

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

La Ingeniería Química Aplicada al Control de Calidad de Agua en los E.U.M.

José Ma. Angel Mogollón Rivera

Ingeniería Química

1975

SIN
Reg.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CLAS. TESIS
ADQ. 1995
FECHA
PROC. M. 2 29



01012A

Quiero hacer patente mi agradecimiento a:

Mis padres. Por su continuo apoyo y dirección.

Mis maestros. Que me facilitaron el aprendizaje.

Mis hermanos. Por su cariño y compañía.

A mis amigos. Por haber sido buenos compañeros.

A mis parientes. Por sus orientaciones y afecto.

A la mujer que algún día será mi esposa. Por su amor y comprensión.

La Universidad. Por haberme aceptado y formado en su seno.

La S.R.H. Por haberme hecho un eficiente burócrata.

México. Por ser mi nación materna.

PRESIDENTE ING. PABLO HOPE Y HOPE

Jurado asignado
originalmente
según el tema.

VOCAL ING. MANUEL BUENROSTRO

SECRETARIO ING. ANTONIO FRIAS

1er. SUPLENTE ING. CUTBERTO RAMIREZ

2do. SUPLENTE ING. JORGE GARCIA SPAMER

Se desarrolló el tema en: S.R.H., Bibliotecas, Estados de la República Mexicana.

Sustentante: José Ma. Angel Mogollón Rivera. José Ma. Rivera

Asesor: I.Q. Pablo Hope y Hope. Pablo Hope

LA INGENIERIA QUIMICA APLICADA AL CONTROL DE CALIDAD
DEL AGUA EN LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS.

I.- Introducción.

II.- Objetivos.

III.- Métodos de muestreo.

IV.- Normas de las Aguas Potables. Parámetros de control.

V.- El laboratorio en el control de la calidad del agua.

VI.- Métodos de desinfección.

VII.- Procesos de potabilización.

Bibliografía.

I.- Introducción.

El agua, es un líquido en condiciones normales, incoloro, inodoro e insípido, considerado como el solvente mas universal. Una molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, su peso molecular es de 18 unidades, su fórmula química condensada es H_2O y su fórmula química desarrollada es H-O-H. La molécula de agua es polar debido al momento eléctrico de sus átomos. Existen muchas otras características fisicoquímicas que aquí no se exponen respecto al agua.

Las impurezas que pueda contener el agua se presentan en tres estados de finura:

- a) En suspensión.
- b) En estado coloidal: sol, gel.
- c) En solución.

Cada uno de éstos estados determina el tipo de proceso que se debe aplicar para purificar el agua.

Al agua con impurezas de tipo suspensión se le aplica el proceso de sedimentación simple y/ó filtración.

Al agua con impurezas de tipo coloidal, para purificarla, se le aplica el proceso especial de coagulación-floculación y sedimentación ó filtración subsiguiente.

Para purificar el agua con impurezas en solución se requiere aplicar procesos de tratamiento que involucran reacciones químicas, como en el caso de ablandamiento de aguas duras.

El agua para usos potables se capta de diversos tipos de fuentes como son:

Fuentes superficiales: rios, arroyos, riachuelos, lagos, lagunas, embalses, presas, esteros, pantanos, galerías filtrantes.

Fuentes subterráneas: manantiales, aljibes, pozos, acuíferos, los pozos pueden ser someros ó profundos, los primeros tienen de 15 a 30m. de profundidad, mientras que los profundos pueden estar hasta a 500m. de profundidad.

El agua proveniente de aguas superficiales generalmente contiene turbiedad y color, sobre todo en época de estiáje, estando además expuesta a la contaminación de los animales y seres humanos.

Las aguas subterráneas en general están libres de turbiedad y color aunque en ocasiones pueden contener altas cantidades de Hierro y manganeso ó estar muy mineralizadas de acuerdo con la composición de los estratos geológicos por los que pasan. ⁽¹⁾

De lo expuesto se concluye que las fuentes de agua tal como se presentan en la naturaleza no llenan los requerimientos, generalmente, necesarios tanto para consumo humano como para usos industriales, debiendo de aplicarle en la mayoría de los casos diferentes procesos de purificación con el fin de hacerla apta para su consumo.

La calidad del agua se puede definir como el término utilizado para expresar las características físicas, químicas y bacteriológicas principalmente, y en forma secundaria las características radiológicas, virológicas y biológicas del agua.

La Secretaría de Salubridad y Asistencia (S.S.A.) y la Organización Mundial de la Salud (O.M.S.) han establecido las normas de calidad que se debe observar en el agua potable de tal forma que el consumidor tenga un servicio satisfactorio que le garantice salud. En el capítulo IV se hace mención a las normas adoptadas por diversas organizaciones dedicadas a preservar la salud pública.

(4)
Evolución del control de calidad.-

- 1924.- Introducción a los conceptos básicos.
- 1937-1960.- Control estadístico de la calidad.
- 1960-1965.- Control total de la calidad.
- 1965-1975.- Seguridad y auditoría de la calidad. Cero defectos.

1924.- Introducción a los conceptos básicos con las gráficas y límites del doctor Walter A. Shewart y con la contribución de la teoría de muestreo y la teoría y planos de aceptación.

1937-1960.- Control estadístico de la calidad. Por primera vez se aplican las teorías de probabilidad y estadística matemática a procesos de producción industrial masiva de altos volúmenes. Los laboratorios de electricidad y el desarrollo de productos telefónicos, son los pioneros en la aplicación de éstas técnicas.

1960-1965.- Control total de la calidad. Dada la necesidad de incrementar el volumen de producción de las empresas, se procedió a adiestrar a la mayor parte del personal en técnicas de control de calidad por considerarse de importancia vital, se adiestra y entrena con el deseo de elevar el nivel de los participantes, desde el vendedor hasta el gerente, estableciendo así una conciencia de calidad uniforme en todos los elementos de una empresa.

1965-1975.- Seguridad de calidad, auditoría de calidad, programa cero defectos.- El programa cero defectos apareció con la industria espacial; en cohetes como en satélites artificiales donde prácticamente no se deben tener errores o defectos pues el costo de los aparatos y equipos es elevado y en consecuencia los riesgos deben reducirse al mínimo, por ejemplo se tiene el caso de los saté-

lites tripulados, el riesgo debe ser nulo.

En seguridad de la calidad el sistema está basado en la confianza entre el proveedor y el comprador con una cooperación técnica realizada entre ambas partes.

La auditoría de calidad se lleva a cabo en fábricas que tienen subsidiarias y/o sucursales ó que trabajan en el sistema de patentes con el fin de tener un nivel constante de calidad.

La aparición de los computadores electrónicos ha abierto una nueva era en el control de calidad, analizando automáticamente las curvas de tendencia de una información determinada.

El control de calidad, realizado de ésta forma, es mejor que el realizado por los métodos tradicionales.

En el laboratorio central del departamento de laboratorios e investigación de la Dirección de Fuentes de Abastecimiento de la Dirección General de Agua Potable de la Secretaría de Recursos Hidráulicos se elaboran programas que pueden brindar el análisis de las tendencias de los diversos parámetros de control en el agua potable de los estados de la República Mexicana, en el capítulo V se muestra un programa.

Con lo anteriormente expuesto se concluye que el control de calidad de agua potable en nuestro país tiene las técnicas y los medios mas modernos y actualizados para cumplir en forma óptima su misión de velar por la salud pública en cuanto al suministro de agua potable.

Algunas de las actividades desarrolladas en el control de calidad del agua potable son:⁽⁹⁾

- 1.- Supervisión y creación de laboratorios regionales en los estados unidos mexicanos.
- 2.- Investigación y actualización de métodos de análisis.
- 3.- Supervisión de desinfección o sea control sanitario del agua distribuida en los diversos sistemas del país.
- 4.- Entrenamiento al personal de laboratorios, desinfección y plantas potabilizadoras.
- 5.- Instalación y control de procesos en las plantas de tratamiento, es decir en plantas potabilizadoras.
- 6.- Verificar la conservación y el buen funcionamiento de las plantas potabilizadoras.
- 7.- Investigación de nuevos métodos y equipos aplicables a la potabilización de aguas naturales.
- 8.- Proposición de mejoras en los procesos existentes de purificación, desinfección, etc. que tiendan a optimizarlos.

La forma en la que interviene el control de calidad es en base a sugerencias o proposiciones y siempre como un servicio, informando en forma preventiva de preferencia que en forma correctiva.

Siendo el agua distribuida la imagen de la eficiencia de la organización ante el consumidor, es menester cuidarla, pues el control de la calidad se lleva a cabo en cada una de las etapas para obtener los mejores resultados posibles en la distribución de agua potable.

Los criterios tomados para calificar la calidad del agua suministrada deberán estar basados en:

- a) Los resultados de los análisis efectuados en las muestras

de agua tomadas de las fuentes de abastecimiento, plantas de tratamiento ó plantas potabilizadoras y redes de distribución.

b) En la opinión de los consumidores.

c) En el análisis de las tendencias de los datos estadísticos compilados por los principales centros de salud en lo relativo a los índices de morbilidad y mortalidad de origen hídrico ó intestinal en el país, relacionandolos con la inexistencia de desinfección en la región afectada ó bien con la interrupción del mismo servicio además de incluir como otra función los resultados de los análisis del laboratorio de control.

Para llevar a cabo este punto se está trabajando en conjunto con la Organización Mundial de la Salud (O.M.S.), la Secretaría de Salubridad y Asistencia (S.S.A.) y la Secretaría de Recursos Hidráulicos (S.R.H.).

El control de calidad está basado en los estudios y observaciones realizadas en las diferentes etapas desde sus inicios hasta los programas establecidos.

Las etapas consideradas en éste estudio son:

- 1.- Etapa de muestreo.
- 2.- Etapa de laboratorio de control.
- 3.- Etapa de control sanitario.
- 4.- Etapa de procesos de potabilización.

Para conocer con amplitud el área de control de calidad de agua potable es pertinente desglosar las etapas antes mencionadas, haciendose patente que en el presente estudio solo se está haciendo una descripción somera de dichas etapas.

Específicamente para el desarrollo óptimo en la práctica profesional en la actividad ó área de control se requiere del conocimiento de las siguientes asignaturas a nivel de licen-

ciatura en Ingeniería Química.

- a) Química Inorgánica.
- b) Química Orgánica. (I-V)
- c) Química Cuántica. (Optativa)
- d) Ingeniería Química Básica. (I-IV)
- e) Ingeniería Química Suplementaria. (V-IX)
- f) Matemáticas. (I-VII)
- g) Fisicoquímica. (I-IX)
- h) Instrumentación Industrial. (Optativa)
- i) Programación Industrial. (Optativa)
- j) Análisis Químico. (I-III)
- k) Análisis Químico Instrumental. (IV-V)
- l) Física. (I-VI)
- m) Ingeniería Eléctrica. (I-II)
- n) Ingeniería Mecánica. (I-II)
- o) Dibujo.
- p) Diseño de Equipo.
- q) Economía Industrial. (I-II)
- r) Tratamiento de Aguas. (Optativa)
- s) Relaciones Humanas. (Optativa)

A continuación se enumeran los subtemas que abarcan algunas de las asignaturas fundamentales:

	Subtemas
a) Química Inorgánica.-----	60
b) Química Orgánica. (I-V)-----	220
d) Ingeniería Química Básica. (I-IV)-----	345
e) Ingeniería Química Suplementaria. (V-IX)---	338
f) Matemáticas. (I-VII)-----	303
g) Fisicoquímica. (I-IX)-----	343
h) Análisis. (I-V)-----	124

II.- Objetivos de la Ingeniería Química en el Control de Calidad del Agua Potable.

1º El objetivo primordial que se propone satisfacer la Ingeniería química aplicada al control de calidad del agua potable, empieza a lograrse en el laboratorio, realizando las pruebas necesarias para comprobar que el agua suministrada en los diversos sistemas de la república mexicana tenga las características fisicoquímicas y bacteriológicas para los parámetros descritos en las normas del código sanitario y el reglamento sobre provisión de agua potable en vigor, velando así por que los índices de enfermedades hídricas en el país desciendan ó se mantengan constantes, mejorando así la salud pública.

El laboratorio central del Departamento de Investigación y Laboratorios dependiente de la Dirección de Fuentes de Abastecimiento de la Subsecretaría de Construcción de la S.R.H. ha publicado las cartas de calidad del agua potable en la república mexicana ⁽¹⁾, con la colaboración de laboratorios regionales distribuidos en el país.

Para comprobar los parámetros analíticos se utilizan técnicas de laboratorio estipuladas en los métodos estándar para análisis de agua y aguas de desecho ⁽³⁾, publicados por las asociaciones norteamericanas A.P.H.A., A.W.W.A. y W.C.P.F., traducidas al español por el I.Q. Pedro J. Caballero Senties.

Se requiere de la actualización continua, estudio e investigación de nuevas técnicas que sean más prácticas, rápidas, exactas, precisas y económicas que las existentes, usando en cada caso las adecuadas a las condiciones económicas de los diferentes sistemas de agua potable en los Estados Unidos Mexicanos.

2º Hacer patente, la necesidad de efectuar en la forma más precisa posible la ó las técnicas para evaluar y registrar el índice de cloro residual así como el consumo diario de cloro ó hipoclorito, a los operadores de los diversos sistemas de desinfección en el país, haciéndoles adquirir conciencia del papel tan importante que desarrollan en el propósito de distribuir agua potable de la mejor calidad sanitaria, con la finalidad de que las poblaciones tengan la mínima ó bien nula proliferación de enfermedades de índole gastrointestinal y símiles, mediante lo cuál se podrá comprobar una disminución en los brotes epidémicos que controlan los centros de sanidad de nuestra nación.

3º Seleccionar, instalar, conservar, mantener y evaluar las eficiencias de desinfección de los diversos equipos cloradores para todos los sistemas de los E.U.M., además de asesorar a los operadores para obtener el óptimo funcionamiento e interrupciones mínimas en la cloración, con lo cuál se lleva a cabo en forma práctica el objetivo anterior.

4º Conocer, estudiar y aplicar las técnicas de fluoración de las aguas, con el fin de reducir las caries en la población tanto infantil como adulta, tales técnicas aún están en sus etapas iniciales de investigación. También existe la necesidad de aplicar métodos fisicoquímicos para desfluorar las aguas de algunas regiones que poseen alto contenido de dicho elemento, lo cuál no es conveniente desde el punto de vista sanitario para las poblaciones que reciben éstas aguas.

Además de efectuar tales estudios, es conveniente evaluar el costo de diseño, selección, construcción, instalación, manejo, operación, mantenimiento, conservación, servicio, y sustitución de equipos y plantas para fluoración.

5º Planear, diseñar y evaluar la instalación y mejoras requeridas para los laboratorios de control de calidad de los sistemas existentes y propuestos para su creación, dadas las necesidades crecientes de consumo de agua potable y del control fisicoquímico y sanitario de la misma.

6º Evaluar técnica y económicamente la operación de las diferentes plantas de tratamiento que existen instaladas en los estados de la República.

Proponer las mejoras pertinentes para mejorar y optimizar el funcionamiento, conservación, operación y mantenimiento preventivo de las antes mencionadas plantas potabilizadoras.

7º Investigar y proponer nuevas técnicas de tratamiento de las aguas naturales de nuestro país.

8º Aplicar las materias comprendidas por la ingeniería química en las diferentes áreas y actividades profesionales con la idea de optimizar la eficiencia en la consecución de los objetivos planteados para el control de la calidad del agua potable en los E.U.M.

Es conveniente aclarar que los objetivos propuestos en este trabajo son motivo de estudios más amplios y que se llevarán a cabo posteriormente en forma más completa.

III.- Métodos de Muestreo.⁽²⁾

La calidad del agua está en función de los usos a los que se destina y por lo tanto del tipo de contaminantes que contiene. Cualquier sustancia que degrade la calidad del agua se considera como contaminante.

El objetivo del muestreo es coleccionar agua de las diferentes fuentes; en todas las regiones del país, considerando los cuerpos existentes como superficiales, subterráneos y marinos; para su posterior y/o inmediata determinación analítica.

Para efectuar los muestreos se requiere ser experimentado en tales técnicas para no incurrir en errores experimentales y poder obtener la máxima fidelidad, exactitud, y precisión al analizar dichas muestras y por lo tanto obtener factores altos de confiabilidad y veracidad en los resultados obtenidos y la interpretación de los mismos.

Clasificación del muestreo: (C.I.E.C.C.A.)

1.- Muestra simple. Consiste en tomar una muestra.

Tiene el defecto de ^{no} indicar las variaciones y tendencias en la calidad existente en el suministro de agua.

2.- Muestra promedio. Se toman varias muestras.

Los resultados de varias muestras simples se promedian proporcionando una estadística de las variaciones de la calidad.

El muestreo promedio se puede efectuar en intervalos de horas, días, meses, bimestres, trimestres, semestres y/o años, según los requerimientos.

3.- Muestra compuesta. Se obtiene mezclando varias muestras simples de igual volumen en intervalos de tiempo fijos, dando un índice bastante preciso de la calidad del agua.

Los problemas específicos a los que se aplican las técnicas de muestreo son:

1.- Objetivo: Conocer el problema de los tratamientos y las características generales del agua.

Clase de muestreo: Muestra simple tomada antes y después de cada tratamiento.

2.- Objetivo: Conocer las características del agua cuya calidad es variable.

Clase de muestreo: Muestras simples y promedio ó muestras compuestas.

3.- Objetivo: Conocer la calidad de aguas de desecho industrial ó aguas negras.

Clase de muestreo: Muestras simples ó promedio y muestras compuestas según el tipo de contaminante.

4.- Para diseño preliminar de equipo de tratamiento de agua, se toman series de muestras simples con aforo ó medición del gasto para recuperación de aguas.

5.- Para diseño final de equipo de tratamiento de aguas, se toman muestras compuestas, así como aforos ó mediciones de flujo, y determinaciones continuas y constantes de pH u otro parámetro de control de calidad.

Se prefiere tomar las muestras de un lugar en el que la calidad del agua sea uniforme u homogénea, por ejemplo zonas de flujo turbulento.

Consultar el manual de muestreo y análisis de campo del Centro de Investigación y Estudios de Control de Calidad del Agua ⁽²⁾ (C. I.E.C.C.A.) para información específica más amplia relativa a:

A) Selección del lugar de muestreo:

- 1.- Pozos y tanque elevados.
- 2.- Equipos desaerados.
- 3.- Recipientes diversos.
- 4.- Canales colectores.
- 5.- Rios.
- 6.- Lagos y lagunas.

B) Intervalo de tiempo entre el muestreo y el análisis.

Para análisis fisicoquímicos:

Aguas no contaminadas----- 72 hrs.

Aguas ligeramente contaminadas----- 48 hrs.

Aguas contaminadas----- 12 hrs.

Esto es considerando el uso de conservadores.

C) Equipo de muestreo:

Incluye muestreadores de diferentes tipos según su uso, pipetas graduadas de 10 ml., pipetas volumétricas de 100 ml., botellas de plástico de 1 y 2 litros, botellas de vidrio de 300 ml., embudos de plástico de cola larga y corta, termómetro de 0-100°C, cubetas de plástico de 2-5 litros, hilo de cáñamo, hielera, frascos de vidrio de 100 ml. con tapón esmerilado para análisis bacteriológicos, papel aluminio, mechero, frasco de boca ancha de vidrio para muestras de grasas y aceites de 1 litro, buretas graduadas de vidrio de 25 ml., soporte universal, pinzas para bureta, matraces erlenmeyer de 250 ml., papel indicador de pH ó potenciómetro de campo, guantes y botas de hule, preservativos específicos, lancha y equipo de buceo en caso de ser necesario.

Para efectuar el muestreo se requiere conocer la zona, fuentes

y estaciones de aforo, además de utilizar el equipo mencionado.

D) Técnicas específicas de muestreo para análisis:

- 1.- Fisicoquímicos.
- 2.- Bacteriológicos.
- 3.- de oxígeno disuelto. (OD o DO)
- 4.- de aceites y grasas.
- 5.- de fenoles.
- 6.- de metales pesados. (Al, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Hg)
- 7.- de fosfatos.
- 8.- de sílice.
- 9.- Detergentes ó alquilbencensulfonatos (ABS).

E) Identificación de la muestra.

En la etiqueta y en la hoja de datos deberán hacerse las anotaciones siguientes:

- 1.- En la etiqueta
 - a) Nombre de la fuente.
 - b) Lugar ó localidad.
 - c) Fecha y hora.
 - d) Número de estación.
- 2.- En la hoja de datos
 - a) pH
 - b) método de muestreo. (simple, promedio ó compuesto)
 - c) uso del agua.
 - d) gasto.
 - e) condiciones atmosféricas.
 - f) oxígeno disuelto. (OD)
 - g) observaciones.

Debido a que algunos parámetros analíticos varían bastante con respecto al tiempo, es conveniente efectuar los análisis de

éstos en el campo para lo cuál existen laboratorios portátiles evitando así el mínimo de errores posible, en otros casos es suficiente con la adición de preservativos para que la muestra llegue al laboratorio central ó auxiliar en el que hayan de realizarse las determinaciones.

Para transportar las muestras se propone preservarlas de su descomposición mediante la adición de ciertos reactivos específicos y/ó determinadas condiciones de temperatura (4°C) por refrigeración, en otros casos hay que evitar la exposición de las muestras a la radiación solar, no está de más recordar que el lapso de tiempo entre muestreo y análisis debe ser mínimo. Las mediciones que se requieren efectuar en el campo, por variar bastante con respecto al tiempo son temperatura, conductividad, potencial hidrógeno y oxígeno disuelto primordialmente. En el caso de los análisis bacteriológicos se propone efectuar los análisis inmediatamente después del muestreo mediante la técnica de la membrana.

IV.- Diversas Normas de las Aguas Potables.

Las diversas normas estipuladas, en las sociedades, asociaciones o cualesquiera de las agrupaciones de los diferentes países, en cuanto a la calidad del agua potable han sido tendientes a proteger la salud de los consumidores, a continuación se describen las normas estipuladas por:

- a) Los estados unidos mexicanos. E.U.M.
- b) Los estados unidos de norteamérica. U.S.A.
- c) El servicio de salud pública de los estados unidos. U.S.P.H.S.
- d) La organización mundial de la salud. O.M.S.

a) E.U.M. (14)

Sustancias:	Norma:
<u>Arsénico</u>	0.05 mg/l ✓
Cinc	15.00 "
Cobre	3.0 "
Cromo, 6+	0.05 "
Compuestos fenólicos	0.001 "
Fluoruro	1.5 "
Hierro + Manganeso	0.35 "
Hierro	0.30 "
Manganeso	0.05 "
Plomo	0.10 "
Selenio	0.05 "
pH	6.0 - 8.0 ✓✓
Alcalinidad total	400.0 mg/l
Dureza total	300.0 "
Magnesio	125.0 "
Sulfato	250.0 "
Cloruro	250.0 "
Sólidos totales	500 - 1000 mg/l
Olor	0.0 unidades.
Color	10 unidades color $K_2(Pt Cl_6)$ (u.c.)
Turbiedad	5 unidades nefelométricas U.N.T.
Amoniaco en N	0.50 mg/l
Nitratos en N	5.00 "
Nitratos (NO_3)	45.0 "

Nitritos en N	0.05 mg/l
Oxígeno consumido	3.00 "
Coliformes	2/100 ml.

b) U.S.A. (14)

Sustancias:	Norma:
Arsénico	0.05 mg/l
Bario	1.00 "
Cadmio	0.01 "
Cianuro	0.01 "
Cinc	5.00 "
Cobre	1.00 "
Cromo, 6+	0.05 "
Extracto carbón cloroformo	0.20 "
Compuestos fenólicos	0.001 "
Fluoruro	0.8 - 1.7 mg/l
Hierro	0.3 mg/l
Manganeso	0.05 "
Plata	0.05 "
Plomo	0.05 "
Sustancias activas al	
azul de metileno	0.50 "
Nitrato (NO ₃)	45.0 "
Sólidos totales	500.0 "
Sulfato	250.0 "
Cloruro	250.0 "
Olor incipiente	3.0 ? unidades.
Color	5.0 unidades color K ₂ (Pt Cl ₆) (u.c.)
Turbiedad	5.0 unidades nefelométricas (U.N.T.)
Coliformes	1.0/100 ml.

c) U.S.P.H.S. (6)

Sustancias:	Norma:
Arsénico	0.01 mg/l ✓
Alquilbencensulfonatos	0.50 "
Cloruro	250.0 "
Cobre	1.0 "

Extracto carbón cloroformo (CCE)	0.2 mg/l
Cianuro	0.01 "
Fluoruro	0.6 - 1.7 mg/l
Hierro	0.05 mg/l
Nitrato (NO ₃)	45.0 "
Fenoles	0.001 "
Sulfatos	250.0 "
Sólidos disueltos totales	500.0 "
Cinc	

Las características químicas descritas anteriormente deben verificarse analíticamente cada seis meses, no debiendo exceder de las concentraciones citadas.

Las características físicas que se dan a continuación deben efectuarse una vez a la semana.

Turbiedad	5.0 unidades nefelométricas
Color	15.0 unidades de color
Olor	3.0 <i>> unidades</i>
Sabor	incipiente

Las siguientes sustancias tóxicas al estar presentes en mayor concentración de la indicada, serán la causa para suspender el suministro de agua potable:

Arsénico	0.05 mg/l	←
Bario	1.00 "	
Cadmio	0.01 "	
Cromo	0.05 "	
Cianuro	0.20 "	←
Fluoruro	0.6 - 1.7 mg/l	
Plomo	0.05 mg/l	
Selenio	0.01 "	←
Plata	0.05 "	

A continuación se describirán las normas de calidad del agua potable establecidas por la Organización Mundial de la Salud (O.M.S.) con sede en Ginebra, Suiza en su edición de 1972, como podrá observarse en la mayoría de los parámetros, se tienen los límites en cuanto a la concentración permisible, mientras que en las normas anteriores solo se pone el límite máximo, siendo un poco más tolerantes las normas de la O.M.S.

O.M.S. (13)

Sustancias:	Norma:
Arsénico	0.05 mg/l ✓
Cadmio	0.01 "
Cianuro	0.05 "
Hierro	0.1 - 1.0 mg/l
Manganeso	0.05 - 0.5 mg/l
Mercurio	0.001 mg/l
Plomo	0.10 "
Selenio	0.10 "
Sustancias activas al azul de metileno	0.2 - 1.0 mg/l
Cinc	15.0 mg/l
pH recomendable	7.0 - 8.5
pH máximo permisible	6.5 - 9.2
Sólidos totales	500.0 - 1500.0 mg/l
Magnesio (si hay sulfatos)	150.0 mg/l
Calcio	75.0 - 200 mg/l
Dureza total	100.0 - 500 mg/l
Olor (olor incipiente)	Inobjetable
Color	5.0 unidades color $K_2(Pt Cl_6)$ (u.c.)
Turbiedad	5.0 unidades nefelométricas (U.N.T.)
Coliformes	1.0/100 ml.

Para exámenes de radiactividad se debe hacer un análisis de muestras puestas cada tres meses.

Radio (Ra)	3 pCi/l
Estroncio (Sr-90)	10 pCi/l
Emisores alfa	1 - 3 pCi/l
Emisores beta	10 - 30 pCi/l

Los U.S.A. las normas acaban de ser modificadas por la Environmental Protection Agency (E.P.A.) aunque no se conocen precisamente en que consisten tales cambios, hasta el momento.

Es conveniente cooperar con las autoridades sanitarias para prevenir enfermedades, pues resulta más fácil y económico que curarlas, a continuación se dan algunos artículos del código sanitario y del reglamento sobre provisión de Agua Potable en vigor:

Artículo 8o.- La S.S.A. exigirá que las obras de provisión de agua en servicio garanticen la potabilidad de la misma en su distribución.

Artículo 12o.- La captación de las aguas destinadas a consumir sin tratamiento previo, deberá estar protegida en forma que garantice la conservación de sus condiciones de potabilidad a juicio de la S.S.A.

Artículo 13o.- Toda fuente de provisión de agua potable para consumo humano estará sujeta a la vigilancia de la S.S.A., la cuál resolverá sobre su potabilidad, de acuerdo con el análisis que de ella hagan sus laboratorios ó peritos particulares u oficiales reconocidos por la misma S.S.A.

Las autoridades, entidades ó personas a cuyo cargo se encuentren las provisiones de agua potable, serán directamente responsables de la potabilidad de las aguas bajo todo tiempo, así como de la aplicación de los procedimientos de depuración aprobados por la S.S.A., de acuerdo con los instructivos que dicte.

Artículo 17o.- Las personas físicas ó morales que contaminen el agua de las fuentes de abastecimiento ó en las redes de distribución ó que modifique su producción ó composición química haciéndola impropia para el uso ó usos a que se refiere el artículo 7 de éste reglamento, serán sancionadas de acuerdo con los artículos antes citados, sin perjuicio de ser consignadas a las autoridades competentes, cuando el hecho pueda constituir un delito.

Artículo 28o.- En los casos de alteración, adulteración, contaminación, falsificación, deficiencias sanitarias ó de entarquinamiento de sedimentos putrefactos, suspensión de servicio de agua potable, obstrucción de drenajes u otros semejantes, las medidas que dicten las autoridades sanitarias de acuerdo

con esta ley y sus reglamentos, incluyendo las órdenes para saneamiento, decomiso, destrucción, desocupación, demolición, clausura, etc., necesarias para el respeto a las normas del presente código, serán de inmediata ejecución, independientemente de las sanciones que correspondan.

Parámetros de control.-

A continuación se enuncian

A) Los parámetros establecidos por la AWWA, APHA, WPCF.

PDG 29 ← B) Los parámetros estipulados por el manual del CIECCA.

PDG 31 ← C) Los parámetros de rutina del laboratorio central del Departamento de Investigación y Laboratorios de la Dirección de Fuentes de Abastecimiento de la DGAPA de la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

A) A continuación se enuncian los nombres de los parámetros determinables en cuanto al examen físico y químico de aguas naturales y tratadas en ausencia de alta contaminación, (Parte I) y (Parte VII) relativa al examen de rutina bacteriológica del agua para conocer su calidad sanitaria; descritos en cuanto al procedimiento analítico, materiales, reactivos, soluciones y equipos requeridos, en el libro métodos estándar para el examen de agua y aguas de desecho.⁽³⁾ 12a. Ed.

Parte I

Examen físico y químico de aguas naturales y tratadas en ausencia de alta contaminación.- Determinaciones:

1.- Acidéz.

2.- Alcalinidad.

3.- Aluminio.

4.- Arsénico. (Método dietilditiocarbamato de plata.
Método de bromuro mercurico Stain.)

no hay parámetros con el que comparar.

- 5.- Boro. (Método colorimétrico: Curcuma.
" : Carmin.
Método: Titulación potenciométrica.)
- 6.- Bromuro.
- 7.- Cadmio.
- 8.- Calcio. (Método: Gravimétrico.
" : Titulométrico. KMnO_4 .
" : EDTA.)
- 9.- CO_2 . (Método: Nomográfico. En función de la alcalinidad.
" : Titulométrico. Para CO_2 libre.
" : Cálculo. Para CO_2 total.)
- 10.- Cloruro. (Método: Argentométrico.
" : Nitrato mercurico.)
- 11.- Cloro residual. (Método: Iodométrico.
" : Ortotolidina.
" : Ortotolidina. Prueba instantánea.
" : Ortotolidina Arsenito. OTA.
" : De campo.
" : Titulación amperométrica.)
- 12.- Demanda de cloro. (Método: De laboratorio.
" : De campo.)
- 1-0-cl
ClO₂?
13.- Dióxido de cloro. (Método: Iodométrico.
" : Acido oxálico ortotolidina.
" : Amperométrico.)
- 14.- Cromo. (Cr^{6+}). (Método: Cromo total. KMnO_4 ácido.
" : Cromo total. Hipobromito alcalino.)
- 15.- Color.
- 16.- Cobre. (Método: Cupretol.
" : Batocuproína.)
- 17.- Cianuro.
- 18.- Detergentes.
- 19.- Fluoruros. (Método: Spands.
" : Fotométrico. Alizarina.
" : Visual. Alizarina.
Etapa de destilación directa preliminar.
Etapa por destilación con vapor, preliminar.)
- 20.- Grasa o aceite.

- 21.- Dureza. (Método: Titulométrico. EDTA.)
- 22.- Ioduro. (Método: Fotométrico. Tentativo.)
- 23.- Hierro. (Método: Fenantrolina.
" : Tripiridina.
" : Extracción.)
- 24.- Plomo.
- 25.- Lignina y tanina.
- 26.- Litio. (Método: Fotométrico de flama. Tentativo.)
- 27.- Magnesio. (Método: Gravimétrico.
" : Fotométrico.)
- 28.- Manganeso. (Método: Persulfato.
" : Periodato.)
(Método: Ortotolidina. Para altos estados
de oxidación. Tentativo.)
- 29.- Metano. (Método: Indicador de gas combustible.
" : Absorción-combustión.)
- 30.- Nitrógeno. (Albuminoideo.)
- 31.- Nitrógeno. (Amoniacal). (Método: Destilación.
" : Directo Nessler.)
- 32.- Nitrógeno. (Nitrato). (Método: Acido fenoldisulfónico.
" : Brucina.
" : Espectrofotométrico UV. Tentativo.
" : Polarográfico. Tentativo.)
- 33.- Nitrógeno. (Nitrito).
- 34.- Nitrógeno. (Orgánico).
- 35.- Olor y sabor.
- 36.- Aceite y grasa.
- 37.- Contaminantes orgánicos. (Método: CCE. Tentativo.)
- 38.- Oxígeno disuelto.
- 39.- Demanda bioquímica de oxígeno. (DBO)
- 40.- Demanda química de oxígeno. (DQO)
- 41.- Ozono residual. (Método: Iodométrico.
" : Sulfato manganoso ortotolidina. OTM.
" : Arsenito ortotolidina. OTM.)
- 42.- Pesticidas.
- 43.- Potencial hidrógeno. pH. (Método: Electrodo de vidrio.)
- 44.- Fenoles. (Etapa de destilación preliminar.
Método: Colorimétrico.)

- 45.- Fosfato. (Método:Acido aminonaftolsulfónico.Para ortofosfato.
" Cloruro estanoso. Para ortofosfato.
" Fosfato total y polifosfato.)
- 46.- Potasio. (Método:Fotométrico de flama.
" Colorimétrico.)
- 47.- Resíduo. (Método para determinar:Resíduo total.
" " " Resíduo filtrable.
" " " Residual no filtrable.
" " " Residual fijo.Filtrable y
no filtrable.)
- 48.- Saturación y estabilidad respecto al CaCO_3 .
- 49.- Selenio. (Método:Diamino benzidina. Tentativo.
" Diamino benzidina y destilación. Tentativo.
" Sol coloreado y destilación.Tentativo.)
- 50.- Sílice. (Método:Gravimétrico.
" Colorimétrico. Molibdosilicato.
" Colorimétrico. Azul heteropoli.)
- 51.- Plata. (Método:Espectrográfico. Tentativo.
" Ditizona.Tentativo.)
- 52.- Sodio. (Método:Fotométrico de flama.
" Gravimétrico.)
- 53.- Conductividad específica.
- 54.- Estroncio. (Método:Fotométrico de flama.Tentativo.)
- 55.- Sulfato. (Método:Gravimétrico con ignición de residuo.
" Gravimétrico con secado de residuo.
" Turbidimétrico.)
- 56.- Sulfuro. (Método:Tratamiento de Low-evel.)
- 57.- Sulfito.
- 58.- Surfactantes.Aniónicos. (Método:Azul de metileno.Tentativo.
" Adsorción de carbón.Tentativo.)
- 59.- Detergentes sintéticos. Ver en Surfactantes.
- 60.- Tanina y Lignina.
- 61.- Sabor y olor.
- 62.- Temperatura.
- 63.- Turbiedad.
- 64.- Zinc. (Método:Ditizona.
" Zircón.
" Polarográfico. Tentativo.)

Parte VII

Exámen de rutina bacteriológica de agua para determinar su
Calidad sanitaria. (3)

Introducción.

Estándares de la USPHS para la calidad del agua potable.

Aparatos de laboratorio.

Lavado y esterilización.

Preparación de los medios de cultivo.

A.- Procedimientos generales.

B.- Materiales.

C.- Especificaciones de los medios.

A continuación se describe una relación de los medios más usuales en los exámenes sanitarios para agua de consumo humano:

1.- Agua de dilución.

2.- Caldo nutriente.

3.- Caldo lactosado.

4.- Caldo lauril triptona.

5.- Extracto agar triptona glucosa.

6.- Agar levadura glucosa triptona.

7.- Medio endo.

8.- Agar eosin de metileno.

9.- Caldo lactosado de bilis verde brillante.

10.- Medio EC.

11.- Caldo lactosado ácido bórico.

12.- Medio M-endo.

13.- Medio de posesión coliforme LES-MF.

14.- Medio agar endo LES.

15.- Caldo dextrosa ácida.

16.- Medio agar enterococo M.

17.- Medio caldo ácido etil violeta.

18.- Caldo triptofano.

19.- Caldo amortiguador de glucosa.

20.- Caldo glucosado de peptona.

21.- Caldo citrato Koser's.

22.- Agar citrato Simon's.

23.- Caldo extracto de glucosa triptona.

24.- Infusión corazón-cerebro.

25.- Agar infusión corazón cerebro.

A continuación se exponen las principales pruebas y técnicas aplicables a los exámenes bacteriológicos de agua potable:

Técnica de muestreo.

Conteo estándar en placas.

Pruebas para presencia de miembros del grupo coli.

Técnicas de fermentación por tubos múltiples:

Pruebas estándar.

Exámenes para aplicación de pruebas de rutina.

Estimación de la densidad del grupo coliforme.

Técnica del filtro de membrana:

Pruebas estándar.

Prueba de incubación retrasada. Tentativa.

Prueba para detectar presencia del grupo fecal estreptococo. Tentativa.

Técnica del filtro de membrana.

Técnica de tubos múltiples.

Diferenciación de organismos del grupo coliforme. Tentativa.

Purificación de cultivos.

Pruebas diferenciales.

Prueba para presencia de virus entéricos en agua para usos potables.

B) El centro de investigación y estudios para el control de la calidad del agua potable, y no potable. (CIECCA) ha descrito en su manual de laboratorio los nombres de los parámetros determinables en el agua, los cuales se enumeran a continuación y de los que solo algunos son analizados en agua potable. (#)

- | | |
|-----------------------------------|---------------------------|
| 1.- Cloro residual. (#) | 10.- Bicarbonatos. (#) |
| 2.- Demanda de cloro. (#) | 11.- Conductividad. |
| 3.- Cloruros. (#) | 12.- DBO. |
| 4.- Fluoruros. (#) | 13.- DQO. |
| 5.- Sólidos totales. (#) | 14.- ABS. |
| 6.- Sólidos volátiles. (#) | 15.- Hierro. (Férrico) |
| 7.- Alcalinidad. (#) | 16.- Hierro. (Total) (#) |
| 8.- Bacterias, hongos, algas. (#) | 17.- Hierro. (Disuelto) |
| 9.- Carbonatos. (#) | 18.- Hierro. (Suspendido) |

- 19.- Materia orgánica.
- 20.- Materia orgánica en medio ácido.OC.
- 21.- Olor.(#)
- 22.- Sabor. (#)
- 23.- Proteínas .
- 24.- Sólidos Imhoff.
- 25.- Sólidos suspendidos.(#)
- 26.- Aceites y grasas.
- 27.- Acido sulfhídrico.
- 28.- Anhídrido carbónico.
- 29.- Arsénico.(#)
- 30.- Calcio.(#)
- 31.- Cianuro.(#)
- 32.- Zinc.
- 33.- Cobalto.
- 34.- Cobre.
- 35.- Cromo (6+) y total.
- 36.- Fenoles.
- 37.- Fosfato.(Orto)(Poli)
- 38.- Grasa.(Soxlet)
- 39.- Mercurio.(#)
- 40.- Nitrógeno.(Amoniacal)(Nitratos).(#)
- 41.- Nitrógeno.(Total)(Nitritos).(#)
- 42.- Oxígeno disuelto.(OD).
- 43.- Potencial hidrógeno.pH.(#)
- 44.- Plata.
- 45.- Plomo.(#)
- 46.- Radiactividad.(#)
- 47.- SiO₂. Soluble.
- 48.- SiO₂. Coloidal. (#)
- 49.- SiO₂. Total.
- 50.- Sulfatos.(#)
- 51.- Sulfuros.
- 52.- Tiocianato.
- 53.- Taninos y ligninas.
- 54.- Temperatura.(#)
- 55.- Turbiedad.

C) Los parámetros determinados en forma rutinaria a las muestras de agua remitidas al laboratorio central del D.F. dependiente del Departamento de Investigación y Laboratorios de la Dirección de Fuentes de Abastecimiento de la DGAPA de la SRH, son los descritos en el programa de computación que se describe a continuación:

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS
 DIRECCION GENERAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO
 DIRECCION DE FUENTES DE ABASTECIMIENTO
 DEPARTAMENTO DE INVESTIGACION Y LABORATORIOS

ANALISIS FISICOQUIMICO DE AGUA NUMERO: X
 MUESTRA REMITIDA POR LA GERENCIA GENERAL EN EL ESTADO: X
 MUNICIPIO: X LOCALIDAD: X FECHA DE MUESTREO: X
 FECHA DE RECEPCION: X FECHA DE ANALISIS: X
 TURBIEDAD: X COLOR: X TEMPERATURA: X pH: X
 OLOR: X NUMERO DE OLOR: X

8? <

DETERMINACIONES:	ANALISIS (mg/l)	NORMAS (mg/l)
SOLIDOS TOTALES	X	500-1000
SOLIDOS DISUELTOS	X	
PERDIDAS POR CALCINACION	X	
SILICE	X	
DIOXIDO DE CARBONO LIBRE	X	
CALCIO	X	
MAGNESIO	X	125
HIERRO	X	0.3
MANGANESO	X	0.05
SODIO	X	
AMONIACO EN NITROGENO	X	0.80
NITRATOS EN NITROGENO	X	5.00
NITRATOS	X	45
NITRITOS EN NITROGENO	X	0.05
OXIGENO CONSUMIDO	X	3.00
CARBONATOS	X	
BICARBONATOS	X	
SULFATOS	X	250
CLORUROS	X	250
FLUORUROS	X	1.5
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	X	

DQD

DETERMINACIONES COMO CARBONATO DE CALCIO	ANALISIS (mg/l)	NORMAS (mg/l)
ALCALINIDAD A LA F	X	
ALCALINIDAD TOTAL	X	400
DUREZA TOTAL	X	300
DUREZA DE CARBONATOS	X	
DUREZA DE CALCIO	X	
DUREZA DE MAGNESIO	X	

COMBINACIONES HIPOTETICAS

COMPUESTOS:	mg/l
BICARBONATO DE CALCIO	X
SULFATO DE CALCIO	X
SULFATO DE MAGNESIO	X
SULFATO DE SODIO	X
CLORURO DE SODIO	

ESTABILIDAD DEL AGUA
(INDICE DE LANGELIER)

A X GRADOS CENTIGRADOS

pH REAL: X

pH DE SATURACION: X

DETERMINACIONES ESPECIALES

IAS QUE SE SOLICITEN, SEGUN LOS REQUERIMIENTOS.

UJ.=UNIDADES JACKSON UC.=UNIDADES DE COLOR
NORMA= MAX. 5 UJ. NORMA= MAX. 10 UC.

La oficina de control de calidad del agua potable adoptará un programa similar al anteriormente descrito en el momento en el que esté instalado su respectivo laboratorio central.

V.- El Laboratorio en el Control de Calidad del Agua Potable.

El laboratorio desarrolla un papel fundamental en el control de calidad del agua potable dado que en él se verifica el contenido de impurezas que pueda contener el agua proveniente de las fuentes de abastecimiento, de las redes de distribución, de las aguas crudas, en proceso ó tratadas en las diversas plantas potabilizadoras existentes en nuestro país. En la república mexicana se requieren cada día mayor número de laboratorios de control de calidad de los tres tipos: centrales, auxiliares y de distritos de riego, los cuáles están determinados por la carga de trabajo mensual, semestral ó anual que deban desarrollar, por el número de sistemas ó localidades a los que dé servicio, por la densidad de población, por el número de fuentes de abastecimiento, por la magnitud de las redes de distribución, por su ubicación, como factores principales.

Elaboración de la carga de trabajo para el laboratorio.-

Para elaborar la carga de trabajo de cualquier laboratorio, se realiza en función a los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos.

Los análisis fisicoquímicos se efectúan de muestras tomadas de cada una de las fuentes existentes y en ocasiones de las redes de distribución de los sistemas a controlar por el laboratorio, los análisis bacteriológicos se efectúan en función al número de habitantes que existan en cada sistema.

Cuando las fuentes de abastecimiento son superficiales tienden a variar sus propiedades fisicoquímicas y bacteriológicas con mayor frecuencia que en el caso de fuentes subterráneas; en el primer caso deben efectuarse los análisis de rutina de control de calidad fisicoquímica con mayor frecuencia que en el segundo caso, es decir en fuentes superficiales se toma una muestra y se analiza cada mes, bimestre ó trimestre, mientras que en fuentes subterráneas es suficiente con un análisis cada semestre.

Por ejemplo la ciudad de Querétaro tiene ocho fuentes subterráneas (pozos profundos) por lo tanto la carga de trabajo para el laboratorio en cuanto a análisis fisicoquímicos es de ocho muestras cada semestre.

Para conocer la carga de trabajo en cuanto a análisis bacteriológicos se expone a continuación una lista en relación al número de habitantes.

Población servida (Habitantes)	Número mínimo de análisis (Mensuales)
2 500 ó menos	1
10 000 "	7
25 000 "	25
100 000 "	100
1 000 000 "	300
2 000 000 "	390
3 000 000 "	450

Referencia: Reglamento Federal de la Dirección de Ingeniería Sanitaria sobre Obras de Provisión de Agua Potable. USPHS. (9)

Estudio de los requerimientos para un laboratorio de control de calidad de agua potable.-

A continuación se describe:

- I.- Instalaciones
- II.- Equipo
- III.- Material
- IV.- Sustancias, reactivos, soluciones, medios e indicadores
- V.- Muebles y máquinas
- VI.- Personal

Necesarios para el buen funcionamiento del laboratorio en lo que respecta a la determinación de los parámetros analíticos siguientes:

a) Fisicoquímicos

b) Bacteriológicos

a) Fisicoquímicos

- | | |
|-------------------------------|----------------------------|
| 1.- Turbiedad | 18.- Sulfatos |
| 2.- Color | 19.- Cloruros |
| 3.- pH | 20.- Fluoruros |
| 4.- Alcalinidad total | 21.- Nitrógeno.Nitratos |
| 5.- Alcalinidad fenolftaleína | 22.- Cloro residual |
| 6.- Dureza total | 23.- Fosfatos |
| 7.- Dureza calcio | 24.- Temperatura |
| 8.- Sólidos totales | 25.- CO ₂ libre |
| 9.- Sólidos disueltos | 26.- Nitrógeno.Nitritos |
| 10.- Sílice | 27.- Nitrógeno.Amoniac |
| 11.- Calcio | 28.- DQO |
| 12.- Magnesio | 29.- pHs |
| 13.- Sodio | |

14.- Hierro

15.- Manganeso

16.- Carbonatos

17.- Bicarbonatos

b) Bacteriológicos

1.- Coliformes.NMP/100 ml.

Pruebas: presuntiva, confirmativa, total.

I.- Instalaciones.

El local del laboratorio debe tener una superficie mínima aproximada de 6x6 m. de preferencia en la planta baja para el fácil acceso del personal y del suministro de muestras, reactivos, y demás elementos necesarios.

El local con buena ventilación e iluminación ayudará a que el personal que en él labore lo haga con confort y eficiencia, se prefiere que tenga un sistema de aire acondicionado para las épocas de calor y un sistema de calefacción para las épocas de frío, con el fin de mantener la temperatura del laboratorio a 25°C durante todo el año para que las determinaciones analíticas sean efectuadas siempre a condiciones estándar y que los reactivos perduren el máximo tiempo posible sin descomponerse.

El laboratorio deberá tener suficientes contactos eléctricos para todos y cada uno de los equipos y aparatos, también contará con suministro de agua, gas y vacío en la mesa de trabajo. El baño deberá tener todos sus elementos, incluyendo una regadera de presión para los casos en que sea necesaria.

El local contará con lámparas para iluminación artificial, tendrá también un fregadero para lavar el material usado en las diarias determinaciones.

II.- Equipo.

El equipo requerido para el laboratorio de control de calidad de agua potable es función del número de parámetros a determinar y de las técnicas ó métodos utilizados, de la carga de trabajo y del personal disponible, así como de la capacidad económica del sistema que desea montarlo.

Considerando que se efectuarán los análisis de los parámetros antes mencionados en la página 34 y que el número de análisis es 130 bacteriológicos por mes y 20 fisicoquímicos por semestre.

- 1.- Refrigerador
- 2.- Estufa u horno
- 3.- Incubadora
- 4.- Autoclave
- 5.- Balanza eléctrica
- 6.- Contador de colonias
- 7.- Comparador de cloro
- 8.- Estufa de gas
- 9.- Turbidímetro
- 10.- Potenciómetro
- 11.- Mufla
- 12.- Balanza granataria
- 13.- Parrilla eléctrica
- 14.- Agitador magnético
- 15.- Espectrofotómetro

III.- Material.

Considerando que se efectuarán los análisis de los parámetros antes mencionados para la carga de trabajo descrita el material necesario es:

- 1.- Buretas de Mohr
- 2.- Pinzas para bureta
- 3.- Desecador con placa
- 4.- Portaazas metálica
- 5.- Manguera para mechero
- 6.- Mechero
- 7.- Tubos de cultivo
- 8.- Buretas de 50 ml./1 ml.
- 9.- Matraces Erlenmeyer de 250 ml.
- 10.- Soportes de Fe, rectangular, con varilla de 60 cms.
- 11.-Escobillones para tubo de 16 cm.
- 12.-Escobillones para matraces de 12 cm.
- 13.-Cestos de alambre de 10 x 10 x 10 cm.
- 14.- Termómetros de 0-100°
- 15.- Tubo de vidrio de 7 mm.de ϕ
- 16.- Pinzas universal de 22 mm. de longitud.
- 17.- Alambre de platino # 26
- 18.- Tenazas para crisol.
- 19.- Frascos de vidrio, de boca ancha, blancos. 300 ml.
- 20.- Matraces Erlenmeyer de 50 ml.
- 21.- Matraces volumétricos de 1 litro.
- 22.- " " 500 ml.
- 23.- " " 250 ml.
- 24.- Tubos para cultivo de 10-75 mm.
- 25.- Pipetas serológicas de 10 \times 1./0.1 ml.
- 26.- Cajas de Petri de 10x100 mm.
- 27.- Probetas graduadas de 1 litro.
- 28.- Cápsulas de porcelana. 105 mm.
- 29.- " " 70 mm.
- 30.- Pipetas serológicas de 1 ml./0.1 ml.

- 31.- Embudos de cola corta.
- 32.- " " larga.
- 33.- Vasos de precipitados de 250 ml.
- 34.- " " 500 ml.
- 35.- " " 100 ml.
- 36.- Matraces Erlenmeyer de 125 ml.
- 37.- Frascos goteros.
- 38.- Pipetas graduadas de 10 ml./1 ml.
- 39.- Cucháras de 0.5 g.
- 40.- Buretas automáticas de 10 ml./0.1 ml.
- 41.- Camisas para crisóles de porcelána.
- 42.- Crisoles de porcelana perforados.
- 43.- Matraces kitasato.
- 44.- Manguera para vacío.
- 45.- Cono de precipitados Imhoff.
- 46.- Crisóles de porcelana.
- 47.- Mecheros para alcohol.
- 48.- Tripies.
- 49.- Triángulos de porcelana.
- 50.- Pipetas aforadas de 100 ml.
- 51.- " " 50 ml.
- 52.- " " 25 ml.
- 53.- Tubos aforados de Nessler de 100 ml.
- 54.- Vasos de precipitados de 50 ml.
- 55.- Matraces Erlenmeyer de 250 ml.
- 56.- Buretas graduadas de 25 ml.
- 57.- Tubos aforados de Nessler de 50 ml.
- 58.- Portatubos de Nessler.
- 59.- Papel filtro de peso conocido.
- 60.- " " de cenizas conocidas.
- 61.- Papel aluminio.
- 62.- Trompas de vacío.
- 63.- Fráscos ámbar de 1 litro.
- 64.- Frascos de 1 litro para buretas automáticas.
- 65.- " de 1 galón " " "
- 66.- Tapones de hule de diversos tamaños.
- 67.- Oradador de todos los calibres.
- 68.- Pinzas de Mohr.

- 70.- Varilla de vidrio de 5 mm.
- 71.- Pipeteros.
- 72.- Gradillas.
- 73.- Portatubos de ensaye.
- 74.- Rollos de algodón.

IV.- Sustancias, reactivos, soluciones, medios, e indicadores.

A continuación se enumerarán las sustancias, reactivos, soluciones, medios e indicadores necesarios en el laboratorio de control de calidad de agua potable para efectuar los análisis de los parámetros más usuales, enunciados anteriormente, según las técnicas enunciadas en el libro métodos estándar para el análisis de agua y aguas de desecho⁽³⁾ incluyendo sedimentos y lodos de fondo. Editado por la APHA,; AWWA,; WPCF. 12a.ED.

- 1.- Agua destilada.
- 2.- Indicador fenolftaleína.
- 3.- Indicador amaranjado de metilo.
- 4.- Murexida. (Purpurato de amonio con cloruro de sodio)
- 5.- Solución inhibidora de NaCN.
- 6.- Amoniaco.
- 7.- Eriocromo negro T.
- 8.- Cloruro de calcio anhidro.
- 9.- Acido fluorhídrico.
- 10.- Acido perclórico.
- 11.- Peróxido de hidrógeno.
- 12.- Tiocianato de amonio.
- 13.- Sulfato de Manganeso.
- 14.- Acido fosfórico.
- 15.- Nitrato de plata.
- 16.- Persulfato de amonio.
- 17.- Acetato de sodio, zinc, uranilo, hexahidratado ó

- 18.- Acetato de uranilo.
- 19.- Acido acético glacial.
- 20.- Alcohol etílico.
- 21.- Eter dietílico.
- 22.- Glicerina.
- 23.- Reactivo de Spands.
- 24.- Sulfato de plata.
- 25.- Ortofosfato disódico anhidro.
- 26.- Ortofosfato monopotásico anhidro.
- 27.- Caldo lactosado desecado Difco.
- 28.- Caldo bilis verde brillante desecado Difco.
- 29.- Tiosulfato de sodio.
- 30.- Solución reguladora.
- 31.- Solución de nitrato de plata.
- 32.- Acido sulfúrico.
- 33.- Ortotolidina.
- 34.- Arsenito de sodio.
- 35.- Cloruro de sodio.
- 36.- Azul de bromotimol.
- 37.- Cloruro mercúrico.
- 38.- Rojo de metilo.
- 39.- Carbonato de sodio.
- 40.- Acido fosfórico.
- 41.- Permanganato de potasio.
- 42.- Sulfito de sodio anhidro.
- 43.- Púrpura de cromocresol.
- 44.- Hidróxido de sodio.
- 45.- Oxiclорuro de zirconio.
- 46.- Cloruro de bario.
- 47.- Bicarbonato de potasio.
- 48.- Rojo de fenol.
- 49.- Fluoruro de sodio.
- 50.- Sulfato mercúrico.
- 51.- Acido clorhídrico.
- 52.- Cianuro de sodio.
- 53.- Acido etilendiaminotetraacético. EDTA.

- 54.- Acido nítrico.
- 55.- Cloruro de amonio.
- 56.- Cromato de Potasio.
- 57.- Dicromato de potasio.

Se han enumerado casi la totalidad de las sustancias requeridas, aunque no todas; en caso faltar alguna solución ó reactivo especial se pueden preparar siguiendo las técnicas estipuladas en el libro Métodos estándar y en el cuál describe los reactivos necesarios.

V.- Muebles y Máquinas.

Los muebles y máquinas mínimos necesarios en el laboratorio de control de calidad del agua potable son:

- 1.- Mesa de trabajo.
- 2.- Mesa para el equipo y aparatos.
- 3.- Gavetas para material, reactivos y medios.
- 4.- Anaqueles para indicadores y soluciones.
- 5.- Bancos de restirador.
- 6.- Librero.
- 7.- Escritorio y sillón.
- 8.- Máquina de escribir.
- 9.- Máquina calculadora.
- 10.- Reguladores de voltaje.

VI.- Personal.

El personal mínimo requerido en el laboratorio son: 1 Químico, 1 Técnica laboratorista, 1 Secretaria, 1 Encargado de limpieza.

VI.- Métodos de Desinfección.

Es conocido conocido de nosotros las diferentes fuentes de agua natural que tienen las diversas poblaciones de la república mexicana, pues bien cada una de éstas fuentes requiere de desinfección en casi todos los casos por tener presentes microorganismos patógenos en su seno tales como los descritos en los gram tanto positivo como negativo, gérmenes siderófilos, magnobacterias, protozoarios y parásitos que afectan a la salud del consumidor.

La desinfección del agua se puede efectuar usando los siguientes métodos:

- A) Cloración.
- B) Ozonización.
- C) Luz ultravioleta.
- D) Plata y sus aleaciones. ?
- E) Solución de plata coloidal.

A) Cloración.

La técnica más usual de desinfección es la cloración, dada la característica del elemento cloro de inhibir el crecimiento de las colonias de microorganismos existentes en el agua, la acción del cloro es germicida por su alta electronegatividad y poder oxidante.

La cloración cuando se utiliza para desinfectar las fuentes de abastecimiento de poblaciones con 2500 habitantes ó mayores se utilizan equipos cloradores de tipo solución (mezcladores de gas cloro en agua); cuando las poblaciones son meno-

res se prefiere usar hipocloradores (mezcladores de solución de hipoclorito de sodio o hipoclorito de calcio en agua) o bien cloradores de tipo gas directo.

La desinfección en sus diversos tipos no es la única aplicación del cloro o derivados del mismo.

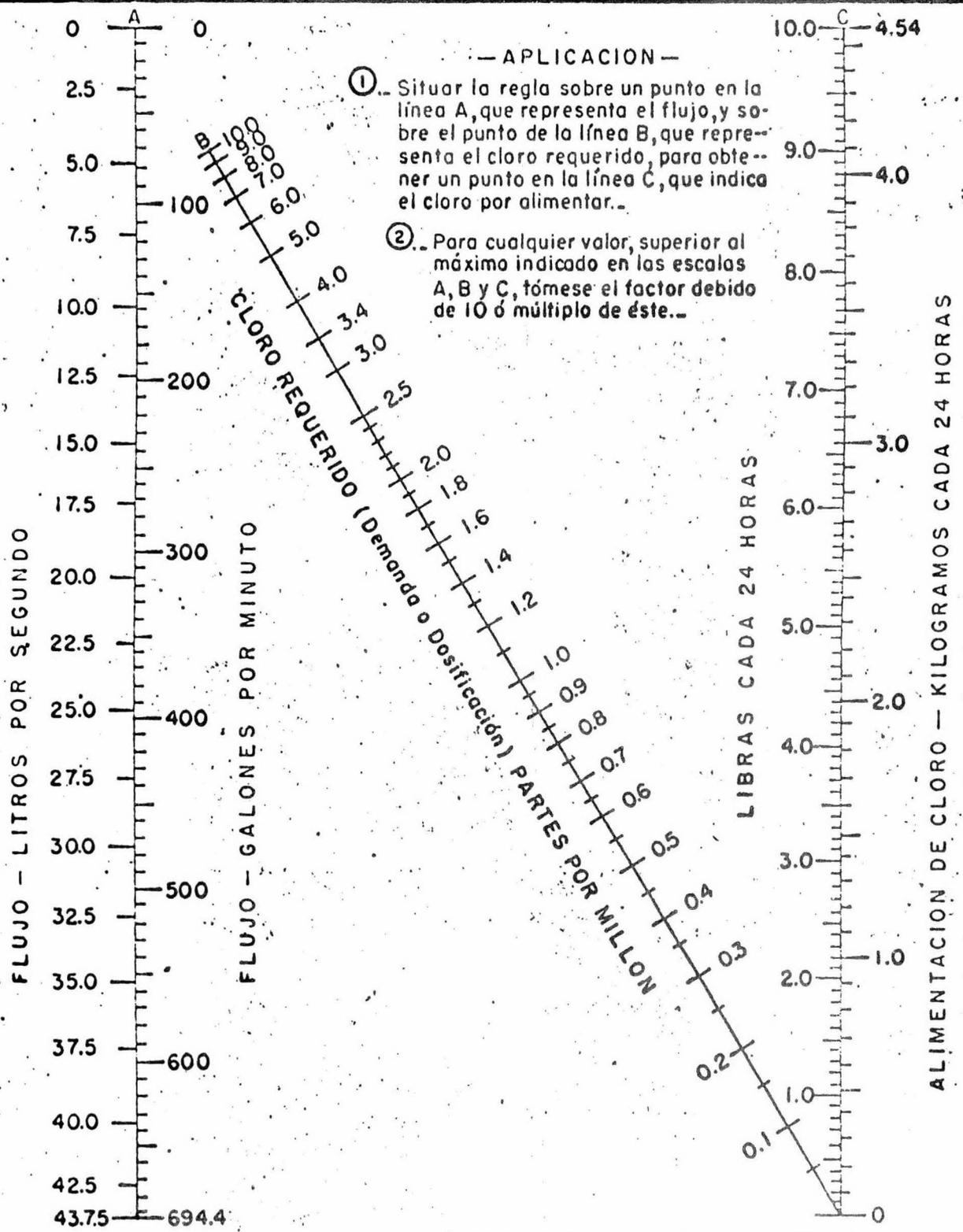
El cloro puede ser usado para oxidar hierro o manganeso de tal modo que pueden ser precipitados en ausencia de oxígeno; puede también el cloro o sus derivados servir para eliminar materia orgánica en el agua, mejorar el color o bien actuar como algicida, puede también eliminar gustos y olores en la desinfección del agua mediante supercloración.

La siguiente tabla da una idea de las dosis recomendadas para los diferentes propósitos de la cloración:(9)

DOSIS DE CLORO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA

Uso del cloro	Dosis en ppm	Tiempo de contacto	Residual en ppm
Desinfección	1.0 - 10.0	Necesidades determinadas por las autoridades.	
Eliminación de amoniaco	$10 \times \text{HN}_3\text{N} + 1.5$	20 min.	libre 0.1
Control de sabor y olor	" " "	" "	libre 1.0
Eliminar H ₂ S	$2.2 \times \text{S}$ libre	instante	libre 0.1
Eliminar Fe	$0.64 \times \text{Fe}$	"	combi. 0.1
Eliminar Mn	$1.3 \times \text{Mn}$	variable	libre 0.5
Evitar agua roja	ver residual	"	libre 0.1
Eliminación de color	1.0 - 10.0	15 min.	combi. 0.1
Control de algas	" "	variable	libre 0.5+
Control de bacterias sulfurosas y ferrosas	" "	constante	libre 0.5+
Control de limo	" "	" "	" "

En la siguiente página se muestra un nomograma de cloración que sirve para efectuar conversiones de litros/segundo a galones/minuto como relaciones de flujo en función al cloro requerido en partes por millón y al cloro por alimentar en libras/día o en kilogramos/día.(9)



— APLICACION —

- ① Situar la regla sobre un punto en la línea A, que representa el flujo, y sobre el punto de la línea B, que representa el cloro requerido, para obtener un punto en la línea C, que indica el cloro por alimentar.
- ② Para cualquier valor, superior al máximo indicado en las escalas A, B y C, tómese el factor debido de 10 ó múltiplo de éste.

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS
 AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADOS
 DIRECCION DE OPERACION Y CONSERVACION

NOMOGRAMA DE CLORACION

CALCULO:

 ING. JOSE URBINA C.
 DEPTO. DE INGENIERIA:

 A. C. JIMENEZ S.

 ING. LADISLAO ROJAS P.

Conforme:
 DIRECTOR, OPERACION Y CONSERVACION
 Aprobó:
 INGENIERO EN JEFE SUBSECRETARIO
 Méx., D.F., Oct.-1960 S.C.

Según el lugar ó la forma, de aplicación, la cloración recibe nombres específicos, como son: (5)

a.- Cloración simple.

b.- Precloración.

c.- Postcloración.

d.- Decloración.

e.- Cloraminación.

a.- Cloración simple:

Este caso se presenta cuando el agua de pozo profundo (semi-surgentes) ó bien ciertos abastecimientos superficiales de agua natural necesitan desinfección. Los tiempos de contacto son relativamente cortos, existe formación de cloraminas que no son muy efectivas en su acción desinfectante.

b.- Precloración:

La precloración no solo responde a las necesidades de desinfección sino ayuda a:

- 1) La coagulación de aguas turbias.
- 2) La oxidación de aguas que contengan hierro y manganeso.
- 3) Evitar la descomposición del manto de lodos.
- 4) Controlar el crecimiento de microorganismos en la arena de los filtros (0.2 - 0.5 p.p.m.). Los tiempos de contacto son mayores.

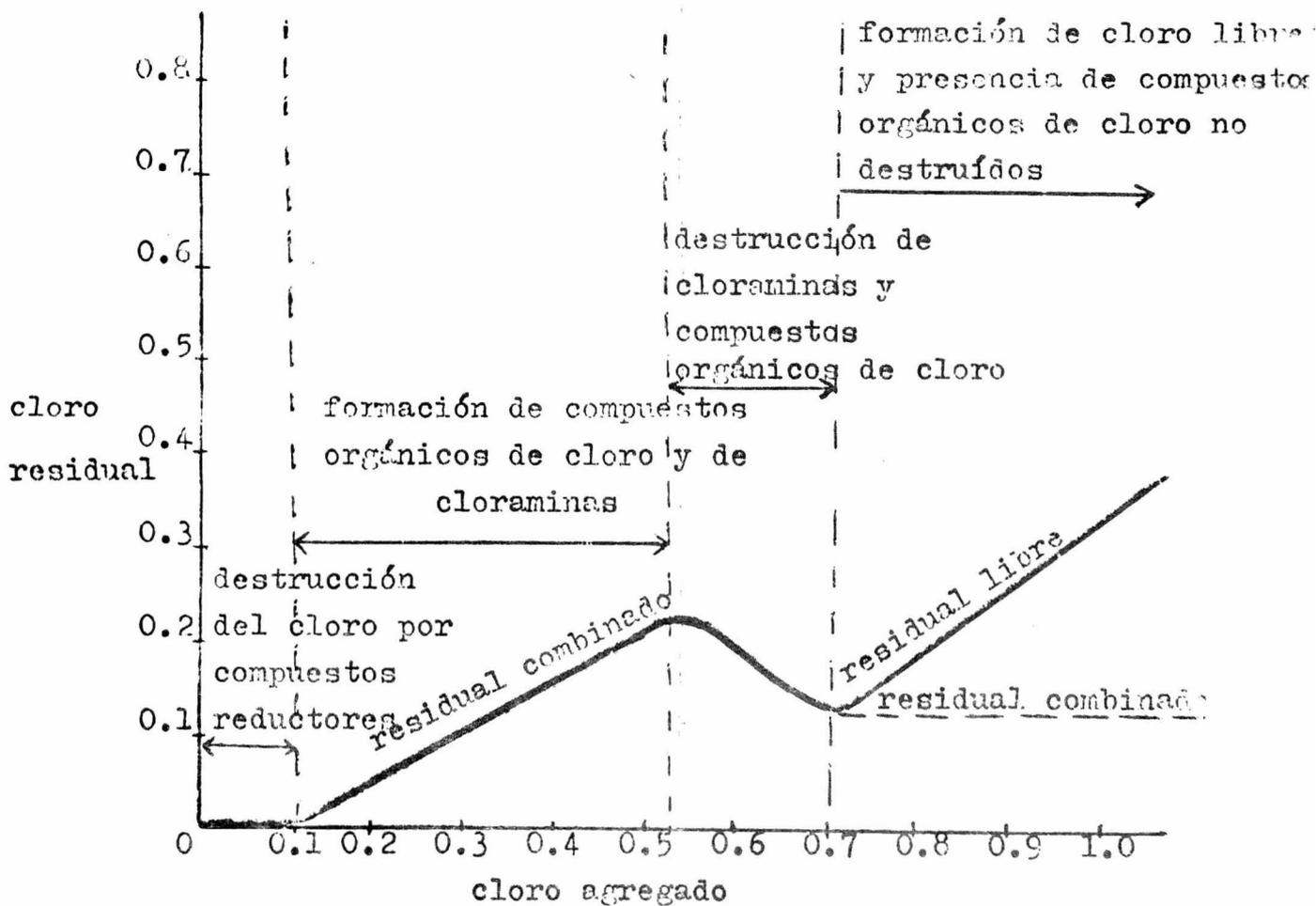
c.- Postcloración:

La postcloración consiste en mezclar una solución concentrada de cloro con el agua clara filtrada, respondiendo en forma efectiva a la desinfección. El agua proveniente de las plantas de tratamiento tiene menor demanda de cloro que el agua natural.

d.- Supercloración:

Quando la cloración sobrepasa en dosis el break point ó punto

de ruptura se dice que se está efectuando una supercloración, lo cual conduce a una rápida eliminación de gustos y olores. Al trazar una gráfica que relacione, en las ordenadas las partes por millón de cloro residual y en las abscisas la dosis de cloro también en partes por millón, ambas propiedades (cloro residual y cloro agregado) se define una curva con un punto de ruptura. Todas las aguas cloradas tendrán curvas diferentes en cuanto a sus pendientes, pero sin embargo del mismo tipo a la que se muestra a continuación: (16)



e.- Decloración:

En muchos casos, aún cuando el punto de ruptura sea sobrepasado, el índice de cloro residual puede ser pequeño (lo cual puede suceder no obstante usando altas dosis de cloro).

En otros casos la supercloración conduce a residuales de tal magnitud que hacen necesaria una decloración, proceso que se efectúa mediante los procesos de acreación, dosificación de SO_2 , hiposulfito de sodio, o bien carbón activado.

f.- Cloraminación:

Cuando se tienen lapsos de tiempo muy largos para que persista el cloro residual, se utiliza cloro conjuntamente con amonio, a dicho proceso se le llama cloraminación.

De la reacción entre el cloro y el amonio se producen cloraminas que son, como se había mencionado, menos eficaces que el cloro en su acción desinfectante, bajo las mismas condiciones.

Existen dos tipos de cloraminas, la dicloramina (NHCl_2) que se forma en aguas ácidas, y la monocloramina (NH_2Cl) que se forma en aguas alcalinas.

Cuando existe un pH menor de 5 habrá dicloraminas; cuando el pH es mayor de 8.5 habrá monocloraminas y si el pH es menor de 4.4 se forma la tricloramina o tricloruro de nitrógeno, que no tiene propiedades desinfectantes. Las cloraminas se usan para largos periodos de contacto.

Teóricamente las proporciones de amonio a cloro que se deben de aplicar son de una parte de amonio a cuatro de cloro.

Si se desean eliminar gustos y olores o bien prevenirlos es conveniente agregar primero el amonio y después el cloro, en tales casos la proporción de amonio a cloro es de 1:2.

Los productos usados normalmente en la cloraminación son:

Amonio anhidro, agua amoniaca, cloruro de amonio y sulfato de amonio.

La cloración resulta ser uno de los procesos más económicos en desinfección, por lo cual es el método usado en forma más frecuente en la mayoría de las localidades que consumen agua potable en nuestro país.

La selección del equipo, operación y mantenimiento, de clora-

ción así como el manejo y protección del gas cloro, requieren y son motivo de estudios más amplios que los que se presentan en la presente tesis, por ahora se mencionan solamente a su importancia en el área de desinfección de agua potable.

B) Ozonización.(9)

Es el proceso químico mediante el cual se desinfecta el agua para sus usos potables, el uso del ozono es muy antiguo, más aún que la cloración. El ozono es un germicida muy potente y efectivo usado en el tratamiento de agua.

En Europa las plantas municipales han usado en la mayoría de los casos por más de 50 años el ozono como desinfectante.

El ozono (O_3) es relativamente más caro que el cloro, siendo éstos dos elementos de desinfección más económicos, aunque el olor y sabor del agua ozonizada es mejor que el del agua clorada. El ozono no tiene persistencia como germicida residual pues se descompone rápidamente a oxígeno molecular.

En la última década del siglo XIX Ohlmüller demostró que el ozono destruía la bacteria de la tifoidea, del cólera y las resistentes esporas del antrax.

Emergen encontró que el ozono combatía la esporularia.

Calmette y Roux encontraron que todos los microbios patógenos y saprófitos que habitaban en el agua fueron destruidos por éste magnífico germicida.

En 1933, Roux, como presidente de la comisión científica para el estudio y supervisión de la purificación del agua de la ciudad de París, anunció que era opinión unánime de la comisión que el ozono era el mejor método conocido para la desinfección del agua.

En México se aplicó el ozono como medio de desinfección del agua potable distribuida en la ciudad, se obtuvieron buenos resultados inicialmente, sin embargo con el paso del tiempo éste método fué desplazado por la cloración, pues los sistemas electromecánicos de los ozonizadores al ser más complicados y delicados sufren descomposturas frecuentes, lo cual incrementa el costo de operación, por lo cual se considera poco práctica la ozonización como método de desinfección.

Continuando con la historia del ozono como germicida:

En 1937, De Lipkowski, citó la desaparición virtual de la fiebre tifoidea y otras enfermedades de origen hídrico en aquellas ciudades donde se usaba el ozono (O_3). Lebout en Niza presentó datos estadísticos acerca de 92 casos de tifoidea y para tifoidea, en 1948, ninguno se podía atribuir al agua potable. Whitson efectuó amplios estudios sobre purificación con ozono y probó su eficiencia como desinfectante, bactericida y germicida. En los U.S.A. en 1935 Ferkinhoff afirmó que la cuenta E. coli en Hobart Industrial fué: para agua cruda 1000; para agua filtrada 8 y agua ozonizada 0 (cero).

El propósito inmediato del ozono fué el de eliminar color, olor y sabor. Comparaciones entre el ozono y el cloro:

La influencia del pH, la acción bactericida del cloro es mayor que la del ozono; comparando la acción del cloro libre y del ozono se observa que el primero es ligeramente más activo que el segundo en contra de formas vegetativas de Clostridium perfringens, aunque el ozono es más activo con las espóras. La acción del ozono sobre la E. coli es más rápida que la del cloro, el ozono oxida el citoplasma de la bacteria, mientras que el cloro hace un daño selectivo en centros vitales del microorganismo.

Bajo condiciones experimentales el ozono resultó ser más efectivo que el cloro al desactivar el virus de la poliomielitis. En cuanto a los quistes de Endamoeba histolytica, son fácilmente eliminados por el ozono con menores dosis que en el caso del cloro. Para la eliminación del parásito Schistosoma mansoni se prefiere usar (O_3) que usar una supercloración, que también resulta eficaz.

9

Técnicas de Aplicación.-

La materia orgánica contenida en el agua consume ozono, que debe satisfacerse para tener ozono residual con acción germicida. Con la ozonización de aguas crudas turbias se obtienen reducciones considerables en los índices coliformes y cuentas bacterianas.

El método para ozonizar agua, desarrollado por Otto, consiste en mezclar el aire cargado eléctricamente con el agua, introduciéndolo en un emulsificador, manteniendo un exceso en el agua durante 5 - 6 minutos en una cámara de 15 - 20 pies de profundidad (columna de contacto).

El segundo método, es la dispersión del aire ozonizado, bajo presión a través de un medio poroso en la base de un tanque diseñado para un tiempo de retención teórico de 5 - 10 minutos. La necesidad de la dosificación de ozono, depende de la demanda del mismo, lo cuál a su vez es función de la calidad del agua.

Este proceso de desinfección resulta menos económico que la cloración por lo cuál no es muy usual en la desinfección de agua potable en los E.U.M.



C) Desinfección mediante luz ultravioleta. (6)

La luz solar es un desinfectante natural, principalmente como agente desecante. La irradiación por la luz ultravioleta intensifica la desinfección, siendo controlable la dosis de irradiación. La fuente de luz U.V. más común es una lámpara de vapor de Mercurio construída con cuarzo ó vidrio igualmente transparente a la luz intensa, destructiva e invisible a nuestros sentidos cuya longitud de onda de 2537 Å (10⁻⁸ cm.)

emitida por el arco de vapor de mercurio. Para asegurar la desinfección, el agua se debe encontrar libre de sustancias produzcan sombra a los microorganismos, por ejemplo, los compuestos fenólicos y aromáticos de otro tipo, incluyendo el ABS y materia orgánica suspendida; debe existir una relación adecuada en el producto tiempo - intensidad de irradiación para que la desinfección sea óptima. El agua en éste método debe ser bien mezclada para evitar en lo posible su adsorsividad. Existen otras formas de energía radiante y sónica que destruyen los microorganismos, pero aún no encuentran una aplicación dentro de la ingeniería en la desinfección de agua, tanto la luz como el sonido no tienen un efecto residual ni dejan sustancias ó residuos indicadores identificables.

Por definición, una unidad germicida es una intensidad de 100 mW por cm^2 para radiación cuya longitud de onda es de 2537 Å. De acuerdo con ésto, se pueden identificar las efectividades ó eficiencias relativas a otras radiaciones.

La atenuación de la energía radiante es función de un coeficiente que para aguas filtradas y desinfectadas con luz U.V. de 2537 Å varía en un rango de 0.05 cm^{-1} - 0.2 cm^{-1} para aguas no filtradas.

Se informa que las exposiciones de la E. coli a 3,000 ; 1,550 y 750 mW-seg/ cm^2 , producen 99.99, 99, y 90% de mortandad ó factor de descontaminación de 10^4 , 10^2 , y 10 respectivamente. En forma aproximada, el 2% de la radiación incidente, de luz ultravioleta (2537 Å), se refleja en la superficie del agua, mientras que la reflectividad del aluminio es de 90%.

(Purificación de agua, tratamiento de agua residual. Fair & Geyer.) (6)

D) Desinfección mediante plata y sus aleaciones. (10)

La plata y sus aleaciones de metales pesados (Cu, Zn, Ni, Mg, Pt, Ag tratada) son agentes de acción germicida, sea en estado líquido ó en suspensión, debido a la catálisis en la ruptura de las membranas protectoras que retienen los elementos fisicoquímicos y biológicos de que está constituido un germen. Al romper el equilibrio de la presión osmótica, mediante la cuál los gérmenes se nutren en medios acuosos, se sucede la acción germicida de la plata que se incrementa al alearse correctamente con metales pesados, procurando que el área superficial de contacto de estos coloides sea máxima.

Se ha comprobado experimentalmente que el tiempo de contacto entre el coloide y el agua es proporcional al área superficial de las partículas de aleación.

Al combinarse los diferentes elementos de una aleación se logran diversos potenciales eléctricos que actúan en la forma antes descrita. El equipo usado en éste método de desinfección es un recipiente cilíndrico de acero galvanizado con recubrimiento plástico cuyo diámetro, longitud y accesorios dependen del volumen de agua a tratar. Este cilindro está empacado ó relleno de (silletas, esferas, hongos, cucharillas ó gusanillos) pequeños cuerpos geométricos fabricados con metales pesados como los descritos anteriormente y recubiertos con una gruesa capa de plata metálica.

La acción del equipo desinfectante mencionado es válida como mínimo durante cinco años en los casos extremos de temperatura y de tipo de agua, excepto en agua con hidróxidos de hierro

ó hidróxidos de manganeso, sulfuros, aceites, grasas y materia orgánica disuelta ó en suspensión que provoca el efecto desinfectante en los cuerpos metálicos antes descritos.

El efecto germicida y bactericida es instantáneo en cualquier volumen y velocidad del agua, sin presentar riesgos ó peligros de toxicidad química.

La caída de presión entre las líneas de entrada y salida de agua es mínima.

Para mantener el equipo es necesario limpiarlo continuamente por medio de retrolavado según la carga de trabajo ó caudal manejado y las características del agua en tratamiento.

Este equipo se ha probado empleando incluso aguas negras con buenos resultados, es adaptable a las condiciones naturales, técnicas y socioeconómicas de las distintas regiones del país.⁽¹⁰⁾

E) Solución de plata coloidal como medio desinfectante.⁽¹⁰⁾

La solución de plata coloidal estable es una suspensión con acción germicida y bactericida muy enérgica y con un efecto residual bastante perdurable, mas aún que el del cloro y mayor que el del ozono. La plata coloidal preparada según fórmula de Microdín actúa en la destrucción de los gérmenes ó bacterias (no solo del grupo coliforme sino de todos los incluidos en el gram negativo, positivo, y demás agentes patógenos) por un fenómeno denominado oligodinámico que tienen los metales pesados en forma coloidal.

Las partículas ionizadas de plata son muy pequeñas más aún que los gérmenes, penetran en los vasos capilares ó superficies que envuelven las proteínas de que están constituidas las bacterias y demás microorganismos, destruyéndolos, al

variar el equilibrio del metabolismo de éstos.

Al recubrir cualquier recipiente no metálico (excepto acero inoxidable) con la solución de plata coloidal, se observa ésta superficie activada mantiene su capacidad germicida durante largo tiempo. Por las características de los metales pesados, normalmente su contacto con otros metales origina su precipitación, perdiendo su acción germicida, es por ésta razón que se recomienda no usar este desinfectante en recipientes metálicos. El coloide de plata metálica es tan pequeño (20 - 75 Å) que solo es observado con microscopio electrónico. La estabilidad de la suspensión coloidal permanece invariable desde la congelación del agua hasta 120 °F. Este desinfectante es más efectivo en aguas alcalinas, no es tóxico, ni corrosivo como el cloro, es incoloro, insípido e inodoro. El contenido de plata elemental en una solución concentrada de éste germicida es de 3.2%. La solución de plata coloidal no requiere de equipo especial para su aplicación, se diluyen 10 ml. de solución concentrada en un metro cúbico de agua y se esperan 15 minutos como tiempo máximo de contacto para su uso normal por el consumidor.⁽¹⁰⁾

Ventajas y desventajas de los diferentes métodos de desinfección de agua para usos potables.-

En relación al costo por metro cúbico de agua desinfectada el método más económico es la ozonización y la luz U.V., pero requieren de un equipo especial cuya amortización y mantenimiento además de su operación incrementa el costo del tratamiento, además que en ambos casos el efecto residual del germicida es casi nulo.

La solución de plata coloidal resulta ser el más caro de los métodos antes citados por lo cuál no es aplicable en los casos en los que los volúmenes a desinfectar son elevados, éste germicida ha resultado ser el de acción residual más prolongada de los desinfectantes antes enunciados, siendo el único que no requiere de un equipo especial para su aplicación (si se llegase a utilizar equipo sería un mezclador ó una bomba dosificadora con el fin de reducir el tiempo de contacto) En relación a el tiempo de contacto los métodos más eficientes son la ozonización y la plata y sus aleaciones. La cloración resulta ser el más versátil de los métodos aquí estudiados, es bastante económico en cuanto a consumo de germicida, aunque requiere de equipo dosificador, el cuál, debe ser operado y de mantenerse en forma preventiva mejor que correctiva. La problemática es la adquisición del cloro, debido a la no muy eficiente distribución de los fabricantes. El efecto residual del cloro es intermedio entre el ozono y la luz U.V. así como la solución de plata coloidal e igual en cuanto al tiempo de contacto. Otra de las ventajas de la cloración es que no solo actúa como desinfectante, sino que sirve para eliminar olor, sabor y para precipitar Fe y Mn. En la actualidad el método más usual de desinfección de agua en los E.U.M. es la cloración, aunque es motivo de un estudio especial en cada caso, ha de ser un método que convenga aplicarse desde los puntos de vista económico, técnico además de otros factores tales como tipo de agua, población a servir, ubicación del poblado para el suministro continuo e ininterrumpido de desinfectante y refacciones para el equipo de apli-

cación (en caso de ser necesario), capacidad económica de los consumidores, etc.)

Conclusiones relativas a desinfección:

Para tener agua de calidad sanitaria potable inmejorable es necesario utilizar el equipo de desinfección adecuado a cada caso, tener una red de distribución de agua en buenas condiciones con un índice de desinfectante residual óptimo para evitar contaminación y/o proliferación de la misma, también se requiere que los almacenes de agua potable tales como cajas derivadoras, tanques, cisternas, tinacos, etc. estén siempre limpios mediante el uso de filtros, lavado y desinfección regular de dichos almacenes; además de tener un riguroso control bacteriológico y de desinfectante residual en los lugares antes citados así como en las fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano.

En las próximas páginas se muestran diagramas y esquemas ilustrativos de los diferentes equipos usados en desinfección.

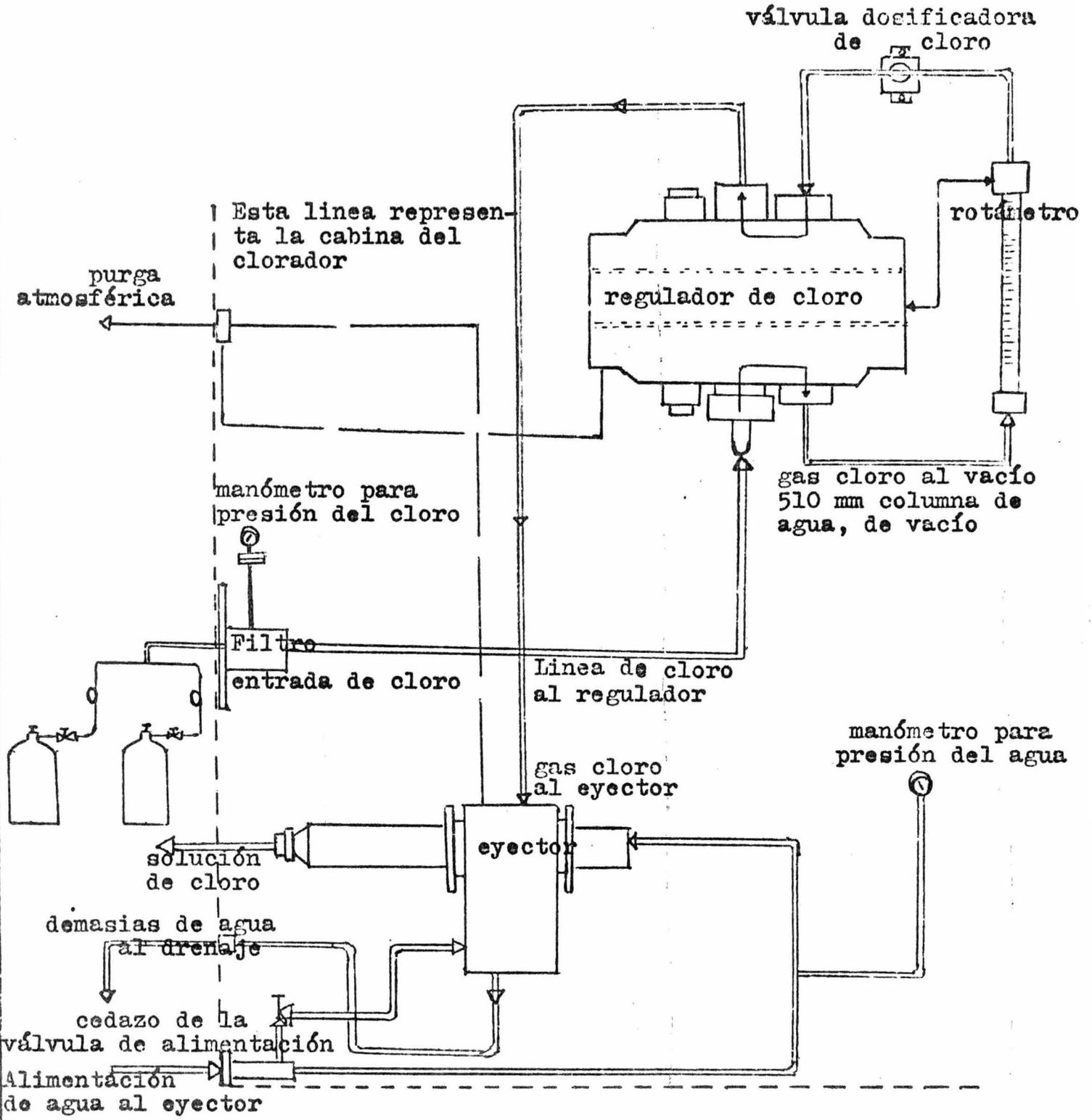
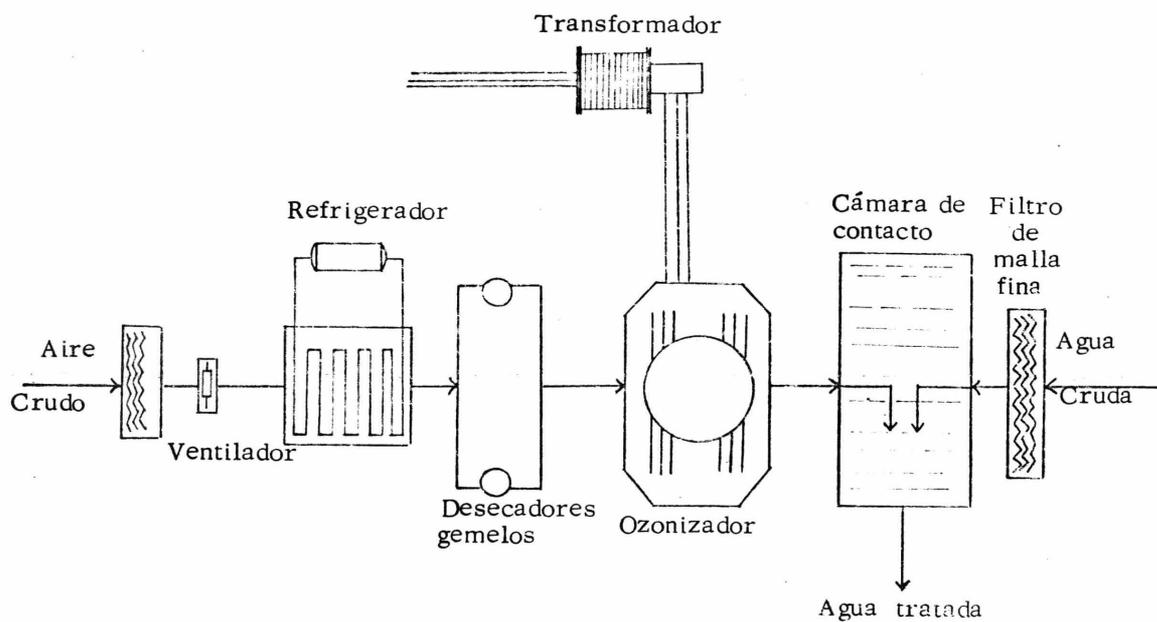


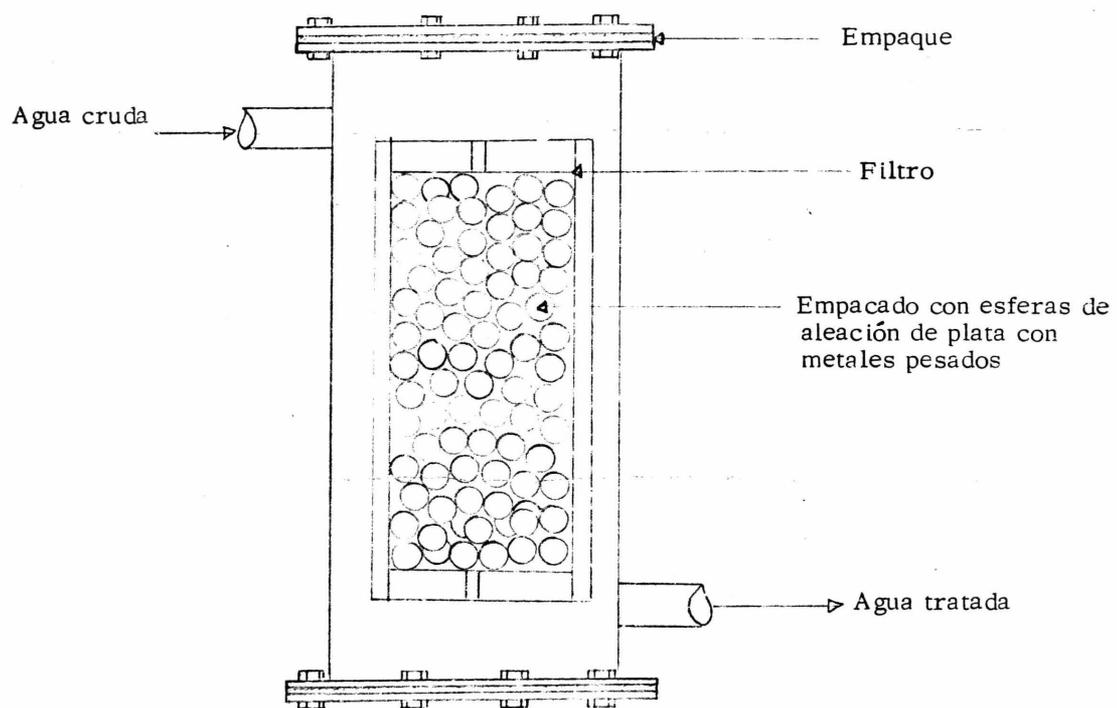
DIAGRAMA DE CIRCUITO DE UN CLORADOR DE SOLUCION (9)

(9)



CARTA DE FLUJO PARA OZONIZACION

(9)



Esquema de un equipo de desinfección mediante plata y sus aleaciones.

VII.- PROCESOS DE POTABILIZACION:

- I.- Introducción
- 2.- Aspectos Teóricos
- 3.- Descripción de una Planta Clarificadora
- 4.- Aspectos Generales para efectuar un proyecto preliminar de plantas potabilizadoras.

I.- Introducción.⁽⁹⁾ Las aguas para consumo humano antes de llegar al usuario pueden tener diferentes grados de potabilidad que pueden ser, según las sustancias que contenga como impurezas.

- a) Aguas turbias.
- b) Aguas coloreadas.
- c) Aguas duras.
- d) Aguas ferruginosas.
- e) Aguas fluorosas.
- f) Aguas mineralizadas.
- g) Aguas marinas.

a.- Aguas turbias.- El agua para uso potable debe ser clara y transparente, es decir la turbiedad máxima admisible actualmente es de 5 a 10 U.Jackson, como se vió en el capítulo de normas de calidad.

Cualquier grado de turbiedad perceptible es asociado con polución por aguas negras ó por materia orgánica ó bien por materia inorgánica, siendo el motivo fundamental de éste capítulo conocer los procesos de clarificación,

así como algunos resultados experimentales, y teóricos sobre coagulación-floculación.

La materia orgánica ó inorgánica en suspensión coloidal puede ser eliminada por las plantas potabilizadoras clarificadoras que aseguran la calidad del agua entregada a los consumidores, la calidad del agua al salir de la planta tiene un cierto grado de pureza, el cual no varía en gran proporción, si el estado de las tuberías de conducción es buena y la limpieza de los tanques de regularización y cajas de almacenamiento también contribuyen a que la calidad del agua en las tomas del consumidor sea muy similar a la del agua a la salida de la planta.

b).- Aguas coloreadas.- Estas aguas no poseen propiedades nocivas o tóxicas, el color es producto de sustancias naturales que le imparten un tono café amarillento lo cual produce lógicamente aversión al consumidor, el límite señalado por las normas es como se vió anteriormente 20 U. color, aguas de este tipo pueden ser subterráneas ó bien superficiales.

Como el proceso para decolorar el agua es costoso, se recomienda aceptar valores ligeramente superiores, que se ponderarán en cada caso particular, para aquellas aguas difíciles de coagular o de pequeños abastecimientos en donde la población sea económicamente débil.

c).- Aguas duras.- Estas aguas son satisfactorias desde el punto de vista fisiológico. Por su acción adversa con el jabón, su uso para propósitos de limpieza no es completamente satisfactoria a menos que el costo sea reducido. Por otra parte, pueden tenerse dificultades por la deposición de los carbonatos en las

líneas de distribución. Las aguas para usos industriales requieren límites muy bajos de dureza, mientras que las aguas para --- usos municipales no requieren tal grado de ablandamiento, por lo que el ablandamiento para uso industrial es incosteable en relación al ablandamiento para usos potables.

El grado del proceso de ablandamiento lo determina:

El costo por el proceso, el costo por el consumo del jabón y la costumbre de los usuarios de consumir -- agua de cierta calidad.

d).- Aguas mineralizadas.- Son aguas gruesas que provocan inapetencia ingerirlas, y que en muchos casos, pueden provocar efectos catárticos de consideración, como son las aguas con sulfatos de magnesio y sodio. En cada caso deberá hacerse un estudio económico de la desmineralización de sulfatos y/ó cloruros principalmente, que sea base para fijar el grado de potabilización, ó en última instancia para rechazar la fuente.

e).- Aguas ferruginosas.- Se recomienda procesar las aguas con los métodos conocidos, a fin de alcanzar los límites fijados por las normas, ya que valores mayores de 0.3 mg/L de hierro y -- manganeso, imparten color y sabor que hacen que los usuarios las rechacen.

f).- Aguas fluorosas.- El interés sobre estas aguas es doble en cuanto a la determinación a la concentración de flúor.

Por una parte, si se tienen valores mayores de 1.5 - mg/l, las aguas deberán procesarse por el método de defluoración -

con el fin de evitar la fluórosis dental.

Por otra parte, cuando la concentración de flúor es menor de 0.6 mg/l en aguas potables hay tendencia a producir caries dental en los infantes, por lo que deberá estudiarse cuí dadosamente el mejor método para dosificar flúor.

g).- Aguas marinas.- Se usan cuando no existe otra -- fuente para consumo de agua potable, las cuales se potabilizan por el método de evaporación instantánea por etapas múltiples.- Se hace patente el costo de este proceso es elevado por lo cual se utiliza solamente en algunos estados de nuestro país.

Estos diferentes tipos de aguas son potabilizadas; para que tengan las características fisicoquímicas y bacteriológicas estipuladas en las normas; por diversos métodos, procesos y operaciones unitarias.

En todas las plantas potabilizadoras se efectúan operaciones unitarias y procesos comunes en unidades determinadas por medio de las cuales se obtiene agua de calidad potable,- a continuación se enlistan las operaciones unitarias, procesos y unidades:

"" P R O C E S O S ""

- 1.- Ablandamiento
- 2.- Coagulación
- 3.- Cloración (Halogenación)
- 4.- Clarificación
- 5.- Control de olor y sabor
- 6.- Desferrización
- 7.- Desfluoración (Deshalogenación)
- 8.- Desinfección
- 9.- Desmanganización
- 10.- Desmineralización

- 11.- Decloración (Deshalogenación)
- 12.- Estabilización
- 13.- Filtración
- 14.- Fluoración (Halogenación)
- 15.- Hipocloración
- 16.- Regeneración
- 17.- Etapas múltiples de evaporación instantánea.
- 18.- Sedimentación.

De éstos procesos, en ésta tesis, solo se describirá la clarificación mediante teoría, resultados de laboratorio, gráficas y diagramas.

"" OPERACIONES UNITARIAS ""

- 1.- Absorción
- 2.- Adsorción
- 3.- Aereación
- 4.- Floculación
- 5.- Intercambio iónico
- 6.- Lavado y enjuague de los medios de filtración
- 7.- Mezclado
- 8.- Recarbonatación
- 9.- Dosificación

"" UNIDADES QUE CONSTITUYEN LAS PLANTAS PARA OPERACION ""

- a).- Acreadores
- b).- Mezcladores (hidráulicos, mecánicos, neumáticos)
- c).- Floculadores (hidráulicos, mecánicos, neumáticos)
- d).- Sedimentadores
- e).- Filtros lentos
- f).- Filtros rápidos (gravedad, presión)
- g).- Dosificadores

2.- Aspectos Teóricos sobre clarificación:⁽⁵⁾ Clarificación es el proceso por medio del cual se elimina turbidez de líquidos que contienen una pequeña concentración de sólidos en suspensión. Cuando se trata de agua, generalmente se usa un coagulante para dejar el agua más cristalina mejorando su calidad, para sedimentar los sólidos más rápidamente aumentando el flujo de agua -- que puede trazar el equipo existente y además para bajar el costo

total de los productos químicos usados en la coagulación.

Para efectuar las pruebas, se recomienda usar un agitador múltiple. En vasos de precipitados de 1,500 ml se ponen muestras de la solución problema hasta la marca de mil ml. ajustando el agitador a 100 revoluciones por minuto después se vá adicionando 5, 10, etc., ml. del agente coagulante con una concentración de un gramo por litro. Después de un minuto de -- agitación rápida, bajar la velocidad a 40 rpm. durante 10 minutos para efectuar la agitación lenta. Anotar la turbidéz residual en la solución y la velocidad de asentamiento de los flóculos, así como color o alguna otra observación pertinente.

Posteriormente conviene hacer pruebas con diferentes concentraciones de coagulante inorgánico y cal, hasta encontrar el punto óptimo en cuanto a la calidad de agua, velocidad de asentamiento y costo total de reactivo.

Se recomienda efectuar pruebas, usando como coagulante sulfato de aluminio o sulfato férrico, verificando cual de ambos es más efectivo en cuanto a velocidad de asentamiento, disminución del índice de turbidéz, disminución de color, disminución del costo y en función a otros factores.

Para el adecuado estudio del proceso de clarificación se clasificó por el centro panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud (OMS) Departamento de Ingeniería y Ciencias del Ambiente en su serie téc

✓ nica: teoría diseño y control de los procesos de clarificación del agua. Estudio realizado por el Asesor Regional en Tratamiento de Agua Ingeniero Jorge Arboleda Valencia, para su estudio de la siguiente manera:

- 1.- Introducción
- 2.- Revisión de la teoría sobre coagulación del agua.
- 3.- Conceptos modernos sobre diseño de mezcladores y floculadores.
- 4.- Control del proceso coagulación-floculación
- 5.- Conceptos modernos en el diseño del proceso de sedimentación.
- 6.- Control del proceso de sedimentación
- 7.- Teoría de la filtración del agua
- 8.- Conceptos modernos sobre el diseño de unidades de filtración.
- 9.- Control del proceso de filtración.

A continuación se describirá algo de teoría sobre clarificación de aguas naturales:

Las aguas superficiales, en general, requieren algún tratamiento antes de su distribución debido a que contienen diversos contaminantes, algunos de los cuales son perjudiciales a la salud pública y otros solo ofrecen problemas estéticos.

La coagulación es esencial para purificar las aguas superficiales contaminadas, esta operación unitaria junto con la sedimentación, filtración y desinfección constituyen el proceso de clarificación. La eficiencia de este proceso se determina en general midiendo la turbiedad del agua antes y después del tratamiento. Se define la turbiedad como la propiedad óptica de una muestra para disipar y absorber la luz en lugar de transmitirla en línea recta (métodos estándar 1971) . (3)

En el diseño de instrumentos para medir turbiedades de diferentes tipos de aguas, se han empleado principios relacionados con la transmisión y reflexión de la luz. Dado que no existe un estándar primario para la turbiedad, las mediciones efectuadas con diferentes turbidímetros no ofrecen resultados uniformes.

Hoy existe la tendencia a usar fotómetros nefelométricos, con características instrumentales específicas tales como sensibilidad para detectar diferencias de 0.02 unidades o menos en aguas con turbiedades menores de una unidad, para usos potables el nefelómetro idóneo es el que detecta turbiedades entre 0 y 40 unidades.

NATURALEZA DE LA TURBIEDAD

Los contaminantes que causan turbiedad en el agua son partículas en suspensión, tales como arcilla, minerales, sedimento, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, plankton y otros organismos microscópicos.

El tamaño de las partículas varía: algunas son lo suficientemente grandes para sedimentar rápidamente, otras son muy pequeñas y pueden quedar indefinidamente en suspensión. Se denominan coloides a partículas muy pequeñas que sedimentan con mucha lentitud.

La turbiedad se debe en general a arcilla en suspensión, la arcilla es un material natural, terroso de grano muy fino, que se vuelve plástico cuando se mezcla con agua en cierta cantidad.

Varios análisis de arcilla han demostrado que ésta se compone principalmente de sílice, alúmina y agua, frecuentemente con cantidades apreciables de hierro, álcalis, tierra alcalina y otras sustancias.

Los elementos que se distinguen con mayor frecuencia en

las arcillas más comunes son el aluminio, el silicio, el oxígeno, el hidrógeno, el magnesio, el hierro y el potasio.

Físicamente las arcillas son cristales con estructura atómica reticular plana en unidades tetraedrales o bien octaedrales.

Las partículas de turbiedad tienen carga negativa que se atribuye a la ionización de grupos oxhidrilo, carboxilo, metoxilo y quinoide o bien a desarreglos en la estructura reticular o bien a desarreglos en la estructura reticular o también por adsorción de iones de la solución. Las partículas coloidales tienen una gran superficie específica, lo cual las caracteriza, es decir hay una gran relación entre el área superficial y la masa. El diámetro de las partículas coloidales puede tener variaciones de tamaño de 1×10^{-4} mm a 1×10^{-6} mm su área superficial puede estar en el ámbito de 35 m^2 para las partículas mayores, y $2.83 \times 10^4 \text{ m}^2$ para las partículas menores, mientras que sus tiempos de sedimentación varían de 230 días a 63 años. Los límites de las partículas coloidales en cuanto a su tamaño no están bien definidos. Por lo general se considera que tienen una dimensión de por lo menos 1 a 1000 milimicrones. Las propiedades más importantes de los coloides son:

- 1.- Propiedades cinéticas: a) movimiento Browniano;
b) difusión; c) presión osmótica.
- 2.- Propiedades ópticas: a) efecto Tyndall-Faraday.
- 3.- Propiedades de superficie (adsorción):
a) intercambio iónico; b) adsorción química;
c) adsorción física.
- 4.- Propiedades electrocinéticas: a) electroforésis;
b) electroósmosis.

Coagulación se refiere a las reacciones que ocurren cuando se adiciona un coagulante al agua, dando origen a la formación de

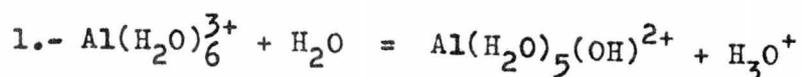
productos insoluble provenientes de la reacción entre el coagulante y la solución acuosa así como la impureza a ser eliminada.

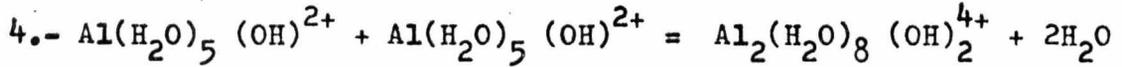
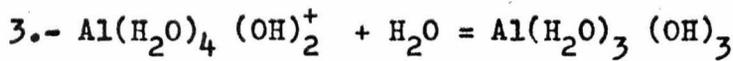
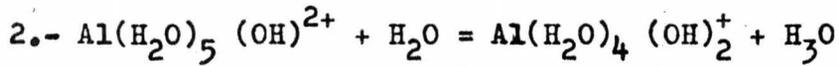
La floculación se refiere a la definición operacional que involucra el proceso de crecimiento de las partículas coaguladas dando origen a un precipitado suficientemente grande y pesado como para sedimentar relativamente rápido. Algunos autores utilizan el término coagulación para referirse a todo el proceso de recolección de partículas y únicamente floculación para referirse al transporte de las mismas. Existen dos teorías que describen los cuatro mecanismos de coagulación:

Según el modelo químico (puentes entre partículas) y el modelo físico (de la doble capa eléctrica), éstos mecanismos son: 1.- Compresión de la doble capa, 2.- Adsorción para neutralizar la carga, 3.- Captura del precipitado, y 4.- Adsorción para formar el puente interparticular.

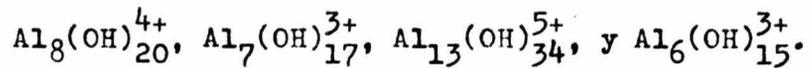
Reacciones de los iones aluminio y fierro en solución acuosa.- Las reacciones de los iones de aluminio y fierro con el agua son de utilidad en la desestabilización de sistemas coloidales. Todos los cationes metálicos se hidratan en el agua. No existen iones tales como Al^{3+} y Fe^{3+} , sino que se presentan como complejos acuosos, $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ y $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$. Estos iones son ácidos, es decir donan protones. Si la sal de hierro (III) o de aluminio (III) está presente en una concentración menor que la solubilidad del hidróxido metálico, el metal formará monómeros, dímeros y quizá pequeños complejos poliméricos de hidróxido metálico, además del ion acuoso metálico libre.

A continuación se escriben algunas reacciones ácidas que ocurren para el aluminio en solución acuosa:





Las reacciones 1 y 3 son ácido base donde el ion acuoso del aluminio actúa como ácido y el agua actúa como base. La reacción 4 es entre dos monómeros para formar un dímero. Otros polímeros que se cree presentes en soluciones acuosas de aluminio son:

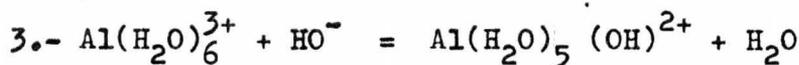
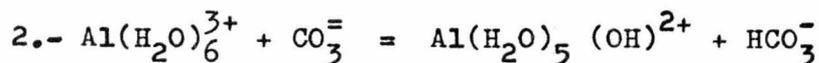
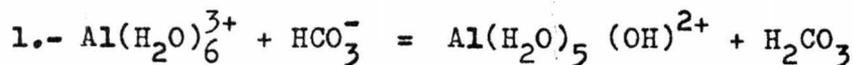


Todos estos complejos hidroxilados pueden ser adsorbidos por los coloides y así efectuar la desestabilización. Si se agrega suficiente sal de aluminio al agua con alcalinidad, comienza a precipitarse el hidróxido de aluminio que hidratado es $\text{Al}(\text{OH})_3 (\text{H}_2\text{O})_3$. Al formarse el hidróxido pueden ser atrapados los coloides por captura en el precipitado metálico, por su excesivo producto de solubilidad en la solución. La cantidad de sobresaturación puede escribirse mediante el cociente (para el hidróxido férrico) $\text{Fe}^{3+}(\text{OH})^{3-}/10^{-38}$, que para una precipitación rápida debe ser 100 o mayor. (Fe^{3+}) y (HO^-) denotan la concentración molar de iones hidróxidos y férricos en solución. Kps= Constante del producto de solubilidad

$$\text{Kps} = (\text{Fe}^{3+}) (\text{OH})^{3-} = 10^{-38}$$

Las partículas coloidales pueden servir como núcleos para formar precipitados. Los iones acuoso metálicos de aluminio e hierro no solo reaccionan con el agua sino también con la alcalinidad de la misma, es decir con carbonatos, bicarbonatos, hidroxilos, anhídrido carbónico, ácido carbónico y también iones hidronio.

La alcalinidad en el agua ayuda a las reacciones ácido base en las que se forman los polímeros. Si no existe alcalinidad en el agua, puede ser necesario agregarla en forma de cal. A continuación se presentan algunas reacciones representativas de la alcalinidad con el $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$:



Como se observa con la alcalinidad se producen las mismas especies descritas en las reacciones ácidas que ocurren para el aluminio en solución acuosa. La alcalinidad también es importante por su efecto amortiguador. De no haber alcalinidad, cuando se agrega una sal de aluminio el pH baja a un nivel que no permite la formación de precipitado, mientras que con la alcalinidad se puede mantener el pH relativamente constante, cuando se agrega una cantidad suficiente de sulfato de aluminio para la coagulación.

Este efecto amortiguador es importante para eliminar la turbiedad, la cual se logra generalmente entre un pH de 6.5 - 7.5. Cuando la turbiedad del agua es baja, existen pocas oportunidades de contacto para producir agregados de partículas completamente estabilizadas en un periodo de detención razonable.

Para mayores concentraciones de coloides se necesitan menores dosis de coagulante pues las partículas coloidales proveen núcleos para la precipitación. Es claro que al aumentar las concentraciones de coloides se requiere aumentar las proporciones de coagulante. En los casos de baja turbiedad, cuando se necesita un precipitado de hidróxido voluminoso, la dosis requerida tiende a dis-

minuir a medida que la concentración de coloide aumenta.

Cuando la desestabilización se realiza por medio de la adsorción, la dosis requerida es generalmente más baja y aumenta con la concentración de coloides. Las aguas con baja turbiedad pueden ser coaguladas por otra técnica muy conocida:

La adición de partículas de arcilla por ejemplo bentonita, que aumenta la turbiedad, produciendo núcleos para formar precipitados antes de agregar el coagulante. Al aumentar la turbiedad se logra realizar la coagulación. De éste modo se logra adicionar menor dosis de coagulante debido a la existencia de un mecanismo de adsorción en vez de uno de captura. En resumen, para la operación del proceso de coagulación es muy importante comprender la relación entre dosis de coagulantes, pH y concentración de coloides, junto con las varias formas de desestabilización. En el tratamiento del agua encontramos cuatro tipos de sistemas comunes a saber:

1.- Alta concentración de coloides.- Baja alcalinidad.

Este es el sistema mas fácil, ya que solo debe determinar un parámetro químico: la dosis óptima de coagulante.

La desestabilización se realiza por medio de adsorción de polímeros hidróxidos metálicos con carga positiva que se producen con niveles de pH ácidos (pH de 4 a 6, depende del coagulante).

2.- Alta concentración de coloides.- Alta alcalinidad.

En este caso la neutralización y desestabilización se realiza nuevamente por adsorción y neutralización de la carga con niveles de pH neutrales o ácidos. La neutralización de la carga es más fácil debido a que el pH permanece generalmente en la región neutra donde los polímeros de hidróxidos metálicos no contienen cargas muy altas.

3.- Baja concentración de coloides.- Alta alcalinidad.

La coagulación se realiza en éste caso con una dosis de coagulante relativamente alta por medio de la captura de partículas coloidales. Como alternativa se puede agregar un ayudante de coagulación, como bentonita, para aumentar la concentración coloidal e incrementar la tasa o medida de contacto interparticular. La desestabilización se realiza luego, por medio de adsorción y neutralización de la carga.

4.- Baja concentración coloidal.- Baja alcalinidad.

En éstos sistemas la coagulación es más difícil. La coagulación por medio de captura es más difícil ya que el pH disminuye demasiado para formar los hidróxidos. Así mismo, la coagulación por medio de adsorción es más difícil dado que la concentración coloidal es muy baja para permitir el contacto interparticular. Para realizar una coagulación efectiva deberá agregarse alcalinidad adicional y/o un ayudante de coagulación como la bentonita.

En recientes investigaciones se ha obtenido la siguiente evidencia experimental (Stum, Huper, y Champlin; 1967):

- 1.- Bajo condiciones apropiadas, la sílice activada puede funcionar como único coagulante para coloides con carga positiva o negativa.
- 2.- Es posible reestabilizar con sílice activada a coloides con carga positiva o negativa.
- 3.- La concentración de sílice activada que se requiere para desestabilizar un coloide está en relación directa con la concentración del coloide.

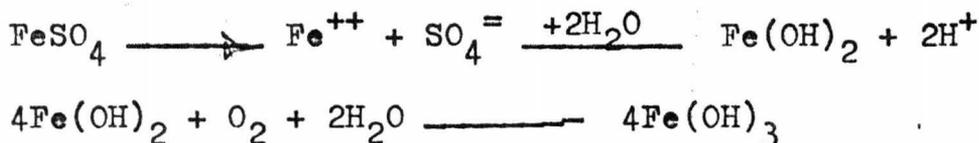
En consecuencia, la desestabilización por medio de sílice activada parece ser el resultado de la adsorción específica acompañada por la formación del puente.

Solo se hace mención en el presente trabajo, de la existencia y uso no muy común de polímeros orgánicos sintéticos que son aplicados en la desestabilización.⁽⁵⁾

A continuación se mencionan los coagulantes más comunes que pueden ser ácidos o alcalinos:(12)

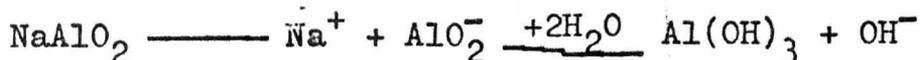
<u>Acidos</u>	<u>Alcalinos</u>
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	$NaAlO_2$
$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$	
$K_2SO_4 \cdot Fe_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$	
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	
$KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 13H_2O$	

Los coagulantes ácidos tienen las siguientes características: primero se disocian y después se hidrolizan liberando los iones hidrógeno, razón por la que se les llama ácidos. Por ejemplo:



Para poder utilizar enteramente el coagulante, los iones hidrogeno hay que eliminarlos completamente con hidróxido de calcio, cuidando de que el agua mantenga su pH dentro de las normas, en caso de no usar sosa es mejor usar hidróxido de calcio.

Los coagulantes alcalinos como el aluminato de sodio que libera iones hidroxilo. Por ejemplo:



En el caso de usar un coagulante alcalino como el aluminato de sodio, al liberar iones oxhidrilo al hidrolizarse, representa un ahorro en el consumo de cal:



Por lo que si el coagulante es ácido es necesario agregar más cal; mientras que si es alcalino, se consume menos reactivo, excepto en los casos en los que el agua tenga alcalinidad natural, lo cual implica un menor consumo de cal o nulo según sea el caso. Con un coagulante alcalino, como el aluminato de sodio, la cantidad necesaria de cal se calcula en función a los iones HCO_3^- ,

Mg^{++} , CO_2 , ácidos minerales, presentes, en función a los equivalentes mencionados menos los equivalentes de la base formada en la hidrólisis del aluminato de sodio.

Con un coagulante ácido, -tal como el alumbre o el sulfato ferroso, la cal necesaria en equivalentes, será igual a la suma de los equivalentes presentes en el agua de: ácidos minerales, CO_2 , HCO_3^- , Mg^{++} , coagulante añadido.⁽¹²⁾

La dosificación de coagulante se determina en forma experimental aproximada en el laboratorio mediante pruebas sucesivas, éstas se deben efectuar cada vez que las características fisicoquímicas del agua cruda varien notablemente. La afinación en la dosificación de reactivos se lleva a cabo en el equipo normal de operación según la calidad del agua efluente tratada.

El sulfato de aluminio, es el coagulante metálico de uso mas común y difiere el reactivo puro del reactivo comercial cuya composición no es exacta. El sulfato de aluminio puede adquirirse en forma de terrones o polvo en su calidad comercial.

Es difícil predecir en forma exacta las relaciones estequiométricas de la reacción entre el alumbre y la alcalinidad en el agua. El aluminato de sodio se utiliza generalmente para problemas muy especiales en el tratamiento de agua.

Las aguas con mucho color pueden ser tratadas con alumbre a un pH bajo pues en éstas condiciones el aluminio es muy soluble.

Al agregar el aluminato de sodio alcalino aumenta el pH, lo cual ocasiona que el aluminio soluble flocule y coagule.

El sulfato férrico se vende generalmente como material granular anhidro, bastante soluble en agua.

Generalmente se disuelve agregando una parte de sulfato férrico por dos de agua diluyendose según sea preciso para la coagulación. Como el alumbre, el sulfato férrico reacciona con la alcalinidad del agua. Los coagulantes férricos son útiles en agua cuyo pH esté entre 4.0 y 11.0. El sulfato férrico es mejor coagulante para la eliminación de color que el sulfato de aluminio.

El sulfato ferroso o caparrosa se obtiene en forma de gránulos cristalizados o soluciones concentradas, reacciona con la alcalinidad natural o agregada para formar hidróxido ferroso soluble $Fe(OH)_2$, el cual debe ser oxidado a hidróxido férrico para que sea útil, lo cual se logra con pH mayor de 8.5 y aereación o bien

con el oxígeno disuelto en el agua, así como con cloro.

En los dos primeros casos se agrega cal para tener suficiente alcalinidad. El sulfato ferroso y la cal encuentran su mayor utilidad en la coagulación que debe realizarse con valores altos de pH.

Cuando se utiliza el sulfato ferroso oxidado por cloro se le llama caparrosa clorada, en éste proceso el cloro reacciona con el sulfato ferroso dentro de una amplia variación de valores de pH dando mayor flexibilidad al tratamiento. Además la coagulación con caparrosa clorada es muy útil en las plantas en las que se requiere preclorar el agua cruda.

El cloruro férrico se utiliza solo ocasionalmente en el tratamiento de agua debido a las dificultades en manipular el material.

Se puede obtener en forma líquida, en cristales y anhidro.

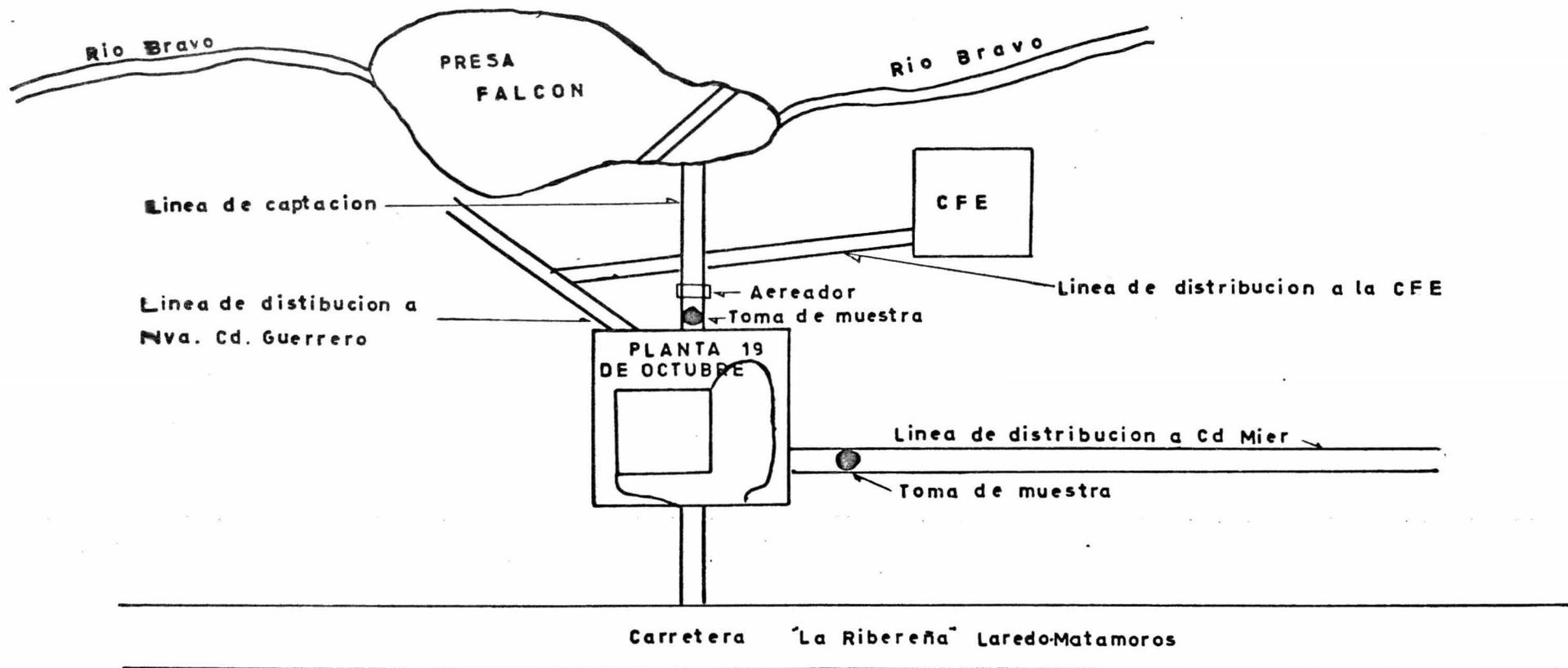
En estado líquido o cristalino es muy corrosivo y debe manejarse en tanques forrados con goma o vidrio. No obstante es un buen coagulante y puede ser usado si se superan los problemas de manejo.⁽⁵⁾

3.- Descripción de una planta clarificadora.- (11)

- a) Localización. Memoria descriptiva.
- b) Diagrama de distribución de áreas.
- c) Diagrama de flujo de proceso.
- d) Diagrama de flujo mecánico.
- e) Esquema de diseño.
- f) Descripción gráfica de cada equipo.
- g) Aspectos generales para efectuar un proyecto preliminar de plantas potabilizadoras.

a) Localización de la planta.

Está situada entre la ciudad Mier y nueva ciudad Guerrero, estado de Tamaulipas, a 14 Km. de la primera y a 4 Km. de la segunda en la carretera "La ribereña" que une a las ciudades de Matamoros y Nuevo Laredo. Está a 500 m. de la cortina de la presa Falcón, de cuya agua se abastecen las dos primeras ciudades antes mencionadas, después de ser tratada en la planta potabilizadora " 19 de Octubre" mediante el proceso de clarificación y desinfección.⁽¹¹⁾



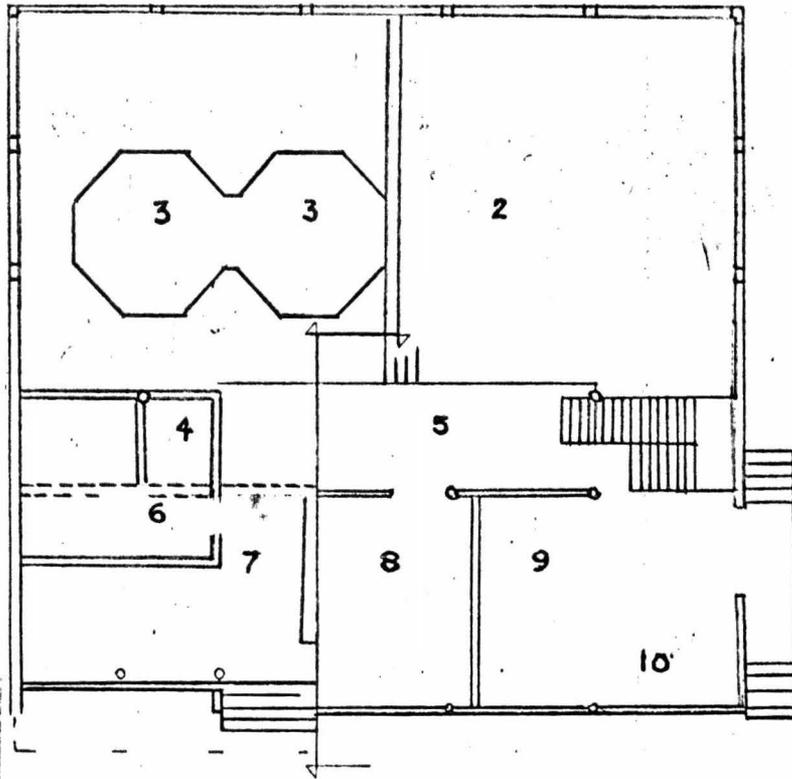
PLANO DE LOCALIZACION DE LA PLANTA POTABILIZADORA
19 DE OCTUBRE

Memoria descriptiva.

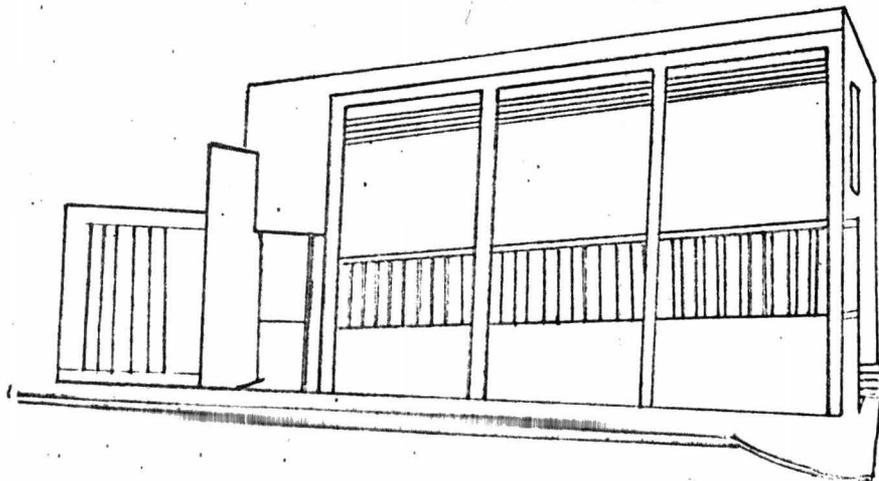
Esta planta abastece de agua potable a las ciudades Mier y nueva Guerrero así como a la planta hidroeléctrica de la presa falcón, lugar del que se capta el agua cruda para ser enviada a la planta de tratamiento a lo largo de una tubería de 8 pulgadas de ϕ diámetro.¹¹

El volumen de producción es variable según las necesidades de consumo, siendo mayor en la época primavera-verano que en otoño-invierno.

- 1.- Población de proyecto: 10 000 habitantes.
- 2.- Población en 1970: 5 550 habitantes en ciudad Mier.
3 332 habitantes en nva. cd. Guerrero
- 3.- Gasto máximo de proyecto: 150 litros/ habitante / día.
- 4.- Gasto máximo diario: 37.5 litros/ segundo.
- 5.- Tiempo de bombeo promedio: 15 horas/ día. Otoño-invierno.



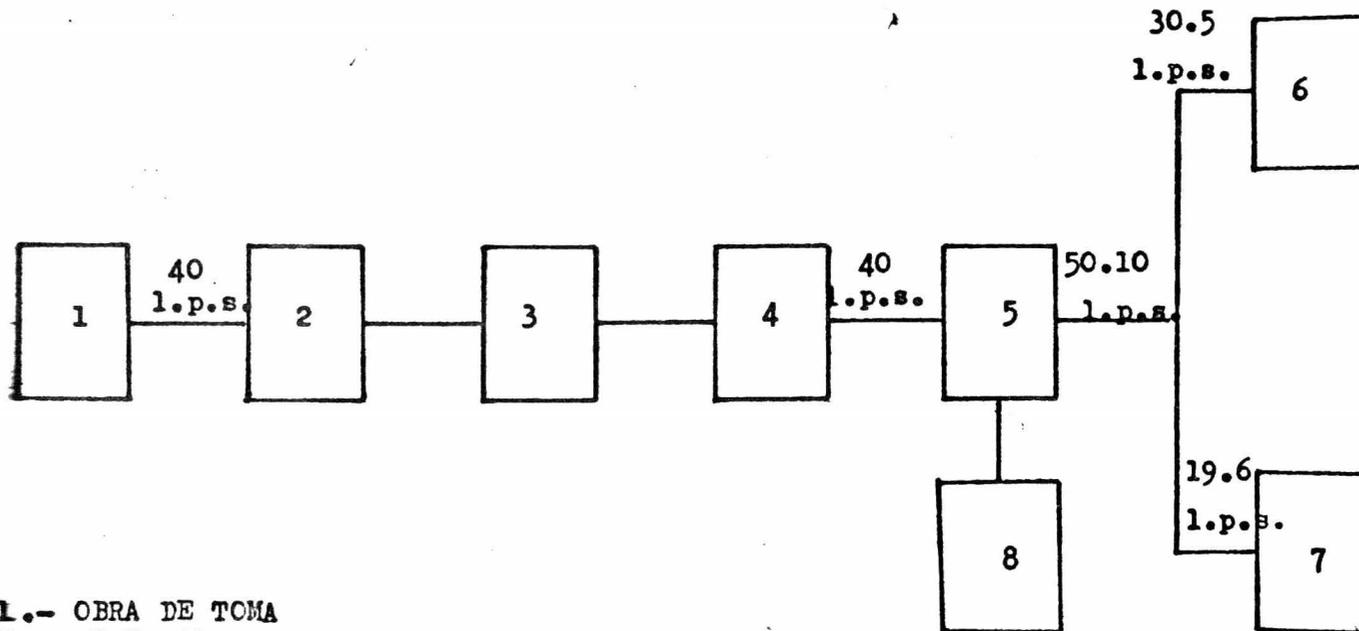
- 1.-Galeria de tuberia
- 2.-Tanque de sedimentacion
- 3.-Filtros
- 4.-Galeria de equipo de bombeo
- 5.-Pasillo de control
- 6.-Sanitarios
- 7.-Hall
- 8.-Laboratorio
- 9.-Sala de cloradores
- 10.-Deposito de tanques de cloro



b) DIAGRAMA DE DISTRIBUCION DE AEREAS DE TRABAJO- FACHADA (9)

c)

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO



- 1.- OBRA DE TOMA
- 2.- AEREADOR
- 3.- CLARIFICADOR
- 4.- FILTROS.
- 5.- CARCAMO DE AGUA FILTRADA
- 6.- BOMBEO A NVA. CD. GUERRERO.
- 7.- BOMBEO A CD. MIER.
- 8.- CLORACION.

e) Esquema de Diseño.

A continuación se presenta el esquema del proceso ó algunas características de las unidades:

Aereador.- Es del tipo de bandejas con lechos de carbón activado, con una capacidad de 40 litros por segundo y una área de 7.5 m^2 .

Clarifloculador.- Es del tipo "Accelerator", con recirculación de lodos y agitación mecánica por medio de un motorreductor. La dosificación se efectúa por medio de dos tolvas y vibradores en cuanto al sulfato de aluminio y la cal.

Filtros.- Son del tipo rápidos por gravedad con lechos de grava y arena. Con tablero registrador de pérdida de carga y de volumen de agua filtrada. El lavado se efectúa semiautomáticamente.

Almacenes de agua tratada.- Un cárcamo de aguas claras con capacidad para $2\ 000 \text{ m}^3$, en donde se lleva a cabo la desinfección, para su posterior distribución a las poblaciones y a la planta hidroeléctrica. También se diseñaron un tanque elevado con capacidad para 300 m^3 y una una caja de regularización.

El cálculo de éstas unidades de tratamiento está incluido en el proyecto de construcción de la planta de tratamiento "19 de Octubre". 1950.

Datos de proyecto:

Población actual servida: 4224 habitantes en Cd. Mier

4000 habitantes en Nva. Cd. Gro.

Población futura servida: 10 000 habitantes.

Dotación: 150 l./hab./dia.

Coefficiente de variación diaria y horaria: 1.2

Capacidad inicial: 37.5 l.p.s.

Fuente de abastecimiento: presa Falcón.

Proceso de potabilización: clarificación/desinfección.

Sistema de distribución: bombeo.

Propiedad fisicoquímica indeseable: turbiedad.

Sustancias químicas usadas: Sulfato de aluminio, cal, cloro.

Control de caudal: medición de agua cruda, medición de agua

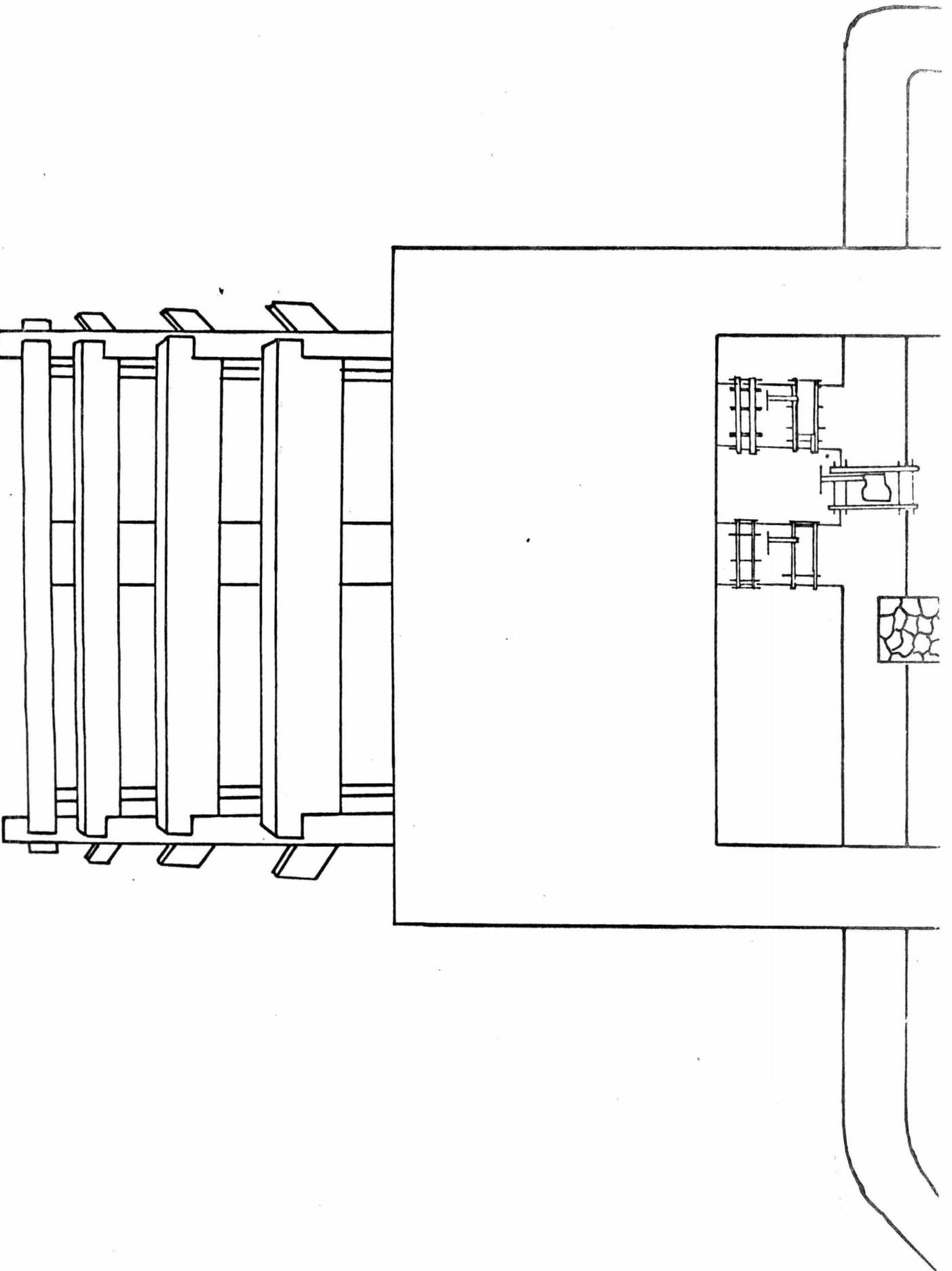
filtrada.

f) Descripción gráfica del equipo.

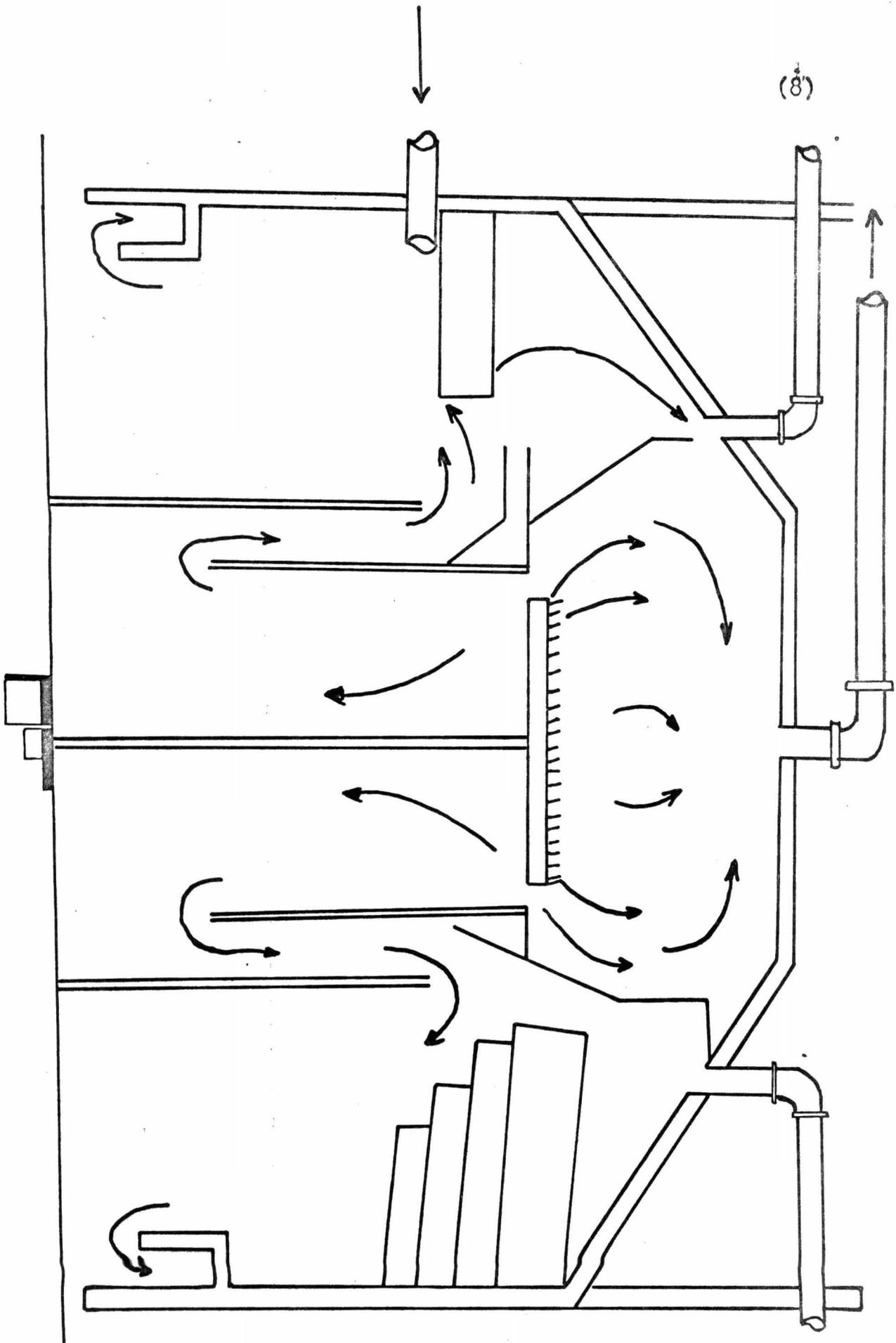
a.) Aereador.

b.) Clarificador.

c.) Filtro.

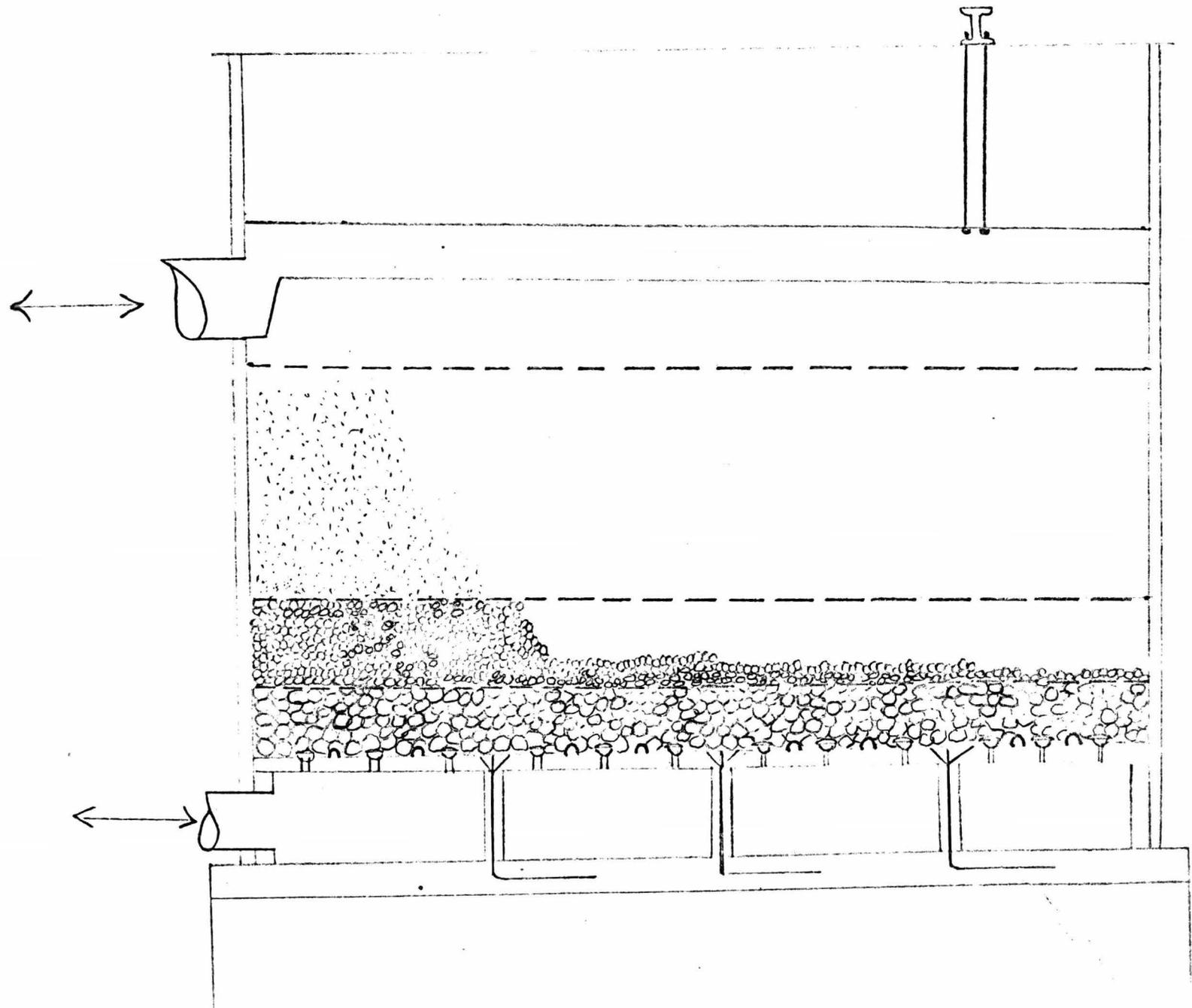


1000000



Camshaft

c.) FILTERS.



g) Enumeración de algunos aspectos generales para efectuar un proyecto preliminar de plantas.(7)

Antecedentes: En este punto se incluyen los siguientes datos: Localización, área disponible para las instalaciones, colindancias del terreno, población futura ó sea de proyecto, estudio de las fuentes de abastecimiento disponibles.

Objetivo: Ejecución de proyectos preliminares, formulación de presupuestos, cuantificación del costo de instalación para determinadas capacidades de producción, determinación de cargos de producción y/o operación.

Programa de estudio: Incluye los siguientes puntos:

- a.- Determinación de las características fisicoquímicas del agua de la ó las fuentes disponibles.
- b.- Determinar las dosis óptimas requeridas para coagular y sedimentar la turbiedad.
- c.- Comparación de los sistemas de clarificación para elegir el método más adecuado de tratamiento.
- d.- Elaboración del anteproyecto.
- e.- Formulación del presupuesto.
- f.- Cuantificación de los cargos de operación.
- g.- Estudio de los costos de adquisición, construcción e instalación y de los cargos de amortización, operación y conservación para plantas de diversas capacidades.
- h.- Resumen de resultados.
- i.- Planos de conjunto mostrando la localización de la planta, las fuentes de abastecimiento y la red de distribución.

La construcción de cualquier planta potabilizadora deberá realizarse en función a varias etapas de crecimiento, por lo tanto los terrenos utilizados deberán tener las dimensiones adecuadas para posibles expansiones, considerando en el presupuesto los costos probables de adquisición del terreno, así como el costo del acondicionamiento de éste.

Se deberán formular especificaciones detalladas y completas de todos los equipos de proceso, los cuáles servirán de base

para solicitar cotizaciones comerciales.

Para determinar las cantidades y capacidades de las diversas partes de la instalación (tuberías, accesorios, equipos, etc.) será suficiente el uso de nomogramas, manuales y folletos de casas especializadas, sin ser necesaria la elaboración de cálculos previos.

Los cálculos estructurales se harán en base a la experiencia de obras civiles similares para los precios unitarios.

En lo que respecta al estudio comparativo de los sistemas de clarificación específicamente, para elegir el método más adecuado de tratamiento se deben efectuar y analizar los costos de adquisición, construcción e instalación incluyendo el importe total y el costo unitario, así como los costos de amortización, conservación y operación en lo que respecta a su importe anual y cargo unitario de cada tipo de planta.

El resumen del anteproyecto de plantas incluye:

Especificaciones generales de diseño.

Costos de adquisición, instalación y construcción.

Costos de amortización, conservación y operación.

Cargos anuales variables, cargos anuales totales.

Volumen de producción vendible anualmente y los cargos unitarios.

El anteproyecto también deberá incluir un resumen relativo a los instrumentos, un resumen del catálogo de los equipos ó unidades de proceso, un resumen del estudio sobre el importe de las obras y sobre el costo de operación para plantas de diferentes capacidades: estableciendo para cada capacidad nominal el costo unitario de construcción y el cargo unitario de operación.

Para comparar los costos unitarios de construcción, instalación y adquisición de los diferentes sistemas ó tipos de planta, se enlistar para una misma capacidad nominal:

- a) El importe total de los equipos.
- b) El importe total de los terrenos.
- c) " " " " " edificios.
- d) " " " " " Floculadores y mezcladores.
- e) " " " " " Sedimentadores.
- f) " " " " " Filtros.
- g) " " " " " Tanques de aguas tratadas.

- h) El importe total de gastos varios.
- i) El importe total de las plantas.
- j) El costo unitario. ($\$/m^3/seg.$). Incluye imprevistos.

Para comparar los costos de amortización, conservación y operación de cada uno de los sistemas, considerando la misma capacidad nominal se enlistan:

- a) El importe total.
- b) Los cargos anuales fijos.
- c) Los cargos anuales variables.
- d) Los cargos anuales totales.
- e) El volumen vendible.
- f) El costo unitario fijo.
- g) El costo unitario variable.
- h) El costo unitario total. ⁽⁷⁾

Conclusiones.

Comparando los tamaños y distintas capacidades en cuanto al importe de las obras y costo de operación, se llega a concluir cual es la capacidad óptima y también tamaño más adecuado para llevar a cabo el proyecto.



QUINDIO

Bibliografía:

- (3) American Public Health Association. American Water Works Association. Water Pollution Control Federation. Métodos estándar para el análisis de agua y aguas de desecho. APHA. New York. 12a. Ed. xv-xviii.,xxiii. (1965). ✓
- (8) Castagnino W.A. Manual para operadores de sistemas de abastecimiento de agua. S.R.H. Ed. Acuarimantina. México. 34 (1961).
- (10) Casas comerciales. Desinfectantes, S.A. (Velum). Comercial LIR., S.A. (Microdyn). México. (1974).
- (16) Departamento de sanidad del estado de Nueva York. Manual de tratamiento de aguas. 125 (1969).
- (9) Dirección General de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado. Departamento de Operación. Oficina de Control de Calidad del Agua. Archivo. México. (1974).
- (6) Fair G.M., Geyer J.C., Okun D.A. Purificación de aguas y tratamiento y remcción de aguas residuales. Limusa Wiley, S.A. México. 2,29-34, 406-407, 417. (1971).
- (12) Hope H.P. Curso de tratamiento de aguas. U.N.A.M. Facultad de Química. México. 2-4 (1973).
- (4) Instituto Mexicano de Comercio Exterior. Centro de Estudios de Comercio Internacional. Curso de control de calidad. 1-24 (1974).
- (11) Mogollón R.J. Informe de comisión conferida al sustentante para la planta potabilizadora "19 de Octubre". S.R.H. Tamaulipas, Nueva ciudad Guerrero. (1974).
- (13) Organización Mundial de la Salud. Normas internacionales para agua potable. 3a. Ed. OMS. Ginebra. 43-46 (1972).
- (14) Organización Mundial de la Salud. Organización Panamericana de la Salud. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Universidad Autónoma de Nuevo León. SRH.SSA. *Curso de tratamiento de agua, Monterrey 9 (1974)*
Gallardo R. J. Curso de tratamiento de aguas. Monterrey. C. (1974)

I. Q. Pedro J. Caballero Senties

11

Ver página

- (5) Organización Mundial de la Salud. Organización Panamericana de la Salud., Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Universidad Autónoma de Nuevo León. SRH.SSA. Kirchmer C.J. Curso de Tratamiento de Aguas. Monterrey., 1-68 (1974).
- (7) Secretaría de Recursos Hidráulicos. Subsecretaría de Construcción. Especificaciones generales y técnicas de construcción para plantas potabilizadoras de agua. México. (1953). SRH. (1970).
- (15) Secretaría de Recursos Hidráulicos. Subsecretaría de Planeación. Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación. Centro de Investigación y Estudios para el Control de Calidad del Agua. Manual del curso de análisis de agua y aguas de desecho. 1, 2 (1972).
- (2) Secretaría de Recursos Hidráulicos. Subsecretaría de Planeación. Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación. Manual del curso de técnicas de muestreo y análisis de campo. 11-29. (1972). México.
- (1) Secretaría de Recursos Hidráulicos. Subsecretaría de Construcción. Dirección General de Agua Potable y Alcantarillado. Cartas de calidad del agua potable en la república mexicana. Talleres Gráficos de la nación. México. (1973).