

20/1/67



**Universidad Nacional Autónoma de México**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**ANTEPROYECTO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO  
DE EFLUENTES EN UNA PLANTA QUIMICA DE  
SUSTANCIAS CONSERVADORAS DE ALIMENTOS.  
( DISMINUCION DE LA D.Q.O. ).**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO**

**P R E S E N T A**

**RIOS PORRAS JOSE FRANCISCO**

**TESIS CON  
BARRA DE ORIGEN**

**MEXICO**

**1988**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está 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.

# I N D I C E

-----

## R E S U M E N

CAPITULO I. INTRODUCCION	
I.1 GENERALIDADES	1
I.2 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	13
CAPITULO II. METODOS QUIMICOS DE TRATAMIENTO	16
CAPITULO III. ESTUDIOS EXPERIMENTALES	
III.1 GENERALIDES	25
III.2 MATERIALES Y METODOS	26
III.3 RESULTADOS EXPERIMENTALES	29
III.4 DISCUSION DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO	29
CAPITULO IV. EVALUACION DEL SISTEMA PROPUESTO	
IV.1 DISEÑO DE INGENIERIA	40
IV.2 ESTUDIO ECONOMICO	55
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
<u>BIBLIOGRAFIA</u>	64
APENDICE. NORMAS	

## RESUMEN

El siguiente estudio tiene la finalidad de presentar un proyecto para el tratamiento de aguas residuales industriales.

La industria de proceso, en especial la química, vierte al drenaje substancias químicas contaminando con esto aún más en ellos el agua residual transportada.

El Estado de Morelos, para evitar una mayor contaminación del preciado líquido, cuenta con una planta de tratamiento de aguas que emplea el sistema de Lodos Activados. Esta recibe los efluentes de las diferentes industrias que se encuentran en el complejo industrial denominado C.I.V.A.C.

Como es de entenderse, la planta propiedad del Estado, cobra por tratar dichos efluentes. Los parámetros que fija la planta para hacer su cobro son: volumen, sólidos suspendidos totales, grasas y aceites y demanda química de oxígeno, que es una forma de medir la cantidad de materia orgánica presente en las aguas residuales. Este último parámetro representa la mayor parte del costo de tratamiento. Para el caso de una empresa química, Especialidades Químicas, S. A., la remoción de la D.Q.O. representa casi un 75% de los costos de tratamiento.

Por otro lado, dado que los precios fijados están aumentando en forma continua, se hace atractivo un pretratamiento "in situ" para reducir los costos por este rubro.

Para solucionar este problema se cuentan con varias alternativas propias del sistema físico-químico, como son la oxidación por ozono, la oxidación con peróxido y desgasificación o aireación, y es esta última la que ofrece mejores opciones para la disminución de la demanda química de oxígeno (D.Q.O.) .

La aireación permite la remoción de gases volátiles por desorción y otros compuestos orgánicos de bajo punto de ebullición, eliminando parte de los contaminantes presentes en el agua a un costo menor o igual que el actual.

Cuando se implemente el sistema propuesto (con la planta "in situ") se logrará una disminución del 30% de la D.O.O. presente en el agua residual.

La evaluación económica indica que el anteproyecto desarrollado es viable para la empresa con una vida promedio del equipo de 10 años, si se toma en cuenta el gasto que se efectúa en la actualidad para la empresa y que tiende a aumentar por incremento en las tarifas del organismo externo que lo presta.

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

### **I**

Si no fuese el agua una substancia de uso tan común en la vida diaria de la especie humana, sus propiedades tan especiales causarían un gran asombro. El agua es un elemento esencial para la vida, constituye el principal componente del protoplasma celular y representa aproximadamente dos tercios del peso total del hombre y hasta nueve décimas partes del peso de los vegetales.

El agua es muy necesaria para todas las actividades de la Tierra; para beber, para preparar alimentos, para el aseo personal, para trabajar, para producir energía, para enfriamiento, para la elaboración de productos, para entretenimiento (natación, navegación), para la pesca, etc.

Siendo entonces el agua primordial para el ser humano, su importancia en conservarla y disminuir su contaminación es esencial.

El presente trabajo se relaciona con esta problemática, ya que en él se presenta un tratamiento para las aguas residuales de la empresa Especialidades Químicas, S.A. que contienen, entre otras substancias, residuos industriales diversos.

La empresa en cuestión está ubicada en el valle de Cuernavaca, en el complejo industrial C.I.V.A.C. (Centro Industrial del Valle de Cuernavaca). Esta empresa está constituida por 5 plantas, las cuales producen Paraterbutil Fenol, Bisfenol A, Butil Hidroxi-Tolueno y Nitrofuranos; todas estas descargan sus efluentes a un drenaje común que se denomina Descarga No. 1. La quinta planta produce Benzoato de Sodio y descarga su efluente en un drenaje aparte que se denomina Descarga No. 3. Para caracterizar sus efluentes se toman parámetros como referencia para evaluar su efecto en la contaminación del agua: Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.), Sólidos Suspendidos Totales (S.S.T.), Grasas y Aceites (G. y A.) y Volumen (V). Existe una planta de tratamiento de efluentes, operada por el Estado de Morelos, (ECCACIV), que trata los efluentes generados en la zona. Con base en la caracterización de las aguas residuales, se establecen tarifas de costo para ese tratamiento. En las figuras 1 a

la 8 se presentan los datos suministrados por la empresa en estudio. Dichas figuras constituyen una valiosa ayuda para la caracterización de las aguas de desecho.

Los productos finales que van a las aguas residuales son medidos por un parámetro indicador, que proporciona la cantidad de oxígeno requerido para oxidar bajo condiciones específicas la materia orgánica e inorgánica contenida en el agua (Demanda Química de Oxígeno).

Los otros parámetros, volumen, grasas y aceites, sólidos suspendidos totales indican también el grado de contaminación presente en el agua residual. Junto a estas figuras se presenta también el costo por manejo de dichos parámetros observándose que año con año estos se incrementan considerablemente haciendo urgente una solución alternativa.

Finalmente, las figuras 9a a 9h que presentan estructuras de costo por manejo de agua residual, ayudan a comprender la magnitud que representa para la empresa el desembolso que origina el pago por manejo de la D.Q.O.

Como se observa, la D.Q.O. representa entre 77% - 83% del costo total, mientras los otros tres parámetros oscilan entre:

Volumen : 8 % - 11 %

S.S.T. : 2 % - 3.8 %

G. y A. : 4.6 % - 10.2 %

Si bien es cierto que los otros contaminantes también son un problema, el más grave es el de la D.Q.O.

El efluente contiene, entre otras sustancias químicas, parater butil fenol, bisfenol A, butil hidroxitolueno, nitrofuranos y benzoato de sodio, ya que estas sustancias son las que produce la planta. También contiene productos intermedios o reactivos para la producción de estos compuestos. Estas sustancias químicas implican problemas para los organismos vivos que proliferan en la planta estatal de tratamiento ya que son de difícil degradación y, en ocasiones, pueden alcanzar concentraciones tóxicas para esas poblaciones microbianas.



Fig.1a. DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO

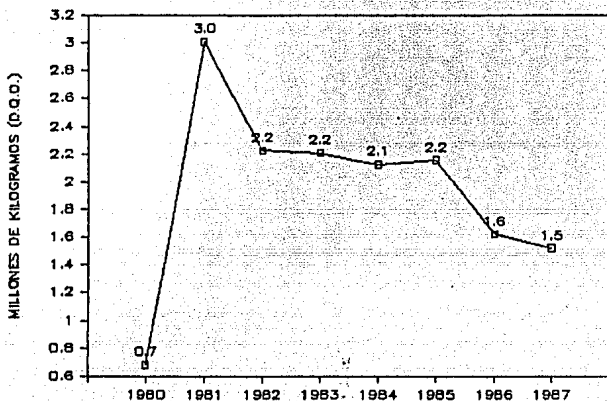


Fig.1b. COSTO POR D.Q.O.

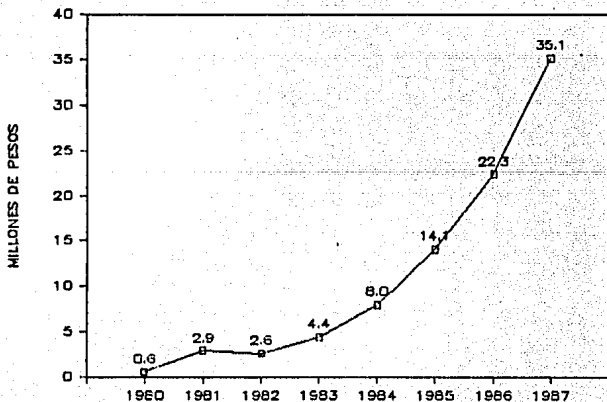


Fig.2a. GRASAS Y ACEITES

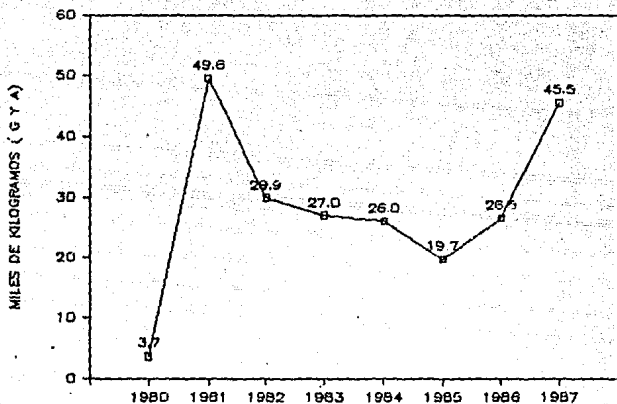


Fig.2.b. COSTO POR GRASAS Y ACEITES

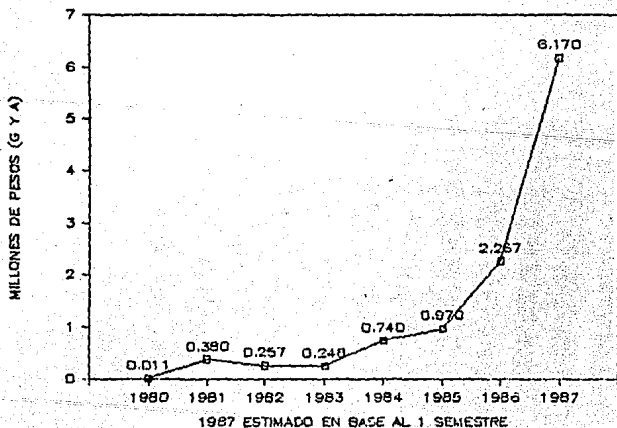


Fig. 3a. SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

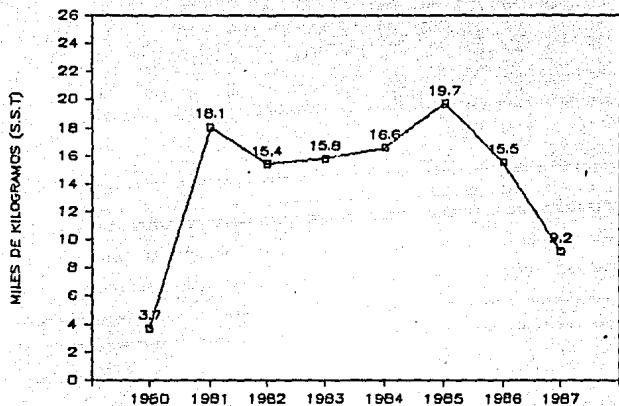


Fig. 3.b. COSTO POR S.S.T.

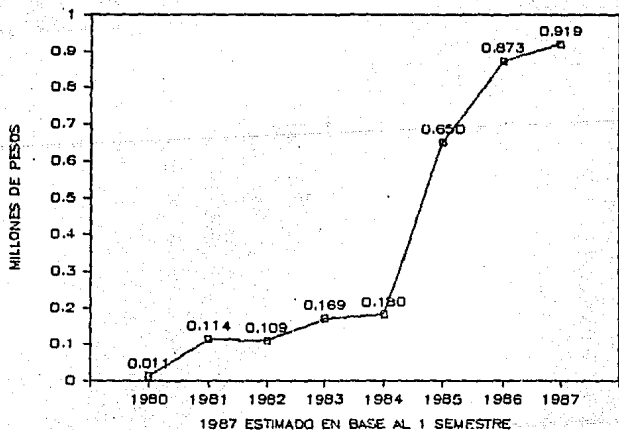


Fig.4a. AGUA RESIDUAL  
VOLUMEN MANEJADO

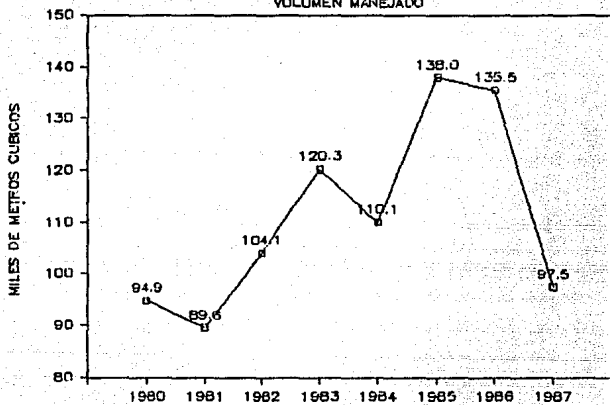


Fig.4b COSTO POR MANEJO DE AGUA RESIDUAL

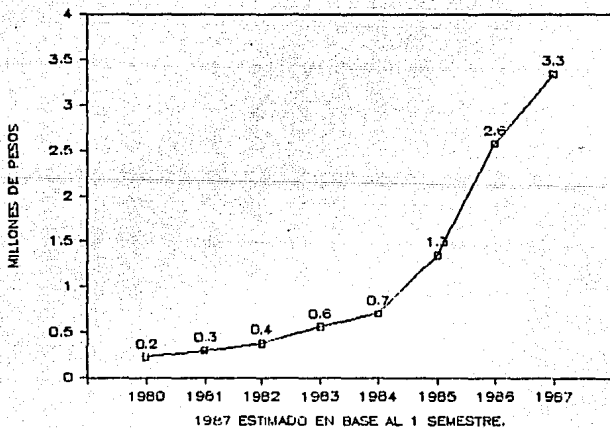


Fig.5

### COSTO TOTAL

( VOLUMEN, DQO, SST, GYA )

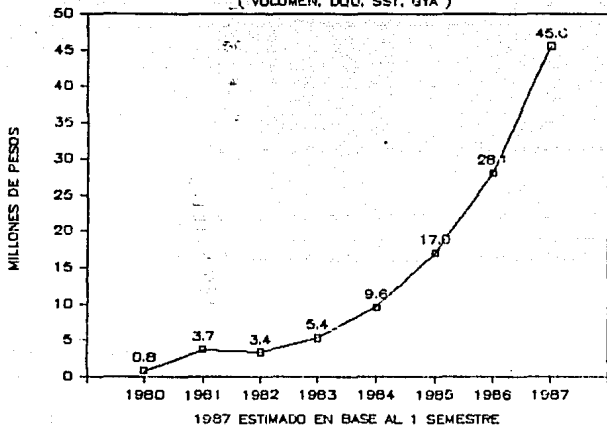


Fig.6. D.Q.O. EN AGUA RESIDUAL

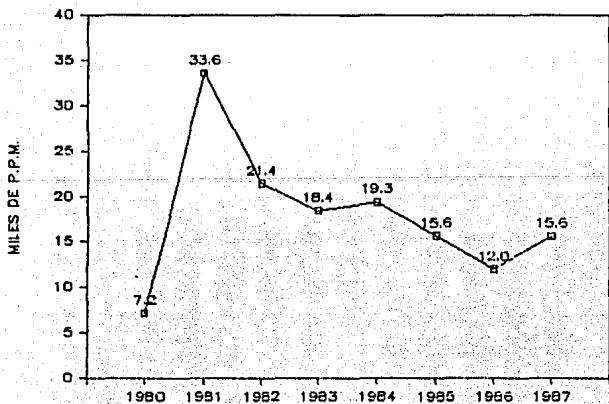


Fig.7. C Y A EN AGUA RESIDUAL

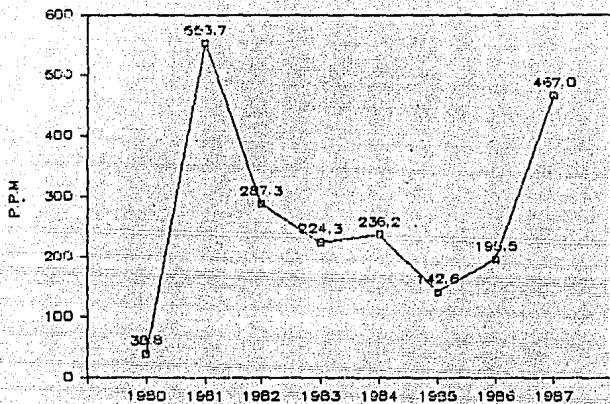


Fig.8. S.S.T. EN AGUA RESIDUAL

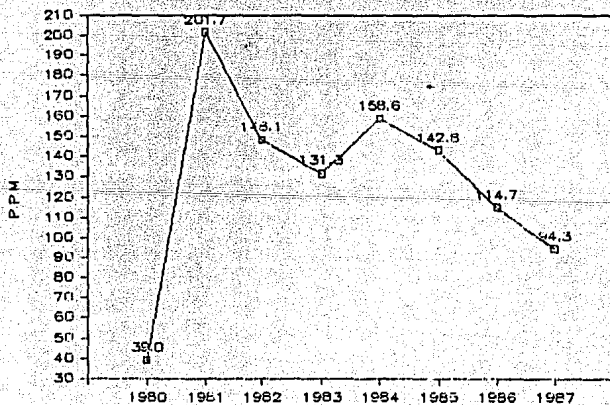
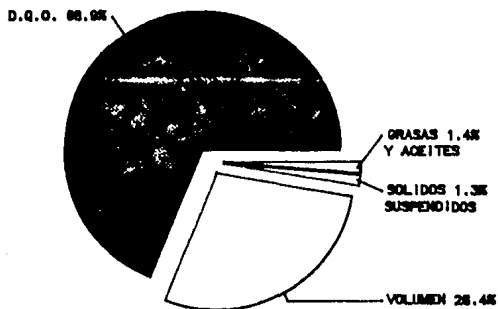
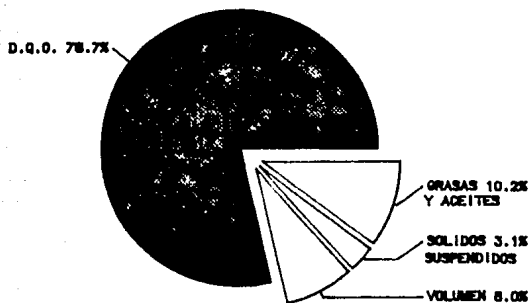


Fig. 9a.

### ESTRUCTURA DEL COSTO POR MANEJO DE AGUA RESIDUAL 1980



### ESTRUCTURA DEL COSTO POR MANEJO DE AGUA RESIDUAL 1981



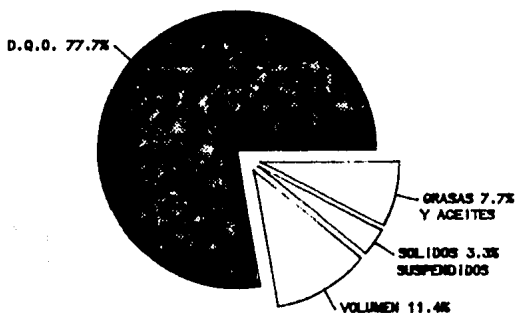
**ESTRUCTURA DEL COSTO POR MANEJO DE AGUA RESIDUAL  
1982****ESTRUCTURA DEL COSTO POR MANEJO DE AGUA RESIDUAL  
1983**

Fig. 9d.

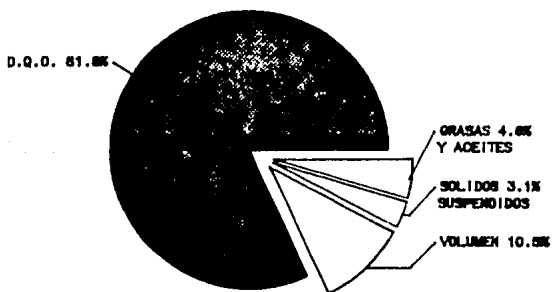
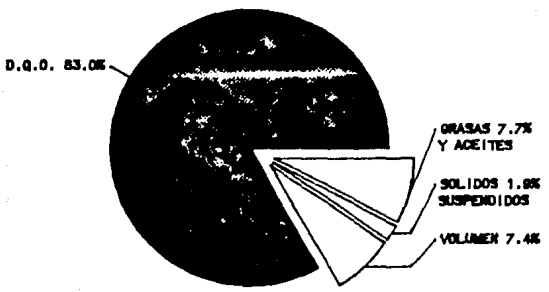




Fig. 9.

### ESTRUCTURA DEL COSTO POR MANEJO DE AGUA RESIDUAL 1984



### ESTRUCTURA DEL COSTO POR MANEJO DE AGUA RESIDUAL 1985

Fig. 9t.

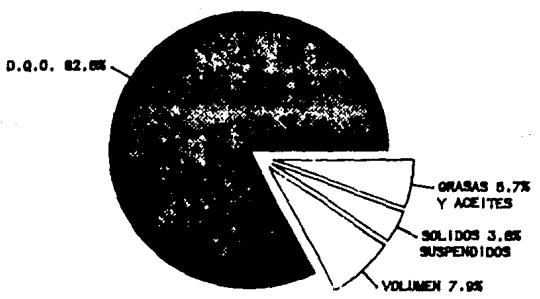
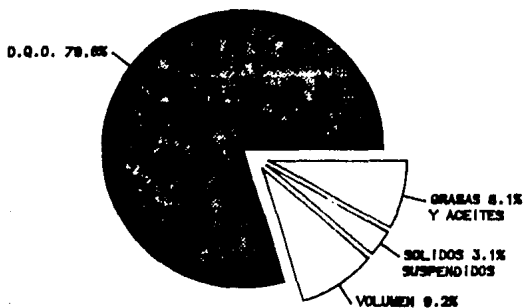


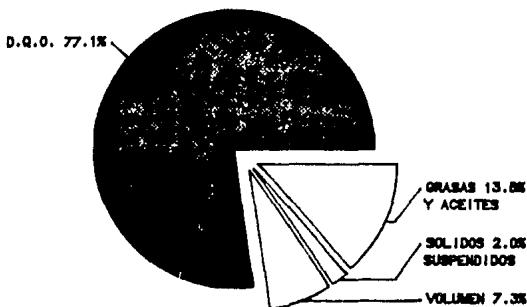
Fig. 9a.

### ESTRUCTURA DEL COSTO POR MANEJO DE AGUA RESIDUAL 1986



### ESTRUCTURA DEL COSTO POR MANEJO DE AGUA RESIDUAL 1987

Fig. 9b.



El objetivo de este estudio, es la búsqueda de un proceso alternativo que minimice el contenido de estas sustancias en el efluente para que, al disminuir su concentración, baje la cantidad de D.Q.O. y, por ende, el costo de tratamiento.

Para ello se establecerán las bases técnicas y económicas para la disminución de la D.Q.O., con objeto de reducir la contaminación del agua residual enviada a la planta estatal de tratamiento y, como ventaja adicional el ahorro de dinero para la empresa.

## I.2 Sistemas de tratamiento de aguas residuales

Varios procesos de oxidación tienen una aplicación potencial para la destrucción de contaminantes orgánicos. Estos son :

- Oxidación química
- Oxidación biológica
- Oxidación húmeda
- Incineración

Puede escogerse uno de ellos o una combinación específica, dependiendo de la naturaleza particular del agua residual y de la concentración de contaminantes. La figura 10 presenta la relación entre el costo del proceso y la concentración del influente (2). En ella se muestran las diferencias de costo de proceso entre los sistemas biológicos y los químicos. Para bajas concentraciones de compuestos orgánicos biodegradables, la oxidación biológica es la mejor opción, dado su costo. Cuando la concentración del material orgánico se incrementa más allá de un 30%, la incineración a altas temperaturas empieza a ser práctica. La oxidación húmeda se ve favorecida para aguas residuales que están demasiado diluidas para ser incineradas o que contienen sustancias en disolución refractarias al tratamiento (sustancias que son resistentes a una degradación biológica) para ser manejadas por oxidación química. Un tratamiento no biológico será aplicable a la degradación de subs-

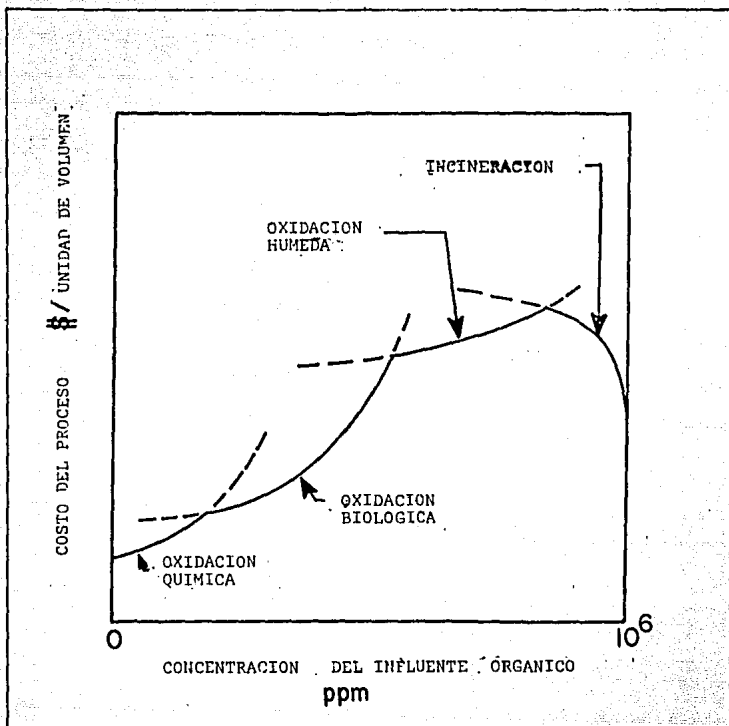


Fig.10. Relación entre el costo de proceso y la concentración del influente

tancias presentes en las aguas residuales, en situaciones tales como :

- Contaminantes específicos que no son biodegradables
- Aguas residuales que contienen alta concentración de contaminantes orgánicos que son producidos esporádicamente.
- Contaminantes específicos los cuales están presentes a niveles de concentración que inhibirían tratamientos biológicos.
- Una alta concentración de compuestos orgánicos que esté favoreciendo económicamente a la oxidación húmeda o a la incineración.

Como se observa, la vía de tratamiento para las aguas residuales en estudio es la oxidación química, puesto que las concentraciones que se manejan tendrán un costo de proceso por unidad de volumen menor que las anteriores alternativas mencionadas.

Si además, la evaluación económica de la planta "in situ" presenta una tasa favorable (59.6% de interés ganado), en comparación con la erogación que le representa a la empresa por la tratabilidad de sus efluentes, resulta entonces favorecido el sistema de oxidación química.

En el siguiente capítulo se presenta una somera descripción de estos sistemas.

METODOS QUIMICOS DE TRATAMIENTO

II

## CAPITULO II. METODOS QUIMICOS DE TRATAMIENTO

En este capítulo se describen algunos sistemas químicos seleccionados, y primeramente se presentan los aspectos que sirvieron para normar el criterio de esta selección.

### Aspecto económico.

El sistema más adecuado desde este punto de vista, debe ser el que logre la disminución en el D.Q.O., sin generar altos costos de equipo y reactivos. Un sistema que cumple con estos requisitos no representa una carga para la economía de la empresa y en general, permite la obtención de ganancias.

### Aspecto técnico.

Dentro de este rubro se debe considerar principalmente la limitación de espacio de la empresa, que evita la implantación de un equipo de gran tamaño. Además se debe buscar que el sistema no requiera de gran mantenimiento ni cuidados especiales.

De acuerdo con las características del material presente en estas aguas residuales, los únicos sistemas que pueden aplicarse son los de oxidación química, dentro de los que se encuentran:

- Ozono
- Agua Oxigenada
- Oxígeno o Aire

Oxidación por ozono.- Este método resulta efectivo, precisamente por su agente oxidante, el ozono, que durante la oxidación química ataca:

- 1.- Los compuestos orgánicos insaturados
- 2.- Los anillos aromáticos al romperse y al oxidarse generan compuestos degradables biológicamente.

Si bien este método resultaba intrínsecamente atractivo, se encontraron una serie de inconvenientes. Al llevar el sistema a la práctica, debe tenerse en cuenta que el agente oxidante, en este caso el ozono, tiene un alto costo de generación. Ade-

más, que los costos y rendimientos del equipo ( por su elevada disipación de calor ) implican una desventaja significativa.

Su dosificación requiere de un equipo específico, lo que implica un grupo humano altamente especializado dedicado a su cuidado.

Aunado a esto, este sistema presenta problemas en la parte experimental, ya que las pruebas son laboriosas y complicadas y que el equipo no es muy accesible.

Para poder realizar experimentos con este sistema se necesitan los siguientes instrumentos (Fig 11).

- Dehumidificador
- Generador de ozono
- Recipiente de reacción
- Trampa de yoduro de potasio
- Medidor de humedad

La última desventaja de este sistema es su eficiencia de remoción de D.Q.O. que está entre 40 y 65%. Estos datos se obtuvieron con niveles de concentración de D.Q.O. muy inferiores a los que se trabajan (3000 ppm a 4000 ppm) y a pH diferentes a los que se presentan en el influente a tratar.

Oxidación con peróxido.- La oxidación con peróxido, en comparación con la anterior, presenta complicaciones mayores, pues al realizar una oxidación con peróxido de hidrógeno se altera el medio ambiente en que se lleva a cabo la experimentación ya que al presentarse una reacción violenta se crea un gran desprendimiento de gases, lo que implica la formación de mezclas explosivas lo que por su peligrosidad sensibiliza a los técnicos, los cuales difícilmente lo seleccionan.

Este sistema tiene también un costo elevado ya que algunos compuestos del agua residual son aromáticos lo que requiere de catalizadores ( $Fe^{++}$ ). Asimismo, es necesario hacer un análisis cualitativo y cuantitativo de los efluentes de las cinco diferentes plantas, con la finalidad de conocer la cantidad exacta de contaminantes para poder utilizar el peróxido necesario para su oxidación.



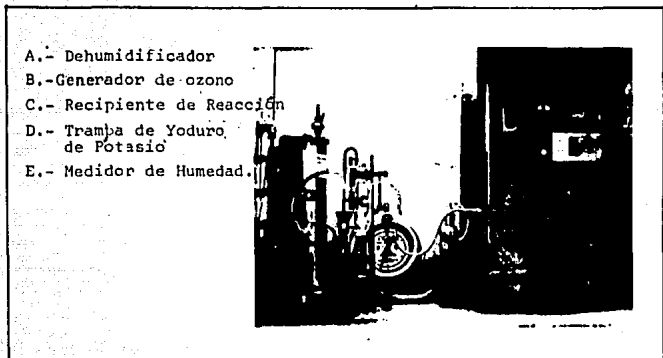


Fig.11. Aparato de Laboratorio para Ozonación

Desgasificación (aireación) .- Es un fenómeno físico en el que hay un intercambio de moléculas de gas con un líquido produciendo cambios químicos, biológicos y biofísicos, ya que se lleva a cabo una reacción entre compuestos orgánicos y oxígeno.

Dentro del sistema de aireación, un fenómeno importante es la remoción de gases, lo que hace a menudo el fin principal de ese sistema y a lo que se le conoce como desgasificación.

A continuación se presenta el Cuadro 1 para observar el proceso de aireación y sus resultados.

Cuadro 1. Procesos de Aireación ( 13)

PROCESO	REACCIONES SIMULTANEAS O CONSECUTIVAS	RESULTADOS	EJEMPLOS
Aireación	Desgasificación.	Aumento en el contenido de oxígeno disuelto	Oxigenación de corrientes. Post-aireación - del efluente de una planta de aguas negras
Desgasificación	Aireación	Aumento en el contenido de oxígeno disuelto; desplazamiento de impurezas gaseosas o volátiles	Remoción del $CO_2$ , $H_2S$ , metano; sabor y olor
Aireación	Oxidación química	Oxidación de impurezas inorgánicas; aumento en el contenido de oxígeno disuelto.	Remoción del Fe, Mn, $H_2S$
Aireación	Oxidación bioquímica	Remoción de impurezas orgánicas por digestión bioquímica	Remoción de la DBO en el tratamiento biológico de aguas negras.

Existen tres tipos de unidades de desgasificación que son las más comúnmente empleadas en el tratamiento de agua :

a).- Torre Desgasificadora. El agua se introduce por la parte superior y ésta se filtra a través de un empaque, en forma de rocío; filtrándose contra una corriente de gas diferente al que se está removiendo. En este caso el gas removedor o despuntador sería el aire y se alimentaría  $\text{CO}_2$ , amoníaco, metano, etc.

Este sistema se utiliza más comunmente en refinerías y fábricas de papel con el objetivo de remover condensados ácidos mediante vapor. En estos procesos, el consumo de vapor es elevado. La razón de esto es que los gases que están siendo removidos, son ionizados, de modo que sólo se ejerce una fracción de la presión potencial de vapor que estaría disponible si el pH estuviera ajustado.

Como se busca remover gases, el pH más conveniente, es el que permite la formación de éstos. Por ejemplo cuando se trata de HCN o  $\text{H}_2\text{S}$ , un medio básico favorece la presencia de cianuros o sulfuros no gaseosos, y en el caso del amoníaco un medio ácido transformaría el  $\text{NH}_3$  en  $\text{NH}_4^+$ . Para un mejor entendimiento de este fenómeno se presentan en la figura 13 datos sobre el efecto del pH en la ionización.

b).- Torre tipo rocío. El agua se atomiza en un gas removedor que es retirado a medida que el gas removido sale del sistema. Este sistema se utiliza en la remoción de amoníaco.

c).- Desgasificación por difusores. En este sistema se introduce el gas despuntador en el agua a través de difusores sumergidos, éste sube en forma de burbujas a través del agua y acarrea el gas removido fuera del agua.

Los objetivos primarios de una aireación para el tratamiento de aguas residuales son:

- 1.- Eliminar gases volátiles por desorción y otros compuestos orgánicos de bajo punto de ebullición.
- 2.- Oxidación química con eliminación de hierro y manganeso; y si el tiempo es suficiente, la degradación de compuestos orgánicos.

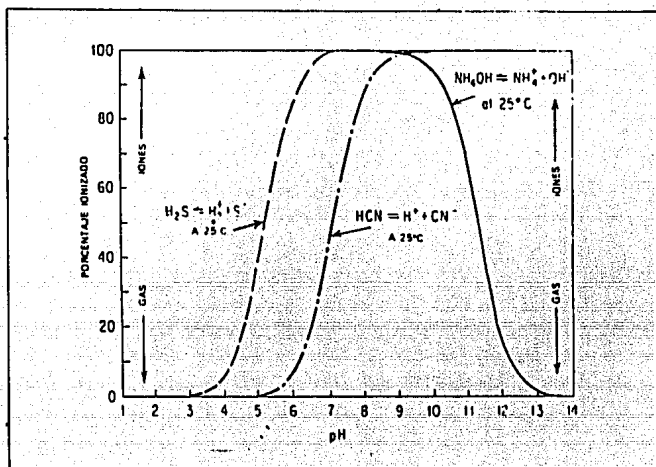


Fig.12 Ionización de ácidos y bases débiles en agua y su influencia sobre la presión interna de gas (13)

Este sistema, presenta algunas características que favorecen su utilización de acuerdo a las condiciones del efluente, ya que dentro del agua residual se encuentran compuestos orgánicos, algunos de los cuales son volátiles. Estos, al introducirse aire quedan desplazados, eliminando en buena parte la alta D.Q.O. y se obtiene como resultado una agua residual con menos contaminantes.

Al considerar los aspectos cuantitativos y cualitativos de los sistemas anteriormente expuestos, se procederá a ampliar las características de este último.

El proceso de aireación, se lleva a cabo en tres fases. El oxígeno molecular es transferido inicialmente a la superficie líquida con el resultado de una saturación en condiciones de equilibrio en la interfase. Durante la segunda fase el oxígeno molecular pasa a través de la película por difusión molecular. En la última fase, el oxígeno es mezclado en el cuerpo líquido por difusión y convección. Este mecanismo ocurre cuando se supone que existe flujo laminar.

La velocidad de transferencia del oxígeno (o sea la relación del oxígeno absorbido respecto al oxígeno aplicado por el aire bajo presión que pasa por el difusor) puede ser expresada en la ecuación de Fick:

$$N = K_L A (C_s - C_L)$$

donde:

$N$  = Transferencia de oxígeno por unidad de tiempo

$K_L$  = Coeficiente de la película del líquido

$A$  = Área interfacial para la transferencia

$C_s$  = Concentración de saturación de oxígeno disuelto a una temperatura dada

$C_L$  = Concentración de oxígeno en el cuerpo líquido

Como las moléculas de gas deben pasar a través de la interfase gas-líquido,  $K_L$  es también una función de  $A/V$  o sea del área de interfase por unidad de volumen del líquido.

$$N/V = dC/dt = A/V (C_s - C) = K_L a (C_s - C_L)$$

$K_L a$  = Coeficiente de transferencia de gas

En la práctica es imposible medir el área interfacial, por lo cual  $K_L$  es usado para diseños de aireación.  $K_L$  puede ser determinada por una gráfica semilogarítmica de déficit de oxígeno ( $C_s - C_L$ ) contra el tiempo de aireación, y como pendiente  $K_L$ .

El siguiente paso es corregir el coeficiente de transferencia del oxígeno a 20°C con la siguiente fórmula :

$$K_L = K_L \times 1.024^{(T-20)}$$

(T = 20°C)

Así, la capacidad de oxigenación puede ser calculada como :

$$O_2 \text{ transferido (masa } O_2/\text{tiempo)} = (K_L a) (C_s) (\text{Volumen del Tanque}) (\text{Constante})$$

Para determinar experimentalmente la cantidad de aire necesario para tratar las aguas residuales problema, es necesario programar un diseño de experimentos de laboratorio.

Si bien el sistema de aireación, logra su objetivo al reducir la D.Q.O., a su vez presenta el inconveniente del tamaño del soplador, lo que implica, si éste es grande, un alto costo.

Con las pruebas de laboratorio, que indicarán el porcentaje de reducción de contaminantes por medio de este sistema, podría hacerse una comparación con los otros dos sistemas. Para llevar a cabo estos experimentos el equipo a utilizar es de fácil adquisición, no presenta problemas en su operación y además el poco espacio que ocupa lo señala como el más viable para su instalación en este momento.

Las pruebas que a continuación se presentan, buscan encontrar el porcentaje de reducción de la D.Q.O. en la primera parte experimental y la cantidad de aire para este fin en la segunda, para poder realizar el cálculo del equipo necesario que llevaría a saber si es económicamente factible o no en comparación con la erogación que le representa a la empresa el costo de remoción de este contaminante.

Es importante señalar que si se selecciona este sistema, se presentará la emisión de contaminantes a la atmósfera, por lo que se hace necesario un estudio del impacto de los gases emitidos sobre el medio.

A continuación se presentan, en el siguiente capítulo, los estudios experimentales realizados en este trabajo.

## ESTUDIOS EXPERIMENTALES

I I I



## CAPITULO III. ESTUDIOS EXPERIMENTALES

## III.1 Generalidades

Las pruebas de laboratorio tienen como finalidad determinar las condiciones óptimas de operación para obtener una mayor reducción de la D.Q.O. del agua residual.

Para conocer las características del efluente así como los con taminantes que se encuentran en el agua residual, se describirán las diferentes descargas de la planta :

La planta cuenta con 3 descargas a las cuales se les ha denomi nado :

Descarga No. 1

Descarga No. 2

Descarga No. 3

Estas descargas, excepto la No. 2 (que recibe las aguas negras) reciben los influentes de 5 áreas.

Estas manejan los drenajes de las áreas de producción como se indica a continuación :

Descargas	Plantas	D.Q.O. (ppm)	S.S.T. (ppm)	G. y A. (ppm)	Temp °C	G gpm
DATOS GLOBALES						
1	Paraterbutil Fe- nol (planta A) Bisfenol A (plan ta B) Butil Hidroxi-To lueno (planta C) Nitrofuranos (planta D)	17,885.6	128.81	268.17	32-35	68
3	Benzoato de Sodio					

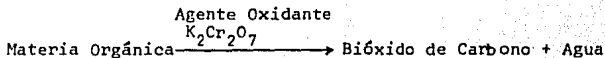
Análisis Realizados.- El método para el estudio de las aguas re síduales de la planta, fue el de muestreo. Este se realizó con un intervalo de tiempo en cada toma de 1.5 hrs en las Descargas No. 3 y No. 1 . Cabe señalar que para la Descarga No. 1 se tomaron 4 muestras en cada día y a cada una de ellas se le aireó y se determinó su D.Q.O.; pero para las demás descargas

sólo se tomó una muestra y con ella se preparó una muestra representativa de ese día. Esta diferencia en los tipos de muestra, se debió a los tiempos disponibles de los análisis, así como también el objeto que se persigue al realizarlos; ya que las diferentes descargas presentan características que las diferencian entre sí. Así, la Descarga No. 1, que es la de mayor importancia por su volumen de agua residual, requería de un tratamiento especial, por lo que se optó por tomar una muestra instantánea y no integrada o compuesta ya que esta última opción alteraría los objetivos, pero la muestra instantánea requería de un especial cuidado ya que como se sabe esta muestra se debe tomar en un momento determinado u hora buscando que las plantas estuvieran operando a su máxima capacidad o mayor gasto con el objeto de tener una precisión en los datos. Para la Descarga No. 3 se decidió tomar una muestra compuesta debido a su poco gasto. Se deseaba también conocer las características del efluente durante cierto período de tiempo de forma igual que para las demás plantas y conocer en que grado son afectadas por la aireación.

### III.2 Materiales y Métodos.

El método que se utilizó para la determinación de la D.Q.O. fue la Norma Oficial Mexicana (NOM-AA-30-1981), que señala: Análisis de agua. Determinación de la Demanda Química de Oxígeno.

Este método determina la cantidad de oxígeno necesario para oxidar a la materia orgánica de un desecho, bajo condiciones específicas de un agente oxidante, ( $K_2Cr_2O_7$ ), condiciones ácidas y temperatura, transformándola en bióxido de carbono y agua, como se muestra en la ecuación:



Condiciones  
ácidas.  
T = 145°C  
t = 2 hrs.

El método consiste en someter una muestra a reflujo, conte

niendo materia orgánica con ácido sulfúrico y dicromato de potasio  $K_2Cr_2O_7$ , valorado. Durante el periodo de reflujo, (fig. 13) la materia orgánica oxidable reduce una cantidad equivalente de dicromato, el remanente es valorado con una solución de sulfato ferroso amoniacal  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$  en concentración conocida. La cantidad de dicromato reducido (cantidad inicial de  $K_2Cr_2O_7$  menos el restante después de la oxidación) es una medida de la materia orgánica oxidable.

Una de las principales limitaciones de la prueba de la D.Q.O. es la de oxidar a la materia orgánica del desecho sin importar su debradabilidad biológica.

Pero como contraparte, las condiciones de oxidación son mucho más efectivas al abarcar un mayor espectro de compuestos químicos, especialmente en ciertos desechos con sustancias tóxicas en donde la D.Q.O. puede ser el único método para determinar la carga orgánica del desecho.

Equipo de Laboratorio y reactivos.

Matraces Erlenmeyer

Refrigerantes

Parrillas con soporte

Tela de alambre

Pinzas para soporte con abrazaderas

Pinzas para bureta

Matraces aforados

Bureta graduada

Pipetas volumétricas

Conexiones de vidrio en forma de T

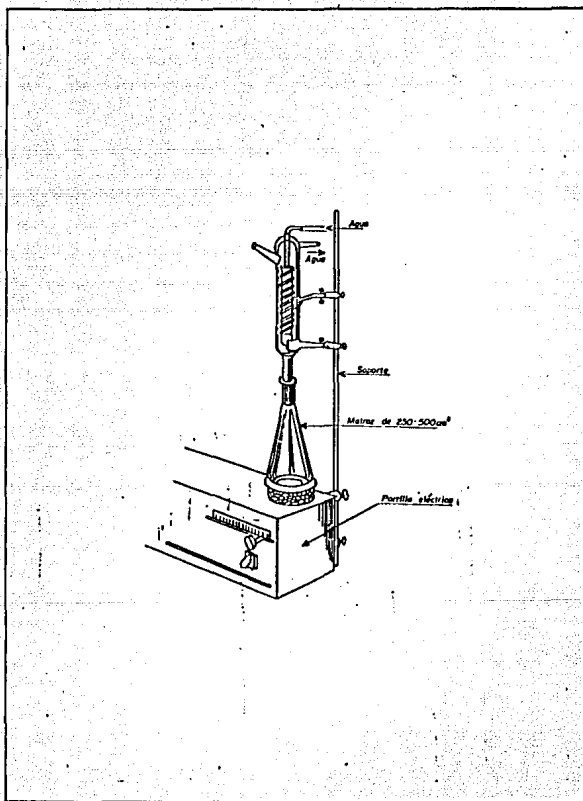


Fig.13. Aparato para Reflujo.

#### Reactivos.

- Solución de dicromato de potasio (0.25 N) para D.Q.O. mayores de 50 ppm
- Acido sulfúrico concentrado
- Solución patrón de sulfato ferroso amoniacal:  
 $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (0.250N), para D.Q.O. mayores a 250 mg/l
- Indicador de ferroín
- Sulfato de plata  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$
- Sulfato de mercurio  $\text{HgSO}_4$

#### III.3 Resultados experimentales.

Los resultados que se obtuvieron muestran que el máximo grado de reducción de la D.Q.O., que es del orden de 28 a 30%, se alcanzó inyectando una cantidad de aire de 68 pies<sup>3</sup> por hora con un tiempo de aireación de una hora.

En la Fig 14a, que presenta la remoción de la D.Q.O. a diferentes tiempos y gastos de aire, se observa que la mayor remoción del contaminantes se alcanza entre 68 y 70 pies<sup>3</sup> de aire. A 68 pies<sup>3</sup> de aire, el nivel de reducción es semejante a 2 y 3 horas de aireación, por lo cual no es necesario airear a 3 horas ya que la diferencia es de un 2%.

Finalmente, en la Fig14b se presenta una variante de las mismas variables.

#### III.4 Discusión de las pruebas de laboratorio.

En el Cuadro 2, se observa una disminución de la D.Q.O. promedio conforme aumenta el tiempo de exposición. La disminución lograda implica que los contaminantes en el agua residual sí se afectan por la aireación. Se tomó el valor promedio de tres lecturas ya que el método volumétrico no es muy preciso.

En el Cuadro 3, la descarga presenta una alta reducción de la

Cuadro 2. Datos obtenidos de la aireación de la Descarga 1

Tiempo de aireado	D.O.O.	Promedio	% Reducido
Sin airear	15,072 mg/l		
"	14,941 "		
"	16,720 "		
"	15,570 "		
		15,575.7 mg/l	0
1 Hrs	12,492.6 mg/l		
"	13,297.4 "		
"	13,424 "		
"	14,014 "		
		13,307.2 mg/l	14.56 %
2 Hrs	11,002.3 mg/l		
"	10,906.8 "		
"	12,205.2 "		
"	11,366.2 "		
		11,310.1 mg/l	27.0 %
3 Hrs	10,851.1 mg/l		
"	10,757 "		
"	12,038 "		
"	12,210.3 "		
		11,214.7 mg/l	28.0 %

Fig. 14a. REMOCION DE D.Q.O. POR AIREACION

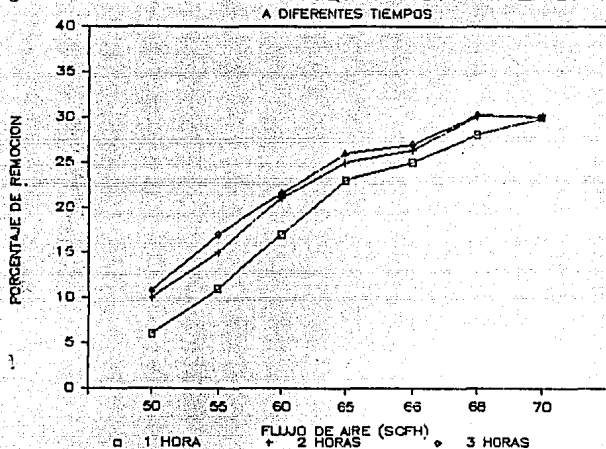
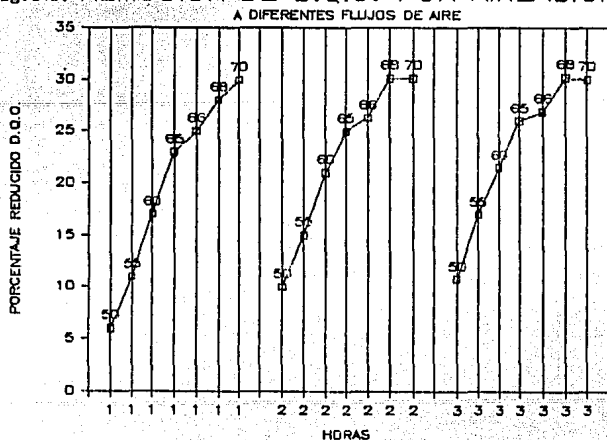


Fig. 14b. REMOCION DE D.Q.O. POR AIREACION



GRAFICA V. 8

GRAFICA V. 9

Cuadro 3. Resultados de la Descarga 3

Tiempo de aireado (hrs)	D.Q.O.	% Reducido
<b>Primer día :</b>		
0	97,000 mg/l	
1	89,240 "	8 %
2	65,960 "	32 %
3	27,160 "	72 %
<b>Segundo día :</b>		
0	119,000 mg/l	
1	109,480 "	8 %
2	78,540 "	34 %
3	65,450 "	45 %
<b>Tercer día :</b>		
0	97,000 mg/l	
1	89,240 "	8 %
2	27,160 "	72 %
3	23,280 "	76 %



D.Q.O. Los resultados obtenidos con esta descarga y con la 1, señalan que el sistema de tratamiento de aguas residuales, basado en la aireación, mostrará resultados satisfactorios en la disminución del contaminante.

#### Descargas Particulares.

En el Cuadro 4a se presentan los datos de la Descarga 1 para la Planta A. Se observa la reducción del parámetro tan sólo a la tercera hora de aireación. Esto indica que es necesaria una mayor cantidad de aire y de tiempo para reducir la D.Q.O.

En el Cuadro 4b donde están los datos experimentales para la Planta B se presenta una reducción nula de la D.Q.O. Esta planta produce Paraterbutilfenol, lo que significa que no hay remoción de este compuesto con el aire. En el Cuadro 4c, están los datos obtenidos para la Planta C que, al igual que la B, no presenta reducción en el contaminante. Además, aparentemente en la segunda hora de aireación hubo una ligera remoción de materia orgánica, pero observando los datos para la tercera hora, puede decirse que no hubo remoción significativa de D.Q.O. para esta corriente.

En el Cuadro 4d, los datos para la Planta D están contenidos. Hubo una pequeña reducción del contaminante a la segunda hora de aireación y se mantuvo constante durante la tercera hora.

Finalmente, hay que observar que las remociones de D.Q.O. para las Descargas No. 1 y 3 fueron de 28% y 72-76%, respectivamente. Pero, individualmente, cada planta no presentó ninguna disminución de la D.Q.O. Cabe recordar como se mencionó en el capítulo II que hay algunos parámetros que influyen decididamente en la aireación. Entre estos puede mencionarse el pH, variación de la reactividad y catálisis por los iones  $\text{OH}^-$  y  $\text{H}_3\text{O}^+$ .

Como menciona Weber (25), que pone como ejemplo la oxidación a cianato por medio del permanganato de potasio en el intervalo de pH de 12 a 14, la reacción total es :

Cuadro 4a. Resultados de análisis de aguas residuales de la Planta A

Tiempo de aireado (hrs)	D.Q.O.	% Reducido
0	2,880.4 mg/l	
1	2,880.4 "	0 %
2	2,880.4 "	0 %
3	1,921.2 "	33.3%

Cuadro 4b. Resultados de análisis de aguas residuales de la Planta B

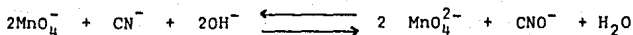
Tiempo de aireado (hrs)	D.Q.O.	% Reducido
0	971.36mg/l	
1	" "	0 %
2	" "	0 %
3	" "	0 %

Cuadro 4c. Resultados de los análisis de aguas residuales de la Planta C

Tiempo de aireado (hrs)	D.Q.O.	% Reducido
0	2,142.4 mg/l	
1	2,142.2 "	0 %
2	1,904.07 "	11.12%
3	2,142.4 "	0 %

Cuadro 4d. Resultados de análisis de aguas residuales de la Planta D

Tiempo de aireado (hrs)	D.Q.O.	% Reducido
0	9,591.13 mg/l	
1	" "	0 %
2	9,111.56 "	5 %
3	" "	" "
0	10,017 mg/l	
1	" "	0 %
2	9,516.15 "	5 %
3	" "	" "



Lo que sucede es que, según se disminuye el pH, la concentración de protones aumenta y se forma rápidamente HCN que es gaseoso que escapa del reactor. Si por algún medio se puede mantener el HCN en contacto con el permanganato la oxidación es más rápida y nunca se detiene.

Se señala también en otra referencia bibliográfica (13), que las variaciones en el pH mejoran los resultados de desorción de productos. Por ejemplo, en el proceso de desgasificación de condensados ácidos se añade álcali en una primera torre para aumentar el pH y remover mejor el amoníaco; en tanto que en una segunda etapa se añade ácido para reducir el pH y remover  $\text{H}_2\text{S}$  y HCN con objeto de obtener mejores resultados en la remoción de éstos. Pero, también se señala que, con estas variaciones de pH puede presentarse la formación de otros compuestos, como son tiocianatos y ferrocianuros. Para el caso de las descargas particulares (ácidas) que se unen para formar la Descarga 1 y que, a su vez se unen con la Descarga 3, es probable que se formen productos nuevos. Si, a esto se añade que, para controlar la acidez de los residuos, estos pasan por una fosa de neutralización, algunos compuestos ya formados y otros que en el proceso se forman se ionizan dando como resultado la remoción de algunos compuestos orgánicos con la presente disminución de la D.Q.O., la que no se observó cuando se trató descarga por descarga.

Pruebas de laboratorio subsecuentes a las anteriores, se realizaron a diferentes temperaturas con el objeto de conocer si el agua residual era afectada a temperaturas mayores y en qué medida. Los resultados que se muestran en los Cuadros 5a-d señalan que se obtiene poca diferencia en la reducción del contaminante a estas temperaturas en comparación a la temperatura normal del proceso (32-35°C)

Si en el equipo que se propone, se introdujera un sistema de

Cuadro 5a. Efectos de la aireación con temperatura

Temp = 40°C			p = 586 mmHg	1 l de muestra
68 ft <sup>3</sup> /h de aire				
D.Q.O. ppm	Tiempo de aireado (hrs)	% Reducido		
16019	0	0	%	
11533.6	1	28	%	
11389.5	2	28.9	%	
11213.3	3	30.1	%	

Cuadro 5b.

Temp = 50°C			p = 586 mmHg	1 l de muestra
68 ft <sup>3</sup> /h de aire				
D.Q.O. ppm	Tiempo de aireado (hrs)	% Reducido		
15974	0	0	%	
11357.5	1	28.9	%	
11341.5	2	29.0	%	
11197.7	3	29.9	%	

## Cuadro 5c.

Temp = 60°C      p = 586 mmHg      1 l de muestra  
68 ft<sup>3</sup>/h de aire

D.Q.O. ppm	Tiempo de aireado (hrs)	% Reducido
17004	0	0 %
11749.7	1	30.9 %
11732.7	2	31.0 %
11613.7	3	31.7 %

## Cuadro 5d.

Temp = 80°C      p = 586 mmHg      1 l de muestra  
68 ft<sup>3</sup>/h de aire

D.Q.O. ppm	Tiempo de aireado (hrs)	% Reducido
15991	0	0 %
10873.8	1	32.0 %
10793.9	2	32.5 %
10697.9	3	33.1 %

calentamiento, se tendría una erogación mayor para tan poca diferencia de reducción en la D.Q.O.

En consecuencia, y de acuerdo con los datos obtenidos se dis  
ñó un sistema ajustado a los parámetros obtenidos, el cual se muestra en el capítulo siguiente.

## EVALUACION DEL SISTEMA PROPUESTO

### IV



## CAPITULO IV. EVALUACION DEL SISTEMA PROPUESTO

Para realizar la evaluación del sistema propuesto, es necesario en primer lugar, hacer el diseño de la planta " in situ " y su estudio económico donde se compara el costo de la misma, en relación al pago que la empresa hace a ECCACIV (sistema de tratamiento de aguas estatal).

### IV.1 Diseño de Ingeniería.

El siguiente diseño tiene la finalidad de dar las bases preliminares para su especificación y/o diseño.

Datos de especificación: D.Q.O. = 17,885.6 ppm  
 Gasto = 68.1 gpm o 0.1515 ft<sup>3</sup>/seg  
 Temperatura del agua residual = 32-35°C  
 $\rho = 60.9 \text{ lb/ft}^3$   
 Presión = 653.1 mmHg en la ciudad de Cuernavaca, Mor.  
 Temperatura del aire = 26.9 °C (17)

EQUIPO: (Ver figura 15: Sistema Propuesto para la disminución de la D.Q.O.)

### Sistema de Almacenamiento:

El sistema de producción en la planta es por lotes; lo que significa que el gasto del influente es irregular. Para solucionar este inconveniente, se prevee la construcción de una cisterna de almacenamiento de agua residual para alimentar la bomba con un tiempo mínimo de 15 minutos. El gasto mínimo es de 45.64 gpm y el máximo es de 70.33 gpm. El sistema de almacenaje debe preveer estas variaciones de flujo; por lo que con 15 min de tiempo de almacenaje:

$$70.34 \text{ gpm} \times 15 \times 3.785 \times 10^3 \text{ m}^3 = 3.99 \text{ m}^3 \text{ máximo.}$$

$$45.64 \text{ gpm} \times 15 \times 3.785 \times 10^3 \text{ m}^3 = 2.59 \text{ m}^3 \text{ mínimo.}$$

El sistema de almacenaje tendrá una capacidad para 2.6 a 4 m<sup>3</sup>

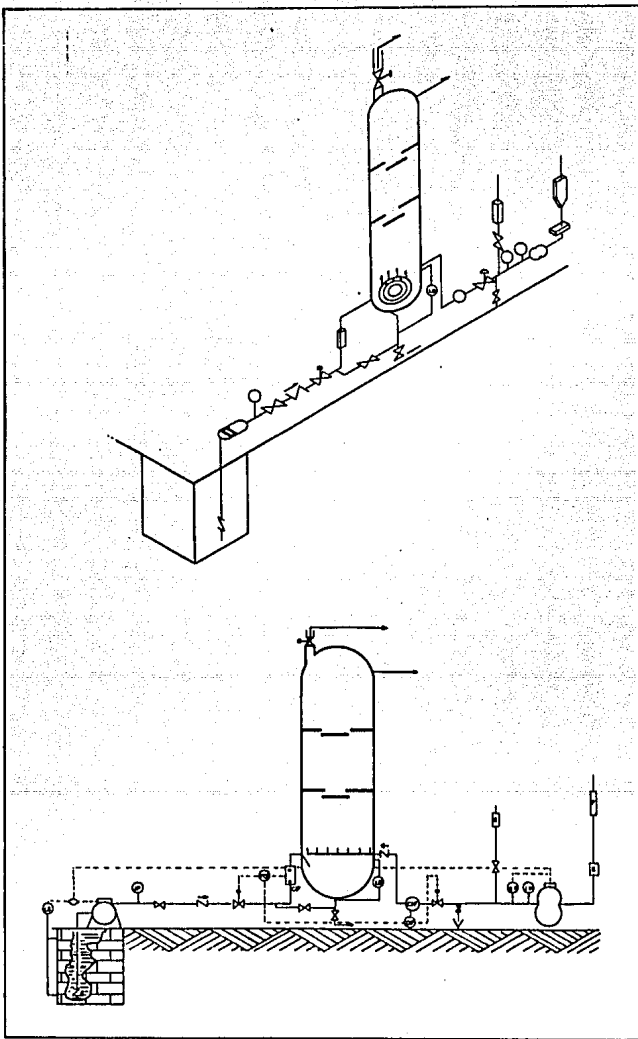


Fig.15. SISTEMA PROPUESTO PARA LA DISMINUCION DE LA D.Q.O.

Así entonces el diseño es el siguiente:

1.5 m de largo x 1.5 m de ancho x 2 m de profundidad =  
4.5 m<sup>3</sup> de almacenaje.

Bomba :

La potencia disponible que debe tener la bomba se calcula por la fórmula siguiente :  $H_p = Q H S / 3960$

donde :

Q = gasto (gpm)

H = cabeza total (ft)

S = gravedad específica

a).- Cabeza de succión  $h_s = S + P - h_{sf}$

donde:

P = presión atmosférica

S = altura estática

presión en el Tanque = Atmosférica

Altura estática = - 3.28 ft

Longitud del tramo recto = 4.92 ft o 1.5 m

1 válvula, 1 salida, 1 codo de 90°

Pérdidas por fricción :

1 válvula check.- L/D = 135

1 salida .- K = 1

1 codo de 90° .- L/D = 30

Para el diámetro de la tubería, se recomienda de 2" cédula 40  
Esta selección se debe al gasto que manejará así como la velocidad.

$Q_{prom} = 56.68$  gpm ; aumentando 20% de diseño;

$Q_{diseño} = 68.01$  gpm con  $v = 6.70$  ft/seg (Table B-14 del Crane)

Así la tubería tendrá las siguientes características

2" cédula 40 (tamaño nominal con  $D_i = 2.067$  in

$D = 2.37$  in  
ext

$$N_{Re} = 123.9 \frac{dv\rho}{\mu}$$

donde :

$d$  = diámetro interno de la tubería (in)

$v$  = velocidad del flujo (ft/seg)

$\rho$  = densidad del fluido (lb/ft<sup>3</sup>)

$\mu$  = viscosidad (c p)

$$N_{Re} = 123.9 \frac{2.067 \text{ in} \times 6.70 \text{ ft/seg} \times 60.91 \text{ lb/ft}^3}{0.80 \text{ c p}}$$

$$N_{Re} = 130,642.71$$

Con  $d_i$  y  $N_{Re}$  ; (en la figura A-25 del Crane) el factor de fricción es :  $f = 0.031$

por lo tanto,  $K = f L/D$

$$K = 0.031 (4.92 \text{ ft} + 135 + 30) + 1$$

$$K = 6.26$$

$$h_{sf} = K v^2 / 2g \quad g = \text{aceleración de la gravedad}$$

$$h_{sf} = 6.26 \times (6.70)^2 / 2 (32.2 \text{ ft seg}^2)$$

$$h_{sf} = 4.36 \text{ ft de fluido}$$

Cabeza de succión :

$$h_s = S + P - h_{sf}$$

$$h_s = -3.28 + P - 4.36$$

$$h_s = -7.64 \text{ ft de fluido}$$

b).- Cabeza de descarga:  $h_d = D + h_{df} + P$

donde:

$P$  = presión atmosférica

$D$  = altura del líquido de referencia

presión en el tanque = Atmosférica

altura estática = 18.43 ft

longitud total del tramo recto = 6.56 ft

1 codo, 1 entrada, 3 válvulas

Pérdidas por fricción:

1 codo de 90°.- L/D = 30

1 entrada .- K = 0.04

1 válvula de compuerta .- L/D = 13

1 válvula check .- L/D = 135

1 válvula de c. de f.- L/D = 175

$$f = 0.031$$

por lo cual :  $K = f \cdot L/D$

$$K = 0.031 (6.56 \text{ ft} + 30 + 13 + 135 + 175) + 0.04$$

$$K = 11.18$$

sustituyendo en la ecuación de pérdidas de fricción:

$$h_d = K \cdot v^2 / 2g$$

$$h_d = 11.18 (6.70)^2 / 2 (32.2)$$

$$h_d = 7.79 \text{ ft de líquido}$$

Cabeza de descarga:

$$h_d = D + h_d + P$$

$$h_d = 18.43 \text{ ft} + 7.79 \text{ ft de líquido} + P$$

$$h_d = 26.22 \text{ ft de fluido}$$

c).- Cabeza total :

$$H = h_d - h_g$$

$$H = 26.22 - (-7.64)$$

$$H = 33.86 \text{ ft}$$

d).- Potencia :

$$Hp = \frac{QHS}{3960}$$

$$3960$$

$$Hp = \frac{68,016 \text{ gpm} \times 33.86 \text{ ft} \times 0.979}{3960}$$

$Hp = 0.5694 \text{ hp de trabajo útil hecho por la bomba}$

$$Bhp = Hp / e$$

donde :

e = eficiencia en este caso de 40% para bomba centrífuga.

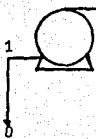
$$Bhp = 0.5694 / 0.40$$

$$Bhp = 1.42$$

se aproxima a un valor de 1 1/2 Hp o también de 2 Hp

45

e).- Presión de succión y descarga .-



por el plano de referencia  
en 1 :

$$\frac{P_0}{\rho} + \frac{V_0^2}{2g} + \frac{g}{g_c} Z_0 = \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{g}{g_c} Z_1 + \sum F$$

donde :

$Z_0$  como  $Z_1$  alturas de referencia

$V_0$  como  $V_1$  velocidades de referencia

$P_0$  como  $P_1$  presiones de referencia

$\sum F$  es la suma de las fricciones

Para 0 ---- 1 :

$$\sum F \approx 0, V_0 = 0, Z_0 = -3.28 \text{ ft}, P_0 = 14.7 \text{ lb/in}^2 \text{ abs}$$

Por lo que la ecuación queda :

$$\frac{P_0}{\rho} + Z_0 = \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2g}$$

sustituyendo :

$$\frac{(14.7)(144)}{60.9} + (-3.28) = \frac{P_1}{60.9} + \frac{\text{Patm}}{60.9} + \frac{(6.70)^2}{2(32.2)}$$

$$P_1 + \text{Patm} = \left( \frac{14.7 \times 144}{60.9} - 3.28 - \frac{(6.70)^2}{2(32.2)} \right) \times 60.9$$

$$P_1 + \text{Patm} = 1874.6 \text{ lb/ft}^2$$

$$P_1 = 1874.6 - 2116.8 = -242.2 \text{ lb/ft}^2$$

$$P_1 = -242.2 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} \times \frac{1 \text{ ft}^2}{1.44 \times 10^2 \text{ pulg}^2} = -1.6819 \text{ lb/pulg}^2$$

$$P_1 = -1.68 \text{ lb/pulg}^2 \quad \text{----Presión de succión----}$$

$$P_1 = -242.2 \text{ lb/ft}^2$$

Para la bomba : de (1 ----- 2)

se le incrementa un término a la ec. de Bernoulli, el de trabajo útil desarrollado por la bomba, y considerando los

$$\sum F = 0, \quad v_1 = v_2, \quad z_1 = z_2$$

Por lo cual la expresión queda :

$$\frac{P_1}{\rho} = \frac{P_2}{\rho} + T / W ; \quad \frac{P_2 - P_1}{\rho} = - T/W$$

donde :

T = trabajo desarrollado por la bomba

W = flujo másico (lb/seg)

el trabajo desarrollado por la bomba es de 1 1/2 Hp

$$1 \frac{1}{2} \text{ Hp} = 1 \frac{1}{2} \text{ Hp} \times \frac{5.5 \times 10^2 \text{ lb-ft/seg}}{1 \text{ Hp}}$$

$$\text{Hp} = 825 \text{ lb-ft/seg}$$

$$W = \rho \times V \quad V = \text{volumen (ft}^3/\text{seg)}$$

$$W = 60.9 \text{ lb/ft}^3 \times 0.1515 \text{ ft}^3/\text{seg}$$

$$\text{de donde } 68.016 \text{ gal/min} \times \frac{2.228 \times 10^{-3} \text{ ft}^3/\text{seg}}{1 \text{ gpm}} = 0.1515 \text{ ft}^3/\text{seg}$$

$$W = 9.22 \text{ lb/seg}$$

sustituyendo :

$$\frac{P_2 - (-242.2 \text{ lb/ft}^2)}{60.9} = - \frac{(825 \text{ lb-ft/seg})}{9.22 \text{ lb/seg}}$$

el trabajo es negativo  
puesto que lo suministra  
la bomba

$$P_2 + 242.2 = 5449.29 \text{ lb/ft}^2$$

$$P_2 = 5449.29 - 242.2 = 5207.09 \text{ lb/ft}^2$$

$$P_2 = 5207.09 \text{ lb/ft}^2$$

$$P_2 = 36.15 \text{ lb/pulg}^2 \quad \text{----Presión de descarga--}$$

f).- Pérdidas por caída de presión .-

succión : Longitud de la tubería = 8.2 ft

los accesorios que recorrerá serán : 1 codo y una válvula

check; por lo que la longitud equivalente será de :

codo L/D = 30 x 1 codo = 30

$$1 \text{ válvula check} = 135 \times 1 = \frac{135}{165}$$

diámetro de la tubería : 2" cédula cuarenta

$$L_E = (L/D) D = 165 \times 0.1722 \text{ ft} \\ = 28.41 \text{ ft}$$

$$L_{\text{total}} = L_{\text{tubería}} + L_{\text{accesorios}} = 8.2 \text{ ft} + 28.41 \text{ ft} = 36.61 \text{ ft}$$

al conocer el factor de fricción;  $f = 0.031$

Con el nomograma de caídas de presión en línea de transporte de líquido para flujo turbulento (3-11 del Crane)  $\Delta P_{100} = 6$

La caída de presión en la succión :

$$\text{Long. total} \times \Delta P_{100}$$

---

100

$$\Delta P_{\text{succión}} = \frac{36.61 \times 6}{100} = 2.19 \text{ lb/pulg}^2$$

Descarga : Long. de la tubería = 6.56 ft

los accesorios que recorrerá serán de :

1 codo de 90° .-  $L/D = 30$

1 válvula de compuerta .-  $L/D = 135$

1 válvula check .-  $L/D = 135$

1 válvula c.f.-  $L/D = \frac{175}{353}$

diámetro de la tubería : 2" cédula cuarenta

$$L_E = (L/D) D = 353 \times 0.1722 \text{ ft} \\ = 60.78 \text{ ft}$$

$$L_{\text{total}} = L_{\text{tubería}} + L_{\text{accesorios}} = 6.56 \text{ ft} + 60.78 \text{ ft} = 67.34 \text{ ft}$$

al conocer el factor de fricción,  $f = 0.031$

Con el nomograma (3-11 del Crane); se obtiene con los mismos datos  $\Delta P = 6$

La caída de presión en la línea;  $\Delta P_{\text{descarga}} = \frac{\text{Long. total} \times \Delta P_{100}}{100}$



$$\Delta P_{\text{descarga}} = \frac{67.34 \text{ ft} \times 6}{100} = 4.04 \text{ lb/pulg}^2$$

Por último, la caída de presión total ( $P_T$ ) en el sistema :

$$P_T = P_s + P_d$$

$$\Delta P_T = 2.19 \text{ lb/pulg}^2 + 4.04 \text{ lb/pulg}^2$$

$$\Delta P_T = 6.23 \text{ lb/pulg}^2$$

La bomba deberá tener las siguientes características:

$$\text{Gasto} = 68.016 \text{ gpm}$$

$$\text{Hp} = 1 \frac{1}{2} \text{ Hp o } 2 \text{ Hp}$$

#### Soplador :

Se utilizarán 68 ft<sup>3</sup> estandar/hr de aire para reducir la D.Q.O. entre un orden de 28 - 30 %. Utilizando los datos de diseño, la D.Q.O. = 17,885.6 ppm (reducir 0.01788 kg de D.Q.O./l) por lo que para reducir 1.788 se necesitan 6800 ft<sup>3</sup> estandar de aire/h , esto es :

$$6,800 \text{ ft}^3 \text{ estandar de aire/h} \text{ --- } 1.788 \text{ kg de D.Q.O.}$$

Se tiene como promedio 1'944,676.2 kg de D.Q.O. anuales o también 3.75 kg D.Q.O. y para determinar el peso del flujo del min aire a 26.9°C

$$\text{Vol de aire a } 26.9^\circ\text{C} = \frac{460 + 80.42}{460 + 68} \times 113 \text{ ft}^3 \text{ est./min}$$

$$\text{Vol del aire} = 115.9 \text{ ft}^3/\text{min}$$

por lo cual se necesita 115.9 ft<sup>3</sup>/min ---- 1.788kg de D.Q.O.

si se divide :  $\frac{3.75 \text{ kg de D.Q.O./min}}{1.788 \text{ kg de D.Q.O.}} = 2.09$

$$1.788 \text{ kg de D.Q.O.}$$

si se multiplica :  $2.09 \times 115.9 = 243.35 \text{ ft}^3/\text{min}$

si con los datos obtenidos, se determinan los Bhp de compresor:

$$\text{La densidad del aire a } 26.9^\circ\text{C y } 653.1 \text{ mmHg es} = 0.0637$$

psi	20°C	30°C
14.7	0.0750 lb/ft <sup>3</sup>	0.0724 lb/ft <sup>3</sup>
14.2	0.0724 "	0.0701 "
13.7	0.0697 "	0.0674 "
12.7	0.0648 "	0.0625 "

( 11 )

el peso del aire es :

$$w = 243.35 \text{ ft}^3/\text{min} \times 1 \text{ min}/60 \text{ seg} \times 0.0637 \text{ lb}/\text{ft}^3$$

$$w = 0.2584 \text{ lb}/\text{seg}$$

Para determinar los Bhp usados, se usa la siguiente ecuación:

$$\text{Bhp} = \frac{w R T_1}{550 n e} \left( (P_2/P_1)^n - 1 \right) \quad ( 11 )$$

w = peso del aire (lb/seg)

R = cte. de los gases (53.3)

T<sub>1</sub> = (°R)

P<sub>1</sub> = psia de entrada del aire

P<sub>2</sub> = psia de salida del aire (10.32 lb/pulg<sup>2</sup> + 0.0265 lb/pulg<sup>2</sup>)

n = 0.283 para aire (n de los calores específicos del aire a presión constante y volumen constante es de 1.40 (n-1)/n)

e = % de eficiencia

Para la presión de salida del aire se tomó en cuenta :

a).- Presión en la tubería de suministro de aire.

El diseño económico del sistema de distribución de aire generalmente comprende una pérdida global por distribución de aproximadamente 25% de la profundidad de las aguas residuales.

(=25%)

Por consiguiente la presión requerida del aire es :

$$1.25 \times (\text{profundidad del agua})$$

$$1.25 \times 5.8\text{m}) = 7.25 \text{ m} \times 1 \text{ atm}/10.33 \text{ m de agua}$$

$$= 0.70 \text{ atm} \times 14.7 \text{ lb-pulg}^2/\text{1atm}$$

$$= 10.32 \text{ lb}/\text{pulg}^2$$

b).- Caída de presión

Tomando como base los datos del Crane :

250 ft<sup>3</sup>/min aire es recomendable utilizar una tubería  
cédula 40 de 2" teniendo una caída de presión de  
0.404 lb/pulg<sup>2</sup> (B-15 del Crane)

Por lo cual :  $\frac{6.56 \text{ ft}}{100 \text{ ft}} \times 0.404 \text{ lb/pulg}^2 = 0.0265 \text{ lb/pulg}^2$

Finalmente :

$$Hp = \frac{0.2584 \text{ lb/s} \times 53.5 \times (460+80.42)}{550 \times 0.283 \times 0.50} (25.05/14.7)^{2.83-1}$$

$$Hp = 15.63$$

#### Tanque de Desgasificación o aireación

El tiempo de residencia para este caso es de 1 h . Como se observó, a 1 h y 68 ft<sup>3</sup> de aire/h son las condiciones óptimas de operación, ya que se obtuvieron los mejores resultados en la reducción de la D.Q.O. a tiempos y cantidades de aire óptimas.

$$\text{Vol}_{1h} = 68.016 \text{ gpm} \times 3.785 \times 10^{-3} \text{ m}^3/1 \text{ gal} \times 60 \text{ min}/1 \text{ h}$$

$$= 15.44 \text{ m}^3 \text{ en } 1 \text{ h de reacción}$$

$$D = 0.74 (\text{Vol})^{1/3} = 1.84$$

$$A = D^2/4 = 2.66 \text{ m}^2$$

$$H = V/Z = 5.8 \text{ m}$$

Las dimensiones del tanque son:

$$H = 5.8 \text{ m}$$

$$D = 1.84 \text{ m}$$

si se llena a un 90% de su capacidad : (2)

$$H_{\text{real}} = 5.8 \text{ m} (100\%/90\%) = 6.4 \text{ m}$$

así las dimensiones reales del tanque son:

$$\text{Altura} = 6.4 \text{ m}$$

$$\text{Volumen} = 15.44 \text{ m}^3$$

$$\text{Diámetro} = 1.8 \text{ m}$$

Para un dimensionamiento más exacto, así como para tener más datos para una correcta selección del tanque, se hicieron los

## DATOS GENERALES:

Presión de operación : Atmosférica

Presión de diseño : 15 lb/pulg<sup>2</sup> o 1.05 kg/cm<sup>2</sup>

Temperatura máxima de operación : 35 °C

Temperatura de diseño : 65.5 °C

Eficiencias de las juntas : 70 %

Corrosión permisible : 1/16" (rapidez de desgaste baja)

Diámetro interior : 1793.65 mm

Longitud total del cuerpo : 6400 mm

Volumen estimado : 15.44 m<sup>3</sup>

Espesor de la placa del cuerpo : 1/4" o 6.35 mm

Espesor de las placas de las cabezas: 1/4"

Material del cuerpo : A-285 °C

Material de las cabezas : A-285 °C

Tapas : toriesféricas

Coeficiente de ruptura por tracción : k = 38.6688 kg/mm<sup>2</sup>

Las siguientes fórmulas están basadas en las normas de la Sría. de Trabajo y Previsión Social.

a).- Espesor del cuerpo

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6 P}$$

donde : t = Espesor mínimo (pulg)

P = Presión permisible de diseño  
(lb/pulg<sup>2</sup>)Radio interno del cuerpo antes del  
del margen de corrosión (pulg)S = Esfuerzo permisible máximo (lb/pulg<sup>2</sup>)

E = Eficiencias de las uniones

P = P<sub>op</sub> + 10 %

$$t = \frac{16.5 \times 35.43}{13700 \times 0.70 - 0.6 \times 16.5}$$

$$t = \frac{584.59}{95.90 - 9.90}$$

$$P = 15 \text{ Lb/pulg}^2 + 1.5 = 16.5 \text{ lb/pulg}^2$$

$$R = 0.9 \text{ m} \times 39.37 \text{ pulg/1 m} = 35.43$$

$$t = 0.016 \text{ pulg o } 1.5499 \text{ mm}$$

pulg

$$S = 13,700 \text{ lb/pulg}^2 \text{ a } 150^\circ\text{F}$$

Código ASME sección VIII División 1

b).- Espesor de los casquetes.

$$t = \frac{0.885 P L}{S E - 0.1 P}$$

donde : L = radio interior de la corona  
(relación entre los ejes 2:1)

$$L = 141.73 \text{ pulg}$$

$$t = \frac{0.885 \times 16.5 \times 141.73}{13700 \times 0.70 - 0.1 \times 16.5} = 0.2158 \text{ pulg } 0.548 \text{ mm}$$

suponiendo una velocidad de corrosión o de desgaste anual a 1/16", entonces en 2, 3 y 5 años será de :

$$\text{Para 2 años} = 0.1250 + 0.0610 = 0.1860 \approx 3/16''$$

$$\text{Para 3 años} = 0.1875 + 0.0610 = 0.2485 \approx 4/16''$$

$$\text{Para 4 años} = 0.2500 + 0.0610 = 0.3110 \approx 5/16''$$

$$\text{Para 5 años} = 0.3125 + 0.0610 = 0.3735 \approx 6/16''$$

Al tomar en cuenta la poca corrosión del agua residual (pH=7) y del costo del material del recipiente (acero al carbón) se optó por un espesor del recipiente de 1/16" y también para las cabezas.

c).- Presión interna máxima de trabajo en el casco.

$$P = \frac{200 k e E M}{D C}$$

D C

donde : P = presión interna máxima de trabajo del recipiente

k = coef. de ruptura de tracción  
(38.6688 Kg/mm<sup>2</sup>)

e = espesor de la plancha en mm  
(6.35)

EM = eficiencia de la junta (70%)

D = diámetro máximo interior del cuerpo cilíndrico en mm (1793.65)

C = coef. de edad (5 años)

$$P = \frac{200 \times 38.6688 \text{ Kg/mm}^2 \times 6.35 \text{ mm} \times 0.70}{1,793.65 \text{ mm} \times 5} = 3.8331 \text{ Kg/cm}^2 \text{ o } 3.70 \text{ atm}$$

Conclusión : La presión que puede resistir el tanque es mayor a la de diseño, por lo cual se cumple con la norma.

d).- Presión interna máxima para fondos convexos (P).

$$P = \frac{200 e K}{RM}$$

donde : e = espesor nominal de la placa

K = resistencia del material =

6.5 kg/mm<sup>2</sup> para acero al carbón.

RM= radio medio de curvatura

para obtener RM .-

d.1).- Superficie total sujeta a presión interna (S)

cuerpo cilíndrico (S<sub>1</sub>)

$$S_1 = \pi D L \quad \text{donde : } D = \text{diámetro interno del cuerpo} \\ = 1793.65 \text{ mm}$$

L = Longitud del cuerpo cilíndrico = 6400 mm

$$S_1 = \pi (1.79 \text{ m}) (6.4 \text{ m}) = 36.06 \text{ m}^2$$

tapas (S<sub>2</sub>)

$$S_2 = 2 \left( \frac{\pi}{4} (C_1^2 + 4 h_1^2) \right)$$

donde : C<sub>1</sub> = diámetro interno del cilindro  
= 1.79 m

h = longitud de tapa = 448.41 mm

$$2 = \frac{D}{2h} ; 4h = D ; h = \frac{D}{4} = \\ = \frac{1793.65 \text{ mm}}{4}$$

h = 448.41 mm

$$S_2 = 2 \left( \frac{\pi}{4} (1.79 \text{ m})^2 + 4 (0.4484)^2 \right)$$

$$S_2 = 6.6416 \text{ m}^2$$

$$S = S_1 + S_2$$

$$S = (36.06 + 6.64) \text{ m}^2 = 42.70 \text{ m}^2$$

d.2).- AM = Superficie de una tapa;  $\frac{S_2}{2} = \frac{6.6416 \text{ m}^2}{2} = 3.32 \text{ m}^2$

$$RM = \frac{AM}{2\pi h}$$

donde : h = longitud de las cabezas

$$= 0.44841 \text{ m}$$

$$RM = \frac{3.32 \text{ m}^2}{2 (3.1416) (0.44841 \text{ m})} = 1.1784 \text{ m}$$

$$P = \frac{(200) (6.5 \text{ Kg/cm}^2) (6.35 \text{ mm})}{1178.65 \text{ mm}}$$

$$= 7.00 \text{ Kg/cm}^2 \text{ o también } 6.77 \text{ atm.}$$

conclusión : La presión que puede resistir la tapa es mayor que la presión de diseño por lo que se cumple con la horma.

e).- Diámetro de la válvula de seguridad (D).

$$D = 26 (H/P + 0.59)^{1/2}$$

en donde: P = presión interna máxima de trabajo = 3.83 Kg/cm<sup>2</sup>

H = superficie total sujeta a presión interna = 42.70 m<sup>2</sup>

$$D = 26 (42.70 \text{ m}^2 / 3.8331 \text{ Kg/cm}^2 + 0.59)^{1/2} =$$

$$D = 80.78 \text{ mm}$$

#### Difusores:

Los difusores que se utilicen en el equipo propuesto, pueden ser: porosos, no porosos o de tubo perforado. La selección que deba hacerse de estos, debe abarcar las características de transferencia de oxígeno y su mantenimiento.

Esto no incluye el caso de desgasificación ya que este fenómeno no tan sólo implica la remoción de gases volátiles y en una pequeña escala, la oxidación selectiva de grupos funcionales y no es importante en nuestro caso la transferencia de oxígeno.

Así entonces, la selección de los difusores debe ir encaminada a un fácil mantenimiento como su construcción y que la zona donde sale el aire abarque la mayor parte del recipiente sin dejar zonas sin airear.

## IV.2 Estudio Económico

Es primordial que se tenga una visión económica del sistema propuesto, para poder evaluar la viabilidad de su implantación.

## a).- Costos (marzo 88)

Bomba centrífuga vertical	- 2 Hp con 90 gpm = \$ 828,000
Soplador	- 12-15 lb/pulg <sup>2</sup> con 232 a 375 ft <sup>3</sup> /min
	= 7'418,137 + 2'885,000 (accesorios)
	= \$ 10'303,137.00
Tanque de reacción	.- \$ 20'252,610.00
T O T A L	.- \$ 31'383,747.00

## Costos directos.

Sistema de tratamiento	= \$ 31'383,747.00
Instrumentación (5%)	= \$ 1'569,187.35
Tubería (5%)	= \$ 1'569,187.35
Difusores (5% del costo del tanque)	= \$ 1'012,630.50
T O T A L	= \$ 35'534,752.20

(de inversión en el equipo propuesto).

## b).- Rentabilidad del proyecto.

El método de evaluación económica seleccionado para determinar la conveniencia de llevar a cabo el proyecto fue la Tasa Interna de Rendimiento.

Matemáticamente, la Tasa Interna de Rendimiento (TIR), se define como la tasa de interés ( $i^*$ ) que origina que el valor presente neto del flujo de efectivo sea cero, esto es:

$$P(i) = \sum_{t=0}^T Y_t (L + i^*)^{-t} = 0$$



donde :

P= Valor presente neto

$Y_t$  = Flujo de efectivo Neto al final del periodo t

t= Punto en el tiempo bajo consideración

i= El interés para cierto periodo

El criterio de selección es el considerar viable aquel proyecto cuya TIR sea mayor que la tasa marginal de interés de empresa (si es que lo tiene).

Se evaluaron diferentes alternativas en función de la D.Q.O. manejado (considerando una remoción de 25%) y el ahorro que se derivaría por el pago de este servicio a la planta del gobierno del Estado de Morelos.

D.Q.O. ( M Ton )	% de Reducción 25 %	Costo \$/Kg	Ahorro M \$
1500	375.0	42.735	16,025.6
1750	437.5	"	18,696.6
2000	500.0	"	21,367.5
2500	625.0	"	26,709.4
3000	750.0	"	32,051.3

Se estableció un horizonte de vida del proyecto de diez años, aplicándose la inversión en el período cero y obteniéndose ahorros en los siguientes diez períodos, recuperándose al final el valor del rescate del equipo ( 10% de la inversión inicial).

Así entonces, se presentan los siguientes balances de Inversión.

BALANCE DE LA INVERSION NO RECUPERADA

( 2000 Ton M D.Q.O.)

FIN DE PERIODO	INVERSION NO RECUPERADA. PRIN- CIPIO DEL PERIODO (t)	INTERESES GANADOS. (de t a t+1) TASA 59.6%	FLUJO DE EFECTIVO AL FINAL DEL PERIODO. (t)	INVERSION NO RECUPERADA. PRIN- CIPIO DEL PERIODO (t + 1)
0	-	-	\$35,534.8	(\$35,534.8)
1	(\$35,534.8)	(\$21,188.3)	\$21,367.5	(\$35,355.6)
2	(\$35,355.6)	(\$21,081.4)	\$21,367.5	(\$35,069.5)
3	(\$35,069.5)	(\$20,910.9)	"	(\$34,612.9)
4	(\$34,612.9)	(\$20,638.6)	"	(\$33,884.0)
5	(\$33,884.0)	(\$20,204.0)	"	(\$32,720.6)
6	(\$32,720.6)	(\$19,510.3)	"	(\$30,863.3)
7	(\$30,863.3)	(\$18,401.8)	"	(\$27,898.6)
8	(\$27,898.6)	(\$16,635.1)	"	(\$23,166.2)
9	(\$23,166.2)	(\$13,813.3)	"	(\$15,612.0)
10	(\$15,612.0)	(\$ 9,309.0)	\$24,921.0	\$0.0

EVALUACION ECONOMICA DEL PROYECTO

( 1,500 Ton M D:Q.O. )

PERIODO	FLUJO DE EFECTIVO	FLUJO DE VALOR PRESENTE. 44.04%	VALOR PRE- SENTE NETO
0	- 35,534.8	- 35,534.8	- 35,534.8
1	16,025.6	11,125.8	- 24,409.0
2	"	7,724.1	- 16,684.8
3	"	5,362.5	- 11,322.3
4	"	3,722.9	- 7,599.4
5	"	2,584.6	- 5,014.8
6	"	1,794.4	- 3,220.4
7	"	1,245.8	- 1,974.6
8	"	864.9	- 1,109.7
9	"	600.4	- 509.3
10	19,579.1	509.3	0.0
TASA INTERNA DE RENDIMIENTO			44.0399 %

EVALUACION ECONOMICA DEL PROYECTO

( 2,000 Ton M D.Q.O. )

PERIODO	FLUJO DE EFECTIVO	FLUJO DE VALOR PRESENTE. 59.63%	VALOR PRE- SENTE NETO
0	- 35,534.8	- 35,534.8	- 35,534.8
1	21,367.5	13,385.9	- 22,148.9
2	"	8,385.7	- 13,763.2
3	"	5,253.3	- 8,508.8
4	"	3,291.0	- 5,218.8
5	"	2,061.7	- 3,157.1
6	"	1,291.6	- 1,865.5
7	"	809.1	- 1,056.4
8	"	506.9	- 549.5
9	"	317.5	- 232.0
10	24,921.0	232.0	0.0
TASA INTERNA DE RENDIMIENTO			59.6269 %

EVALUACION ECONOMICA DEL PROYECTO

( 2,500 Ton M D.Q.O. )

PERIODO	FLUJO DE EFECTIVO	FLUJO DE VALOR PRESENTE. 74.91%	VALOR PRE- SENTE NETO
0	- 35,534.8	- 35,534.8	- 35,534.8
1	26,709.4	15,270.2	- 20,264.6
2	"	8,738.3	- 11,534.3
3	"	4,991.2	- 6,534.1
4	"	2,853.6	- 3,689.5
5	"	1,631.4	- 2,058.1
6	"	932.7	- 1,125.3
7	"	533.3	- 592.1
8	"	304.9	- 287.2
9	"	174.3	- 112.9
10	30,262.9	112.9	0.0
TASA INTERNA DE RENDIMIENTO 74.9115 %			

EVALUACION ECONOMICA DEL PROYECTO

( 3,000 Ton M D.Q.O. )

PERIODO	FLUJO DE EFECTIVO	FLUJO DE VALOR PRESENTE 90.06%	VALOR PRESENTE NETO
0	- 35,534.8	- 35,534.8	- 35,534.8
1	32,051.3	16,863.3	- 18,671.5
2	"	8,872.4	- 9,799.1
3	"	4,668.1	- 5,131.0
4	"	2,456.1	- 2,674.9
5	"	1,292.2	- 1,382.7
6	"	679.9	- 702.8
7	"	357.7	- 345.1
8	"	188.2	- 156.9
9	"	99.0	- 57.9
10	35,604.8	57.9	0.0
TASA INTERNA DE RENDIMIENTO 90.0648 %			

A la luz de los resultados expuestos, el siguiente capítulo resume a manera de conclusión las ventajas de la posible instalación del proyecto.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Básicamente se logró la disminución de la D.Q.O. con ventajas económicas para la empresa, estableciendo las bases técnicas para una planta "in situ".

El proyecto presenta una tasa interna de rendimiento superior al 40%, operando con una remoción de 1,500 Ton M de D.Q.O., nivel que se considera como límite mínimo, ya que en los últimos 4 años el manejo ha sido superior.

De cumplirse las expectativas económicas previstas por el Gobierno Federal, en materia de inflación y por tanto el costo del dinero para los próximos años; el proyecto resulta rentable, ya que para finales de este año la inflación estará del orden de 60-70% con tasas de interés inferiores a ésta.

Por otro lado, el ahorro que tendría la empresa al contar con este equipo sería considerable, ya que si, hipotéticamente, la planta estuviera operando, a inicios de 1989, el ahorro sería de 18'696.6 millones de pesos (con 25% de remoción y 1750 Ton M de D.Q.O.) que como se observa en inversión del equipo (35'534.7 millones de pesos), en dos años ésta se pagaría.

### Recomendaciones . -

- Es necesario establecer laboratorios sencillos que permitan la determinación de la D.Q.O., ya que los laboratorios particulares son muy tardados y representan un gasto mayor para la empresa.
- El control de las aguas residuales debe ser muy estricto, ya que de su adecuado manejo, depende la salud del ser humano y el equilibrio del ambiente. Por lo tanto no se debe pensar que la instalación de un laboratorio es una inversión excesiva.

- Respecto a los aspectos técnicos del sistema de aireación propuesto, se debe hacer notar que :

En la parte superior de la columna se tendrá un efluente gaseoso, el cual consistirá principalmente del aire suministrado por la parte inferior y los contaminantes orgánicos removidos del agua.

Dicho efluente puede presentar un problema de emisión de contaminantes a la atmósfera, debido al arrastre de compuestos volátiles presentes en el efluente líquido. La concentración de estos compuestos en la descarga gaseosa, dependerá de las condiciones particulares del efluente líquido a tratar y de las condiciones de operación del sistema de tratamiento propuesto.

Pueden producirse olores desagradables y otros problemas adicionales que afecten la ecología de la zona circunvecina.

Para conocer y evaluar la magnitud de la emisión de compuestos gaseosos tóxicos de olor desagradable o inodoros, se debe realizar una evaluación en la que se tomen en cuenta las siguientes actividades:

#### EVALUACION DE EMISION A LA ATMOSFERA

Los parámetros que se determinarán son :

- a).- Análisis cualitativo del efluente gaseoso
- b).- Información disponible de las características de la descarga.
- c).- Definición de la descarga gaseosa :
  - c.1.- Velocidad promedio de los gases
  - c.2.- Gasto volumétrico
  - c.3.- Contenido de humedad
  - c.4.- Temperatura de gases



c.5.- Presión estática (cuál es la energía disponible del sistema en un punto dado, para vencer cierta carga de presión.)

d).- Composición de la mezcla gaseosa. Ajuste de densidad si el  $\overline{PM}$  es muy diferente al del aire.

e).- Con base en los dos puntos anteriores, calcular el flujo de emisión de contaminantes (masa/unidad de tiempo) y obtener la cantidad de masa de contaminante.

f).- Revisión de la legislación sobre los contaminantes gaseosos y sus parámetros.

g).- Definición de la necesidad de control del efluente gaseoso.

h).- Selección del sistema óptimo para control del efluente.

Es necesario crear por parte de la empresa la obligación moral que tiene tanto con el medio ambiente como con el ser humano. Esto es, la necesidad de abatir al mínimo todo tipo de contaminación ya que a futuro esta traerá graves consecuencias a la especie humana.

## BIBLIOGRAFIA

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

- 1.- Baillod, C.R., y Bonnie, M.F., Wet Oxidation and Ozonation of Specific Organic Pollutants, Cincinnati, Ohio, E.U.A., Industrial Environmental Research Laboratory Office of Research and Development, U.S.A., EPA-600/2-83-060, 1983.
- 2.- Bassel, Preliminary Chemical Engineering Plant Design, Ed. Elsevier, U.S.A., 1980.
- 3.- Eckenfelder, Jr., Principles of Water Quality Management, CBI Publishing Company, Inc. 1980.
- 4.- Eckenfelder, Jr., Jerry Patoczka y Andrew T. Walkin, Wastewater Treatment, Chemical Engineering, Septiembre 2, 1985, pp. 60-74.
- 5.- Eckenfelder Jr. y O'Connor, J., Biological Waste Treatment, Pergamon, Press, 1961.
- 6.- Electro Química Mexicana, Tratamiento de Aguas, Electro Química Mexicana, S.A. de C. V., 1982.
- 7.- Fair, Geyer y Okun, Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales. Abastecimiento de Aguas y Remoción de Aguas Residuales, Limusa, 1976.
- 8.- Fair, Geyer y Okun, Purificación de Aguas de Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales, Limusa, Tomo II, 1975.
- 9.- Faller, Peter C. y Mark L. Goodwin, Electrochemical Generation to High concentration ozone for waste Treatment, Chemical Engineering Progress, Marzo 1985, pp. 49-51.
- 10.- Lederman, P.B.H.S. Skorromeck y P.E. DesRosiers, Pollution Abatementes in the Pharmaceutical Industry, Chemical Engineering Progress, Abril 1975, pp. 93-97.
- 11.- Meltcalf and Eddie, Manual for Process Engineering Calculations, McGraw-Hill, Second Edition 1975, pp. 364.

- 12.- Meltcalf and Eddie, Wastewater Engineering, McGraw-Hill 1952.
- 13.- Nalco Chemical Company, Manual del Agua. Su Naturaleza, su tratamiento y aplicaciones, McGraw-Hill, 1979.
- 14.- Nemerow, Nelson L., Aguares residuales industriales, Teoría Aplicación y Tratamiento, H. Blume.
- 15.- Pradt, L.A., Developments in Wet air oxidation, Chemical Engineering Progress, Diciembre 1972, pp. 72-77.
- 16.- Schaefer, P.T., Consider Wet Oxidation, Hydrocarbon Processing, Octubre 1981, pp. 100-104.
- 17.- Secretaría de Agricultura y Ganadería, Dirección General de Geografía y Meteorología, Período 1941-1971, México, 1982, S.A.R.H.
- 18.- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, Elementos para la Operación de Plantas de Tratamiento, Segundo Nivel 1 1985.
- 19.- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, Operación y Mantenimiento de Discos Biológicos, Segundo Nivel, 4, 1985.
- 20.- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, Operación y Mantenimiento de Filtros Percoladores, Segundo Nivel 3, 1985.
- 21.- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, Operación y Mantenimiento de Lagunas Aireadas, Segundo Nivel 2, 1985.
- 22.- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, Programa de Capacitación para Operadores de Plantas de Tratamiento, Primer Nivel 1, 1985.
- 23.- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, Programa de Capacitación para Operadores de Plantas de Tratamiento, Primer Nivel, 3, 1985.
- 24.- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, Teoría de los Procesos Físicoquímicos, Primer Nivel 2, 1985.
- 25.- Weber, Jr. Procesos Físicoquímicos, en el tratamiento de agua residual, Editorial Reverté.

26.- Wilhelmi, A.R. y Knopp, P.V., Wet Air Oxidation, an alternative to incineration, Chemical Engineering Progress, Agosto 1979, pp. 46-52.

**A P E N D I C E . N O R M A S**



SECRETARIA DE PATRIMONIO  
Y  
FOMENTO INDUSTRIAL.

NORMA OFICIAL MEXICANA

NOH-AA-30-1981.

"ANALISIS DE AGUA.- DETERMINACION  
DE LA DEMANDA QUIMICA DE  
OXIGENO".

"ANALYSIS OF WATER.- DETER-  
MINATION FOR CHEMICAL  
OXYGEN DEMAND".

DIRECCION GENERAL DE NORMAS

P R E F A C I O

En la elaboración de esta Norma participaron los siguientes organismos e instituciones:

- SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS.- Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica.
- SECRETARIA DE SALUBRIDAD Y ASISTENCIA.- Subdirección de Vigilancia de Aguas Receptoras y Residuales.
- COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.- Laboratorio.
- LABORATORIOS NACIONALES DE FOMENTO INDUSTRIAL.





## NORMA OFICIAL MEXICANA

"ANÁLISIS DE AGUA.- DETERMINACION DE LA DEMANDA QUINTICA DE OXIGENO".

NOM-  
AA-30-1981.

"ANALYSIS OF WATER.- DETERMINATION FOR CHEMICAL OXYGEN DEMAND".

## 1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

La presente norma establece el método para la determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, industriales y residuales. (Ver incisos 11.1.1 y 11.1.2).

## 2. REFERENCIAS

Esta norma se complementa con las Normas Oficiales Mexicanas en vigor siguientes:

- NOM-AA-3 "Aguas residuales.- Muestreo".  
 NOM-AA-14 "Cuerpos receptores.- Muestreo".  
 NOM-Z-1 "Sistema general de unidades de medida.- Sistema (SI) de unidades".

## 3. DEFINICIONES

Demanda química de oxígeno.- Cantidad de oxígeno requerida para oxidar, bajo condiciones específicas, la materia orgánica y la inorgánica oxidable contenida en el agua. Se expresa en mg/dm<sup>3</sup> de oxígeno y proporciona una medida de la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas, bajo las condiciones en las que se efectúa esta prueba.

## 4. RESUMEN DEL METODO

El método se basa en una oxidación enérgica de la materia orgánica y de la inorgánica oxidable que se encuentra en el agua, en un medio fuertemente ácido, con una solución valorada de dicromato de potasio. El exceso del agente oxidante se titula con una solución valorada de sulfato ferroso amónico en presencia de un complejo ferroso de ortofenantrolina como indicador interno.- (Ver inciso 11.1.3).

## 5. REACTIVOS

Los reactivos que a continuación se mencionan deben ser reactivos analíticos, a menos que se indique otra cosa. Cuando se habla de agua, se debe entender agua destilada.

- 5.1 Dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ).

- 5.2 Sulfato ferroso amónico hexahidratado  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- 5.3 Acido sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
- 5.4 Indicador de 1,10 fenantrolina ( $\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )
- 5.5 Sulfato de plata ( $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ ).
- 5.6 Sulfato ferroso heptahidratado ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )
- 5.7 Sulfato mercuríco ( $\text{HgSO}_4$ )

6. PREPARACION DE SOLUCIONES

6.1 Solución de dicromato de potasio, 0.25 N.-

Disolver 12.2588 g de dicromato de potasio (previamente secado a  $378 \text{ K} \pm 1 \text{ K}$  ( $105^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ ) durante dos horas), aforar con agua a  $1000 \text{ cm}^3$  en un matraz volumétrico y homogeneizar.

6.2 Solución de dicromato de potasio 0.025 N.-

Transferir con pipeta  $100 \text{ cm}^3$  de la solución anterior a un matraz volumétrico, aforar con agua a  $1000 \text{ cm}^3$  y homogeneizar.

6.3 Solución de sulfato ferroso amónico 0.25 N.-

Disolver 98.0 g de sulfato ferroso amónico en aproximadamente  $800 \text{ cm}^3$  de agua, agregar cuidadosamente  $20 \text{ cm}^3$  de ácido sulfúrico concentrado, enfriar, aforar a  $1000 \text{ cm}^3$  en un matraz volumétrico y homogeneizar.

6.3.1 Normalización de la solución de sulfato ferroso amónico 0.25N

Tomar  $25 \text{ cm}^3$  de la solución de dicromato de potasio 0.25 N

Diluir con agua hasta  $275 \text{ cm}^3$ , agregar cuidadosamente  $50 \text{ cm}^3$  de ácido sulfúrico concentrado homogeneizar, enfriar y titular con la solución de sulfato ferroso amónico 0.25 N utilizando 8 gotas de 1,10 fenantrolina como indicador hasta el cambio de color del azul verdoso a café rojizo.

6.4. Solución de sulfato ferroso amónico 0.025 N

Determinar la masa con aproximación al  $0.0001 \text{ g}$  de  $9.8 \text{ g}$  de sulfato ferroso amónico y continuar como se indica en 6.3.

6.4.1 Normalización de la solución de sulfato ferroso amónico 0.025 N

Tomar  $25 \text{ cm}^3$  de la solución de dicromato de potasio 0.025 N y proceder como se indica en 6.3.1 y titular con sulfato ferroso amónico 0.025 N.

6.5 Solución de ácido sulfúrico-sulfato de plata

Determinar la masa de 9.51 g de sulfato de plata y disolverlos en 1000 cm<sup>3</sup> de ácido sulfúrico concentrado (Ver 11.1.4).

6.6 Solución indicadora 1,10 fenantrolina

Disolver en agua 1.485 g de 1,10 fenantrolina y 0.695 g de sulfato ferroso heptahidratado, aforar a 100 cm<sup>3</sup> y homogeneizar.

7. APARATOS

7.1 Estufa eléctrica, capaz de mantener 378 K ± 1 K (105 ± 1°C).

7.2 Desecador con gel de sílice como indicador.

7.3 Balanza analítica con sensibilidad de 0.0001 g

7.4 Aparato para reflujo tipo Friedrichs como el que se indica en la figura No. 1 y constituido por:

-Un matraz Erlenmeyer de 500 cm<sup>3</sup> con boca esmerilada 24/40

-Un condensador tipo Friedrichs entrada 24/40

7.5 Parrilla de calentamiento capaz de mantener una temperatura que asegure una ebullición del contenido del matraz de reflujo.

7.6 Equipo usual de laboratorio.

8. PREPARACION Y CONSERVACION DE LA MUESTRA

8.1 La forma de extraer la muestra para realizar esta determinación, se estableció en las Normas Oficiales Mexicanas NOM-AA-3 y NOM-AA-14 en vigor.

8.2 La muestra debe ser analizada inmediatamente, después de su toma, en caso contrario debe conservarse en refrigeración a 277 K (4°C).

9. PROCEDIMIENTO

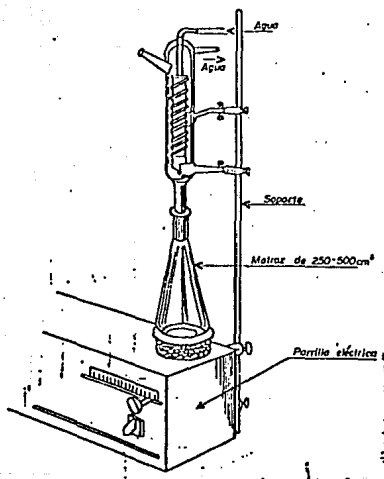
9.1 Para niveles mayores de 50 mg/dm<sup>3</sup> de demanda química de oxígeno:

9.1.1 Transferir al matraz Erlenmeyer de 500 cm<sup>3</sup>, una muestra de 50 cm<sup>3</sup>. Agregar una cantidad adecuada de sulfato mercurico (Ver inciso 11.1.5) y algunas perlas de vidrio. Añadir 25.0 cm<sup>3</sup> de la solución de dicromato de potasio 0.25 N y mezclar mediante un movimiento circular. (Ver 11.1.6 y 11.1.7).

9.1.2 Conectar el matraz Erlenmeyer al condensador y hacer circular el agua de enfriamiento.

9.1.3 Por el extremo superior del condensador agregar lentamente 75 cm<sup>3</sup> de la solución de ácido sulfúrico-sulfato de plata y agitar con movimiento circular para homogeneizar. (Ver 11.1.8 y 11.1.9).

4/7.



9  
Escala: no  
Acot. no  
Dibujó: A.M.T.

APARATO PARA REFLUJO

NOM-AA-30  
Fig. 1

9.1.4 Calentar el matraz que contiene la mezcla y mantener a reflujo durante 2 horas a partir del momento en que empieza la ebullición. Dejar enfriar y lavar el condensador con 25 cm<sup>3</sup> de agua. (Ver 11.1.10).

9.1.5 Añadir agua por el extremo superior del condensador hasta completar un volumen aproximadamente de 300 cm<sup>3</sup>, retirar el matraz del condensador y enfriar a la temperatura ambiente.

9.1.6 Agregar 8 gotas de 1,10 fenantrolina como indicador y titular con la solución valorada de sulfato ferroso amónico 0.25 N hasta el cambio de color del azul-verdoso a café rojizo.

9.1.7 Llevar simultáneamente un testigo preparado con 50 cm<sup>3</sup> de agua y todos los reactivos utilizados en el procedimiento.

9.2 Para niveles menores de 50 mg/dm<sup>3</sup> de demanda química de oxígeno.

9.2.1 Se procede como se indica de 9.1.1 a 9.1.7, pero haciendo uso de las soluciones de dicromato de potasio y sulfato ferroso amónico 0.025 N. (Ver 11.1.11).

#### 10. CALCULOS

La demanda química de oxígeno, expresada en mg/dm<sup>3</sup>, se calcula con la siguiente ecuación:

$$DQO = \frac{(V_1 - V_2) \times N \times 8}{V_3} \times 1000$$

En donde:

DQO = Demanda química de oxígeno, en mg/dm<sup>3</sup>

V<sub>1</sub> = Volumen de la solución de sulfato ferroso amónico requerido para la titulación del testigo, en cm<sup>3</sup>

V<sub>2</sub> = Volumen de la solución de sulfato ferroso amónico requerido para la titulación de la muestra, en cm<sup>3</sup>

V<sub>3</sub> = Volumen de la muestra, en cm<sup>3</sup>

N = Normalidad de la solución de sulfato ferroso amónico, utilizada en la determinación

8 = Equivalente del oxígeno

#### 10. REPETIBILIDAD

La diferencia entre las determinaciones efectuadas por duplicado no debe exceder del 5% de demanda química de oxígeno. En caso contrario,

se debe repetir la determinación.

## 11. APENDICE

### 11.1 Observaciones

11.1.1 Este método se recomienda como un complemento de la demanda bioquímica de oxígeno, pero no es un sustituto de ésta.

11.1.2 Generalmente la determinación de la demanda química de oxígeno se utiliza en el tratamiento y control de las aguas de desecho industrial y sólo en ocasiones particulares puede relacionarse con la demanda bioquímica de oxígeno.

11.1.3 El indicador 1,10 fenantrolina también se le conoce como ferroína u ortofenantrolina.

11.1.4 El sulfato de plata requiere un tiempo aproximado de dos días para su completa disolución. La solución formada debe mantenerse en la obscuridad para evitar su descomposición.

11.1.5 El sulfato mercuríco se agrega para eliminar la interferencia que representan los cloruros, obteniéndose un complejo de cloruro mercuríco soluble que inhibe la reactividad del ión cloruro. Si la muestra contiene 40 mg de cloruros o menos, se agregan 0.4 g de sulfato mercuríco, en caso de que la concentración de cloruros sea mayor, se debe agregar sulfato mercuríco en una cantidad tal, que se tenga una relación sulfato mercuríco-cloruro de 10:1 (mg de sulfato mercuríco/mg de cloruro).

11.1.6 Si la muestra tomada para la determinación es menor de 50 cm<sup>3</sup> se debe completar a ese volumen con agua.

11.1.7 Debe enfriarse rápidamente para evitar las pérdidas de la posible materia volátil que contenga la muestra.

11.1.8 El sulfato de plata actúa en la reacción como catalizador, incrementando la oxidación de algunos compuestos orgánicos refractarios.

11.1.9 La mezcla debe agitarse perfectamente antes de llevarla a calentamiento; de no ser así ocurren sobrecalentamientos locales que proyectan la mezcla fuera del condensador.

11.1.10 Para algunas aguas residuales el período de reflujo de 2 horas resulta excesiva o insuficiente, para reducirlo o aumentarlo es necesario experimentar con un mismo tipo de muestra en diferentes tiempos de digestión.

11.1.11 El volumen de la muestra que se utilice para niveles inferiores de 50 mg debe ser tal, que la cantidad de dicromato de potasio reducido durante la digestión no exceda del 50%, en caso contrario se debe repetir la determinación con un volumen menor de muestra.

12. BIBLIOGRAFIA

12.1 Standard Methods of Chemical Analysis.- Sixth Edition Volumen 2 Industrial and Natural Products.- Part B. Frank J. Welcher Ph. D., Editor; D. Van Nostrand Company, Suc. Princeton New Jersey.- 1966.

12.2 Métodos y procedimientos de la "American Society for testing and materials" (ASTM), para análisis de aguas.- Designation D-1252-67 Parte 23.- 1972.

12.3 Standard Methods for Examination of Water and Wastewater.- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Pollution Control Federation (WPCF).- 14 th Edition.

13. CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES

No concuerda con ninguna por no existir norma internacional sobre el tema.

México, D. F., a

EL DIRECTOR GENERAL.

DR. ROMAN SERRA CASTAÑOS.