiento en valor de la superficie --

de riego es 75% superior al correspondiente a áreas de temporal.

EVALUACION DE LA PRODUCCION AGRICOLA UNA VEZ ELIMINADA LA CONTAMINACION.

La planta opera un promedio de 18 horas al dia, durante todo el año, con un gasto promedio de 250 lps. Produciendo un volumen aproximado de 6.5 millones de metros cubicos de agua por año. Esta cantidad puede servir para producir durante dos períodos al año, conforme a los siguientes calculos:

$$\text{Vol. por ciclo} = 6.5 \times 10^6 \text{ m}^3 / 2 \text{ ciclos agricolas} =$$

$$\text{Vol. por ciclo} = 3.25 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{ciclo.}$$

Para regar una hectaria por ciclo se requieren $7,000 \text{ m}^3$, por lo tanto, se dispone de agua para regar 464.3 hectarias por ciclo, es decir 928.6 hectarias por año.

Haciendo el valor abatido, de la superficie de cosecha para 1976, igual al porciento expresado en el cuadro 2, y llevandolo a un nivel de 110%, osea un 10% más alto que su nivel previo a la contaminación, por efecto de mejoras en los cultivos. para el caso de los municipios menos afectados

sólo se considera que restituirán los rendimientos a un 90 % dada su lejanía y ubicación geográfica respecto al CIVAC.

A continuación se presentan los valores de producción una vez eliminada la contaminación.

Cuadro 5

(M I L E S D E P E S O S)

Municipios	NUEVO VALOR DE LA PRODUCCION UNA VEZ ELIMINADA LA CONTAMINACION.			
	En Superf. de riego	En Superf. de Temporal		Valor Total de la Producción
		Por rendimiento.	Por nuevas áreas	
Jiutepec	70,536	13,523	3,909	87,968
Emiliano Zapata	21,666	3,377	976	26,019
Xochitepec	23,702	4,264	1,224	29,190
Tlaltizapan	42,276	12,816	3,699	58,791
Sub-total	158,180	33,980	9,808	201,968
Temixco	6,988	4,819	-	11,807
Yautepec	30,705	14,012	-	44,717
Zacatepec	8,541	3,081	-	11,622
Puente de Ixtla	9,203	19,755	-	28,958
Jojutla	31,658	32,160	-	63,818
Sub-total	87,095	73,827	-	160,922
T O T A L	245,275	107,807	9,808	362,890

Considerando como beneficios totales la diferencia entre los valores de la producción antes y después de instalar la planta de tratamiento, se tienen los siguientes valores de - beneficios netos totales.

Cuadro 6

BENEFICIOS NETOS TOTALES

Municipios	(M I L E S D E P E S O S)			
	Valor anual de la producción antes de la Planta	Valor anual de la producción después de la Planta	Beneficio Neto Total	Incremento Porcentual
Jiutepec	39,224	87,968	48,744	124.3
Emiliano Zapata	11,635	26,019	14,384	123.6
Xochitepec	14,330	29,190	14,860	103.7
Tlaltizapan	28,601	58,791	30,190	105.6
Sub-total	93,790	201,968	108,178	115.3
Temixco	6,559	11,807	5,248	80.0
Yautepec	29,811	44,717	14,906	50.0
Zacatepec	9,039	11,622	2,583	28.6
Puente de Ixtla	25,740	28,958	3,218	12.5
Jojutla	56,727	63,818	7,091	12.5
Sub-total	127,876	160,922	33,046	25.8
T O T A L	221,666	362,890	141,224	63.7

CONCLUSIONES

- 1- El tratamiento de las aguas residuales que evite la contaminación y adicione el caudal estimado al riego, producirá beneficios en el renglón de la producción agrícola de 141.2 millones de pesos, derivados de incrementos en la producción que, van de un máximo de 124.3 % a un mínimo de 12.5 % resultando un promedio del 63 %.
- 2- Comparando los beneficios de producción agrícola (141.2 millones de pesos) con el costo de la Planta de Tratamiento Biológico, que es de aproximadamente 60 millones de pesos, resulta una relación de 2.4 a 1. En el estudio económico de este trabajo se determinó que se tiene que invertir 21.057 millones de pesos para la instalación de un sistema complementario de tratamiento químico para que la Planta de Tratamiento Biológico pueda operar eficientemente, con esta nueva inversión resulta una relación de 1.8 a 1 que ya por si sola refuerza la decisión de invertir en este sistema de tratamiento químico complementario.
- 3- El uso del ozono como agente oxidante de los contaminantes de las aguas residuales habriría nuevas perspecti

vas para su empleo en tratamiento de aguas residuales, aprovechando su alto poder oxidante, su efectividad y - el bajo costo de tratamiento de aguas complicadas, como el del caso presentado.

- 4- El costo del m^3 de agua tratada, en este sistema complementario, es de aproximadamente 2.1 pesos lo que hace - un costo de 1.28 millones de pesos por año. Este costo por año es casi insignificante comparado con los beneficios agrícolas producidos (141.2 millones de pesos) por año al tratar estas aguas residuales.
- 5- La inversión inicial de este sistema de pre-tratamiento químico (18.057 millones de pesos) sería un valor bajo para las empresas ya que se dividiría entre los 4 usuarios y, la cuota a pagar sería en función de las cantidades de contaminantes presentes en sus descargas. Con el aporte económico de las industrias, para cubrir el - monto de este sistema, se estará evitando el tener que hacer gastos mucho mayores para tratar sus aguas antes de enviarlas al drenaje.
- 6- Con la instalación del sistema de desinfección del e----fluente de la Planta de Tratamiento Biológico se tendrá

la seguridad de que esta planta no está generando contaminación por presencia de microorganismos patógenos en sus descargas.

- 7- El tratamiento de las aguas residuales es indispensable ya que a medida que transcurre el tiempo la contaminación está aumentando excesivamente y si, ahora que estamos a tiempo, no se establecen sistemas de control adecuados, en el futuro se tendrán consecuencias graves.

RECOMENDACIONES

- 1- Para lograr una desinfección debe agregarse el cloro necesario para satisfacer la demanda de cloro y dejar cloro residual que destruya a las bacterias, por lo que se recomienda contar con un equipo de laboratorio adecuado para medir la destrucción de las bacterias.
- 2- Se recomienda que la dosis de cloro se ajuste una vez al día, de manera que se obtenga el cloro residual deseado al máximo gasto.

- 3- El sistema de generación de ozono debe ser supervisado constantemente y además debe dársele el mantenimiento necesario ya que de esto dependerá el que la Planta de pre-tratamiento opere continuamente.

- 4- El problema de la contaminación de las aguas está alcanzando grandes niveles por el incremento de la población y el desarrollo industrial de los últimos años, originándose la necesidad de reutilizar el agua que ya había sido empleada y contaminada. Por esta razón, es importante que se desarrollen nuevos conocimientos y nuevas actitudes por parte del Gobierno Federal, del sector privado y de todos los ciudadanos en general; así también las instituciones de educación deben preparar profesionistas con conocimientos relacionados con la contaminación, tanto en sus fuentes, consecuencias y todas las técnicas existentes para la eliminación de estos contaminantes que por consecuencia traeran un ordenamiento tanto ecológico como ambiental.

A P E N D I C E

APENDICE

Agentes Tensoactivos.- Los agentes tensoactivos son grandes moléculas orgánicas, ligeramente solubles en agua, que causan espumas en las plantas de tratamiento así como en las aguas a las que se vierten los efluentes residuales. Los agentes tensoactivos tienden a acumularse en la interfase aire-agua. Durante la aireación del agua residual, estos compuestos se acumulan sobre la superficie de las burbujas de aire causando por ello una espuma muy estable.

La determinación de los agentes tensoactivos se realiza midiendo el cambio de color en una solución normalizada de azul de metileno. Otro nombre con el que se reconoce a los agentes tensoactivos es el de "sustancias activas al azul de metileno" (SAAM). (1)

Bacterias Saprófitas.- Son las que se alimentan de materia orgánica muerta, descomponiendo los sólidos orgánicos para obtener el sustento necesario, y produciendo a su vez sustancias de desecho que consisten en sólidos orgánicos e inorgánicos. (1)

Carbón Orgánico Total COT.- El método más utilizado para medir el carbono en aguas superficiales, industriales y do--

místicas. Se basa en la oxidación de la materia carbonosa a bióxido de carbono, en una concentración de 1 a 15 mg/l. La cantidad de bióxido de carbono formado se detecta con un analizador infrarrojo (IR) del tipo no dispersivo. Proporciona una manera rápida de estimar el grado de contaminación de materia orgánica que presenta un agua residual. (1)

Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO.- Representa la cantidad de oxígeno necesario para que las bacterias oxiden la materia orgánica aeróbicamente. Es el parámetro más utilizado y aplicado a las aguas residuales. Los datos de la DBO se utilizan para dimensionar las instalaciones de tratamiento y medir el rendimiento de algunos de estos procesos. Con los datos de la DBO podrá asimismo calcularse la velocidad a la --que se requerirá el oxígeno.

El período de incubación, para medir la DBO, es general--mente de 5 días a 20°C, si bien pueden utilizarse otros pe--ríodos de tiempo y temperatura. Sin embargo, la temperatura deberá ser constante a lo largo de todo el ensayo. Tras la incubación, se mide el oxígeno disuelto de la muestra y la - DBO se calcula de la siguiente manera:

Para mezclas porcentuales

$$\text{DBO (mg/l)} = (\text{DO}_b - \text{DO}_i) \frac{100}{\%} - (\text{DO}_b - \text{DO}_s)$$

Para el pipeteo directo

$$DBO = (DO_b - DO_i) \frac{\text{vol de botella}}{\text{ml de muestra}} - (DO_b - DO_s)$$

DO_b, DO_i = Concentraciones de oxígeno disuelto hallados en el testigo (conteniendo sólo agua de dilución) y diluciones de muestra, respectivamente, al final del período de incubación.

DO_s = Concentración de oxígeno disuelto originalmente -- presente en la muestra sin diluir. (1)

Demanda Química de Oxígeno DQO.- Determina la cantidad de o xígeno necesario para oxidar a la materia orgánica de un de- secho, por medio de un agente oxidante, bajo ciertas condi- ciones de acidez, temperatura y tiempo, transformando la ma- teria orgánica en bióxido de carbono y agua. Se utiliza igu- almente para medir la materia orgánica en aguas residuales - industriales y municipales que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica. (1)

Organismos Coliformes.- Se conoce con este nombre a las in- numerables bacterias en forma de bastoncillo contenidas en - el tracto intestinal del hombre. Son útiles para destruir - la materia orgánica en los procesos biológicos de tratamien- to de las aguas residuales. La presencia de coliformes no - siempre significa contaminación con residuos humanos.

Oxígeno Disuelto OD.- El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios así como para otras formas de vida aerobia. No obstante, el oxígeno es sólo ligeramente soluble en el agua.

La presencia de oxígeno disuelto en el agua residual es -deseable porque evita la formación de olores desagradables. Los niveles de oxígeno disuelto pueden usarse como indicadores de la contaminación excesiva por desechos. (1)

Sólidos Disueltos Totales SDT.- Son compuestos solubles de origen orgánico e inorgánico, son una medida de los materiales separables no degradables por procesos naturales. Afectan la permeabilidad de los suelos. (1)

Sólidos Sedimentables SSe.- Son una medida aproximada de la cantidad de fangos que se eliminará mediante sedimentación.
(1)

Sólidos Suspendidos Fijos SSF.- Se refiere al contenido inorgánico (mineral) de los sólidos suspendidos. A 600°C permanecen como cenizas. (1)

Sólidos Suspendidos Totales SST.- Se determinan en base a -

hacer pasar un volumen conocido de líquido por un filtro. -
Por lo general, el filtro se elige de modo que el diámetro -
mínimo de los sólidos suspendidos sea aproximadamente una micra (m). (1)

Sólidos Suspendidos Volátiles SSV.- Se refiere al contenido orgánico de los sólidos suspendidos. A 600°C la fracción orgánica se oxidará y será expulsada como gas. Se aplica más frecuentemente a los fangos del agua residual para medir su estabilidad biológica. (1)

Sólidos Totales ST.- Los sólidos totales del agua residual proceden del agua de abastecimiento, del uso industrial y doméstico y del agua de infiltración de pozos locales y aguas subterráneas. Se define como la materia que queda como residuo de evaporación a 103-105°C. (1)

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- 1- Metcalf, Eddy
Waste Water Engineering
1^a Edición McGraw Hill Inc. N. Y. 1977.
- 2- Besselievre, Edmund B. y Schwartz, Max
The Treatment of Industrial Wastes
2^{da} Edición McGraw Hill Book Company 1976.
- 3- Schroeder, Edward D.
Waster and Wastewater Treatment
McGraw Hill 1977.
- 4- Nordell, Eskel
Tratamiento de agua para la industria y otros usos
2^{da} Edición Editorial CECSA México, 1961.
- 5- Pelczar, M. J. y Reid, R. D.
Microbiology
2^{da} Edición McGraw Hill N. Y. 1965.
- 6- Connick, R. E. y Chia, Y. T.
The Hidrolysis of Chlorine and its Variation with Temperature. J. Am. Chem. Soc. 1959.

- 7- Chamberlin, N. S. y Snyder, H. B.
Technology of Treating Plating Wastes
Tenth Ann. Wastes Conf. Purdue Univ. May 1955.
- 8- Wallace and Tiernan Inc.
Chlorination Catalog Book Equipment Selection and
Technical Data Section. 1963.
- 9- Wallace and Tiernan Inc.
Industrial Products Division Cat. File 50.202
25 Main Street, Bellerville N. J. 1968.
- 10- Beychok
Aqueous Wastes
Unpublished Data
- 11- Culp, G. L. y Culp, R. L.
New Concepts in Water Purification
Van Nostrand Reinhold Company N. Y. 1974
- 12- Tegeder, Fritz y Mayer, Ludwig
Métodos de la Industria Química
Vol. I Editorial Reverté. 1967
- 13- Degrémont, Gilbert
Manual Técnico del Agua

- Pelletier S. A. 1973
- 14- Clifford White, Geo
Handbook of Chlorination.
Van Nostrand Reinhold Company 1972.
- 15- Besselievre, Edmund B.
Tratamiento de Desechos Industriales. 1969.
- 16- Barnes, George
Tratamiento de Aguas Negras y Desechos.
Editorial CECSA México, 1967.
- 17- Wheldon Hair, H. and Cox, Edwin
Chemical Oxidation with Chloring.
A. I. Ch. E. (Water) N. Y. 1972.
- 18- Chen, Juh W.
Catalytic Oxidation in Advanced Waste Treatment.
A. I. Ch. E. (Water) N. Y. 1972.
- 19- Wynn, Clayton S., Bradley, S. Kirk and McNabney R.
Pilot Plant for Tertiary Treatment of Watewater
with Ozone. A. I. Ch. E. (Water) N. Y. 1972.
- 20- Paulson, E. G.

- How to get rid of Toxic Organics Chemical
Engineering. Vol. 84 Pag. 22-24 Oct-Nov. 1977.
- 21- Hewes, C. G. and Davison, R. R.
Renovation of Waste Water by Ozonation.
A. I. Ch. E. (Water) N. Y. 1972.
- 22- Lanovette, K. H.
Treatment of Phenolic Waste Chemical Engineering.
Vol 84 Oct. 17, 1977.
- 23- Lash, L. D. and Kominek E. G.
Primary Waste Treatment Methods.
Chemical Engineering, Oct. 6, 1975.
- 24- Henshaw, T. B.
Adsorption and Filtration Plant Cuts Phenoles
from Effluent. Chemical Engineering, May 31, 1971.
- 25- Technology
Water Pollution Control.
Chemical Engineering /Deskbook-Isue/ Jun 21, 1971.
- 26- Watkins, J. P.
Controlling Sulfur Compounds in Wastewaters.
Chemical Engineering/Deskbook Issue/ Oct. 17, 1977.

- 27- Ford, D. L. and Elton, R. L.
Removal of Oil and Grease from Industrial Wastewaters.
Chemical Engineering/Deskbook Issue/ Oct. 17, 1977.
- 28- Masschelin, W.; Fronsotet, G. and Genot, J.
Techniques for Dispersing and Dissolving Ozone in
Water. Part I, II Water and Sewage Works, Dec. 1975.
- 29- Furgason, R. R., Harding, H. L. and Langeland, A. W.
Ozone Treatment of Kraft Mill Effluents.
A. I. Ch. E. Symposium Series. Vol 70, 1974.
- 30- Anticipando el Futuro
Trabajo sobre el Cloro. División Química.
Grupo CYDSA, Monterrey, N. L. 1977
- 31- Scher, J. A.
Industrial Wastewater Pumps.
Chemical Engineering, Oct. 6, 1975.
- 32- Vincen, G. P., McMahon, J. D. and Synan, J. F.
Use of Chlorine Dioxide in Water Treatment.
Am. J. Pub. Health., Sept. 1946.
- 33- The Chlorine Institute Inc.
Chlorine Manual. 4th. Edition N. Y. 1964

- 34- Nebel, C. and Unangst, P. C.
Ozone for Pollution Control.
International Pollution Control Magazine Pag 28, 1976
- 35- McKee, J. E. and Wolf, H. W.
Water Quality Criteria.
The Resources Agency of California State Water
Resources Control Board, N^o 3-A, 1963
- 36- Development Document for Effluent Limitations
Guidelines for Petroleum Refining.
U. S. Environmental Protection Agency, EPA April, 1977
- 37- Kostenbader, P. D. and Flecksteiner, J. W.
Biological Oxidation of Coke Plant weak Ammonia Liquor.
Water Pollution Control Federation, Feb. 1969.
- 38- Kibbel, W. H., Raleigh, C. W. and Shepherd, J. A.
Hydrogen Peroxide for Industrial Pollution Control
Part II, West Lafayette Ind., 1972.
- 39- Kroop, R. H.
Treatment of Phenolic Aircraft Paint Stripping
Wastewater.
Part II, West Lafayette Ind., 1973.

40- Betz Handbook of Industrial Water Conditioning.

Betz Laboratories, Inc. 5th Ed. 1957.

41- Perry, R. H. and Chilton C. H.

Chemical Engineers' Handbook

5th Ed. McGraw Hill 1973.

42- Bard, J., Allen

Equilibrio Químico

Harper and Row Publishers Inc. 1970.

43- Sherwood, T. K., Pigford, R. L. and Wilke, C. R.

Mass Transfer.

McGraw Hill K. Ltd. 1975.

44- Aceves Lemus, H.

Aplicación de Ozono en escala Municipal para Tratamiento de Aguas.

Facultad de Química 1975.

45- Pielkenroad Separator Company

Ozonitor PSC Bulletin 75-10

Houston, Texas 77052.