

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**FACULTAD DE QUIMICA**

---



**CONTROL Y ABATIMIENTO DE EFLUENTES**  
**CONTAMINANTES DE UNA CERVECERIA**

**Que Para Obtener el Título de**  
**INGENIERO QUIMICO**

**P r e s e n t a:**

**ARNOLDO LIZARRAGA VALENZUELA**

**México, D. F.**

**1979**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

TESIS 1979  
LAB \_\_\_\_\_  
AÑO M.C. \_\_\_\_\_  
PÁG. 190 \_\_\_\_\_  
PROG. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE SEGUN EL TEMA.

Presidente PROF. CARLOS KOBEH HEREDE

Vocal PROF. EDUARDO ROJO Y DE REGIL

Secretario PROF. ALBERTO DE LA FUENTE ZUNO

1er.Supl. PROF. JORGE MERCARINI PENICHE

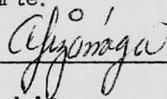
2do.SUpl. PROF. ALFONSO FANYUTTI ALTAMIRANO.

Sitio donde se desarrollo el tema:

CERVECERIA CUAUHEMOC S.A. TOLUCA MEXICO.

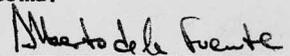
Nombre completo y firma del sustentante:

ARNOLDO LIZARRAGA VALENZUELA



Nombre completo y firma del asesor del tema:

Ingeniero ALBERTO DE LA FUENTE ZUNO



A LA NATURALEZA

" CONTROL Y ABATIMIENTO DE EFLUENTES  
CONTAMINANTES DE UNA CERVECERIA "

## I N D I C E

	Página.
CAPITULO I.- INTRODUCCION.....	1
CAPITULO II.- GENERALIDADES.....	12
1) Plan de acción de la Secretaría de - Agricultura y Recursos Hidráulicos - en su lucha contra la contaminación.	12
2) Terminología de las aguas de desecho.	15
3) Número y capacidades de las cerveceras existentes en el país.....	18
4) Proceso de fabricación de cerveza...	20
5) Diagrama de flujo del proceso.....	27
CAPITULO III.- DESCRIPCION DE LOS EFLUENTES DE CONTAMI NACION DE UNA CERVECERIA.....	28
1) Principales efluentes contaminantes- de una cervecería.....	28
2) Peculiaridad de los desechos de una- cervecería.....	28
3) Parámetros para el control de la ca- lidad del agua y su importancia rela tiva.....	31
CAPITULO IV.- CUADRO DE VALORES EXPERIMENTALES DE LOS PARAMETROS CONSIDERADOS.....	75
a) Volumen.	
b) Potencial Hidrógeno pH.	
c) Temperatura.	
d) Sólidos Sedimentables.	
e) Sólidos Suspendidos Totales. (SST).	
f) Demanda Bioquímica de Oxígeno. (DBO).	
g) Demanda Química de Oxígeno. (DQO).	
h) Grasas y Aceites. ( G y A).	
i) Conductividad Específica.	

	Página.
CAPITULO V.- SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL EFLUENTE - CONTAMINANTE.....	84
CAPITULO VI.- BALANCE ECONOMICO.....	111
CONCLUSIONES.....	123
BIBLIOGRAFIA.....	125

## C A P I T U L O I

### INTRODUCCION

El t3pico m3s comentado a nivel mundial en nuestros d3as es el de la contaminaci3n ambiental; y ha pasado a convertirse en uno de los problemas fundamentales de la humanidad.

Actualmente el problema de la contaminaci3n se ha agravado y ha adquirido proporciones dram3ticas, tanto por su intensificaci3n como por su extensi3n geogr3fica. Antes, las zonas contaminadas eran muy reducidas con relaci3n a la totalidad de la tierra. Ahora tienden a cubrir el planeta entero.

El hombre va en camino a envenenar toda la tierra sin dejar ning3n posible refugio para una reserva de vida y salud. La degradaci3n del medio ambiente se ha convertido en uno de los fen3menos esenciales de nuestra civilizaci3n.

Hemos vivido mucho tiempo con la idea de que la naturaleza era un bien inagotable, gratuito y eterno. Hoy descubrimos por el contrario que la naturaleza no es bien inagotable, sino m3s bien raro, no gratuito y si cada vez m3s caro de proteger, y no eterno, sino temporal, pues es muy fr3gil y corre el riesgo de desaparecer, llev3ndose consigo, en esta extinci3n, a la humanidad entera.

Debemos, pu3s, adoptar una posici3n contraria a todo lo que se nos ha enseado fundamentalmente desde hace dos si---

glos: el culto al progreso científico y técnico, la creencia en las ventajas de la urbanización y el fervor por el progreso industrial.

La preocupación por la problemática de la contaminación del medio ambiente ha alcanzado en estos últimos tiempos una dimensión inusitada.

El medio ambiente ó el medio humano concebido como biosfera, es un sistema que engloba a todos los seres vivos de nuestro planeta, así como el aire, el agua y el suelo que constituyen su lugar donde se desarrolla normalmente su ciclo vital.

Tratándose de un sistema autorregulador la biosfera tiende a la estabilidad es decir a conservar sus rasgos esenciales para poder sobrevivir a los posibles cambios o alteraciones del medio ambiente. Entre dichos rasgos esenciales de la biosfera figura el de constituir un sistema abierto, sometido a la acción de la energía solar, pero cerrado el punto de vista de los materiales. De ahí la necesidad de reciclar los residuos y de utilizar los productos de desecho de un proceso como materia prima para el siguiente.

LA CONTAMINACION ATMOSFERICA.- El aire constituye uno de los elementos básicos de todo ser vivo. Por ello, desde los tiempos más remotos, el hombre ha sido consciente del peligro que representaba una atmósfera contaminada como la creada de mo

do natural, con ocasión de una erupción volcánica, y como la provocada por el mismo, desde la invención del fuego, al hacer arder un bosque y al encender una antorcha para iluminarse en el interior de las cavernas donde vivía.

Pero con el advenimiento de la era industrial el problema de la contaminación atmosférica adquiere toda su magnitud, llegando en nuestros días a constituir un motivo de inquietud creciente en las zonas urbanas e industriales.

Hay contaminación del aire cuando la presencia de una sustancia extraña o la variación importante en la proporción de sus constituyentes, es susceptible de provocar efectos perjudiciales o de crear molestias.

Esas sustancias extrañas que provocan la contaminación atmosférica son los agentes contaminantes, gases y sólidos que se concentran en suspensión en la atmósfera y cuyas potenciales fuentes de origen son las siguientes:

a) Procesos Industriales, que a pesar de ciertas medidas preventivas constituyen uno de los principales focos contaminantes.

b) Combustiones domésticas e industriales.- Principalmente los combustibles sólidos (Carbón) que producen humos, polvo y óxido de azufre.

c) Vehículos de motor.- Cuya densidad en las regiones muy urbanizadas determina una elevada contaminación atmosférica-

( óxido de carbono, plomo, óxido de nitrógeno, partículas sólidas ).

La importancia de cada una de estas fuentes contaminantes esta en función de la concentración, con una intensidad superior a la normal, de los agentes contaminantes emitidos y de las condiciones metereológicas locales.

Existen clasificadas más de un centenar de sustancias contaminantes de la atmósfera. Las más importantes son el dióxido de azufre, el dióxido de carbono o gas carbónico, el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno, los hidrocarburos gaseosos liberados tras una combustión incompleta de los hidrocarburos líquidos, el plomo, los floruros, etc.

LA CONTAMINACION DE LAS AGUAS CONTINENTALES.- El agua es muy importante para nosotros como seres humanos, y aún más como individuos pertenecientes a la industria, pues es realmente el motor que hace desenvolverse a ésta; generalmente pensamos que el agua es inagotable y la desperdiciamos; pero en realidad los recursos de agua dulce son bastante limitados y se hace muchas veces necesario el aplicar tratamientos de diversos tipos, para hacerlos adecuados para los múltiples usos a que se destina.

Con el incremento de la población y el surgimiento de la actividad industrial la contaminación de ríos, lagos y aguas subterráneas aumenta constantemente. Debe considerarse que una

agua está contaminada, cuando su composición o estado están alterados de tal modo que ya no reúnen las condiciones a una u otra o al conjunto de utilizaciones a las que se hubiera destinado en su estado natural.

Origen y naturaleza de los productos contaminantes. -- Aunque la contaminación de las aguas puede ser accidental, la mayor parte de las veces deriva de los vertidos no controlados de origen diverso. Las principales son debido a:

a) Aguas residuales urbanas.- Contienen los residuos colectivos de la vida diaria; su volumen esta en constante aumento.

b) Aguas de origen industrial.- Constituyen la principal fuente de contaminación de las aguas. La mayoría de industrias utilizan el agua en cantidades variables en diferentes procesos de fabricación.

c) Contaminación de origen agrícola.- Proviene principalmente de ciertos productos utilizados en agricultura y de residuos de origen animal. Una lista de productos contaminantes de las aguas dulces de un país comprendería centenares de sustancias. Su origen múltiple se suma a las combinaciones química que se producen.

Entre los productos orgánicos más frecuentes figuran aminoácidos, ácidos grasos, ésteres, detergentes aniónicos, aminas, amidas, etc.

Entre los componentes inorgánicos están numerosas sales disueltas en formas de iones: sodio, potasio, calcio, manganeso, cloruro, nitrato, bicarbonato, sulfato y fosfato.

El poder de biodegradación de las aguas es grande, pero si la concentración de sustancias orgánicas y químicas supera ciertos límites, las aguas no pueden regenerarse bajo los efectos de las bacterias. La vida desaparece y los ríos y lagos se convierten en cloacas abiertas.

Los productos de tipo industrial vertidos en los ríos causan verdaderos estragos en las comunidades acuáticas. Sus efectos se aprecian particularmente en los peces.

El problema de la contaminación de las aguas no afecta solamente al hombre y a los animales acuáticos sino que constituye una preocupación de cada día mayor para las propias industrias que se ven obligadas a utilizar aguas contaminadas río arriba, incompatibles con ciertos tipos de instalaciones industriales.

LA CONTAMINACION DE MARES Y OCEANOS.- Desde siempre el mar ha sido considerado como un vertedero natural. Pero si durante milenios los ciclos biológicos aseguraban en gran medida la absorción de los desperdicios y la repurificación de las aguas, hoy, en cambio, asistimos con frecuencia a un desequilibrio del medio marino debido a factores químicos, físicos y biológicos.

El mar posee una gran capacidad autodepuradora y es un medio poco favorable para el desarrollo de las mayorías de microorganismos patógenos; sin embargo, el vertido incontrolado de las aguas residuales provenientes de zonas urbanas y de los desechos industriales convierten las aguas costeras en un medio muy favorable para la supervivencia de bacterias patógenas.

La contaminación química de los mares y océanos revisite aún mucha importancia que la contaminación bacteriana. Numerosos detergentes y pesticidas arrastrados por las aguas pluviales tienen efectos nocivos sobre aves y organismos costeros.

LOS PRODUCTOS DE DESECHO DOMESTICO.- La acumulación de residuos domésticos sólidos constituye hoy día un problema agobiante en varios países. El aumento de la población, junto al desarrollo de urbanización y la demanda creciente de bienes de consumo, intensidad de la propaganda y publicidad, etc., determinan un aumento incesante del peso y volumen de los desechos producidos.

Las características principales de los desechos sólidos son: la densidad, el grado de humedad, el contenido en materias combustibles o propias para la preparación de fertilizantes y el valor térmico.

Dichas características varían considerablemente para los distintos grupos de desechos sólidos (basura domésticas, productos provenientes de actividades comerciales, etc) como dentro

de cada uno de ellos, según la esfera y el nivel de producción y consumo existentes.

El problema de la contaminación del suelo que pueden plantear todos estos desechos al asalto del planeta es sin duda, salvo excepciones, distinto que el planteado por la contaminación atmosférica y de las aguas, pues en general los productos de desecho urbano permanecen en el mismo lugar donde se depositaron durante períodos relativamente largos. Sin embargo, productos como las basuras pueden ser focos contaminantes o medios para el desarrollo de insectos y roedores, sin contar las molestias ocasionadas y los efectos de destrucción del paisaje.

LOS PLAGUICIDAS.- Con la introducción de la agricultura el hombre modificó el equilibrio ecológico en numerosas zonas. Muchas poblaciones de animales que en su ambiente originario están reguladas por la presencia de competidores o depredadores, en otro medio son capaces de aumentar en número considerablemente. En este proceso hay que buscar el origen de la mayoría de las plagas conocidas.

Para encontrar un nuevo equilibrio ecológico y luchar contra los animales y plantas perjudiciales se empezaron a utilizar desde hace ya bastantes años, ciertos productos químicos cuyo número y eficacia no han cesado en aumentar.

Aunque algunas sustancias químicas utilizadas como insecticidas han sido beneficiosas para la humanidad; sin embargo-

la utilización desmesurada de insecticidas ha tenido y tiene con secuencias muy negativas. Por una parte, su uso reduce algunas - especies de insectos útiles y contribuye por ello a la aparición de nuevas plagas; muchas especies de insectos se han convertido - además en resistentes a ciertos insecticidas, lo que induce a -- buscar nuevos productos de mayor selectividad.

EL RUIDO.- El ruido, elemento natural de la vida, es - difícil de definir de manera satisfactoria. Puede ser considera- do como un sonido desprovisto de carácter musical agradable.

Con el desarrollo de la civilización industrial y urba na el ruido a adquirido cada vez mayor importancia, y se incluye dentro de los factores del medio que presentan efectos nocivos - sobre la salud humana. Es en este sentido que debe ser considera do como uno de los elementos contaminantes del medio ambiente. - Las consecuencias del ruido, que son tanto del orden fisiológico como psicofisiológico, afectan cada vez a mayor número de perso- nas, en particular a los obreros industriales.

Los efectos fisiológicos y patológicos del ruido son - principalmente la fatiga auditiva, sorderas profesionales y los- traumatismos acústicos. Otros efectos más graves son las lesio-- nes del sistema auditivo provocadas por el ruido que se caracte- rizan por la pérdida irreversible, pero no evolutiva de la sensi- bilidad auditiva. Además de todos estos efectos fisiológicos es- pecíficos del ruido, existen otros efectos indirectos. Entre ---

ellos puede citarse la alteración del ritmo cardíaco y de la tensión arterial, etc.

La sensación desagradable e incluso dolorosa que provoca el ruido se ve con frecuencia acompañada de molestias y alteraciones psíquicas. Estos fenómenos son cada vez más apreciables en el trabajo de las grandes y pequeñas industrias y en la tan ajetreada vida urbana. Para luchar convenientemente contra los efectos del ruido, la primera medida debería ser la eliminación del foco emisor, o al menos su conveniente alejamiento. Ello supone la necesidad de una severa legislación, inexistente en la mayoría de los países.

Viendo el panorama de la contaminación en general México no podía ser ajeno a esta corriente, y es así como el Gobierno Federal ha promulgado leyes y emitido reglamentos a fin de --prevenirla, evitarla, controlarla y combatirla en ciertos aspectos.

Este tema tratará sobre los efluentes líquidos de una cervecería. La industria cervecera en México ha crecido en su --producción en los últimos años y consecuentemente el uso del ---agua en sus procesos, así como el incremento en sus contaminan--tes. Un mercado cambiante es la característica que ha acompañado a esta industria en su crecimiento. Donde una pequeña cervecería local consistía en una industria, esto es cada vez más dominado por un pequeño número de cervecerías nacionales. La mayoría de --

las pequeñas fábricas han sido absorbidas por las grandes firmas o han cesado en su operación enteramente debido a la gran competencia.

Ahora, ubicando a la industria cervecera de acuerdo con su grado de aporte contaminante; así se puede decir que esta industria se encuentra entre las de término medio, ya que sus descargas son principalmente de naturaleza orgánica, (almidones, dextrinas, proteínas, sólidos, etc.) y caústico, siendo estas descargas poco dañinas si se les compara con las de otras industrias; pues no se descargan metales pesados, venenos parciales o verdaderas sustancias coloridas etc.

El objetivo de este tema es crear conciencia de la necesidad de establecer controles en las fábricas de cerveza, a fin de abatir la contaminación y además de colaborar con el Gobierno Federal en su esfuerzo por prevenir y controlar la contaminación, explicando en una forma somera el plan de acción de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos por preservar el recurso hídrico.

## CAPITULO II

### GENERALIDADES

1.- Plan de acción de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos en su lucha contra la contaminación.

En su lucha contra la contaminación del agua la S.A.R.H. ha puesto en marcha un plan de acción de tres etapas a partir de 1974 y las cuales finalizarán en 1978.

#### Primera etapa:

La primera etapa incluyó la entrega de las formas de registro (PCA-2) y la entrega del informe preliminar de Ingeniería (IPI); después de diez meses de registro de los drenajes se inició el estudio de los cuerpos receptores ríos, lagos, etc. a fin de determinar la carga contaminante y la capacidad asimilativa de los cauces. Esta etapa concluyó el 2 de agosto de 1974.

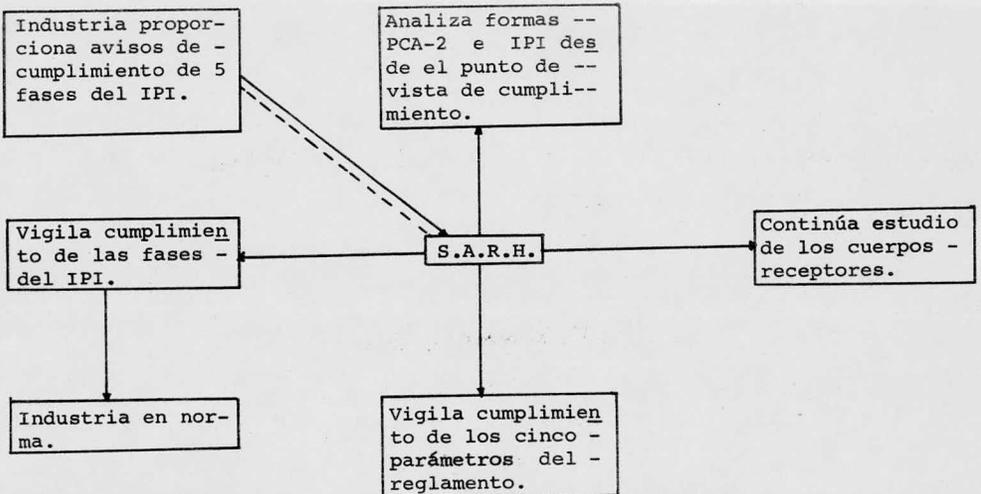


CUADRO No. 1  
( PRIMERA ETAPA )

Segunda etapa:

Continúa el estudio de los cuerpos receptores: La S.A.R.H. recibe los avisos por parte de los responsables de las descargas de aguas residuales acerca de las etapas de cumplimiento del registro y el IPI, analiza la información contenida en el registro y el IPI, desde el punto de vista del cumplimiento de los 5 parámetros de la tabla No. 1 del reglamento y el contenido del IPI, en cuanto a sus 5 fases.

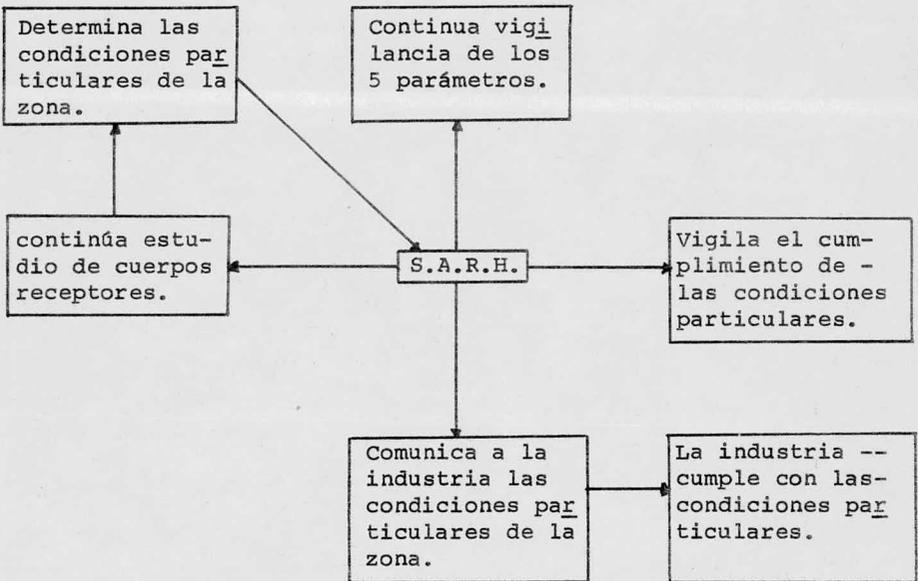
El plazo máximo para cumplir con el reglamento en cuanto a las fases del IPI es de 36 meses, a partir de la fecha de registro, siempre y cuando, el responsable de la descarga no opte por el pago de cuotas.



CUADRO No. 2  
(SEGUNDA ETAPA)

Tercera etapa:

Continúa la vigilancia de los 5 parámetros básicos. Al mismo tiempo, S.A.R.H. termina el estudio de los cuerpos receptores, y en función de las normas de calidad que deba llenar el agua de los cuerpos receptores, su capacidad asimilativa y las características de las descargas, fija las condiciones particulares para la zona. Finalmente exige el cumplimiento de las condiciones particulares, por parte de los responsables de las descargas de aguas residuales, y vigila el cumplimiento de las condiciones mencionadas.



CUADRO No. 3

(TERCERA ETAPA)

## 2.- Terminología de las aguas de desecho.

Aguas Residuales.- Son los líquidos de composición variada proveniente de usos municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de cualquier índole, ya sea pública o privada, y que por tal motivo haya sufrido degradación o alteración en su calidad original.

Aguas Residuales de usos puramente domésticos.- Son -- las aguas residuales que se generan y provienen de las casas habitación, y que no han sido utilizadas con fines industriales, - comerciales, agrícolas y pecuarias.

Aguas Pluviales.- Consiste, en las corrientes superficiales de las lluvias, fluyendo de techos y pavimentos hacia los alcantarillados.

Aguas Residuales Combinadas.- Son la mezcla de las --- aguas residuales, domésticas y aguas pluviales cuando todas estas corrientes son conectadas en el mismo alcantarillado.

Desechos Industriales.- Son los desechos de los procesos de manufactura. Estos desechos pueden ser colectados y tratados por las mismas plantas manufactureras o pueden descargarse - una parte a las aguas residuales combinadas.

Sólidos Suspendidos.- Son aquellas partículas que son visibles y se encuentra en suspensión en las aguas de desecho. - Estos pueden ser removidos de las aguas residuales por medios físicos y mecánicos tales como rejillas o por filtración. Estos sólidos

lidos incluyen partículas flotantes; así como materia fecal, papeles, desechos de madera, partículas de comida y basura. Todo esto representa alrededor del 85% de sólidos orgánicos y el 15% de sólidos inorgánicos. Los sólidos suspendidos se dividen en -- dos partes; sólidos sedimentables y sólidos coloidales.

Sólidos Sedimentables.- Es aquella parte de los sólidos suspendidos que pueden ser lo suficientemente grande y pesados para sedimentar en un período de tiempo dado, alrededor de una hora. Los sólidos sedimentables son generalmente reportados en mililitros de sólidos por litro de agua residual. Esto nos representa un 75% de materia orgánica y 25 % de materia inorgánica.

Sólidos Disueltos.- Es un término comúnmente usado en aguas residuales pero notécticamente correcto. Todos los sólidos son reportados como sólidos disueltos los cuales no nos representan una solución verdadera y además incluyen sólidos en el estado coloidal. Del total de sólidos disueltos cerca del 90% son una solución verdadera y el resto son sólidos en estado coloidal.- Los sólidos como todo son alrededor del 40% sólidos orgánicos y el 60% sólidos inorgánicos.

Sólidos Totales.- Incluyen todos los sólidos constituyentes de las aguas residuales. Nos representa el total de los sólidos orgánicos e inorgánicos o el total de los sólidos disueltos y suspendidos.

Demanda Bioquímica de Oxígeno.- (DBO) Es la más impor-

tante prueba que puede ser llevada a cabo en aguas residuales - y la única que da la más importante información del poder de -- descomposición de las aguas residuales. Y nos representa la can tidad de oxígeno requerido para degradar la materia orgánica - presente en un cuerpo de aguas en un tiempo dado, y a una deter minada temperatura; generalmente se hace incubando la muestra - cinco días a 20°C.

Demanda Química de Oxígeno.- Es una medida de la can tidad de oxígeno consumido, donde el oxígeno proviene de sustan cias químicas tales como permanganato de potasio o dicromato de potasio. La Demanda Química de Oxígeno (DQO), es una medida de la cantidad de oxígeno requerido para completar la oxidación de toda materia orgánica e inorgánica, la DBO mide solamente aque lla parte de la materia orgánica que es biológicamente oxidable.

Oxígeno Disuelto.- Es el oxígeno libre, o químicamen te no combinado en agua o aguas residuales. La concentración má xima o nivel de saturación de oxígeno disuelto en aguas esta en rangos normalmente entre 4 a 10 mg/lt. dependiendo de la tempe ratura del agua y de la presión atmosférica.

pH.- Es la medida de la concentración de iones hidró geno en las aguas de desecho e indica el grado de alcalinidad - o acidez de las aguas residuales. El valor de pH=7 es el punto neutral. Menor de 7 representa condición ácida, mientras que -- arriba de 7 es condición alcalina.

Bacteria.- Son organismos vivientes microscópicos en tamaño, los cuales consisten en una simple célula, con vida y funciones similares a los procesos de las plantas.

Bacteria Aeróbicas.- Son microorganismos que requieren para su subsistencia el oxígeno. Las bacterias que no pueden existir en presencia de oxígeno disuelto son llamadas bacterias anaeróbicas.

Bacterias Facultativas.- Son bacterias que se pueden ajustar a condiciones aeróbicas y anaeróbicas.

3.- Número y Capacidades de las Cervecerías existentes en el país.

✓ La Industria Cervecera Mexicana ha incrementado su producción en los últimos años, con el consiguiente aumento de los volúmenes de desechos contaminantes; de allí la necesidad de conocer los efluentes de esta industria para clasificarlos y darles el tratamiento adecuado, para contribuir al mejoramiento del ambiente. *CONTAMINANTES de una Cervecería*

En México se encuentran tres grandes compañías productoras de cerveza que son:

a) Cervecería Cuauhtémoc S.A.- Con sus oficinas generales en la Ciudad de Monterrey Nuevo León. Opera cervecerías en Méxido D.F; Toluca México; Tecate Baja California; Guadalajara Jalisco; Monterrey Nuevo León; Culiacán Sinaloa y Nogales Ve

racruz. Con una capacidad total de estas plantas de 7,160,000 - barriles/año, (8,398,680 hectólitros/año).

b) Cervecería Modelo S.A.- Con sus oficinas generales en la Ciudad de México D.F. opera cervecerías en México D.F.; - Guadalajara Jalisco; Mazatlán Sinaloa; Ciudad Obregón Sonora y - Torreón Coahuila. Con una capacidad total de estas plantas de - 8,425,000 barriles/año (9,882,525 hectólitros/año).

c) Cervecería Moctezuma.- Con sus oficinas genera les- en México D.F. opera cervecerías en: Orizaba Veracruz; Guadala- jara Jalisco; y Monterrey Nuevo León. Con una capacidad total - de estas fábricas de 7,616,000 barriles/año (8,933,568 hectóli- tros/año).

Asimismo se encuentran dos plantas que están fuera de la esfera de estas compañías, tales fábricas son:

1.- Cervecería Cruz Blanca.- Que se encuentra en Ciu- dad Juárez Chihuahua, con una capacidad de 400,000 barriles/año (469,200 hectólitros/año).

2.- Cervecería Yucateca S.A.- Que se encuentra en Mé- rida Yucatán, con una capacidad de 500,000 barriles/año, ----- (586,500 hectólitros/año).

Viendo el panorama de esta industria en México, con - una capacidad de todas las plantas de 24,101,000 barriles/año,- (28,270,473 hectólitros/año), de cerveza, es fácil de compren- der que el agua es básica para la elaboración de este producto;

se emplean grandes cantidades de ella en las plantas. Se ha calculado que por cada barril de producto terminado se requieren de 11 a 12 barriles de agua. Naturalmente muy poca de esta agua queda en la cerveza, la mayoría se utiliza en diversas operaciones; que al realizarlas el agua va a dar a los drenajes con determinadas cantidades de contaminantes.

#### 4.- Proceso de Fabricación de Cerveza. *agui*

Se considera apropiado explicar en forma general y somera el proceso de fabricación de cerveza, por la relación que guarda en toda y cada una de sus partes del estudio.

En la elaboración de cerveza se utilizan como materias primas agua, malta, adjuntos, lúpulo y levadura.

El agua empleada en la elaboración de cerveza debe ser potable, con determinado contenido de sales y un estricto control sobre su alcalinidad; las aguas defectuosas pueden ser acondicionadas para utilizarse en las cervecerías. *agui*

La malta es cebada limpia, seleccionada y tratada científicamente para que pueda producir los elementos necesarios en la elaboración de cerveza.

Los adjuntos son cereales no malteados y se usan como complemento extractivo de las maltas en la elaboración del mosto. Entre los adjuntos más empleados tenemos: arroz, maíz, maimilo, Fino Real, etc.

El lúpulo es materia prima necesaria en la elabora-

ción de cerveza. Es una formación coniforme compuesta por los racimos de flores de la planta femenina. Los conos de lúpulo suministran taninos de tipo piragalol y catecol, resinas, aceites -- esenciales y otros constituyentes.

Los taninos son importantes porque precipitan las proteínas inestables durante la ebullición del mosto. Las resinas -- confieren sabor amargo y estabilidad a la cerveza; están integradas por alfa y beta resinas (blandas) y la gama resina (dura), -- conteniendo humolona, lupulona y cohumulona. Los aceites esenciales tales como mirceno, linalol, geraniol, humuleno, etc., proporcionan su aroma al lúpulo. Con el fin de preservar el aroma y resinas, el lúpulo es almacenado a temperaturas bajas y ambiente seco; la temperatura adecuada de almacenamiento es de 0°C. Para prevenir oxidaciones, el lúpulo es comprimido en cilindros de metal o pacas, siendo así mínima la superficie expuesta al aire. -- Bajo condiciones de buen almacenaje el lúpulo puede conservar -- sin merma de su calidad por espacio de dos años.

En la fabricación de cerveza comúnmente se emplea levadura del tipo *Saccaromyces Cerevisae* o *Saccaromyces Karlbergensis*. La selección de la variedad influye sobre el carácter de la cerveza obtenida.

- ✓ Las distintas etapas de la elaboración son:
- a) Molienda y Pesada de los ingredientes.
  - b) Cocción y Maceración.

- c) Filtración del mosto.
- d) Ebullición y Lupulación del mosto.
- e) Enfriamiento del mosto.
- f) Fermentación.
- g) Reposo.
- h) Terminación.
- i) Envasado.

*aquí*

a) Molienda y Pesada. - Tiene como finalidad romper el grano de malta a tamaños de partículas tales que permitan una fácil extracción de sus componentes y una conveniente filtración posterior del mosto. En básculas separadas se pesan las cantidades adecuadas de adjuntos y malta molida para un cocimiento. - Una cantidad medida de malta pasa al macerador y otra más pequeña se añade al cocedor para lograr la licuefacción de los almidones de los adjuntos.

b) Cocción y Maceración. - La cocción se lleva a cabo generalmente en un recipiente que recibe el nombre de cocedor. - Esta provisto de un agitador mecánico y de chaqueta de calentamiento. Primeramente se carga con una porción adecuada de agua y, a continuación, se le adiciona la cantidad de adjunto para un cocimiento así como una pequeña cantidad de malta. Siguiendo un proceso adecuado de elevación de temperatura se logra la gelatinización de los almidones de los adjuntos. El almidón que contie

nen los adjuntos usados está en estado insoluble y no puede ser convertido directamente. Sufre un pretratamiento en el cocedor. Es previamente licuado por ebullición con malta. La reacción -- existente además de la licuefacción de los adjuntos, es la conversión total del almidón de la malta y una pequeña parte del almidón de los adjuntos a azúcar y dextrina. Posteriormente en el macerador se logra la conversión total de los almidones de los adjuntos.

La operación de maceración se realiza en un tanque si milar al cocedor. Una vez puesta la cantidad adecuada de agua, se le adiciona la totalidad de la malta molida. Su función es -- que a determinada temperatura se logre primeramente la peptonización de los complejos proteícos por medios enzimáticos en proteínas de constitución sencilla y aumentar la cantidad de proteínas solubles en el mosto. Logrado lo anterior el contenido -- del cocedor se pasa al macerador, causando la temperatura de -- ebullición que trae consigo esta carga, la elevación de la temperatura alcanzada por la mezcla; se realiza la sacarificación de los almidones, es decir son transformados por medios enzimáticos en azúcares fermentables y dextrinas.

c) Filtración del Mosto. - Se lleva en un filtro LAU-- TER-TUB, el cual consiste en un tanque cilíndrico de fondo falso, encima del cual sedimenta el bagazo de malta que ha sido -- cargado al filtro con el material proveniente del macerador. El

mosto fluye a través de la cama filtrante formada por el bagazo de malta, quedando de esta manera limpio. El mosto es bombeado hacia la olla. Al bagazo o masilla, se le hacen lavados sucesivos hasta reducir a un mínimo su contenido de extracto aprovechable, siendo las aguas resultantes de estos lavados bombeadas hacia la olla de cocimientos. Agotado el bagazo, se envía hacia tolvas especiales donde se expende como alimento para ganado.

d) Ebullición y Lupulación del Mosto.- Después de filtrado, el mosto recolectado en la olla es sometido a ebullición vigorosa y constante, agregándosele el lúpulo. Los objetivos más importantes a lograr en la olla son:

- a) Coagulación de las proteínas.
- b) Esterilización del mosto por medio de la ebullición.
- c) Destrucción total de las enzimas.
- d) Extracción de las sustancias del lúpulo.
- e) Precipitación de las proteínas, gomas y resinas indeseables.
- f) Concentración adecuada del mosto.

De la olla, el mosto ya lupulado se descarga a través de un separador de la hoja del lúpulo y cae a un tanque donde por medio de la fuerza centrífuga originada por la entrada tangencial del mosto al tanque, se separan la mayor parte de los -

sólidos en suspensión. El acumulamiento de estos sólidos en el fondo y en el centro del tanque permite más tarde sacar el mosto limpio.

e) Enfriamiento del Mosto. - Es un sencillo cambiador de calor, donde por medio de un flujo a contracorriente del mosto caliente y agua fría, se abate la temperatura del mosto a la deseada. Saliendo del enfriador, se le inyecta al mosto aire estéril y levadura en proporciones adecuadas para la fermentación.

f) Fermentación. - En los tanques de fermentación se transforma por acción de la levadura los azúcares fermentables principalmente en alcohol etílico y gas carbónico. Se mantiene un estricto control de la temperatura para evitar desviaciones en la fermentación. Dicho control se logra por medio de un serpentín colocado en el interior del tanque, por el interior del cual circula un líquido refrigerante.

Al finalizar la fermentación se abate la temperatura hasta aproximadamente 0°C, provocándose con esto la sedimentación de la levadura, la cual se deposita en el fondo del tanque en una cantidad tres o cuatro veces mayor a la que se inyectó al mosto. Al trasegarse la cerveza hacía reposo, se arrastra una cantidad adecuada de levadura para terminar su acción en reposo. Al salir de fermentación, el líquido ya es cerveza a la cual le falta la madurez y característica que obtendrá durante el tiempo de reposo.

g) Reposo. - El producto procedente de los fermentadores se llama cerveza; la cual aún contiene en suspensión materias indeseables, tales como sustancias nitrogenadas coaguladas, resinas, células de levadura, fosfatos insolubles y otros compuestos.

En reposo pasan los siguientes cambios:

La maduración del sabor el cual incluye la separación y precipitación de una parte considerable de las alfa resinas - y de las proteínas solubles inestables y no permanentes que están en estado disuelto; la clarificación de la cerveza a través de la sedimentación. Los tanques de reposo no tienen contrapresión. La duración de la cerveza en reposo es de aproximadamente tres semanas.

h) Terminación. - Consta de enfriamiento, filtración y carbonatación de la cerveza. Esta operación se realiza después que la cerveza ha tenido el reposo adecuado, la cerveza ya filtrada y carbonatada, es almacenada para su envasado en tanques denominados de verificación ó gobierno.

i) Envasado. - La cerveza terminada es enviada a las máquinas llenadoras donde es envasada en botellas y latas cilíndricas. Ya puestas sus tapas respectivas, pasan a la pasteurización. En este proceso por medio del cambio brusco de temperatura de 0 a 70°C; las bacterias son muertas o inhibidas. Después del pasteurizado pasan al etiquetado y empaquetado para ser enviadas al mercado.



### C A P I T U L O    I I I

#### DESCRIPCION DE LOS EFLUENTES DE CONTAMINACION DE UNA CERVECERIA

✓ 1.- Principales efluentes contaminantes de una cerveceria.

El proceso cervecero como ya se vió consiste en un número de operaciones por etapas, cada una contribuye para el total de los desechos descargados de la planta. La potencia y característica de la composición de los desechos pueden variar -- grandemente durante el curso del día y hora, al ser descargados los efluentes a los alcantarillados; esta variación en potencia y composición puede causar considerables dificultades al medio-ambiente.

Existe una variación considerable en potencia y cantidad de los efluentes entre una cerveceria y otra. Clasificando las fuentes principales de los efluentes nos sirve como guía general para identificar las etapas del proceso que contribuyen -- significativamente a la carga total de los efluentes. La siguiente tabla nos indica las etapas del proceso y las características generales de los desechos.

→ 2.- Peculiaridad de los desechos de una cerveceria.

Los desechos líquidos cerveceros se caracterizan por tener:

a).- Volúmen o gasto del efluente, variable.

TABLA 1.- PRINCIPALES FUENTES DE GENERACION DE AGUAS RESIDUALES EN UNA FABRICA DE - CERVEZA.

FUENTE	OPERACION	CARACTERISTICAS
MACERADOR	Elevación de temperatura de mezcla malta y adjuntos para conversión de almidones a azúcares-fermentables.	Celulosa, azúcares, algunos aminoácidos.
EXTRACTOR (Filtro de mosto)	Filtración del mosto y lavado de los granos hasta agotar su extracto.	Celulosa, azúcares, algo de granos agotados, que pueden ser altos en sólidos suspendidos.
OLLA	Enjuague de la olla	Celulosa, residuos nitrogenados y lúpulo.
SEPARADOR DE LUPULO	Desgarga de las hojas de lúpulo agotado y enjuague.	Lúpulo agotado, -- proteínas, algunos azúcares cantidad-excesiva de sólidos suspendidos.
TANQUE DE MOSTO CALIENTE.	Desgarga del "trub" y lavado.	Mosto, sedimento -- de proteínas, altos en sólidos suspendidos.
TANQUES DE FERMENTACION	Lavado de tanques	Levadura, solución caústica, cantidad excesiva de sólidos suspendidos.
TANQUES DE REPOSO	Lavado de tanques	Cerveza, levadura, proteínas, altos -- en sólidos suspendidos.
FILTROS	Lavado del filtro	Cerveza, levadura, y materiales filtrantes (tierras -- diátomitas) altos -- en sólidos suspendidos.
LAVADORA DE BOTELLAS	Descargas de la -- operación de lavado de botellas.	pH alto, sólidos -- suspendidos alto, -- y DBO alto.
SANITARIOS Y VARIOS	Descarga de solución de limpieza, aguas de limpieza de pisos, -- agua caliente, etc.	Temperatura alta, -- bajo en sólidos -- suspendidos y DBO.

- b).- pH variable.
- c).- Color, claro, grisáceo, amarillento, café.
- d).- Olor agradable y en otras ocasiones desagradable.
- e).- Temperatura, fría tibia, caliente.
- f).- Materia orgánica.
- g).- Sólidos, de características variables.
- h).- Grasas y aceites, considerables.
- i).- Sustancias tóxicas en forma parcial.
- j).- Aporte departamental variable.

La mayor parte de la carga contaminante proviene de las operaciones de elaboración de mosto y de la fermentación, mientras que gran parte del volúmen del líquido se origina en las operaciones de envasado, pasteurización, lavado de equipos.

Su contenido es principalmente orgánico habiendo un exceso de materia carbónica en relación con la nitrogenada y fosforada, lo cual la hace un poco deficiente para los procesos de tratamiento biológico. Contiene una gran cantidad de sólidos disueltos y suspendidos, si bien estos últimos sedimentan en proporción elevada y de manera mas o menos rápida.

No existen generalmente sustancias tóxicas, aunque en ciertas cervecerías es práctica corriente, evitar la corrosión de ciertos equipos con sales de cromo hexavalente que se considera un veneno y que en ocasiones puede descargarse al drenaje.

3.- Parámetros para el control de la calidad del agua y su importancia relativa.

La más importante necesidad para atacar y resolver el problema de los desechos industriales contaminantes, es un reconocimiento completo de las características de los residuos o de los efluentes que van a ser tratados y un estudio minucioso. -- Una simple observación a una corriente de desechos en particu-- lar no es satisfactoria para resolver el problema, sino que se requiere de un análisis completo de esa corriente, ya que no se puede definir si su color está en los rangos establecidos, o si su excesiva carga de sólidos y el tamaño general de los mismos pueden ser removidos. Otros factores contaminantes que intervienen son: la acidez, la alcalinidad, constituyentes químicos, -- sustancias tóxicas, las cuales afectan también el uso de la co-- rriente para cualquier propósito.

Una vez establecida la peculiaridad de los desechos - líquidos de la cerveceria, se establecen los parámetros y los - métodos que se utilizan para su medición y evaluación.

Se consideran los siguientes parámetros para medir el grado de contaminación de estos efluentes. *aquí*

- a).- Volúmen o gasto.
- b).- pH.
- c).- Temperatura.
- d).- Sólidos sedimentables.
- e).- Sólidos suspendidos totales.

f).- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

g).- Demanda Química de oxígeno (DQO).

h).- Grasas y aceites.

i).- Conductividad específica.

✓ a).- Volúmen o gasto.-

Aforos de corrientes.- Se llama aforo a las mediciones u operaciones que se realizan para conocer el gasto o volúmen de agua que pasa por la sección transversal de una corriente en la unidad de tiempo.

Los métodos para la medición de gastos en corrientes de aguas dependen del volúmen de la corriente, de las condiciones físicas del lugar donde se vaya a hacer la medición y del grado de exactitud deseado.

Los métodos mas comúnmente empleados son los siguientes:

Medidor de tipo molinete, el cálculo por medio del radio hidráulico, pendiente del conducto y tirante o nivel del agua. <sup>que</sup> En este estudio se utilizó el de tipo molinete.

Molinete.- Es un aparato provisto de una hélice o una rueda de copas, que accionado por la corriente gira alrededor de un eje montado en un dispositivo de suspensión, transmitiendo su movimiento a un sistema registrador electrónico, que per-

mite conocer el número de vueltas que da la hélice en un tiempo determinado. En cada aparato la relación entre el número de revoluciones que da la hélice o rueda de copas en un tiempo determinado y la velocidad que lleva la corriente, se conoce por observaciones de laboratorio de tara-molinete.

Para medir la velocidad con el molinete se procede de la siguiente manera:

Se coloca el molinete a la profundidad deseada y se mide con un cronómetro el tiempo que tarda en mandar un número de señales o sonidos determinados a criterio.

El método empleado comúnmente consiste en colocar el molinete a los 6/10 de la profundidad, contados a partir del fondo de la corriente hacia la superficie y en el centro de cada una de las fracciones o segmentos en la sección.

Con el tiempo medido y el número de revoluciones contadas se efectúan las operaciones para obtener la velocidad de acuerdo a la fórmula proporcionada donde se calibró el aparato. Ya calibrado dicho aparato da la siguiente fórmula:

$$v = 0.29276N + 0.019$$

donde: N = Numero de revoluciones en m/seg. y 0.019 factor de corrección.

Cuando ya tenemos la velocidad del caudal medida por medio del molinete, el gasto total es igual a la suma de los gastos parciales medidos para cada segmento.

$A_i$  = Area transversal del segmento.

$V_i$  = Velocidad medida en el centro del segmento.

$Q_i$  = Gasto en la fracción seleccionada.

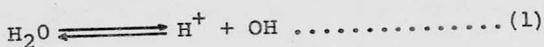
$Q_i = A_i \times V_i$

de donde:  $Q_t = (A_i \times V_i)_1 + (A_i \times V_i)_2 + \dots + (A_i \times V_i)_n$

donde  $n$  = número de segmentos seleccionados en la sección.

✓ b).- Determinación de pH.

Los ácidos y las bases se distinguieron originalmente por su diferencia en el sabor, y posteriormente por la manera como afectaban ciertos materiales que se conocieron como indicadores. Con el descubrimiento del hidrógeno por Enrique Cavendish, en 1766, fue aparente que todos los ácidos lo contenían. Los químicos encontraron pronto que las reacciones de neutralización entre ácidos y bases producían siempre agua. De esto y de otra información relacionada se concluyó que las bases contienen grupos hidróxilo. En la ionización del agua;



La constante de equilibrio se expresa en la siguiente

forma:

$$\frac{(H^+) (OH^-)}{H_2O} = K \dots \dots \dots (2)$$

Tratándose de soluciones acuosas diluidas, la concentración de las moléculas de agua no disociadas puede considerarse como constante, por lo tanto la igualdad anterior toma la --

forma:

$$(\text{H}^+) (\text{OH}^-) = (\text{H}_2\text{O}) K = K_w \text{ ----- (3)}$$

Esta expresión  $K_w$ , referida a temperatura constante, se denomina producto de ionización del agua, y es de gran importancia en las neutralizaciones volumétricas. El producto de ionización del agua  $K_w$ , varía según la temperatura, pero generalmente se toma como base su valor a 25°C y corresponde a  $1 \times 10^{-14}$  (a 0°C,  $K_w = 0.12 \times 10^{-14}$  y a 100°C,  $K_w = 5.2 \times 10^{-14}$ )

como:  $(\text{H}^+) (\text{OH}^-) = K_w = 1 \times 10^{-14} \text{ ----- (4)}$

y en el agua pura:  $(\text{H}^+) = (\text{OH}^-) \text{ ----- (5)}$

tendremos que:  $(\text{H}^+) + (\text{OH}^-) = 10^{-14} \text{ ----- (6)}$

es decir:  $(\text{H}^+) = 10^{-7}$  y  $(\text{OH}^-) = 10^{-7} \text{ ----- (7)}$

La concentración de iones hidrógeno, por razones de comodidad y según fué propuesto por Söerensen (1909) se expresa por el logaritmo común del recíproco de la concentración de dichos iones, expresión que a su vez recibe la forma simplificada de pH:

$$\text{pH} = \log (\text{H}^+) = \log \frac{1}{(\text{H}^+)} \text{ ----- (8)}$$

✓ El símbolo de pH representa el "potencial de iones hidrógeno" o "Exponente de hidrógeno", y ha sido adoptado universalmente por la comodidad que presta para expresar la concentración de iones hidrógeno, o mas precisamente, de la actividad del ión hidrógeno en moles/litro sin necesidad de recurrir a --

anotaciones largas y complicadas; así por ejemplo, la concentración en dichos iones correspondiente a  $1 \times 10^{-8}$  simplemente se indica  $\text{pH} = 8$ . La escala práctica del  $\text{pH}$  comprende del 0, muy -- ácida al 14 muy alcalino con el valor medio de 7 que corresponde a la neutralidad exacta a  $25^\circ\text{C}$ . *aprox*

Para la determinación del  $\text{pH}$  en este estudio se usó el método electrométrico. Este método usa electrodos de vidrio, uno de referencia y otro para el compensador de temperatura con un potenciómetro comercial.

Este potenciómetro es capaz de medir el  $\text{pH}$  de una agua dentro del intervalo de 0 a 14. Este potenciómetro debe calibrarse con una solución reguladora patrón cuyo  $\text{pH}$  se encuentre cerca de aquél que se desea medir y comprobarse usando cuando menos -- otras dos soluciones de  $\text{pH}$  diferente. Una vez ajustado y comprobado el aparato, se retira el recipiente con la solución patrón y se lavan los electrodos con agua destilada, a continuación se efectúa la determinación del  $\text{pH}$  de la muestra.

#### ✓ c).- Temperatura.-

El concepto de temperatura se refiere a la propiedad termodinámica que determina la existencia o la inexistencia de equilibrio térmico entre dos o más sistemas.

Esta propiedad influye notablemente en las características físicas y bioquímicas de los cuerpos de agua. Es por esto que es importante su determinación en cualquier intento de eva-

luar la calidad de las aguas. Su importancia puede resumirse bajo los siguientes aspectos:

a).- Es un elemento fundamental en el ciclo hidrológico, influyendo principalmente en la evaporación y transpiración.

b).- La temperatura de los cuerpos de agua influye directamente en los procesos de autopurificación de los desechos vertidos.

c).- La temperatura tanto del agua como del aire y --- otros factores climatológicos, gobiernan la disipación de calor de los cuerpos de agua, lo cual es especialmente importante cuando estos se encuentran sujetos a descargas térmicas.

d).- La temperatura del agua es importante para la conservación de la vida acuática.

e).- Parámetros físicos y químicos que tienen importancia sanitaria, son influenciados por la temperatura.

Desde el punto de vista sanitario merecen especial consideración los efectos de la temperatura en los procesos de autopurificación. De los distintos tipos de desechos, la temperatura juega sin duda un papel fundamental en la autopurificación de -- los desechos orgánicos; afectando simultáneamente la rapidez de estabilización de la materia orgánica, el nivel de saturación -- del oxígeno disuelto y la rapidez de aereación.

Equipo y procedimiento.- El equipo normal consta de un termómetro de mercurio, con un ámbito aproximadamente de -10 a -

200 grados C. Esto será suficiente para muchos fines generales. La escala debe estar subdividida en 0.5 grados C., o en 1 grado C., para facilitar la lectura. Los termómetros de campo deben estar provistos de un estuche metálico para evitar roturas.

Los termómetros se calibran ya sea para "inmersión total" o para "Inmersión parcial". Los termómetros de inmersión total deben sumergirse completamente en el agua para registrar la temperatura completa. Los termómetros de inmersión parcial, por otro lado, deben sumergirse en el agua hasta la profundidad del círculo -- grabado que aparece alrededor de la varilla abajo del nivel de la escala. Las lecturas deben hacerse con el termómetro sumergido en el agua, después de haberla agitado uniformemente, con el objeto de que el sistema esté a una temperatura constante. Este dato debe ser representativo de la temperatura de la corriente en el tiempo en que se colecta la muestra. Por consiguiente, la temperatura debe tomarse en el punto de muestreo.

La temperatura de aguas residuales domésticas, efluentes y desechos en el momento de muestreo, se debe aproximar a -- grados enteros.

d).- Sólidos sedimentables.

Este término se aplica a los sólidos en suspensión -- que se sedimentan por influencia de la gravedad; solo se sedimentan los sólidos suspendidos mas gruesos con una gravedad es-

pecífica mayor que la del agua. Los lodos son acumulaciones de sólidos sedimentables. Su medida es importante en Ingeniería práctica para determinar la conducta física de las corrientes residuales que entran a las masas de aguas naturales.

La determinación de sólidos sedimentables tiene aplicaciones muy importantes. Primero se usa extensamente en el análisis de aguas residuales industriales, para determinar la necesidad y el diseño de tanques de sedimentación primaria en plantas que emplean procesos de tratamiento biológico. La prueba se usa también, en forma amplia, en la operación de plantas de tratamiento de aguas residuales para determinar la eficiencia de las unidades de sedimentación.

La prueba se efectúa ordinariamente en un cono Imhoff permitiendo un tiempo de sedimentación de 1 hora. Las muestras se deben ajustar casi a la temperatura ambiente, y deben llevarse a cabo en lugares en donde la luz directa del sol no interfiera con la sedimentación normal de los sólidos. *oquí*

Procedimiento: 1).- Se vierte 1 litro de aguas residuales en un cono Imhoff y se deja que los sólidos sedimenten 45 min.

2).- Se agitan suavemente los lodos del cono con un agitador o por rotación para que sedimenten los sólidos adheridos a los lados, a los 45 minutos aproximadamente.

3).- Se deja que se sedimenten por 15 minutos mas.

4).- Se leen los sólidos sedimentables directamente - en ml./litro.

✓ e).- Sólidos suspendidos totales.-

La determinación de sólidos suspendidos es extremadamente valiosa en los análisis de aguas contaminadas y de aguas-residuales. Es uno de los mejores parámetros usados para valorar la concentración de las aguas residuales y para determinar la eficiencia de las unidades de tratamiento. En el trabajo de control de la contaminación de corrientes, se considera que todos los sólidos suspendidos, son sólidos sedimentables, no siendo el tiempo un factor limitante. (La sedimentación se espera que ocurra a través de la floculación biológica y química; de aquí que la medida de sólidos suspendidos se considere tan significativa como la demanda Bioquímica de Oxígeno).

La determinación de sólidos suspendidos está sujeta a errores considerables si no se toman las precauciones adecuadas. Usualmente el tamaño de muestra se limita a 50 ml. o menos, debido a las dificultades encontradas para filtrar muestras mayores. El peso de los sólidos removidos raras veces excede de 20-mg., y a menudo es menor de 10 mg., errores pequeños en la pesada o pérdidas del borde del filtro, pueden ser bastante significativos.

Determinación de sólidos suspendidos totales.-

## 1).- Preparación del disco para filtrar.-

Colocar un disco de fibra de vidrio para filtrar en un crisol Gooch, con la superficie arrugada mirando hacia arriba, - teniendo cuidado de que el disco se coloque en el fondo del crisol y cubra perfectamente las perforaciones. Colocar el crisol con el filtro en un aparato de filtración y aplicar vacío.

Con el vacío aplicado, lavar el disco con agua destilada. Después que el agua se ha filtrado, desconectar el vacío y colocar el crisol con el filtro a una estufa a 103 grados C., - por una hora; enseguida pasar el crisol a una mufla y calcinar a 550 grados C., por 15 min. Sacar el crisol del horno, colocarlo en un desecador que se enfríe a la temperatura ambiente y -- luego pesar (A).

2).- Tratamiento de la muestra.-

Excepto para las muestras que contienen una concentración muy elevada de sólidos suspendidos o para filtros muy lentos seleccionar un volumen de muestra que sea igual a 14 ml.

Colocar el crisol con el disco en el aparato de filtración con el vacío aplicado, humedecer el disco con agua destilada para colocarlo contra el crisol Gooch. Medir el volumen seleccionado de muestra bien mezclada con una pipeta volumétrica matraz volumétrico o probeta.

Se filtra la muestra a través del disco, usando succión. Dejando la succión, lavar el aparato tres veces con por--

ciones de 10 ml. de agua destilada, permitiendo un drenado completo entre los lavados. Interrumpa la succión, remueva el crisol de Gooch y secarlo a 103 grados C. por una hora (30 min. en un horno de convección mecánica). Después del secado, enfriar el crisol en un desecador a la temperatura ambiente, antes de pesarlo en la balanza analítica el peso será igual a (B).

Cálculos:

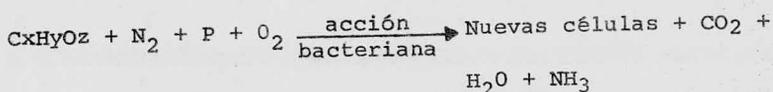
La diferencia entre el peso del crisol antes de filtrar (A) y el peso del crisol después de filtrar (B), da el peso en gramos de sólidos suspendidos totales.

$$\text{ppm de S.S.T.} = \frac{(B-A) \times 1000}{\text{ml. muestra}} = \text{mg/litro.}$$

f).- Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO).-

La prueba analítica de la demanda Bioquímica de oxígeno (DBO); es una estimación de la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica de una muestra de aguas-residuales, por medio de una población microbiana heterogénea.- Esta prueba es un procedimiento de bioensayos que comprende la medida del oxígeno consumido por los organismos vivos (principalmente bacterias) para utilizar como alimento la materia presente en un desecho en condiciones muy similares a las naturales. La degradación de la materia orgánica efectuada por los organismos antes mencionados en condiciones aerobias, es llevada-hasta una oxidación completa, es decir hasta dióxido de carbono,

agua y amoníaco, como se ilustra en la reacción siguiente:



La cantidad de oxígeno requerido para dicha oxidación se determina por la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y el oxígeno disuelto al cabo de 5 días de incubación a 20 grados C.

Teóricamente se requiere un tiempo infinito para la oxidación completa biológica de la materia orgánica, pero para los fines prácticos, la reacción se puede considerar completa a los 20 días. Sin embargo, un período de 20 días todavía es grande para esperar resultados en la mayoría de los casos. Se ha encontrado, por experiencia, que un porcentaje razonablemente grande de la D.B.O. total se logra en 5 días, aproximadamente el 70 - 80% en aguas residuales domésticas, por consiguiente el período de cinco días se ha aceptado como modelo.

La demanda de oxígeno de las aguas residuales y de los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o industriales es ejercida por tres clases de materiales: (a).- Material orgánico carbonoso utilizable como fuente de alimento por los organismos aeróbicos, (b).- nitrógeno oxidable derivado de nitritos, amoníaco y compuesto de nitrógeno orgánico que sirven como alimentos para bacterias específicas --

(nitrosomas y nitrobacter) y (c).- ciertos compuestos químicos-reductores (hierro ferroso, sulfitos, sulfuros y aldehidos) que reaccionan con el oxígeno disuelto molecular, en aguas residuales domésticas crudas y sedimentadas, gran parte de la demanda de oxígeno se debe a la primer clase de materiales y se determina por la prueba de la demanda bioquímica de oxígeno antes mencionada. En efluentes tratados biológicamente, una proporción considerable de la demanda de oxígeno puede ser debida a la -- oxidación de los compuestos de la clase (b) y también se incluyen en la prueba de D.B.O. Los materiales existentes de la clase (c) no pueden ser incluidas en la prueba de D.B.O. pero deben tomarse en cuenta. *aquí*

En términos matemáticos se ha establecido que la cinética de la reacción de DBO es de primer orden porque la velocidad de reacción es proporcional a la cantidad de materia orgánica oxidable remanente y es modificada por la población de organismos activos. Una vez que la población de organismos ha alcanzado un nivel en el cual se presentan solo pequeñas variaciones, la velocidad de la reacción se controla por la cantidad de alimento utilizable por los organismos y se puede expresar como sigue:

$$\frac{-dc}{dt} \propto c \quad \text{o} \quad \frac{-dc}{dt} = K'c \text{ ----- (1)}$$

Donde:  $c$  = Concentración de materia orgánica oxidable al --- principio del intervalo de tiempo  $t$ .

$K'$  = Constante de proporcionalidad de la reacción.

Ahora bien, para muchas consideraciones de DBO es con tumbre usar  $L$  en lugar de  $c$ , donde  $L$  representa la demanda máxi ma de oxígeno, y la expresión:

$$\frac{-dL}{dt} = KL \text{ ----- (2)}$$

representa la proporción a la que es destruida la materia orgánica poluente.

Integrando la ecuación (2) entre los límites de  $L$  a  $Y$

$$\frac{-dL}{dt} = KL; \quad \frac{dL}{dt} = -KL;$$

Tenemos que:

$$\frac{dL}{dt} = -KL \quad \frac{dL}{L} = -K dt$$

por lo tanto:

$$\int \frac{dL}{L} = -K \int dt ; \log_e L \Big|_1^y = -Kt \Big|_0^t ; \log_e \frac{y}{L} = -Kt$$

$$\frac{y}{L} = e^{-kt} \text{ o sea: } y = L e^{-kt} \text{ ----- (3)}$$

donde  $y$  es la materia orgánica presente al tiempo  $t$ , que falta por oxidarse; La cantidad que ha sido oxidada es:  $L - y$ , o lo que es lo mismo:

$$L - y = L (1 - e^{-kt}) \text{ o sea:}$$

$$D.B.O. = L (1 - e^{-kt}) \text{ ----- (4) } \text{no}$$

La curva típica de desarrollo de la D.B.O. es como se indica en la figura:

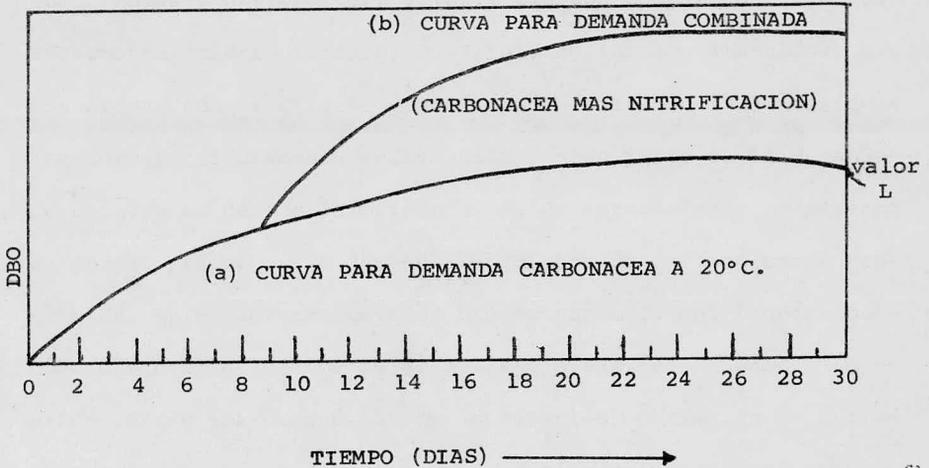


FIGURA # 1

En la figura No. 1.- La curva DBO (a) curva normal para la oxidación de la materia orgánica (b) la influencia de la nitrificación.

La nitrificación comienza entre los 8 y 10 días en una prueba regular de D.B.O. y esta es una de las principales razones para seleccionar un período de incubación de 5 días, para evitar interferencias por D.B.O. debido a la nitrificación.

Importancia de los datos de D.B.O.- Existen muchas aplicaciones, entre las mas importantes está el hecho de que es el principal criterio en que se basa para el control de la contaminación de corrientes donde se deben mantener niveles dados de oxígeno disuelto; otra es el hecho de que esta determinación se usa en estudios para medir la capacidad purificadora de ma--

sas de agua y como medio regulador para los efluentes descargados en tales aguas. *agua*

Determinación analítica de la D.B.O.

Para la determinación analítica de la demanda bioquímica de oxígeno se va a utilizar el método de los frascos de incubación. Este método consiste principalmente en encontrar la diferencia ente el oxígeno disuelto inicial presente en una muestra de agua y el oxígeno disuelto residual en la misma muestra, después de la incubación a 20 grados C., durante 5 días. Esta diferencia u oxígeno consumido, es lo que se denomina D.B.O. en 5 días o  $DBO_5$ .

Material de análisis.

Frascos de incubación: de 250 a 300 ml. con tapón esmerilado. Los frascos se han de limpiar y enjuagar cuidadosamente teniendo la precaución de evitar la introducción del aire. Para evitar la entrada de aire dentro de los frascos durante la incubación, se recomienda mantener las bocas cónicas, llenas con la misma agua de dilución, para proporcionar un cierre hermético (sello hidráulico).

Aparatos:

Incubadora con ámbitos de 5 - 50 grados C., refrigerador, estufa a 120 grados C.

Reactivos:

Agua destilada: El agua que se utiliza para la prepa-

ración de las soluciones y para el agua de dilución debe ser de la mas alta calidad.

Solución I: amortiguadora

8.5 de fosfato diácido de potasio ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )

21.75 g. de fosfato ácido de potasio ( $\text{K}_2\text{H PO}_4$ )

33.4 g. de fosfato ácido de sodio ( $\text{Na}_2 \text{H PO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ )

1.7 g. de cloruro de amonio ( $\text{NH}_4 \text{Cl}$ ).

Disolver todo en agua destilada hasta 1 litro. El pH-  
de esta solución debe ser de 7.2.

Solución II.- Solución de sulfato de magnesio

Disolver 22.5 g. de sulfato de magnesio ( $\text{Mg SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )

en agua destilada y diluir hasta 1 litro.

Solución III: Solución de cloruro de calcio:

Disolver 27.5 g. de cloruro de calcio ( $\text{Ca Cl}_2$ ) anhidro  
disolver en agua destilada hasta 1 litro.

Solución IV.- Solución de cloruro férrico:

Disolver 0.25 g. de  $\text{Fe Cl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  en agua destilada y  
diluir a 1 litro.

Solución ácidos y álcalis 1.0 N.

Se utilizan estas soluciones para la utilización de -  
muestras de desecho que sean caústicas ó ácidas.

Solución de sulfito de sodio 0.025 N.

Se disuelven 1.575 g. de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  en un litro de agua -  
destilada. Esta solución es inestable y debe prepararse diaria-

mente.

#### Agua de Dilución:

El agua destilada que se use para este propósito se debe conservar en frascos con tapón de algodón, por un tiempo suficiente para que se sature de oxígeno (oxígeno disponible). Se puede también aerear el agua por agitación o por medio de una corriente de aire comprimido. El agua de dilución se obtiene: por cada litro 1 ml. de las soluciones I, II, III y IV. El agua así preparada debe mantenerse a una temperatura de 20 grados C., como sea posible.

En la determinación de D.B.O. es un factor importante la selección de uninóculo adecuado, en muchos casos, particularmente en desechos de industrias alimenticias, se puede lograr un inóculo satisfactorio a partir del líquido sobrenadante en aguas negras almacenadas durante 24 a 36 hrs., a 20 grados C.

#### ✓ Pretratamiento de las muestras.-

Antes de iniciar el ensayo de D.B.O. es necesario asegurarse de que las muestras cumplan con las condiciones indispensables, para que la oxidación se realice en forma normal. La acidez y la alcalinidad deben neutralizarse a un pH de 7 aproximadamente; si las muestras contienen cloro residual, es a veces suficiente dejarlas en reposo durante una a dos horas antes de realizar el análisis; dado el caso que no desaparezca totalmente el cloro se debe someter a tratamiento cantidades adecuadas de - -

$\text{Na}_2\text{SO}_3$ .

Para evitar la pérdida de oxígeno durante el período de incubación, se reduce el oxígeno disuelto hasta saturación - llevando la muestra a 20 grados C., en un frasco especial lleno y haciéndose pasar una corriente de aire.

Para la determinación de la D.B.O. se vá a utilizar - el método de dilución:

Este método se basa en el concepto fundamental de que la velocidad de la degradación bioquímica orgánica es directamente proporcional a la cantidad de material no oxidado.

Se aerea el agua destilada hasta que se sature con -- oxígeno. Se estima la dilución necesaria para producir un consumo entre 2 y 6 mg/l. después de 5 días de incubación. Las diluciones recomendables son las siguientes:

<u>Tipo de Desecho</u>	<u>D.B.O. en mg/l</u> (estimada)	<u>% de dilución</u>
Desecho industrial concentrado	500 - 5,000	0.1 - 1.0
Aguas residuales domésticas	100 - 500	1.0 - 5.-
Efluentes tratados	20 - 100	5.0 - 25
Aguas superficiales contaminadas	5 - 20	25 - 100

Utilizando como guía el valor estimado de la D.B.O. -

se calculan las diluciones adecuadas para obtener el abatimiento deseado del contenido de oxígeno. *cuanto*

La disminución en un ámbito de 40 - 60% del oxígeno disuelto inicial, dará los resultados mas confiables. Las diluciones que muestran un oxígeno disuelto residual cuando menos de -- 1 mg./l. y un consumo cuando menos de 2 mg./l. se pueden considerar las mas seguras.

Se agrega cuidadosamente el agua de dilución a una probeta graduada de 1 a 2 litro de capacidad, llenar la probeta hasta la mitad procurando no hacer burbujas para evitar la entrada de aire.

Se pone cuidadosamente la cantidad de muestra para hacer la dilución deseada y se diluye al nivel apropiado con el agua de dilución. Se mezcla bien con un agitador de tipo de émbolo evitando también la entrada de aire. Se agrega la dilución mezclada a dos frascos de D.B.O. procurando que el líquido se derrame, se tapa herméticamente evitando las burbujas de aire, determinar en un frasco el oxígeno disuelto inicial y el otro incubarlo.

Si el agua representa el 1% del volúmen total, y se sabe que el oxígeno disuelto es prácticamente cero, el cálculo se debe basar en el oxígeno disuelto en el agua de dilución.

Cálculo: El cálculo de la D.B.O.<sub>5</sub> se determina mediante la siguiente expresión:

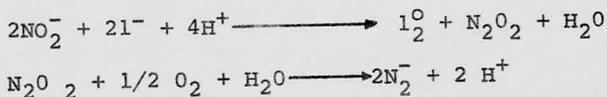
$$D.B.O.5 = \frac{ODi - OD5}{\% \text{ dilución}} = \text{mg/litro}$$

donde: ODi = Oxígeno disuelto inicial

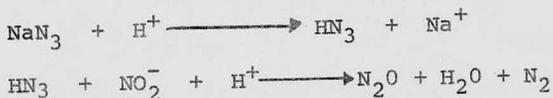
OD<sub>5</sub> = Oxígeno disuelto al cabo de 5 días de incubación a 20 grados C.

Para la determinación de la D.B.O. sirve como base el método para la determinación de oxígeno disuelto.

Determinación de oxígeno disuelto: (Método Winkler modificado).- El ión nitrito es una de las interferencias mas frecuentes en la determinación de oxígeno disuelto. Oxida el I<sup>-</sup> a I<sub>2</sub><sup>o</sup> libre en condiciones ácidas y su forma reducida resultante -- N<sub>2</sub>O<sub>2</sub> es oxidada por el oxígeno que entra a la muestra durante su titulación, convirtiéndose de nuevo NO<sub>2</sub><sup>-</sup> estableciéndose un ciclo que dá resultados erróneamente altos. Las reacciones son como sigue:



Cuando el ión nitrito está presente es imposible tener un punto final permanente. Esta interferencia se elimina por el uso de la azida de sodio (Na N<sub>3</sub>). Cuando se agrega el ácido sulfúrico ocurren las siguientes reacciones:



Reactivos:

a).- Solución de sulfato manganeso:

Disolver 480 g. de  $Mn SO_4 \cdot 4H_2O$  , 400 g. de  $MN SO_4 \cdot 2H_2O$  ó 364 g. de  $Mn SO_4 \cdot 4 H_2O$  en agua destilada, filtrar y diluir a 1 lt. Cuando se tenga incertidumbre por el contenido del agua de cristalización se puede obtener una solución de concentración -- equivalente ajustando su densidad a un valor de 1.270 a 20 grados C. La solución de sulfato manganesos únicamente debe linear huellas de yodo, cuando se agregue a una solución acidulada de yoduro de potasio.

b).- Reactivo de álcali-yoduro azida

Disolver 500 g. de Na OH (ó 700 g. de KOH) y 135 g. de NaI (ó 150 g. de KI) en agua destilada y diluir a 1 litro. A esta solución agregar 10 g. de  $Na N_3$  disueltos en 40 ml. de agua. Indistintamente se pueden usar las sales de sodio ó de potasio. Este reactivo no debe producir coloración en el almidón, cuando se diluya ó acidule.

c).- Acido sulfúrico concentrado.

La concentración de este ácido es aprox. 36 N; por lo tanto 1 ml. equivale a unos 3 ml. de reactivo álcali-yoduro-azida.

d).- Solución de almidón.

En un mortero ó en un vaso preparar una emulsión de 5- a 6 g. de almidón de patata, con una pequeña cantidad de agua -- destilada. Vertir esta emulsión en 1 litro de agua destilada en-

ebullición, continúe hirviendo unos minutos y deje sedimentar - por una noche; emplear el líquido claro sobrenadante y preservar esta solución por la adición de 1.25 g. de ácido salicílico por litro o unas cuantas gotas de tolueno. Conservarse en el refrigerador.

e).- Solución de tiosulfato de sodio (0.10 N)

Disolver 24.82 g. de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  en agua destilada recién hervida y enfriada y diluir a un litro. Presérvese con la adición de 5 ml. de cloroformo ó de 1 g. de NaOH por litro.- En las soluciones de tiosulfato se acelera una descomposición - iniciada cuando son expuestas a la luz y por esto se recomienda conservarlos en frascos ámbar.

f).- Solución valorada de tiosulfato de sodio 0.025 N.

Prepararse bien sea por dilución de 250 ml. de la solución de tiosulfato de sodio (0.10 N) a 1 litro ó por disolución de 6.205 g. de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , en agua destilada recién hervida y enfriada y diluir a 1 litro. La solución valorada de tiosulfato de sodio exactamente 0.025 N equivalente a 0.200 mg. de O.D. por 1 ml.

Procedimiento.-

Para fijar el oxígeno se adicionan, a la botella de D.B.O. conteniendo a la muestra, 2 ml. de sulfato manganeso - - ( $\text{MnSO}_4$ ) con una pipeta graduada cuidando que la misma penetre - aproximadamente 0.5 cm. en el seno del agua.

A continuación se agregan 2 ml. del reactivo denominado álcali-yoduro-nitruro, que es una solución de hidróxido de sodio (NaOH) yoduro de potasio (KI) y nitruro de sodio ( $\text{NaN}_3$ ) la adición se hace de la misma forma que el reactivo anterior.

Al hacer esta adición se forma un precipitado café si hay oxígeno disuelto, en caso negativo el precipitado será blanco. Una vez formado el precipitado café se tapa la botella de D. B.O. y se agita vigorosamente durante unos 30 seg. después de lo cual se deja sedimentar el precipitado. Finalmente se adicionan 2 ml. de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) concentrado y se agita hasta la total disolución del precipitado. Con esto el oxígeno fijado queda disuelto.

Pasar una alícuota de 100 ml. a un matraz erlenmeyer de 250 ml. y titular con la solución valorada de tiosulfato de sodio 0.025 N hasta un color amarillo paja pálido. Agregar 1 - 2 ml. de almidón y continuar la titulación hasta la primera desaparición del color azul.

Cálculos:

$$\text{ppm de O.D.} = \frac{\text{Ml. de tiosulfato} \times \text{N} \times \text{Eq.} \times 1000}{\text{Vol. muestra (ml.)}}$$

Donde:

N = Normalidad del tiosulfato.

Eq = Peso equivalente del oxígeno.

Corrección por la adición de reactivos:

Reactivos agregados: 4 ml. (2 ml. de sulfato manganeso + 2 ml. de álcali-yoduro-nitrato) en 300 ml. de muestra original.

Si se pipetea 100 ml. de muestra:

$$\frac{300}{300-4} = \frac{100}{X} = ; X = 98.7$$

Sustituyendo y rectificando el volúmen de muestra;

$$\text{ppm de O.D.} = \frac{\text{ml. de tiosulfato} \times 0.025 \text{ N} \times 8 \times 1000}{98.7}$$

$$\text{Factor constante:} = \frac{0.025 \times 8 \times 1000}{98.7} = 2.03$$

$$\text{ppm de O.D.} = \text{ml. de tiosulfato} \times 2.03$$

✓ g).- Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.)

La determinación de la demanda química de Oxígeno -- (D.Q.O.) proporciona la medida del oxígeno que es equivalente a la porción de materia orgánica e inorgánica, presente en una -- muestra de agua, capaz de oxidarse por procedimientos químicos-- (oxidante fuerte).

Una de sus principales limitaciones es su incapacidad para diferenciar la materia orgánica biológicamente oxidable y la inerte. Además no proporciona una evidencia de la velocidad a la cual el material biológicamente activo se estabilizaría en las condiciones que existen en la naturaleza.

Su mayor ventaja es la rapidez con que se efectúa, ya que necesitan 3 horas como máximo para su valoración, en lugar--

de los 5 días que se requieren para medir la demanda bioquímica de oxígeno.

La D.Q.O. es un parámetro importante y rápido para de terminar el grado de contaminación de corrientes y aguas residuales industriales. Junto con la prueba de la D.B.O. la D.Q.O. es útil para indicar la presencia de sustancias tóxicas y de -- sustancias orgánicas resistentes biológicamente. *agüü*

Determinación por el método de dicromato de potasio:

Se han propuesto varias sustancias para la determinación de la demanda química de oxígeno, pero se ha encontrado -- que el dicromato de potasio es el más práctico de todos, ya que es un oxidante potente. En soluciones fuertemente ácidas; es ca paz de oxidar una amplia variedad de sustancias casi completamente a dióxido de carbono y agua. Este método se basa en que -- muchos tipos de materia orgánica son destruidos por una mezcla de ácidos crómicos y sulfúricos en ebullición. Consiste en some ter una muestra a reflujo, conteniendo materia orgánica, con -- ácidos sulfúrico y dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) valorado. Durante el período de reflujo, la materia oxidable reduce una -- cantidad equivalente de  $K_2Cr_2O_7$ ; el remanente es valorado con -- una solución de sulfato ferroso amoniacal de concentración cono cida. La cantidad de  $K_2Cr_2O_7$  reducido (cantidad de  $K_2Cr_2O_7$  agre gado menos cantidad de  $K_2Cr_2O_7$ ) es una medida de la cantidad de materia orgánica oxidada.

El ión ferroso es un agente reductor excelente para el dicromato de potasio. Sus soluciones se preparan mejor con sulfato ferroso amoniacal, el cual se obtiene en forma pura y estable. En solución, sin embargo, como casi todas las soluciones de agentes reductores, es lentamente oxidado por el oxígeno del aire, por eso requiere que se valore cada vez que se use, esto se hace con solución de dicromato de potasio de concentración conocida. La reacción entre el sulfato ferroso amoniacal y el dicromato de potasio se representa como sigue:



Como en el caso de la oxidación biológica no todos los compuestos son oxidados por este método químico. Algunos compuestos son oxidados completamente, sin dificultad, como: azúcares cadenas alifáticas y anillos bencénicos sustituidos.

#### Equipo.-

- 1).- Matraces erlenmeyer de 500 ml. con cuello esmerilado de 24/40.
- 2).- Refrigerante Friedrich West u otro equivalente de 300 ml. con uniones esmeriladas de 24/40.
- 3).- Tubo de hule de 0.6 cm. de diámetro.
- 4).- Parrillas con soporte o mecheros bunsen, soportes metálicos tripiés, telas de alambre con asbesto.
- 5).- Pinzas con abrasaderas para soporte.
- 6).- Pinzas para bureta.

- 7).- Matraces aforados de 1000, 500 y 100 ml.
- 8).- Bureta graduada de 50 ml.
- 9).- Matraces erlenmeyer de 500 ml.
- 10).- Probeta graduada de 100 ml.
- 11).- Pipetas volumétricas de 20, 10 y 5 ml.
- 12).- Pipetas serológicas de 10, 5 y 1 ml.
- 13).- Codos de vidrio de 90 grados con 0.6 cm. de diam.
- 14).- Tes de vidrio .
- 15).- Frascos goteros.

#### Reactivos:

1.- Solución 0.25 N de dicromato de potasio: Se disuelven 12.259 g. de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) de calidad patrón primaria, previamente secado a 103 grados C., en agua destilada y diluir a 1000 ml. Para eliminar la interferencia de nitritos se puede agregar ácido sulfámico en cantidad de 10 mg. por cada mg. de nitrógeno de nitritos en el matraz de reflujo, a la solución de dicromato. Así 0.12 g. de ácido sulfámico por litro de solución de dicromato eliminarán la interferencia de nitritos arriba de 6 mg./litro, usando una muestra de 20 ml.

2.- Acido sulfúrico concentrado: Conteniendo 22 g. de  $Ag_2SO_4$  por frasco de 4082.3 g (se requieren uno o dos días para su disolución).

3.- Solución titulante patrón de sulfato ferroso amoniacal, 0.10 N: Disolver 39 g. de  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  en -

agua destilada. Agregar 20 ml. de ácido sulfúrico concentrado, enfriar y diluir a 100 ml. Esta solución se debe valorar con la solución de  $K_2Cr_2O_7$  el día que se vaya a usar.

Valoración: Diluir 10 ml. de la solución 0.25 N de dicromato de potasio a 100 ml. agregar 30 ml. de  $H_2SO_4$  concentrado y se deja enfriar. Se valora con sulfato ferroso amoniacal, usando 2 ó 3 gotas del indicador ferroín.

$$\text{Normalidad} = \frac{\text{ml. de } K_2Cr_2O_7 \times 0.25}{\text{ml. de Fe (NH}_4)_2 (SO_4)_2}$$

4.- Indicador de ferroín: Disolver 1.485 g. de 1 - 10 fenantrolina monohidratada, junto con 0.695 g. de  $Fe SO_4 \cdot 7H_2O$  en agua destilada y diluir a 100 ml.

5.- Sulfato de plata en polvo.

6.- Sulfato mercúrico en cristales, grado analítico.

7.- Acido sulfánico.

Procedimiento.- Colocar 0.4 g. de  $HgSO_4$  el cual puede medirse con una cuchara No. 638 de Hach (ó agregar 20 ml. de muestra ó una alícuota diluida a 20 ml. con agua destilada y mezclar). Luego se agregan 10 ml. de dicromato de potasio y varios trocitos de piedra pomez o perlas de vidrio, los cuales han sido calentados previamente a 600 grados C., por una hora.- Conectar el matraz al condensador. Lentamente se agregan 30 ml. de ácido sulfúrico concentrado que contiene  $Ag_2SO_4$ , a través del condensador, mezclando cuidadosamente mientras se agrega el

ácido. Mezclar perfectamente antes de aplicar el calor; si no se hace esto, hay calentamientos locales en el fondo del matraz y - la muestra puede ser expulsada del condensador.

El uso de 0.4 g. es suficiente para formar un complejo con 40 mg. de ión cloruro ó 2 g./litro cuando se usan 20 ml. de muestra. Si hay mas cloruros se debe agregar mas  $\text{HgSO}_4$  para mantener una proporción  $\text{HgSO}_4$ ;  $\text{Cl}^-$  de 10:1. Si se desarrolla un ligero precipitado no afecta a la determinación.

Llevar a reflujo por dos horas (el aparato debe tenerse ya listo con las conexiones de agua corriente). Un período -- más corto de reflujo puede ser usado para desechos particulares si se encuentra que da la máxima D.Q.O. Enfriar y lavar el condensador con agua destilada.

Se diluye la mezcla a 150 ml. aproximadamente con -- agua destilada, enfriar a la temperatura ambiente y valorar -- el exceso de dicromato de potasio con la solución 0.1 N. de sulfato ferroso amoniacal usando ferroín como indicador. Usar de 2- a 3 gotas de indicador.

El cambio de color es claro, el cual vá del azul verde -- so al café rojizo, y debe tomarse como punto final aunque el color azul verdoso vuelva a aparecer.

Llevar a reflujo un testigo con 20 ml. de agua destilada en lugar de la muestra, junto con la misma cantidad de los reactivos, cuidando que la ebullición empiece al mismo tiempo que la muestra.

Cálculo:

$$\text{ppm de D.Q.O.} = \frac{(a-b)N \times \text{meq.} \times 10^6}{\text{ml. de muestra}} = \frac{(a-b)N \times 8000}{\text{ml. de muestra}}$$

donde: D.Q.O. = Demanda química de oxígeno

a = ml. de  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2$  usados para el testigo

b = ml. de  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$  usados para la muestra

N = normalidad del  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$

meq. = miliequivalente del oxígeno

✓ h).- Grasas y aceites.

Aceite, grasas, ceras y ácidos son las principales -- sustancias clasificadas como grasas en las aguas residuales-domésticas. Las aguas residuales pueden contener ésteres simples, y posiblemente otros compuestos de la misma categoría.

El término "aceite" representa una amplia variedad de hidrocarburos de bajo a elevado peso molecular, de origen mineral, que abarca desde la gasolina hasta combustibles y acéi

tes lubricantes. En suma, incluye todos los glicéridos de origen animal y vegetal que son líquidos a la temperatura ordinaria. Aceites y grasas pueden estar presentes en el agua -- como una emulsión de residuos industriales o fuentes similares.

#### Muestreo.-

Hay que tener cuidado que la muestra sea representativa. Las muestras de película de aceite tomadas en la superficie de una corriente o de otro cuerpo de agua, será casi imposible valorarlas en comparación al volúmen total del agua, - al área total de la película y al espesor comprendidos.

Las muestras deben tomarse en frascos de vidrio de boca ancha, con tapón esmerilado, previamente enjuagados con un solvente y secarlos al aire. No deben llenarse completamente porque puede haber una pérdida de aceite flotante al taparlo.

Las muestras deben analizarse inmediatamente después de su recolección, ya que muchos aceites e hidrocarburos son utilizados por las bacterias.

Si esto es imposible, se puede inhibir la actividad de las bacterias, acidulando con 5 ml. de ácido sulfúrico 1 + 1 o - en el refrigerador a 4 grados C.

Desde el punto de vista sanitario las grasas y aceites imparten al agua un sabor y olor desagradable, afectando también el sabor de los peces para consumo alimenticio. *g w*

#### Método de extracción de Soxhlet.-

##### Principio:

En la determinación de grasa, no se mide cuantitativamente una sustancia específica sino grupos de sustancias con características físicas similares, principalmente su solubilidad - en el solvente usado.

El hexano ha sido seleccionado para las determinaciones de grasa debido a que es un buen solvente para todos los materiales normalmente asociados con el término grasa y tiene una mínima fuerza solvente para otros compuestos orgánicos.

En este método las muestras se acidulan con ácido clorhídrico a un pH aprox. de 1.0 para liberar los ácidos grasos que se presentan principalmente en forma de jabones de calcio y de magnesio, los cuales son insolubles en hexano. La reacción comprendida puede ser representada por la ecuación:



La grasa se separa de la muestra líquida por filtra---

ción y se extrae en un aparato soxhlet. El residuo remanente después de la evaporación del hexano se pesa para determinar el contenido de grasa de la muestra. Los compuestos que se volatilizan a 103 grados C; o antes, se pierden cuando se seca el filtro.

Equipo:

- 1.- Estufa de aire caliente.
- 2.- Balanza analtica.
- 3.- Bomba de vacio, u otra fuente de vacio
- 4.- Parrilla eléctrica con cubierta.
- 5.- Desecadores.
- 6.- Aparato de extracción Soxhlet.
- 7.- Aparato de destilación.
- 8.- Embudo buchner de 12 cm de diámetro.
- 9.- Matracas de filtración al vacio.
- 10.- Pipetas serológicas de 10 ml.
- 11.- Vidrios de reloj.
- 12.- Pinzas.
- 13.- Cartuchos de extracción.

Reactivos:

- 1.- Acido clorhídrico concentrado.
- 2.- Solvente orgánico: Puede usarse hexano, con un punto de ebullición de 69 grados C., ó triclorotrifluoretano con -- punto de ebullición de 47.5 grados C., este último, que no es in

flamable, se prefiere desde el punto de vista de la seguridad del laboratorio. El solvente usado no debe dejar residuo medible en la evaporación.

3.- Papel filtro Whatman No. 40, de 11 cm.

4.- Discos de muselina, de 11 cm.

5.- Suspensión de Diatomeas-sílice (Hyflo super cel) 10 g./ litro de agua destilada.

Procedimiento.-

1.- Colectar 1 litro de aguas residuales en un frasco de boca ancha graduado.

2.- Acidular a pH de 1; generalmente 10 ml. de ácido clorhídrico son suficientes.

3.- Preparar un filtro que consiste en un disco de muselina cubierto con papel filtro. Humedecer el papel y la muselina y presionar las orillas del papel. Aplicando vacío, se pasan 100 ml de la suspensión de diátomeas a través del filtro preparado y lavar con un litro de agua destilada. Se aplica vacío hasta que no pase agua a través del filtro.

4.- Se filtra la muestra acidulada a través del papel filtro. Aplicar vacío hasta que no pase agua a través del filtro.

5.- Pasar el papel filtro a través de un vidrio de reloj por medio de unas pinzas. Agregar el material que se adhirió a las orillas del disco de muselina. Se limpia frotando los lados y el fondo del recipiente colector, el agitador y el embudo buch-

ner con trozos de papel filtro empapados de hexano, teniendo cuidado de remover todas las películas de grasas y de coleccionar todo el material sólido. Se agregan los trozos al papel filtro que se colocó sobre el vidrio de reloj.

6.- Enrollar el papel filtro con los trozos usados en la limpieza y acomodarlos en un cartucho de papel para extracción.

7.- Secar el cartucho con el papel filtro en una estufa de aire caliente a 103 grados C; por 30 min. (llenar el cartucho con perlas pequeñas de vidrio,). Pesar el matraz de extracción y extraer la grasa en un aparato soxlet usando hexano o triclorotrifluoretano a una velocidad de 20 ciclos por hora durante 4 hrs.

El tiempo se toma desde el primer ciclo.

8.- Se destila el solvente del matraz de extracción, calentando en baño maría a 85 grados C, o usando una parrilla eléctrica ajustada para una destilación baja (el solvente se puede volver a usar si se redestila). Secar colocando el matraz por medio de vacío aplicada por 15 min.

9.- Se enfría en un desecador durante 30 min.

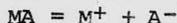
10.- Pesado.

Cálculo:

$$\text{ppm de grasa total} = \frac{\text{mg. de aumento de peso del matraz} \times 10^3}{\text{ml. de muestra}}$$

✓ i).- Conductividad específica.-

La conducción de una corriente eléctrica en agua puede explicarse por medio de la teoría de la disociación electrolítica. Esta teoría establece que cuando se disuelve en agua, un ácido, una base o una sal, una porción considerable de la misma se disocia espontáneamente en iones positivos y negativos, <sup>aquí</sup> esto es:



Estos iones se pueden mover independientemente, y son guiados a los electrodos del signo opuesto por el campo eléctrico aplicado.

Las soluciones, al igual que los conductores metálicos obedecen a la ley de Ohm, excepto en condiciones tan anormales como voltajes muy elevados ó corrientes de frecuencia muy alta.

Si en una solución electrolítica se colocan dos electrodos de área A, separados por una distancia d, y se aplica un campo eléctrico S, la diferencia de potencial V entre los electrodos será:

$$V = Ed \text{ ----- (1)}$$

Se define la conductividad específica  $\nabla$ , por la relación:

$$\nabla = \frac{J}{E} \text{ ----- (2)}$$

donde J es la densidad de la corriente:

$$J = \frac{I}{A} \text{ ----- (3)}$$

siendo I la intensidad de la corriente.

combinando las ecuaciones (1), (2), y (3) se obtiene que:

$$V = \frac{Id}{\sqrt{A}} \text{ ----- (4)}$$

La cantidad  $\frac{d}{\sqrt{A}}$  representa la resistencia que ofrece el conductor al paso de la corriente y se denota por la letra R:

$$R = \frac{d}{\sqrt{A}} \text{ ----- (5)}$$

la ecuación (4) es la bien conocida Ley de Ohm.

La unidad estándar de resistencia es el Ohm, definida como la resistencia que ofrece un conductor al paso de una corriente de un ampere, cuando la diferencia de potencial es de un volt. Al recíproco del Ohm se le denomina mho ó también-siemen. El Mho es la unidad estándar de la conductividad, definida como el recíproco de la resistencia.

De la ecuación (5) se obtiene que la conductividad específica:

$$\sqrt{A} = \frac{d}{RA}$$

la cual se expresa generalmente en mho/cm. Es importante notar que la ecuación anterior permite el cálculo de la conductividad específica de la disolución, con simplemente conocer su resistencia y las dimensiones de la llamada celda de conductividad.

Se define la constante de la celda de conductividad.

K como:

$$K = \frac{d}{A}$$

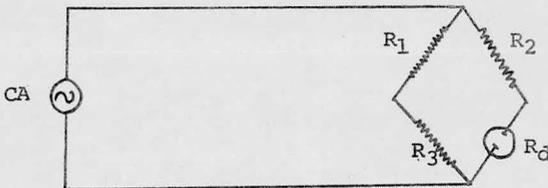
Por lo que la conductividad expresada en términos de la resistencia y la constante de la celda es:

$$\kappa = \frac{K}{R}$$

El procedimiento para obtener la constante de la celda puede hacerse directamente, pero ello se practica muy raramente, ya que también es posible evaluarla por medio de una disolución de conductividad conocida. Para este objeto se utilizan generalmente disoluciones de cloruro de potasio.

Para medir la resistencia de la disolución se emplea un puente de Wheatstone, alimentado con una fuente de corriente alterna. La fuente no debe ser de corriente directa ya que esta produce efectos de polarización, lo cual ocasiona errores en la medida de resistencia.

Un diagrama del puente de Wheatstone junto con la celda de conductividad en cuyo interior se encuentra la muestra con resistencia desconocida, se muestra en la siguiente figura:



PUENTE DE WHEATSTONE

Quando la corriente a través del medidor es nula, se dice que el puente está balanceado. Bajo estas condiciones la relación entre la resistencia es:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_d}$$

por la que la resistencia de la disolución será:

$$R_d = \frac{R_2 R_3}{R_1}$$

Debido a que la conductividad varía con la temperatura de la muestra, el resultado se expresa convencionalmente a 25 grados C.

✓ La medida de la conductividad específica tiene las siguientes aplicaciones:

a).- Para comprobar la pureza de un agua destilada y desionizada.

b).- Para conocer rápidamente las variaciones de las concentraciones de los minerales disueltos en las muestras de aguas crudas o de desechos. Las variaciones mínimas encontradas en un abastecimiento de agua, bruscamente contrastan con las fluctuaciones que prevalecen en algunas aguas de ríos contaminados. Las mediciones de conductividad, proporcionan una idea de las porciones alicuotas que se deben tomar para las determinaciones químicas comunes, también ofrecen un medio para compro--

bar los resultados de un análisis químico. *aquí*

Aparatos.-

a).- Puente de Wheatstone con el que se pueden hacer lecturas con una exactitud de 1% o mayor.

b).- Fuente de corriente alterna: de 1000 a 3000 ciclos si se emplea un micrófono telefónico indicador de punto nulo, ó de 25 a 60 ciclos si se emplea para el mismo propósito un tubo "Ojo mágico" de rayos de electrones ó un galvanómetro de Ca, si se emplea corriente alterna de una línea principal, es muy recomendable usar un transformador que la independice, para evitar la posibilidad de cortos circuitos accidentales a tierra.

c).- Celda de conductancia específica. Puede ser del tipo de pipeta o del tipo de inmersión, que tenga electrodos platinizados (la selección de la celda debe de depender del ámbito de conductancias).

d).- Baño María, provisto de gradillas de materiales resistentes a la corrosión, como cobre, latón, acero inoxidable en las que se pueden colocar los tubos con las muestras.

Reactivos:

a).- Solución patrón de KCl 0.01 M.- Disuélvase 745.6 mg. de KCl anhidro en agua recientemente herbida y bidestilada y llévase a 1000 ml. a 25 grados C.

Procedimiento.-

a).- Seleccionar un baño maría de tamaño necesario para contener las muestras que se requieren y las soluciones patrones, y localizar un área donde las fluctuaciones de temperatura sean mínimas, ya que la conductividad específica varía aproximadamente 2% por cada grado centígrado. Colocar en baño maría cuatro tubos con la solución patrón de cloruro de potasio y dos tubos de cada una de las muestras en estudio, dejándose en el baño durante 30 min. para que alcancen su equilibrio térmico.

b).- Determinación de la conductividad específica.- Enjuagar la celda de conductividad en tres de los tubos de cloruro de potasio y medir la resistencia en la cuarta solución, registrándose este valor como  $R_{KCl}$ . A continuación, enjuagar la celda con uno de los tubos de la primera muestra, asegurándose de que el enjuagado sea adecuado y medir la resistencia en el segundo tubo; proceder igual con las demás muestras.

Cálculos:

a).- La constante de la celda  $c$ , es igual al producto de la resistencia medida en ohmios de la solución patrón de  $KCl$ , por la conductancia específica en  $mhos/cm.$ , de esta solución patrón.

$$c = R_{KCl} \times 0.001413, \text{ si la lectura se hace a } 25 \text{ grados C.}$$

b).- La conductividad específica (mho/cm) de la muestra de agua, a 25 grados c, es igual a la constante de la celda c, dividida por la resistencia en ohmios de la muestra  $R_s$  medida a 25 grados C.

$$\text{Conductividad específica} = \frac{c}{R_s}$$

Es tan baja la conductividad específica de la mayoría de las aguas, que la práctica normal es expresarla en micromhs/cm.

## C A P I T U L O   I V

### CUADRO DE VALORES EXPERIMENTALES DE LOS PARA METROS CONSIDERADOS.

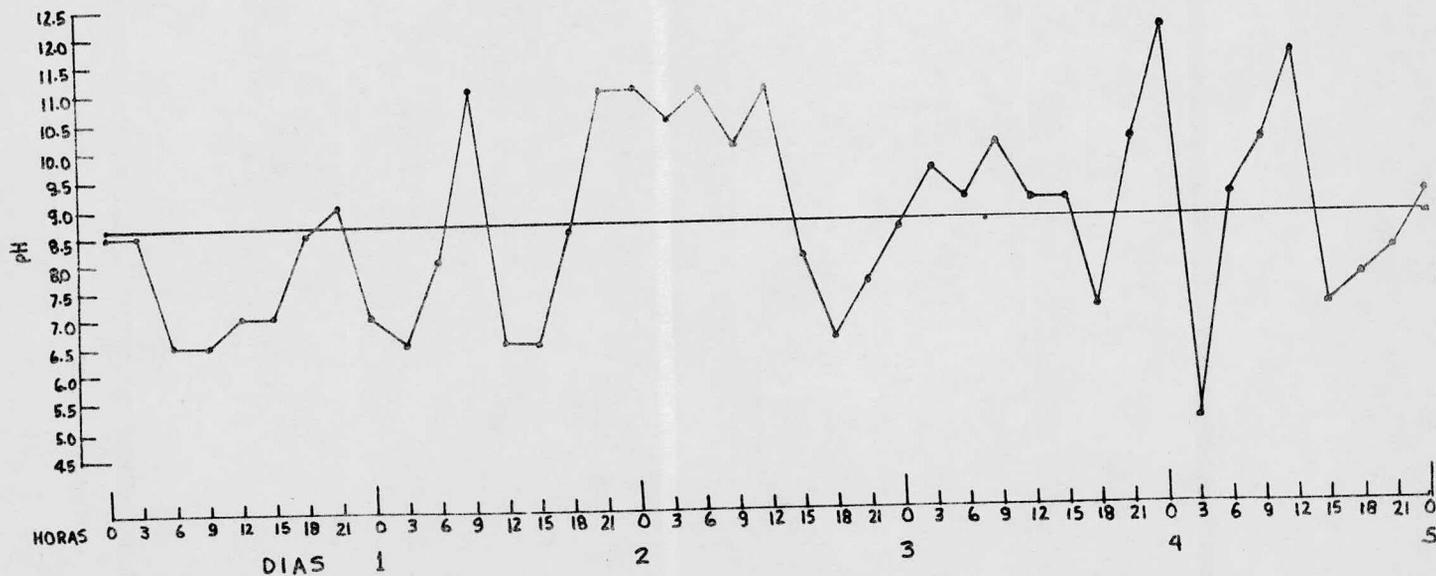
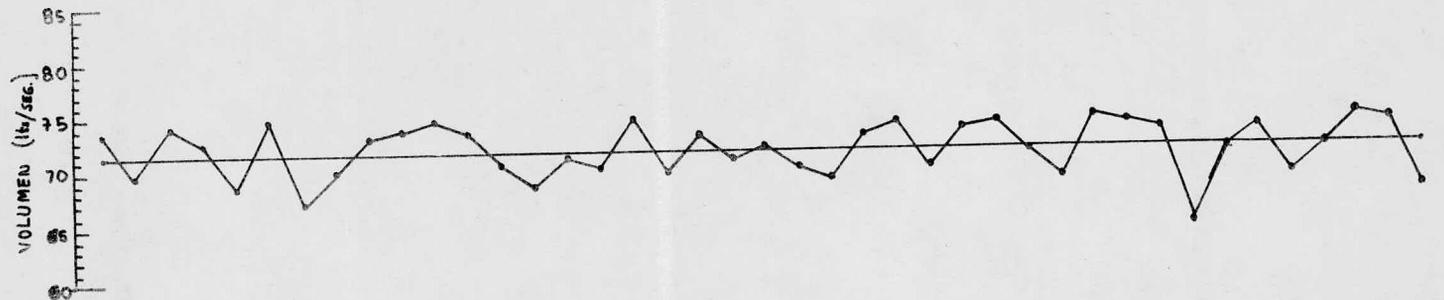
Antes de iniciar el trabajo analítico se realizó una encuesta con cada uno de los responsables de Departamentos, a fin de que proporcionaran datos acerca de la operación, frecuencia de descargas, volúmenes aproximados de las mismas, así como información acerca de los productos y materias primas utilizadas en el departamento y que eventual ó constantemente sean arrojadas a los drenajes. En base a lo anterior se hizo el programa de muestreo, considerándose conveniente cada 3 horas durante cinco días.

Enseguida se llevó a cabo la localización de las redes de drenaje; indicándose cuales son principales y cuales secundarias, así como los puntos de descarga que son de interés oficial, es decir, que desembocuen directamente en el sistema de alcantarillado ó alguna corriente de propiedad nacional.

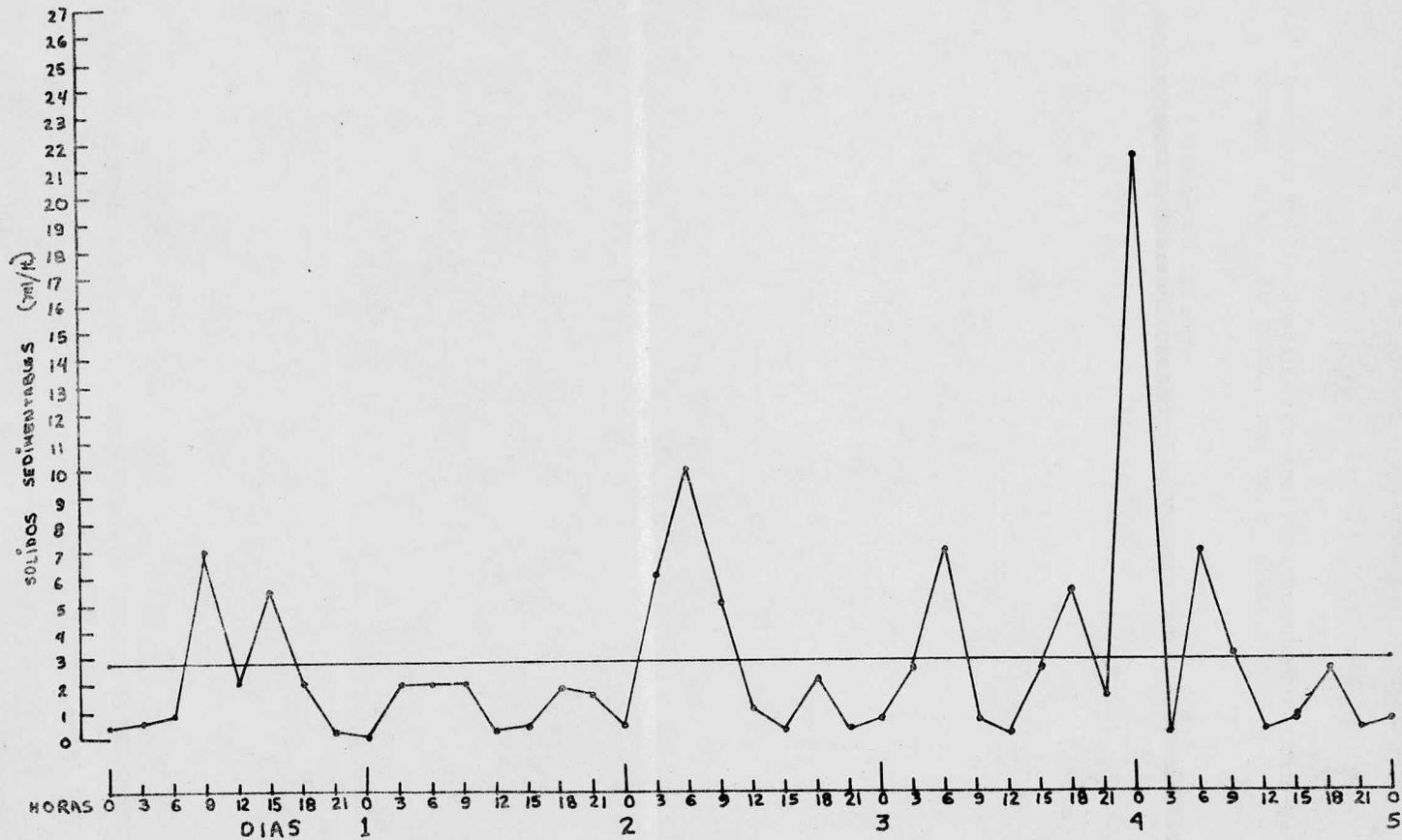
## CUADRO No. 1

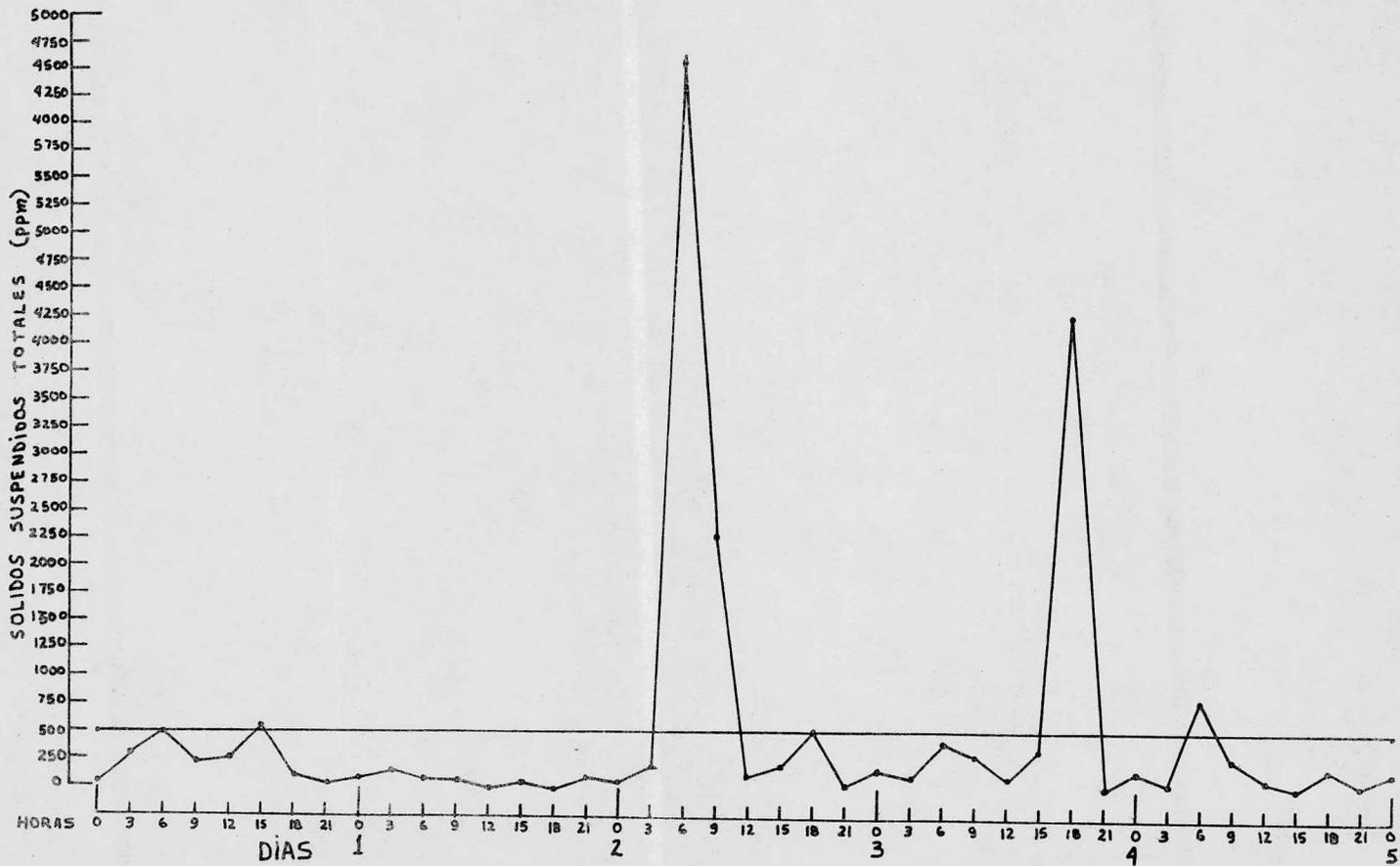
VALORES EXPERIMENTALES DE LOS PARAMETROS  
CONSIDERADOS

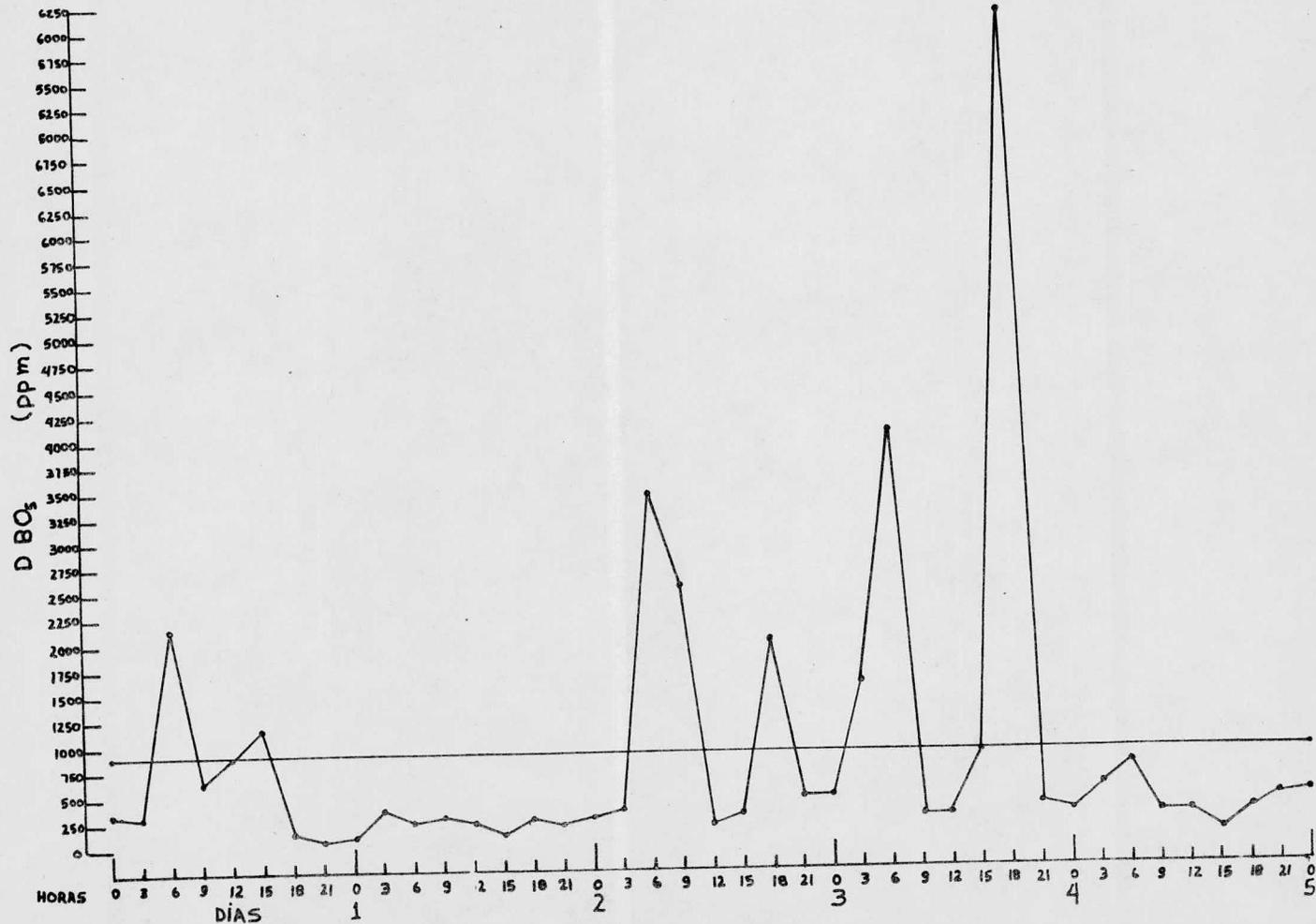
Parametros ra	Volumen lt/seg.	pn	Temp. °C	Sol.Sed. ml/lt.	SST ppm	DBO <sub>5</sub> ppm	DQO ppm	GyA ppm	C.E.
0	73.5	8.5	19	0.4	42.8	351	420.1	21.0	410
3	69.5	8.5	17	0.6	300.0	321.6	522.0	23.0	280
6	74.0	6.5	17	0.8	490.0	2242.5	2954.4	22.6	200
9	72.5	6.5	9	7.0	230.0	663.0	1016.0	19.4	120
12	68.5	7.0	13	2.0	275.0	915.2	1145.2	21.0	230
15	74.5	7.0	20	5.5	562.5	1189.8	1366.0	19.0	220
18	67.0	8.5	18	2.0	128.0	177.0	195.0	23.0	230
21	70.0	9.0	17	0.3	50.0	79.4	183.0	22.4	260
0	73.0	7.0	9	0.1	111.4	109.1	120.3	22.0	140
3	73.5	6.5	16	2.0	170.0	378.0	577.8	20.0	215
6	74.5	8.0	21	2.0	90.3	259.0	317.6	19.5	275
9	73.5	11.0	20	2.0	90.0	293.0	449.1	21.0	575
12	70.5	6.5	20.0	0.3	4.0	246.0	423.5	22.8	160
15	68.5	6.5	12.0	0.5	50.0	118.2	163.0	22.0	175
18	72.0	8.5	17.0	1.8	18.2	289.0	360.0	21.7	300
21	70.0	11.0	22.0	1.6	100.0	198.6	266.4	20.4	3100
0	74.5	11.0	24.0	0.4	83.3	270.0	338.0	21.3	350
3	69.5	10.5	17.0	6.0	223.8	364.0	538.0	20.5	680
6	73.0	11.0	20.0	10.0	6666.6	3480.0	5880.0	23	1200
9	71.0	10.0	16.0	5.0	2320.0	2300.6	3656.7	19.5	760
12	72.0	11.0	20.0	1.0	116.6	212.0	286.0	21.7	475
15	70.0	8.0	22.0	0.2	216.6	309.0	414.0	21.6	290
18	69.0	6.5	16.0	2.1	546.6	2030.0	3061.4	22.0	220
21	73.0	7.5	16.0	0.3	70.0	472.6	561.0	22.5	240
0	74.0	8.5	17.0	0.6	176.6	473.6	623.1	21.9	420
3	70.0	9.5	19.0	2.5	100.0	1569.1	2466.1	21.6	520
6	73.5	9.0	26.0	7.0	430.0	4081.9	6122.8	23.0	1100
9	74.0	10.0	19.0	0.6	310.0	285.0	491.0	22.3	300
12	71.5	9.0	15.5	0.1	94.0	287.0	368.6	19.6	320
15	69.0	9.0	18.0	2.5	378.5	902.2	1174.1	20.5	340
18	74.5	7.0	21.0	5.5	4380.0	8180.0	8355.8	21.1	280
21	74.0	10.0	20.0	1.5	36.0	397.2	518.8	22.9	270
0	73.5	12.0	17.5	21.5	161.7	305.4	491.8	19.7	1388
3	64.5	5.0	11.0	0.1	56.0	553.6	847.0	20.3	150
6	71.5	9.0	15.0	7.0	820.0	774.6	1106.5	23.0	1200
9	73.1	10.0	15.0	3.0	308.0	290.0	493.0	22.8	280
12	69.0	11.5	16.0	0.2	95.0	287.0	369.0	20.0	320
15	71.5	7.0	12.0	0.6	55.0	120.8	290.0	21.4	180
18	74.5	7.5	15.0	2.0	218.6	315.0	420.0	23.0	290
21	74.0	8.0	15.0	0.3	75.5	452.0	530.0	19.6	230
0	67.5	9.0	17.0	0.6	180.6	460.8	525.0	21.2	410
Máximo	74.5	12.0	26.0	21.5	6666.6	8180.0	8355.8	23.0	3100
Promedio	71.6	8.6	17.2	2.7	508.0	900.0	1229.6	21.4	465
Mínimo	64.5	5.0	9.0	0.1	4.0	79.4	120.3	19.4	120

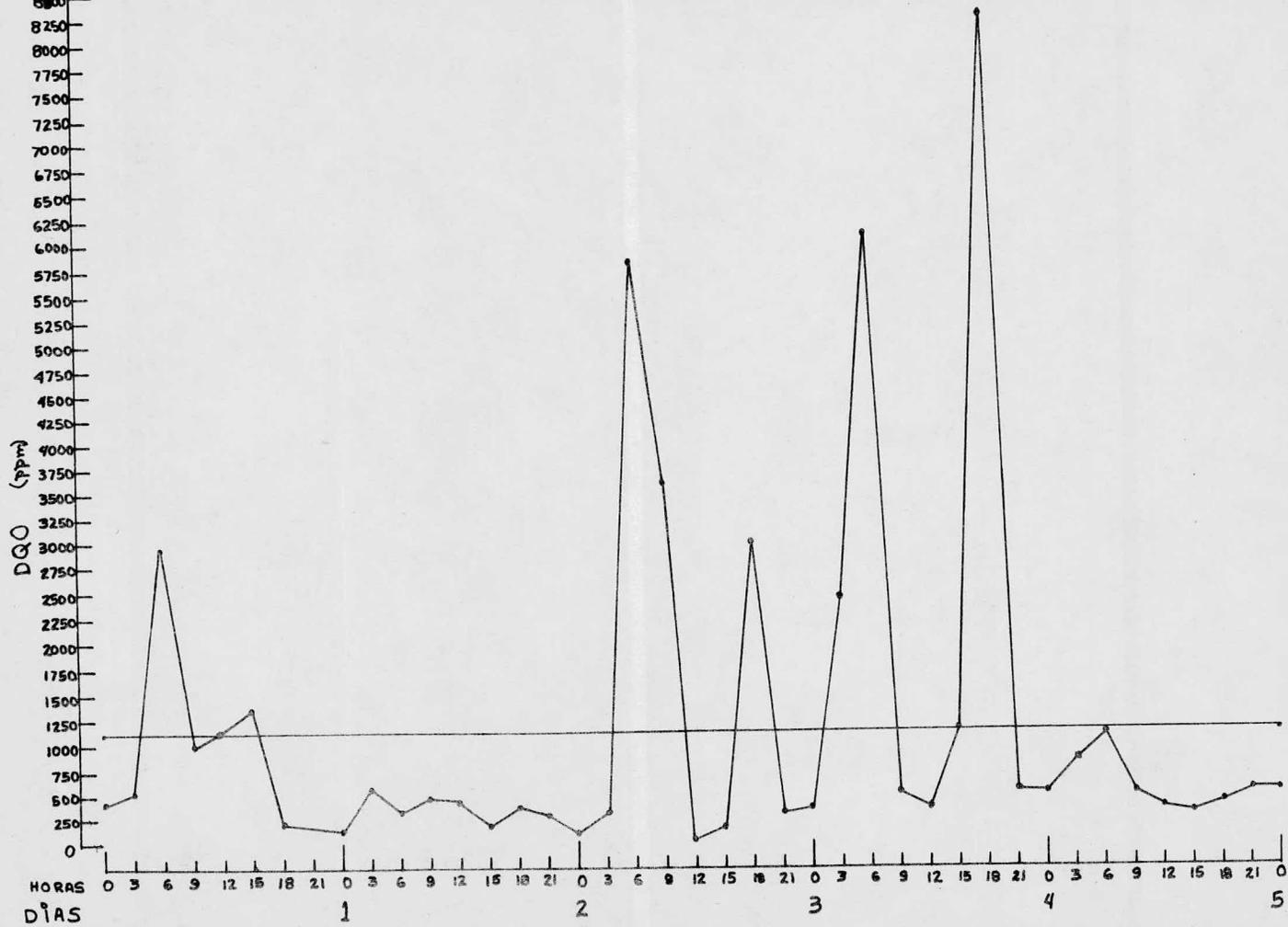


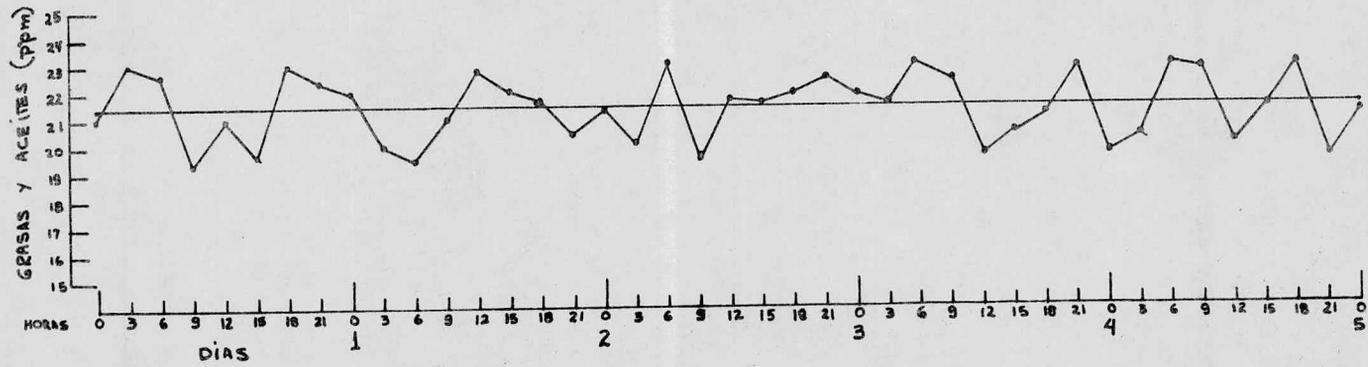
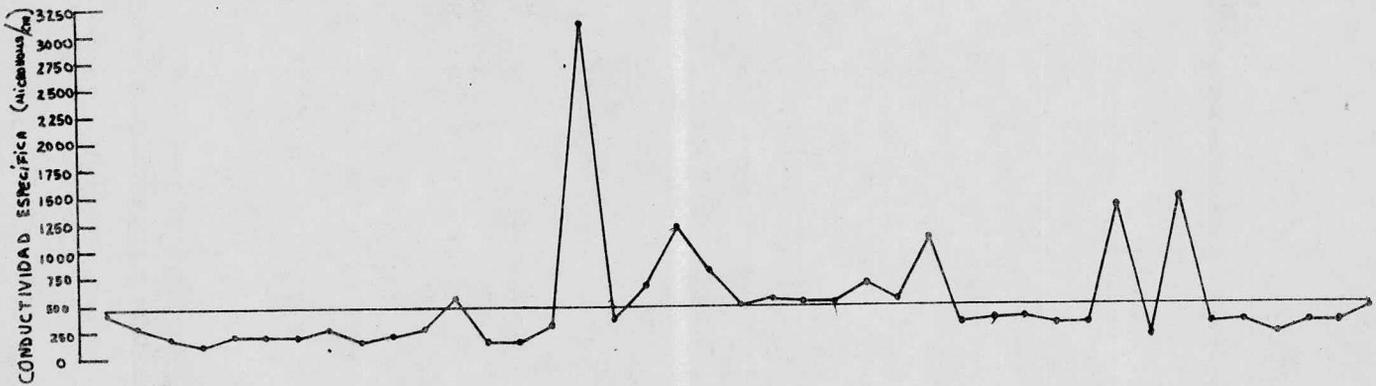












## C A P I T U L O V

### SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL EFLUENTE CONTAMINANTE

La finalidad de esta planta de tratamiento de aguas residuales es convertir el desecho crudo en un efluente final que sea aceptable y que esté dentro de los requerimientos que señalan reglamentaciones gubernamentales. El tratamiento comprende también la disposición de los lodos removidos en el proceso.

El desarrollo del tratamiento esta basado en el cumplimiento de lo que establece el reglamento para la prevención y control de la contaminación; y en las características que presentan las descargas de las aguas residuales de esta industria cervecera.

TABLA 5.1.- Medición y características de las aguas residuales.

PARAMETROS	CONCENTRACION
Flujo (m <sup>3</sup> /día)	6186
pH (unidades)	8.6
Temperatura (°C)	17.24
Sólidos Sedimentables (ml/l)	2.68
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	508.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	900.0
Demanda Química de Oxígeno (mg/l)	1229.6
Grasas y Aceites (mg/l)	21.4
Conductividad Eléctrica (micromhs/cm)	465.7

## BASES DE DISEÑO:

a) Flujo de agua residual = 6186 m<sup>3</sup>/día.

b) Concentración de contaminantes:

DBO<sub>5</sub> = 900 mg/l

DQO = 1229.6 mg/l

SST = 508.0 mg/l

GyA = 21.4 mg/l

S.Sed. = 2.69 ml/l

pH = 8.6 unidades.

c) Equipo Necesario.

c.1) Rejillas y Mallas finas.

c.2) Sedimentador Primario.

c.3) Tanque mezclador.

c.4) Tanque de floculación.

c.5) Sedimentador secundario.

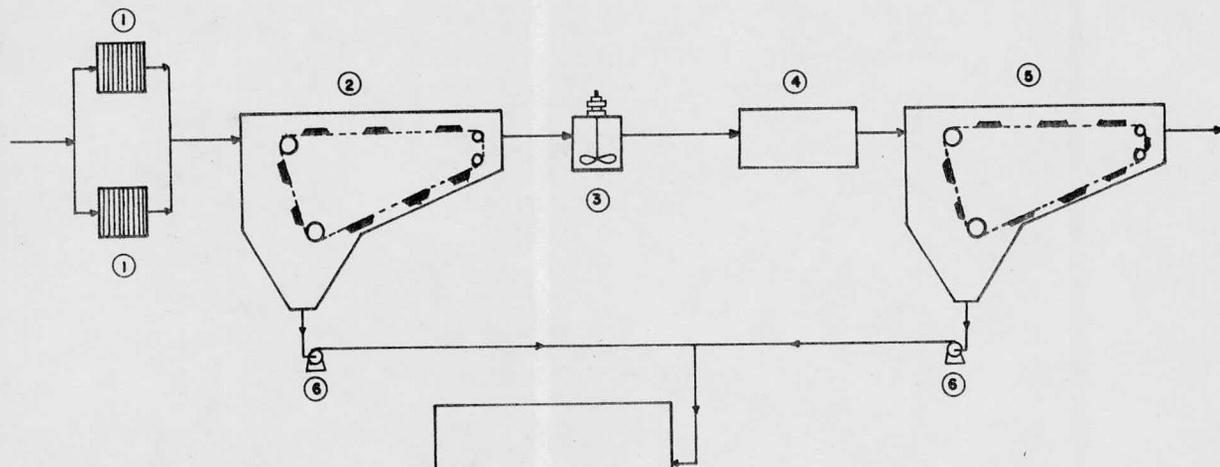
c.6) Bombas.

c.7) Lechos de secado de lodos.

## CALCULOS:

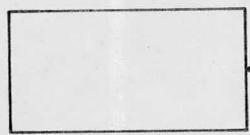
C.1.- Rejillas y mallas finas

Uno de los pasos importantes en el tratamiento de - -  
aguas antes de que estas entren a los equipos de tratamiento; -  
es la remoción de materias en suspensión. Mediante el cribado -  
se van a eliminar los sólidos más grandes y otros residuos que-



NOMENCLATURA.

- ① REJILLAS.
- ② SEDIMENTADOR PRIMARIO CON SIST. DE RASTRA.
- ③ TANQUE MEZCLADOR.
- ④ TANQUE DE FLOCULACION.
- ⑤ SEDIMENTADOR SECUNDARIO CON SIST. DE RASTRA.
- ⑥ BOMBAS.
- ⑦ LECHOS DE SECADO DE LODOS.



T E S I S	
PLANTA DE TRATAMIENTO	
DIAGRAMA DE FLUJO	
ARNOLDO LIZARRAGA V.	Sin Escala.

pudieran dañar o interferir con el adecuado funcionamiento del equipo de la planta de tratamiento.

El dispositivo que se va a utilizar para el cribado va a ser una rejilla de limpieza manual ya que son las más usuales y de mayor servicio. A continuación se describen sus características de diseño.

La figura 5.1 presenta un diagrama simplificado de una rejilla de limpieza manual, mostrando los parámetros de diseño más importantes.

Cálculo del área efectiva del caudal.

Se tomaron una serie de tirantes en la tubería de 91 cm de diámetro; dando un valor de 30 cm el nivel de agua residual; con estos valores se procede al cálculo de la relación entre el tirante y el diámetro de la tubería.

$$\frac{d}{D} = \frac{30}{91} = 0.329$$

Con este valor se proyecta sobre la curva de la figura 5.2 y posteriormente se traslada hacia la relación  $a/A$  donde  $a$  es el área efectiva del caudal y  $A$  = área de la tubería. Entonces tenemos:

$$A = \pi r^2 = \pi (D/2)^2 = 3.1416(91/2)^2 = 6503.8 \text{ cm}^2$$

y de la gráfica 5.2  $a/A = 0.32$

entonces  $a = (0.32) (6503.8) = 2081.2 \text{ cm}^2$

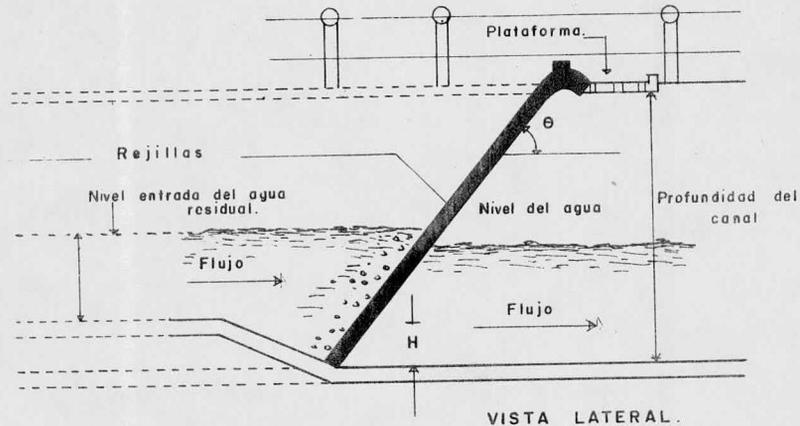
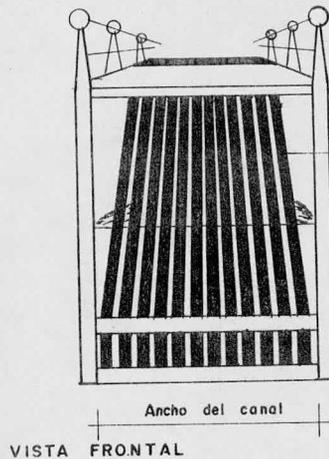


Figura 5.1

CARACTERISTICAS DE DISEÑO DE LA REJILLA DE LIMPIEZA MANUAL

	Profundidad del canal	1.0 m
	Ancho del canal	1.25 m.
$\theta$	Angulo de inclinacion de la rejilla	60°
F	Flujo de diseño en m <sup>3</sup> /seg.	6186 m <sup>3</sup> /día
	Nivel de entrada del agua residual	0.30 m
H	Desnivel entre la plantilla del canal de rejilla y la del canal de entrada	0.09 m

T E S I S	
PLANTA DE TRATAMIENTO	
REJILLA DE LIMPIEZA MANUAL _____	
ARNOLDO LIZARRAGA V.	Sin Escala.

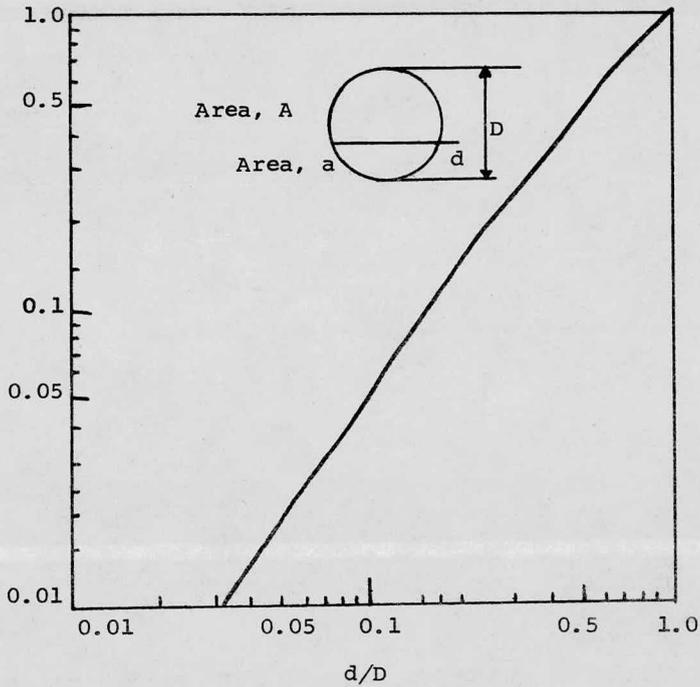


Figura 5.2.- Determinación del flujo de agua de desecho en drenajes parcialmente llenos.

FUENTE: HIDRAULICA  
 Samuel Trueba Coronel  
 Editorial C.E.C.S.A  
 Decimotercer Impresión 1974.

Con el área efectiva se selecciona la anchura y profundidad apropiadas del pozo de registro para la colocación de la rejilla. Considerando un pozo de visita de 1.25 m de ancho y 1.00 m de profundidad, se cubre satisfactoriamente la necesidad que se tiene para este caso y además que facilita la entrada de una persona para efectuar la limpieza de este dispositivo.

Con estas dimensiones del pozo de visita, seleccionamos el tamaño de las barras para la rejilla; las cuales van a sostener la malla fina.

El material para las barras son una soleras de acero con las siguientes características.

Longitud de las barras  
1.00 metros

Dimensiones aproximadas  
espesor X ancho  
0.8 cm. 5 cm.

El ángulo de inclinación de la rejilla será de  $60^\circ$  de la posición horizontal para facilitar la limpieza.

La diferencia de elevación (H) entre el fondo de la rejilla y el fondo del canal de entrada será de 0.09 m. aproximadamente para contrarrestar la caída de presión a través de la rejilla.

El material cribado va a disponerse para relleno de terreno o incineración.

La malla fina va a ser construída de alambre de acero inoxidable de 0.02 mm de espesor y con una abertura de 0.04 mm. por lado y colocada sobre el marco de las barras de 1.25 m de an

El material para las barras son unas soleras de acero con las siguientes características :

Longitud de las barras	1.0 m.
Dimensiones aproximadas	
espesor	0.8 cm.
ancho	5.0 cm.

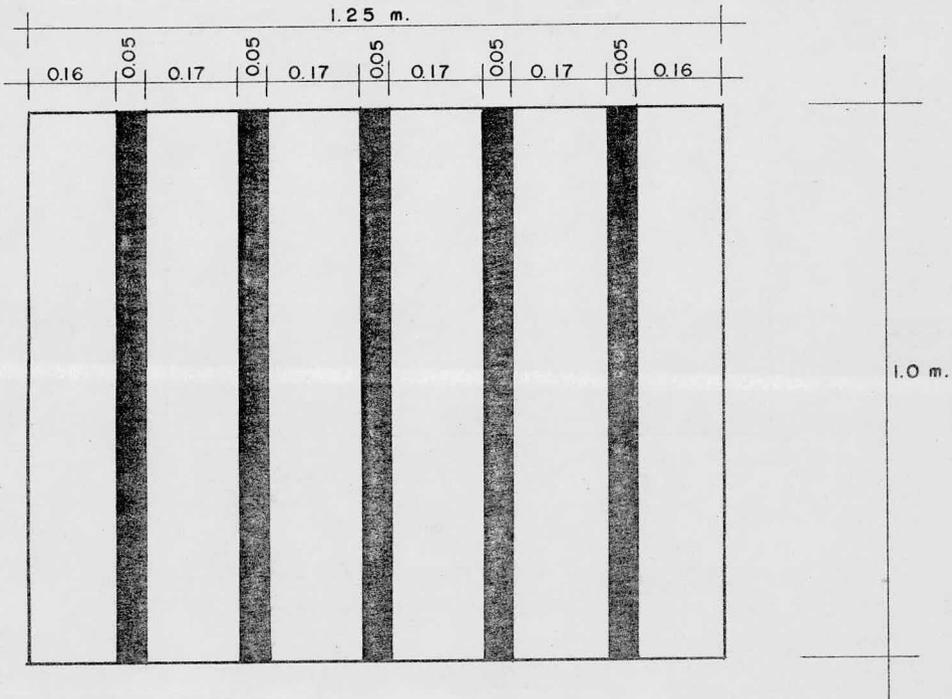


Figura 5.3 REJILLA.  
(DIMENSIONES Y ARREGLO DE LAS BARRAS PARA LA REJILLA)

cho y 1.0 m de largo.

## C.2.- SEDIMENTADOR PRIMARIO.

### CALCULOS:

La remoción de los sólidos sedimentables de las aguas-residuales, se realiza mediante el proceso de sedimentación. La diferencia de gravedad específica entre los sólidos sedimentables y el agua origina que los sólidos sedimenten en el fondo de un tanque o recipiente en condiciones no turbulentas. Para nuestro propósito se va a utilizar un sedimentador rectangular.

Datos para diseño:

$$F = \text{Caudal del agua residual} = 6186 \text{ m}^3/\text{día}.$$

Dimensiones:

Se requiere remover un 60% de sólidos suspendidos. De la figura 5.4 leemos el valor de carga superficial (q).

$$q = \text{Carga superficial} = 36 \text{ m}^3/\text{día}/\text{m}^2$$

Por lo tanto el área superficial requerida (A) es:

$$A = F/q = \frac{6186 \text{ m}^3/\text{día}}{36 \text{ m}^3/\text{día}/\text{m}^2} = 171.8 \text{ m}^2$$

Suponemos una relación de largo a ancho de 5 a 1 tenemos que:  $A = LW$        $L = \text{Largo}$  ,       $W = \text{Ancho}$

y si  $L = 5W$  , entonces:

$$A = 5W^2 ; W = \sqrt{A/5} = \sqrt{(171.8/5)} = 5.86 \approx 6.0 \text{ m de ancho}$$

$$L = 5W = 5(5.86) = 29.3 \approx 30 \text{ m de largo.}$$

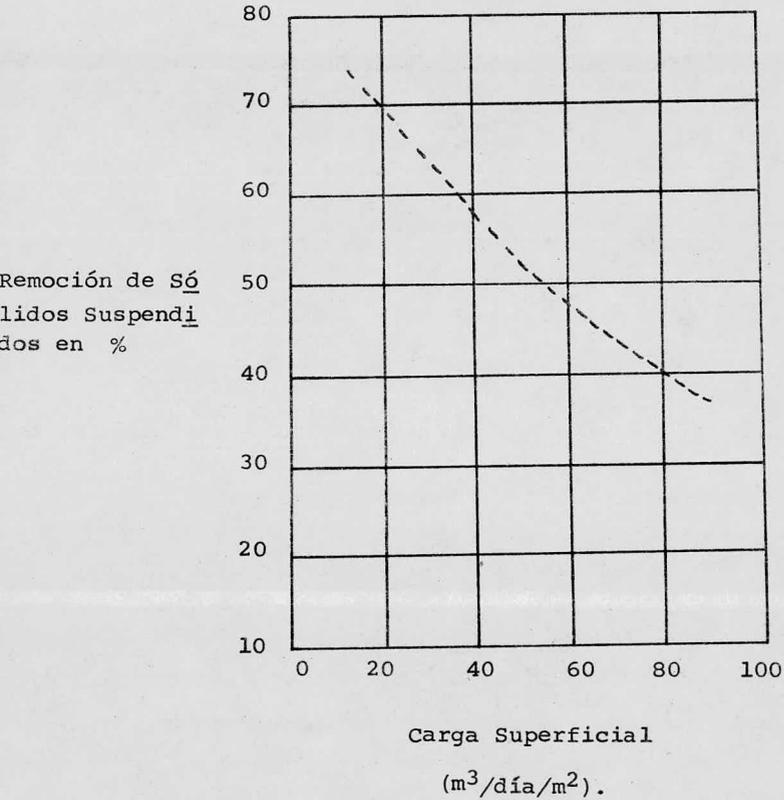


Figura 5.4 Remoción de sólidos suspendidos contra carga superficial en sedimentadores.

FUENTE: American society of Civil Engineers and water pollution control association. "Sewage Treatment Plant Design". New York, New York, 1967.

Dimensiones:

$$W = \text{Ancho del sedimentador} = 6.0 \text{ m.}$$

$$L = \text{Largo del sedimentador} = 30.0 \text{ m.}$$

$$H = \text{Altura del sedimentador} = 2.2 \text{ m.}$$

La profundidad mínima del sedimentador con equipo mecánico de remoción de sedimentos es de 2.2 m y una tolva con ángulo de inclinación de las paredes de 45°.

Período de retención:

$$WL = (6)(30) = 180 \text{ m}^2 \text{ de área en la superficie.}$$

$$180 \text{ m}^2 \times 2.2 \text{ m} = 396 \text{ m}^3 \text{ (volumen del tanque).}$$

Entonces tenemos que el período de retención es:

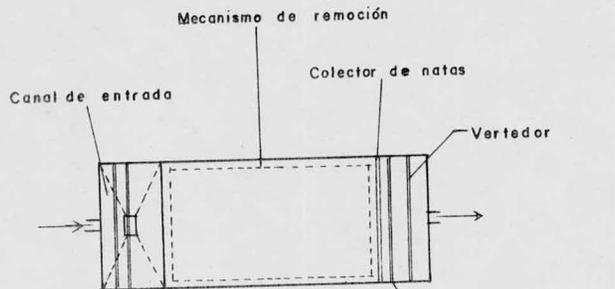
$$\frac{(396 \text{ m}^3)(24 \text{ hr/día})}{6186 \text{ m}^3/\text{día}} = 1.5 \text{ horas} = 1 \text{ hora } 30 \text{ minutos.}$$

La figura 5.5 presenta un diagrama simplificado de un sedimentador rectangular.

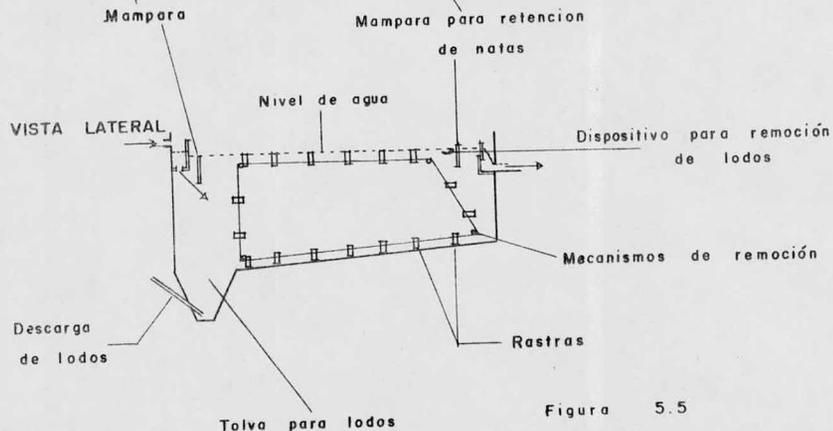
#### DISPOSITIVOS DE ENTRADA Y SALIDA DEL SEDIMENTADOR.

Estos dispositivos se van a diseñar con el objeto de minimizar turbulencias y distribuir el flujo en todo lo ancho del tanque.

El dispositivo de entrada va a estar constituido por un canal a todo lo ancho del tanque con orificios uniformemente espaciados.



PLANTA



VISTA LATERAL

VALORES DE DISEÑO DEL SEDIMENTADOR

F	— Caudal del agua residual	= 6186	m <sup>3</sup> /día
Q	— Carga superficial	36	m <sup>3</sup> /día/m <sup>2</sup> .
A	— Area del Sedimentador	171.8	m <sup>2</sup> .
W	— Ancho del Sedimentador	6.0	m.
L	— Longitud del Sedimentador	30.0	m.
H	— Altura del Sedimentador	2.2	m.
	Pendiente del fondo para el sedimentador, con remoción mecánica de lodos.	1.0	%.
	Angulo de inclinación de las paredes de la tolva para depósito de lodos.	45°	
	Tiempo de retención.	1.5	Hrs.

Figura 5.5  
 DIAGRAMA ESQUEMATICO DE UN SEDIMENTADOR  
 RECTANGULAR

T E S I S .	
PLANTA DE TRATAMIENTO	
SEDIMENTADOR RECTANGULAR.	
ARNOLDO LIZARRAGA V.	Sin Escala...

## DISEÑO:

$$F = \text{CAUDAL DIARIO} = 6186 \text{ m}^3/\text{día} = 0.0715 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$A_t = \text{Area efectiva de descarga} = 0.2081 \text{ m}^2$$

Asumiendo un diámetro de orificio ( $d_o$ ) = 0.10 m.

$$A_o = 0.0078 \text{ m}^2 \text{ (área del orificio).}$$

$$\text{Número de orificios} = A_t/A_o = \frac{0.2081 \text{ m}^2}{0.0078 \text{ m}^2} = 26.6 \approx 27$$

orificios. Los 27 orificios van a estar espaciados a lo ancho del tanque 0.12 m espacio entre cada orificio.

Enseguida del dispositivo de entrada se va a utilizar una mampara para prevenir los cortos circuitos y para distribuir el flujo de agua residual lateral y verticalmente; esta va a estar instalada a 0.70 m al frente de la entrada y sumergida 0.50-m; con el borde a 0.05 m bajo la superficie del agua para permitir que las natas pasen sobre ella.

El dispositivo de salida para el sedimentador es un --vertedor triangular tipo "v", el cual vierte a un canal que conduce el agua residual hacia el punto de descarga. Enfrente del --vertedero se va a colocar una mampara para la retención de las --natas, la cual va a estar a 0.20 m bajo la superficie del agua. La figura 5.6 muestra los dispositivos de entrada y salida.

## DISEÑO:

$$W = \text{Ancho del sedimentador} = 6.0 \text{ m.}$$

$$F = \text{Caudal diario} = 0.0715 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

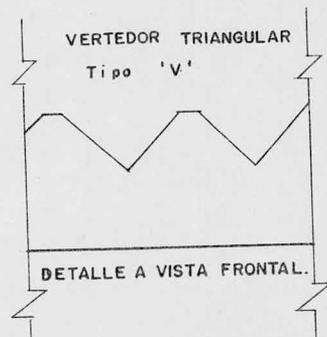
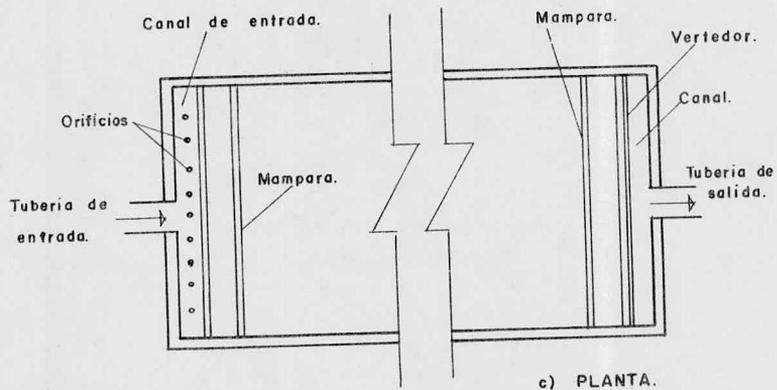
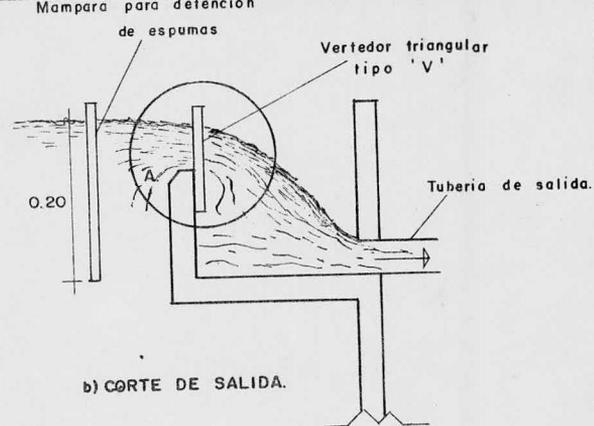
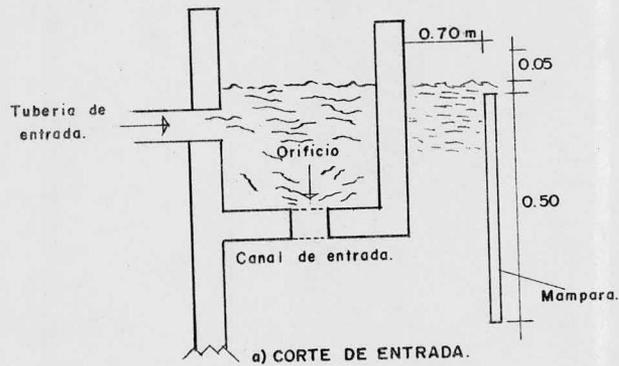


Figura 5.6  
ESTRUCTURA DE ENTRADA Y SALIDA DE LOS SEDIMENTADORES

Carga del vertedor =  $F/W = 0.0715/6 = 0.0119 \text{ m}^3/\text{seg}/\text{m}$ .

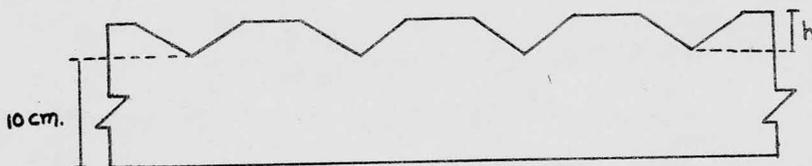
Calculando el gasto unitario ( $F_u$ ) para cuatro aberturas en un metro de vertedor.

$$F_u = \frac{0.0119 \text{ m}^3/\text{seg}/\text{m}}{4 \text{ orificios}/\text{m}} = 0.00297 \text{ m}^3/\text{seg}/\text{orificio}$$

Con la siguiente ecuación ( $F_u$ ) =  $1.34 h^{2.47}$  se calcula la altura ( $h$ ) del agua en el vertedor.

$$h = (F_u/1.34)^{1/2.27}; \quad h = (0.00297/1.34)^{1/2.47} = 0.085 \text{ m}$$

Para asegurar la descarga libre se consideran 10 cm a partir del vértice.



#### RECOLECCION DE LOS LODOS.

El volumen de los lodos generalmente es demasiado grande para removerlo manualmente, por lo tanto se requiere de dispositivos mecánicos. En este tanque de sedimentación se va a utilizar para la recolección de los lodos un mecanismo de rastras que consta de dos cadenas sinfin que soportan las rastras de madera,

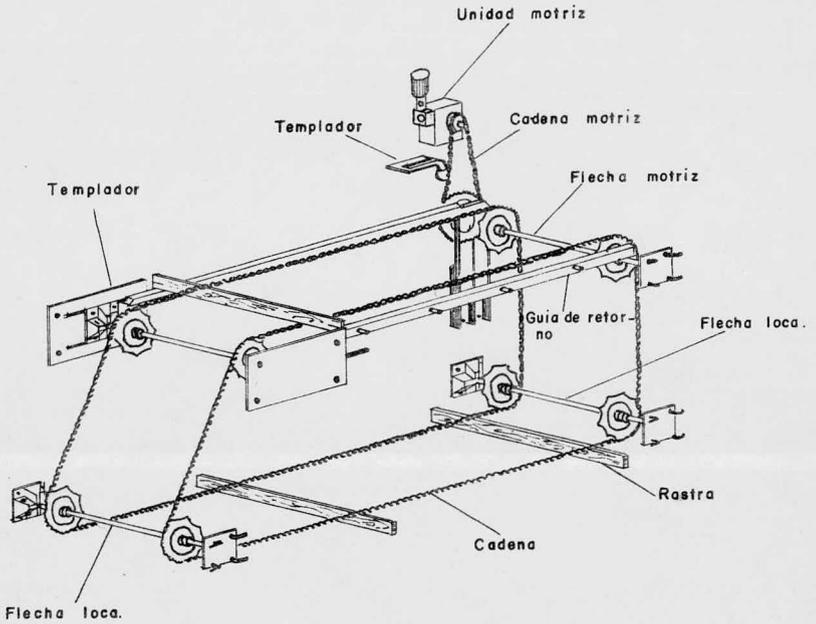


Figura 5.7

SISTEMA DE RASTRAS

T E S I S	
PLANTA DE TRATAMIENTO	
SISTEMA DE RASTRAS PARA EL SEDIMENTADOR. _____	
ARNOLDO LIZARRAGA V.	Escala_Sin.

las cuales remueven el lodo a la tolva colocada al extremo del tanque; o sea a la entrada del tanque. La remoción de los lodos de la tolva se hace preferentemente por bombeo. Estas mismas --rastras, al moverse sobre la superficie del líquido, empujan el material flotante hacia una artesa o canal para su recolección y posterior remoción. La figura 5.7 muestra este tipo de dispositivo.

### C.3.- TANQUE MEZCLADOR.

Una mejor formación flocular se obtiene mediante una mezcla rápida del coagulante con el agua seguida por un batido relativamente lento y suave para permitir la formación de los flóculos.

El depósito que se va a utilizar es de mezclado operado mecánicamente empleando mezclado rápido. La capacidad de la cámara de mezclado es el igual al equivalente del volumen en 3 minutos para el mezclado, el impulsor de la mezcladora rápida --trabaja de 100 a 120 rpm con una velocidad en su superficie -- de 3 a 4.5 m/seg.

$$F = 6186 \text{ m}^3/\text{día.}$$

$$6186 \text{ m}^3/\text{día} \times \text{día}/24 \text{ hrs.} / \times \text{hr}/60 \text{ min.} = 4.29 \text{ m}^3/\text{min} \times$$

$$\times 3 \text{ min} = 12.86 \text{ m}^3$$

Las dimensiones del tanque de mezclado será de:

$$\text{Largo} = 3.0 \text{ m}$$

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

Profundidad = 1.5 m

Volumen total del tanque =  $13.5 \text{ m}^3$  con un 5% de seguridad.

El coagulante químico se añade en el fondo de la cámara de mezclado rápido; abajo de las hojas del impulsor. El flujo es hacia arriba y a través de puertas hacia la cámara de mezclado lento. La figura 5.8 muestra la disposición de esta cámara -- mezcladora.

#### PRODUCTO QUIMICO UTILIZADO COMO COAGULANTE.

Hay cierto número de sustancias que se usan como coagulante para el agua, pero el que mas generalmente se usa es el sulfato de aluminio,  $\text{Al}(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{ H}_2\text{O}$ , que también es conocido como alumbre. El sulfato de aluminio es una sustancia fácilmente soluble en el agua, y se aplica con facilidad bien en solución o bien directamente en forma de material seco. Las reacciones entre el alumbre y los constituyentes naturales de diversas aguas son influidas por muchos factores (turbidez, pH, temperatura, etc.), -- por ello se considera como buena práctica de operación determinar por experimentación las cantidades de coagulante que se requieran.

Para la determinación de la cantidad requerida de coagulante: para el agua residual en este trabajo; se utilizó la -- "prueba de vasijas". Esta técnica consiste en agregar cantidades conocidas de coagulante en varias vasijas del agua que se va a --

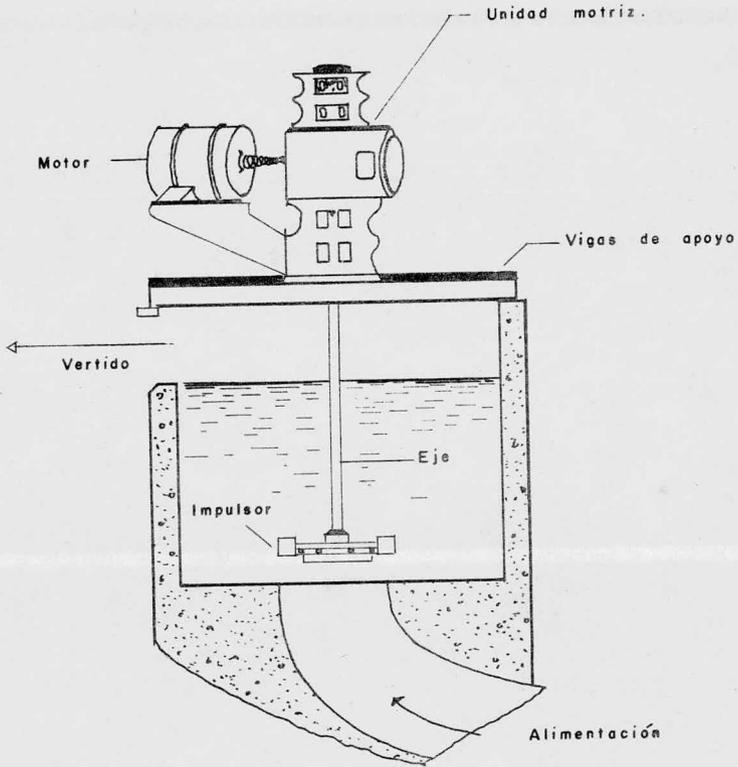


Figura 5.8 MEZCLADOR RAPIDO

. T E S I S .	
PLANTA DE TRATAMIENTO	
MEZCLADOR RAPIDO.	
ARNOLDO LIZARRAGA V.	Sin Escala.

tratar, agitando suavemente las mezclas durante un período de -- tiempo definido y observando después la calidad y característi-- cas de sedimentación de los flóculos.

Con esta prueba se logró obtener un valor de 6 mg/l de coagulante.

El alumbre se agrega generalmente mediante un mecanis-- mo que puede ajustarse para descargar una cantidad conocida du-- rante cierto período de tiempo. Este mecanismo puede calibrarse-- en unidades convenientes, tal como Kg/día. En este caso la canti-- dad de coagulante requerido por día es de 37.0 Kg/día. Este va-- lor se transforma a las unidades que se refiera la curva de cali-- bración que generalmente cada fabricante proporciona con el ali-- mentador.

#### C.4.- TANQUE DE FLOCULACION.

La operación de floculación se va a llevar a cabo en -- un tanque con agitación suave; con equipo accionado mecánicamen-- te. El tipo de equipo para este propósito consiste en unas pale-- tas o agitadores accionados por un motor, diseñado de manera que al girar las paletas se produzca una agitación apreciable, pero-- no indebida. Se puede regular la velocidad de manera que propor-- cione el grado óptimo de agitación. Las paletas van a girar so-- bre un eje horizontal a la dirección del flujo. La figura 5.9 nos muestra el tanque de floculación con las paletas de madera para-- la agitación.

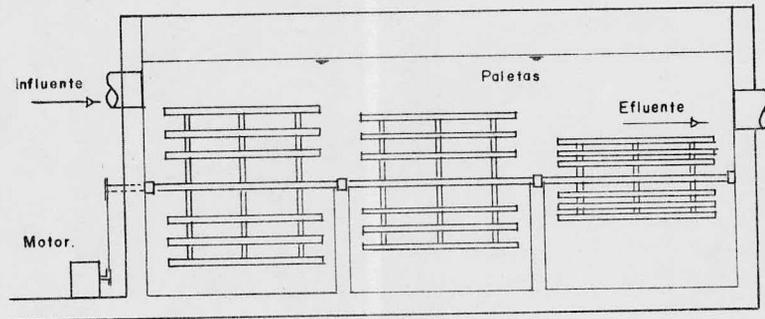


Figura 5.9

TANQUE DE FOCULACION

. T E S I S .	
PLANTA DE TRATAMIENTO	
TANQUE DE FLOCULACION.	
ARNOLDO LIZARRAGA V.	Escala... Sin.

Capacidad del tanque de floculación, es igual al equivalente del volumen en 30 minutos; para una mejor floculación.

$$6186 \text{ m}^3/\text{día} \times \text{día}/24 \text{ hrs.} \times \text{hr}/60 \text{ min.} = 2.29 \text{ m}^3/\text{min} \times \\ \times 30 \text{ min} = 128.7 \text{ m}^3.$$

El tanque de floculación tendrá las siguientes medidas:

$$\text{Largo} = 10 \text{ m.}$$

$$\text{Ancho} = 6 \text{ m.}$$

$$\text{Profundidad} = 2.5 \text{ m.}$$

Volumen del tanque =  $150 \text{ m}^3$  con un 15 % de seguridad.

#### C.5.- TANQUE DE SEDIMENTACION SECUNDARIA.

Tomando como base el mezclado y la floculación el período de retención en el sedimentador secundario se va reducir a una hora.

#### CALCULOS:

$$F = \text{Flujo diario} = 6186 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Volumen del tanque} = \frac{1 \text{ hora} \times 6186 \text{ m}^3/\text{día}}{24 \text{ horas/día}} = 257.75 \text{ m}^3$$

requeridos.

Dimensionando el tanque sedimentador.

$$\text{Largo} = 22 \text{ m.}$$

$$\text{Ancho} = 6.2 \text{ m.}$$

$$\text{Profundidad} = 2.2 \text{ m.}$$

Volumen del tanque =  $300 \text{ m}^3$  con un 14 % de seguridad.

Los dispositivos de entrada y salida, así como el mecanismo para la remoción de los lodos son igual a los calculados para el sedimentador primario, asimismo la forma de este sedimentador va a ser rectangular.

#### C.6.- BOMBAS.

Para el envío de los lodos acumulados en las tolvas de los sedimentadores hacia los lechos de secado se van a utilizar dos bombas de desplazamiento positivo del tipo recíprocante.

Diseño de las bombas.

En el primer sedimentador se va a remover un 60 % de sólidos suspendidos totales.

$$304.8 \text{ mg/l} \times \text{Kg}/10^6 \text{ mg} \times 10^3 \text{ l}/\text{m}^3 \times 6186 \text{ m}^3/\text{día} = 1885.4 \text{ Kg}/\text{día}.$$

$$\rho = \text{de los lodos} = 1000 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$\text{Entonces tenemos que } Q = \frac{1885.4}{1000} = 1.885 \text{ m}^3/\text{día}$$

Tenemos que a las 24 horas va a haber acumulados --  
 $1.885 \text{ m}^3$  de lodos los cuales se van a desalojar en 30 minutos.

$$Q = \frac{1.885 \text{ m}^3}{30 \text{ min.}} = 0.0628 \text{ m}^3/\text{min} = 0.00104 \text{ m}^3/\text{seg} = 16.59 \text{ gal}/\text{min}.$$

Se va a utilizar tubería de fierro comercial de  $1 \frac{1}{2}$  pulgada de diámetro (0.0381 m).

## Cálculos.

Elevación estática de la succión = 2.2 m = 7.2 Ft.

Fricción:

Tubería = 3.2 m.

Hg =  $f L/D v^2/2g$  ..... Fórmula de Darcy.

$$v = Q/S = \frac{0.00104 \text{ m}^3/\text{seg}}{0.0011 \text{ m}^2} = 0.945 \text{ m/seg.}$$

Hf = (0.021) (3.2/0.0381) (0.893/19.6) = 0.08 m = 0.26 Ft.

f = Crane tabla A-25 = 0.021

1 codo de 90° (32) (1.5/12) = 4.0 Ft

Elevación Estática de succión = 11.46 Ft = 3.49 m.

Pérdida de carga debido a la fricción en 50 m de tubería.

Hf = (0.021) (0.0455) (1312) = 1.25 m = 4.11 Ft.

Accesorios:

5 codos de 90° (32) (1.5/12) = 4 Ft X 5 = 20 Ft.

1 válvula de compuerta (7) (1.5/12) = 0.875 Ft.

Pérdidas por fricción a la descarga = 24.98 Ft = 7.6 m.

Elevación estática de succión = 11.46 Ft = 3.49 m.

Carga total a vencer = 36.44 Ft = 11.20 m.

O aproximadamente = 37 Ft = 11.27 m.

Potencia teórica requerida para operar la bomba.

$$P = \frac{H Q}{3960} = \frac{(37) (16.59)}{3960} = 0.155 \text{ HP.}$$

Entonces la potencia real, depende de la eficiencia de la bomba igual a 70 %.

$$p = P/e = 0.155/.70 = 0.22 \text{ HP equivalente a } 1/4 \text{ de HP.}$$

### C.7.- LECHOS DE SECADO DE LODOS.

Para el secado de los lodos se van a utilizar unos lechos de arena que tienen drenaje inferior. Estos drenajes tienen una descarga libre, y el líquido regresa a la entrada de la planta. Se va a colocar un lecho de grava sobre los drenajes inferiores; con una profundidad de 25 cm y en la parte superior de la grava, se encuentra una capa de arena de 15 cm. El lecho va a estar inclinado hacia afuera del punto de descarga de los lodos. Para flexibilidad de operación, el lecho va a estar dividido por una separación, para establecer un ciclo para el manejo de los lodos: llenado, lodos secos, eliminación de la torta de lodos, y reposo.

Para el dimensionamiento de este lecho; se tienen los siguientes datos:

$$\begin{aligned} \text{CONCENTRACION DE SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES} &= 508 \text{ mg/l} \\ \text{FLUJO PROMEDIO DIARIO} &= 6186 \text{ m}^3/\text{día} \end{aligned}$$

Entonces el peso de los lodos extraídos de los dos sedimentadores por día será de:

$$508 \text{ mg/l} \times \text{Kg}/10^6 \text{ mg} \times 10^3 \text{ l/m}^3 \times 6186 \text{ m}^3/\text{día} = 3142.5 \text{ Kg/día de lodos.}$$

Densidad de los lodos. =  $1000 \text{ Kg/m}^3$ .

Entonces el volumen de los lodos es  $\frac{3142.5}{1000} = 3.1425 \text{ m}^3/\text{día}$ .

Considerando un almacenaje de 10 días se tiene que di  
mensionar un lecho para recibir un volumen de  $31.42 \text{ m}^3$ .

Dimensiones del lecho de secado de lodos.

Largo = 12.0 m.

Ancho = 5.0 m.

Profundidad = 0.60 m.

Volumen = 36  $\text{m}^3$

La figura 5.10 muestra las características generales-  
del lecho de secado.

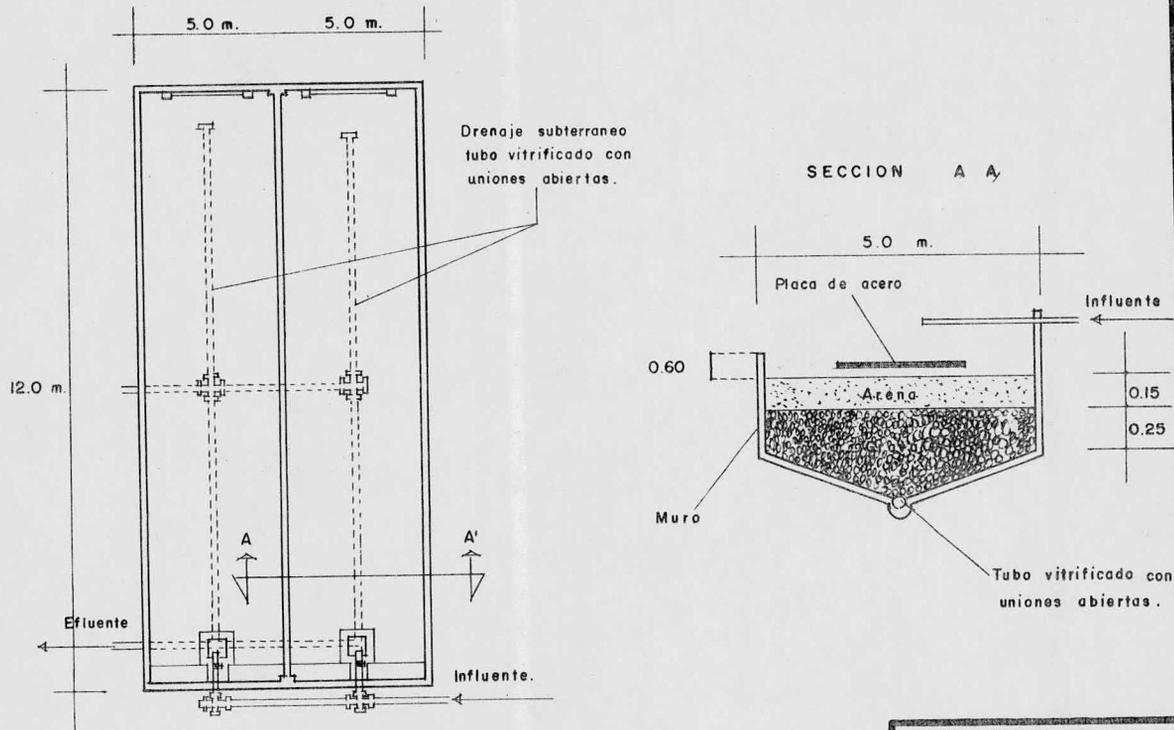


Figura 5.10

PLANO Y SECCION DEL LECHO DE  
SECADO.

T E S I S .	
PLANTA DE TRATAMIENTO	
LECHOS DE SECADO..	
ARNOLDO LIZARRAGA V.	Sin Escala..

## C A P I T U L O VI

### BALANCE ECONOMICO

En este capítulo se van a analizar dos alternativas para el tratamiento del agua residual de esta planta desde el punto de vista económico; una es la construcción de la planta tratadora por medio de la compañía y otra es si se paga por su tratamiento al municipio.

En los capítulos anteriores se hizo el estudio de los tipos de desecho, determinación de los principales parámetros de contaminación y asimismo se propone su tipo de tratamiento por medio de una serie de equipos.

La alternativa "A" es la construcción de la planta tratadora por medio de la compañía; para su estudio se van a estimar los costos de los equipos y el análisis económico de los costos que implican esta planta. Para la estimación de los costos de los equipos se pidieron directamente a contratistas del ramo.

#### COSTO DEL EQUIPO INSTALADO

Precios para la estimación de la construcción de albañilería:

Concreto : \$ 1850.00 m<sup>3</sup>

Cimbra : \$ 250.00 m<sup>3</sup>

Excavación : \$ 180.00 m<sup>3</sup>

1.- Estimación del costo de las rejillas y mallas finas:

1a.- Pozo de visita con las siguientes dimensiones: 2 x 1.25 x 1 m.

Cálculo de los m<sup>3</sup> necesarios:

$$\begin{aligned}
 1.0 \times 1.25 \times 0.15 &= 0.1875 \text{ m}^3 \times 2 = 0.375 \text{ m}^3 \\
 1.0 \times 1.25 \times 0.15 &= 0.30 \text{ m}^3 \times 2 = 0.60 \text{ m}^3 \\
 1.25 \times 2 \times 0.15 &= 0.375 \text{ m}^3 \\
 \text{Total m}^3 &= \frac{0.375 \text{ m}^3}{1.35 \text{ m}^3}
 \end{aligned}$$

$$\text{Volumen de la fosa} = 2.50 \text{ m}^3$$

Concreto	:	\$ 1850	X	1.35	=	\$ 2497.50
Cimbra	:	\$ 250	X	1.35	=	\$ 337.50
Excavación	:	\$ 180	X	2.5	=	\$ <u>450.00</u>
						\$ 3285.00

Por manejo de material 25%	\$	<u>821.25</u>
TOTAL	\$	4106.25

Dos fosas de las mismas dimensiones:.....\$ 8212.50

1b.- Construcción de la rejilla, barandal, plataforma y malla-fina.

#### MATERIAL

Solera Fe A.C. de 2 X 1/4 pulg. = 18 m. (3.25 Kg/m)	\$ 8.5 Kg.	\$ 517.20
Malla de acero inoxidable de 0.02 X 0.04 m = 3 m <sup>2</sup>	= \$ 1285 m <sup>2</sup>	\$ 3850.00
Placa antiderrapante de 1/4 pulg. = 4' X 8' (108 Kg/m)	\$ 13.75 Kg.	\$ 1544.40
Angulo de Fe. A.C. de 1 1/2 X 1 1/2 X 3/16 pulg. 12 m (2.7 Kg/m)	\$ 286.40	\$ 286.40
PTR de 1 1/2 X 1/8 pulg. = 18 m (3.25 Kg/m)	\$ 13.1 Kg.	\$ 797.00
Oxígeno, acetileno y soldadura.		\$ <u>1970.00</u>
		\$ 8970.00
Por manejo de material 10 %	\$	<u>897.00</u>
		\$ 9867.00
Mano de obra	\$	<u>6000.00</u>
TOTAL	\$	15867.00

Construcción de dos piezas de las mismas dimensiones:..... \$ 31,734.00

2.- Estimación del costo de construcción de Sedimentador Primario y accesorios.

2a.- Fosa de las siguientes dimensiones 30 X 6 X 2.2 m

Cálculo de los m<sup>3</sup> necesarios:

$$2.2 \times 6 \times 0.15 = 1.98 \text{ m}^3 = 1.98 \text{ m}^3$$

$$2.2 \times 30 \times 0.15 = 9.9 \times 2 = 19.8 \text{ m}^3$$

$$1.96 \times 6 \times 0.15 = 1.71 \text{ m}^3 = 1.71 \text{ m}^3$$

$$6.0 \times 30 \times 0.15 = 27.0 \text{ m}^3 = \frac{27.00 \text{ m}^3}{50.49 \text{ m}^3}$$

Cálculo de los m<sup>3</sup> necesarios para la tolva de lodos:

$$0.5 \times 6 \times 0.15 = 0.45 \times 2 = 0.90 \text{ m}^3$$

$$0.4 \times 6 \times 0.15 = 0.36 \text{ m}^3 = 0.36 \text{ m}^3$$

$$0.38 \times 0.15 = 0.057 \times 2 = \frac{0.114 \text{ m}^3}{1.374 \text{ m}^3}$$

Dispositivos de entrada y salida del sedimentador:

$$0.30 \times 6 \times 0.15 = 0.27 \text{ m}^3$$

$$0.60 \times 6 \times 0.15 = \frac{0.54 \text{ m}^3}{0.81 \text{ m}^3} \times 2 = 1.62 \text{ m}^3$$

$$\text{Total de m}^3 \text{ requeridos} = 50.49 + 1.374 + 1.62 = 53.48 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de la fosa más el de la tolva de lodos} = 398.28 \text{ m}^3$$

$$\text{Concreto} = \$ 1850/\text{m}^3 \times 53.48 = \$ 98,938.00$$

$$\text{Cimbra} = \$ 250/\text{m}^3 \times 53.48 = \$ 13,370.00$$

$$\text{Excavación} = \$ 180/\text{m}^3 \times 398.28 = \frac{\$ 71,690.00}{\$183,998.40}$$

Concreto, cimbra y excavación del sedimentador = \$ 183,998.40

Por manejo de material 25% = \$ 45,999.60

TOTAL = \$ 229,998.00

SEDIMENTADOR PRIMARIO = \$ 229,998.00

2b.- Costo de la construcción del sistema de rastras:

MATERIAL

Redondo de Fe A.A. de 1 pulg. de diámetro

24 m (4 Kg/m) \$ 63.0 Kg.....\$ 5592.00

Solera de Fe A.C. de 8" X 1 1/2", 6 m

(20.25 Kg/m) \$ 12.00 Kg.....\$ 1516.35

132 m para catarina, \$ 85.00 m.....\$11,220.00

8 catarinas de 8 pulg. de diámetro \$ 600.0

pza..\$ 4,800.00

Motovariador de LHP relación 18:1.....\$17,000.00

8 chumaceras con entrada de 1 pulg. de diá--

tro \$ 600.00 pieza.....\$44,800.00

\$45,288.35

Por manejo de material 10 % \$ 4,528.85

\$49,817.20

Mano de obra \$24,000.00

TOTAL \$73,817.20

Construcción de dos piezas de las mismas dimensiones:...\$147,634.40

3.- Costo de construcción del tanque mezclador:

3a.- Fosa de las siguientes dimensiones 3 X 1.5 X 3 m.

Cálculo de los m<sup>3</sup> necesarios:

$$\begin{aligned}
 1.5 \times 3 \times 0.15 &= 0.675 \times 2 = 1.35 \text{ m}^3 \\
 3.0 \times 3 \times 0.15 &= 1.35 \text{ m}^3 = 1.35 \text{ m}^3 \\
 1.5 \times 3 \times 0.15 &= 0.675 \times 2 = \underline{1.35 \text{ m}^3} \\
 \text{TOTAL m}^3 &= 4.05 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\text{Volumen de la fosa} = 13.50 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned}
 \text{Concreto} &= \$ 1850/\text{m}^3 \times 4.05 \text{ m}^3 = \$ 7492.50 \\
 \text{Cimbra} &= \$ 250/\text{m}^3 \times 4.05 \text{ m}^3 = \$ 1012.50 \\
 \text{Excavación} &= \$ 180/\text{m}^3 \times 13.5 \text{ m}^3 = \underline{\$ 2430.00} \\
 & \$ 10,935.00
 \end{aligned}$$

$$\text{Por manejo de material 25 \% } \underline{\$ 2,733.75}$$

$$\text{TOTAL } \$ 13,668.75$$

Costo de construcción de la fosa del mezclador.....\$ 13,668.75

3b.- Costo del material para la construcción de la plataforma y colocación del agitador.

$$\begin{aligned}
 \text{Viga 3 pulg. (8.5 Kg/m) 16m.} & \quad \$ 1202.25 \\
 2 \text{ láminas Fe. A.C. de } 1/4" \times 5' \times 10' & \quad \$ 2500.00 \\
 \text{Agitador con un motor de 1HP.} & \quad \underline{\$ 20000.00} \\
 & \quad \$23,702.25
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Por manejo de material 10 \% } & \underline{\$ 2,370.20} \\
 & \quad \$26,072.45
 \end{aligned}$$

$$\text{Mano de obra } \underline{\$21,000.00}$$

$$\text{TOTAL } \$47,072.45 \quad \underline{\$ 47,072.45}$$

4.- Costo de construcción del tanque de floculación.

4a.- Fosa de las siguientes dimensiones 10 X 6 X 2.5 m.



5.- Estimación del costo de construcción del sedimentador secundario.

5a.- Fosa de las siguientes dimensiones 22 X 6.2 X 2.2 m.

Cálculo de los  $m^3$  necesarios:

$$\begin{aligned}
 2.2 \times 22 \times 0.15 &= 7.26 \times 2 = 14.52 \text{ m}^3 \\
 2.2 \times 6.2 \times 0.15 &= 2.046 \text{ m}^3 = 2.046 \text{ m}^3 \\
 1.9 \times 6.2 \times 0.15 &= 1.70 \text{ m}^3 = 1.70 \text{ m}^3 \\
 6.2 \times 22 \times 0.15 &= 20.46 \text{ m}^3 = \frac{20.46 \text{ m}^3}{38.78 \text{ m}^3}
 \end{aligned}$$

Cálculo de los  $m^3$  necesarios para la tolva de lodos:

$$\begin{aligned}
 0.5 \times 6.2 \times 0.15 &= 0.465 \times 2 = 0.93 \text{ m}^3 \\
 0.5 \times 6.2 \times 0.15 &= 0.372 \text{ m}^3 = 0.372 \text{ m}^3 \\
 0.38 \times 0.15 &= 0.057 \times 2 = \frac{0.114 \text{ m}^3}{1.46 \text{ m}^3}
 \end{aligned}$$

Dispositivos de entrada y salida del sedimentador:  $1.62 \text{ m}^3$ .

Total de  $m^3$  requeridos =  $38.78 + 1.46 + 1.62 = 41.86 \text{ m}^3$

Volumen de la fosa mas el de la tolva de lodos =  $300 \text{ m}^3$

Concreto =  $\$ 1850/\text{m}^3 \times 41.86 \text{ m}^3 = \$ 77,441.00$

Cimbra =  $250/\text{m}^3 \times 41.86 \text{ m}^3 = \$ 10,465.00$

Excavación =  $180/\text{m}^3 \times 300 \text{ m}^3 = \underline{\$ 54,014.40}$   
 $\$141,920.40$

Por manejo de material 25 %  $\underline{\$ 35,480.10}$

Total  $\$177,400.00$

SEDIMENTADOR SECUNDARIO  $\$ 177,400.00$

## 6.- BOMBAS.

Dos bombas reciprocantes de fierro de 1/4HP..... \$ 81,150.00

## 7.- Estimación del costo de construcción del lecho de secado.

7a.- Fosa de las siguientes dimensiones 12 X 5 X 1 m.

Cálculo de los m<sup>3</sup> necesarios:

$$5 \times 1 \times 0.15 = 0.75 \times 4 = 3.0 \text{ m}^3$$

$$5 \times 12 \times 0.15 = 9 \times 2 = 18.0 \text{ m}^3$$

$$1 \times 12 \times 0.15 = 1.8 \times 2 = 3.6 \text{ m}^3$$

$$1 \times 12 \times 0.30 = 3.6 \text{ m}^3 = \underline{3.6 \text{ m}^3}$$

$$\text{Total m}^3 = 28.2 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de la fosa} = 60.0 \text{ m}^3$$

$$\text{Concreto} = \$ 1850/\text{m}^3 \times 28.2 \text{ m}^3 = \$52,170.00$$

$$\text{Cimbra} = \$ 250/\text{m}^3 \times 28.2 \text{ m}^3 = \$ 7,050.00$$

$$\text{Escavación} = \$ 180/\text{m}^3 \times 60 \text{ m}^3 = \underline{\$10,800.00}$$

$$\$70,020.00$$

$$\text{Por manejo de material 25\%} \quad \underline{\$17,505.00}$$

$$\$87,525.00$$

LECHOS DE SECADO....\$ 87,525.00

$$\text{Grava} = \$ 120 \text{ m}^3$$

$$\text{Arena} = \$ 80 \text{ m}^3$$

$$\text{Grava} = 0.15 \times 5 \times 12 = 9 \times 2 = 18 \text{ m}^3 \times \$ 120/\text{m}^3 = \$ 2160$$

$$\text{Arena} = 0.15 \times 5 \times 12 = 15 \times 2 = 30 \text{ m}^3 \times \$ 80/\text{m}^3 = \underline{\$ 2400}$$

$$\$ 4560.0$$

$$\text{Por manejo de material 10 \%..} \quad \underline{\$ 456.0}$$

$$\$ 5015.0$$

$$\underline{\$ 5,016.0}$$

7b.- Tubería y accesorios para llevar los lodos de los sedimenta  
dores a los lechos de secado.

## MATERIAL

180 m de tubo de Fe A.C. ced. 40 de 1 1/2 pulg.	\$ 18,476.65
10 codos 90° de 1 1/2 pulg. de diámetro	\$ 1,470.00
4 válvulas de compuerta de 1 1/2 pulg. de diámetro.	\$ 744.00
4 Tees de 1 1/2 pulg. de diámetro	\$ 794.40
2 tapones	\$ 230.00
2 placas 3' X 8' X 3/8 p ulg. \$ 167 Kg.	<u>\$ 4,592.50</u>
	\$ 26,307.55
Por manejo de material 10 %	<u>\$ 2,630.70</u>
	\$ 28,938.25
Mano de obra	<u>\$ 21,676.00</u>
Total	\$ 50,614.25
	<u>\$ 50,614.25</u>

Resumen del costo del equipo instalado.

1.- REJILLAS Y MALLAS FINAS.....	\$ 39,946.50
2.- SEDIMENTADOR PRIMARIO CON SISTEMA DE RASTRA....	\$ 303,815.20
3.- TANQUE MEZCLADOR.....	\$ 60,741.20
4.- TANQUE DE FLOCULACION.....	\$ 141,850.10
5.- SEDIMENTADOR SECUNDARIO CON SISTEMA DE RASTRA..	\$ 251,217.70
6.- DOS BOMBAS RECIPROCANES.....	\$ 81,150.00
7.- LECHOS DE SECADO.....	<u>\$ 143,155.25</u>
TOTAL	1,021,875.90

COSTO TOTAL DEL EQUIPO INSTALADO: \$ 1,021,875.90

## Evaluación Económica de Inversión de alternativa "A"

Capital Fijo de Inversión.

1.- Costo del equipo.....	\$ 1,021,875.90
2.- Costo de tubería de concreto..	\$ 85,333.33
3.- Costo del terreno.....	\$ <u>3,200.000.00</u>
Total	\$ 4,307,209.20

Costos de operación.

1.- Mantenimiento y reparaciones anuales.....	\$ 24,000.00
2.- Costo de electricidad anual..	\$ 6,000.00
3.- Mano de obra anuales.....	\$ 37,595.00
4.- Laboratorio: Equipo, reacti-- vos y analista. Anual.....	\$ <u>220,000.00</u>
Total	\$ 287,595.00

COSTOS:

Capital fijo de inversión.....	\$ 4,307,209.20
Costos anuales de operación.....	\$ 287,595.00
Vida del equipo 10 años	
Valor recuperable del equipo 10 % del costo inicial.....	\$ 110,720.92

Para la evaluación de esta alternativa se va a hacer por medio del cálculo del costo anual del capital.

Costo anual del capital invertido = \$	4,307,209.2 X <sup>+</sup> Frc(17%-10) =	
	= \$ 4,307.209.2 X 0.21466	= \$ 924,585.52
Costo anual del valor recuperable = \$	110,720.92 X <sup>++</sup> Fa (17%-10) =	
	= \$ 110,720.92 X 0.04466	= <u>-\$ 4,944.79</u>
	Costo anual de la inversión = \$	919,640.73
	Costo anual de operación = \$	<u>287,595.00</u>
	Total	\$1,207.235.73

Analizando el cálculo anterior se ve que el costo total anual de la alternativa "A" durante la vigencia de la inversión es de \$ 1,207,235.73.

Evaluación Económica de Inversión de alternativa "B".

Costo total anual.....\$ 11,690,682.94

La inversión señalada en el párrafo anterior se deriva de un estudio -- realizado por la Empresa para la Prevención y Control de la Contaminación del -- Agua . (E.P.C.C.), ODEM, Organismo Descentralizado del Estado de México.

Cuyo proyecto se basa en el tratamiento de las aguas en forma conjunta para todas las industrias enclavadas en el corredor Industrial Lerma-Toluca.

Este proyecto estipula un tratamiento de las aguas en cuanto a (SSe) - sólidos sedimentables, (DBO) demanda bioquímica de oxígeno y (G y A) grasas y -- aceites. Prorrateándose de la siguiente manera los costos:

SSe.-	15	% del total	=	\$ 1,753,602.44
DBO.-	28.5	% del total	=	\$ 3,331,844.63
GyA.-	1.2	% del total	=	<u>\$ 140,288.19</u>
				\$ 5,225,735.26

+ Frc = Factor de recuperación de Capital  
 ++ Fa = Factor de Amortización

Si fuese unicamente por el tratamiento se invertiría la cantidad de \$ 5,225,735.26; lo que vendría a representar un 18 % mas de inversión en el primer año; que lo que representa la alternativa "A".

Ahora considerando la inversión por el gasto o volumen hasta el sitio de tratamiento existe un incremento considerable de \$ 6,464,947.66 por año y esto representa un 55.3 % de la cantidad señalada inicialmente en la alternativa "B".

## CONCLUSIONES :

1.- Viendo el panorama en general de la contaminación del medio ambiente en todos sus componentes; se hace necesario el establecer controles de todos tipos para evitarla, controlar la y combatirla.

2.- Es necesario cumplir con los reglamentos elaborados por dependencias oficiales, sobre aspectos de la contaminación, ya que la solución a ese problema depende de la colaboración de todos.

3.- Se ve la necesidad de que las industrias de todos tipos conozcan y clasifiquen sus efluentes desde el punto de -- vista de sus contaminantes que se van a descargar a los dren-- jes para evitar que estos sean considerados como basureros.

4.- Las cervecerías no pueden soslayar la necesidad - de conocer sus descargas, dado que lo exigen las leyes y la pro pia conveniencia.

5.- El conocimiento del efluente por medio de los recursos de la cervecería, es sustancialmente más barato que el - uso de laboratorios especializados.

6.- En la comparación de las dos alternativas en el - aspecto económico; se propone la construcción de la Planta Depu radora por parte de cervecería para el tratamiento de su efluen te.

7.- Considerando el volúmen del agua y la concentración de contaminantes a tratar, se observa una eficiencia del 98% de calidad en el agua con base en el tratamiento que se describe en el capítulo V, de este trabajo, lo que indica que se controla la contaminación por Sólidos Sedimentables (SSe), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), y Grasas y Aceites (GyA).

8.- En las aguas a tratar en la Planta de Tratamiento se ha de evitar en lo posible: descargar materia orgánica, con un aprovechamiento adecuado de los subproductos, y los volúmenes excesivos e innecesarios de agua.

9.- El diseño del muestreo y análisis debe ser el resultado de una investigación departamental y una clara idea de la red de drenaje.

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

- 1.- Ingeniería Sanitaria.  
W. A. Hardenberg y Edward B. Rodie.  
CECSA 4<sup>a</sup> Impresión Octubre 1975.
- 2.- Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales.  
Gordon Maskew Fair.  
John Charles Geyer.  
Daniel Alexander Okun.  
Editorial LIMUSA Volumen II.
- 3.- Manual de Tratamiento de Aguas.  
Departamento de Sanidad del Estado de New York., Albany.  
Editorial LIMUSA 1976.
- 4.- Ingeniería Económica.  
George Taylor.  
Editorial LIMUSA 1977.
- 5.- "Treatment of Brewery Waste".  
Lewis, Howard V.  
American Brewery July/August 1969.  
Adolph Coors Co., Goden Colorado.
- 6.- "Characteriztics and Treatment of Brewery Wastes".  
Mulligan, Thomas J.  
The Brewers Digest August/1967.
- 7.- "A Practical Review of Brewery Effluents"  
T. G. Ramsay  
Technical Quarterly Vol. 8 N°3 (1971)
- 8.- "A Perspective on Brewery Effluents."  
L. A. Leseelleur.  
Technical Quarterly Vol. 8 N°1 (1971)

- 9.- American Public Health Organization: Standard Methods-Water. Sewage, Waste. 10 TH Ed. New York. (1955)
  
- 10.- Un Planeta en Peligro.  
Raymond F Dasmann. UNESCO.