

**ANTEPROYECTO DE UNA PLANTA POTABILIZADORA
DE AGUA PARA LA CIUDAD DE PAPANTLA, VER.**

TESIS PROFESIONAL

GUMERSINDO HERNANDEZ ZUMAYA



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

**ANTEPROYECTO DE UNA PLANTA POTABILIZADORA
DE AGUA PARA LA CIUDAD DE PAPANTLA, VER.**

T E S I S

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

GUMERSINDO HERNANDEZ ZUMAYA

MEXICO, D. F.

1 9 6 7



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA
DEPTO. DE PASANTES Y
EXÁMENES PROFESIONALES.

FORMA C

(AUTORIZACION PARA ESCRIBIR DEFINITIVAMENTE EL TEMA REVISADO)

C. Director Genl. de Servicios Escolares
Universidades Nacionales Autónomas de México.
México, D. F.

Se permite comunicar a usted, que el tema de _____

TESIS. Titulado: "ANTEPROYECTO DE UNA PLANTA POTABILIZADORA
DE AGUA PARA LA CIUDAD DE PAPANTLA, VER.

que presenta: EL DR. GUERRASINER HERNANDEZ ESPAYA.

Tarante de la Carrera de: INGENIERO QUÍMICO

Fue aceptado por el Jurado nombrado para dicho examen, el cual quedó --
integrado en la siguiente forma:

Presidente Prof: PABLO HOPE Y HOPE.
V o c a l - : JORGE SPANER O.C.
Secretario - : ENRIQUE GARCÍA G.
1er. Suplente : SINON DE LEON H.
2do. Suplente : MARGARITA MONTERRUBIO S.

Atentamente.
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria N.P., a 22 de febrero

de 19 67

EL JEFE DEL DEPTO. DE PASANTES
Y EXÁMENES PROFESIONALES.

QUIT. JULIO TERAN Z.

A MIS HERMANOS

A MI PADRE

A MIS AMIGOS

**AL I. Q. PABLO HOPE HOPE
POR SU VALIOSA COLABORACION
PARA LA REALIZACION DE ESTE
TRABAJO.**

A MIS SUPERIORES E INGENIEROS
COMPAÑEROS DE TRABAJO, POR LAS
FACILIDADES OTORGADAS PARA LA
REALIZACION DE ESTE TRABAJO.

- I. - INTRODUCCION.
- II. - MATERIALES Y METODOS.
- III. - FASES EXPERIMENTALES.
- IV. - DATOS Y RESULTADOS.
- V. - DISEÑO DEL EQUIPO.
- VI. - ANALISIS ECONOMICO.
- VII. - CONCLUSIONES.

CAPITULO PRIMERO.

El objeto del presente trabajo es crear una corriente de atención sobre el problema existente de la ausencia de una fuente adecuada de abastecimiento de agua potable para la Ciudad de Papantla, Veracruz, ya que el único suministro con que se cuenta en la actualidad es el obtenido por bombeo directo del Río Tocolutla, a la altura del puente "El Remolino". Como se sabe, las características físicas y químicas de las aguas superficiales las hacen inadecuadas, en su estado natural, para usos alimenticios principalmente, sobre todo tratándose de un río que generalmente está contaminado con aguas negras, por lo cual se hace necesario un tratamiento previo de purificación, a base de métodos físicos y químicos, con el objeto de que, al enviarse al consumidor, llenen los requisitos de un agua potable y segura, que acarrearía enormes ventajas a toda la población y eliminaría las molestias que ocasiona el empleo de una fuente inadecuada.

Localización y características de la ciudad.- La población de Papantla se encuentra situada en la región Control-Norte del Estado de Veracruz, con la siguiente situación geográfica:

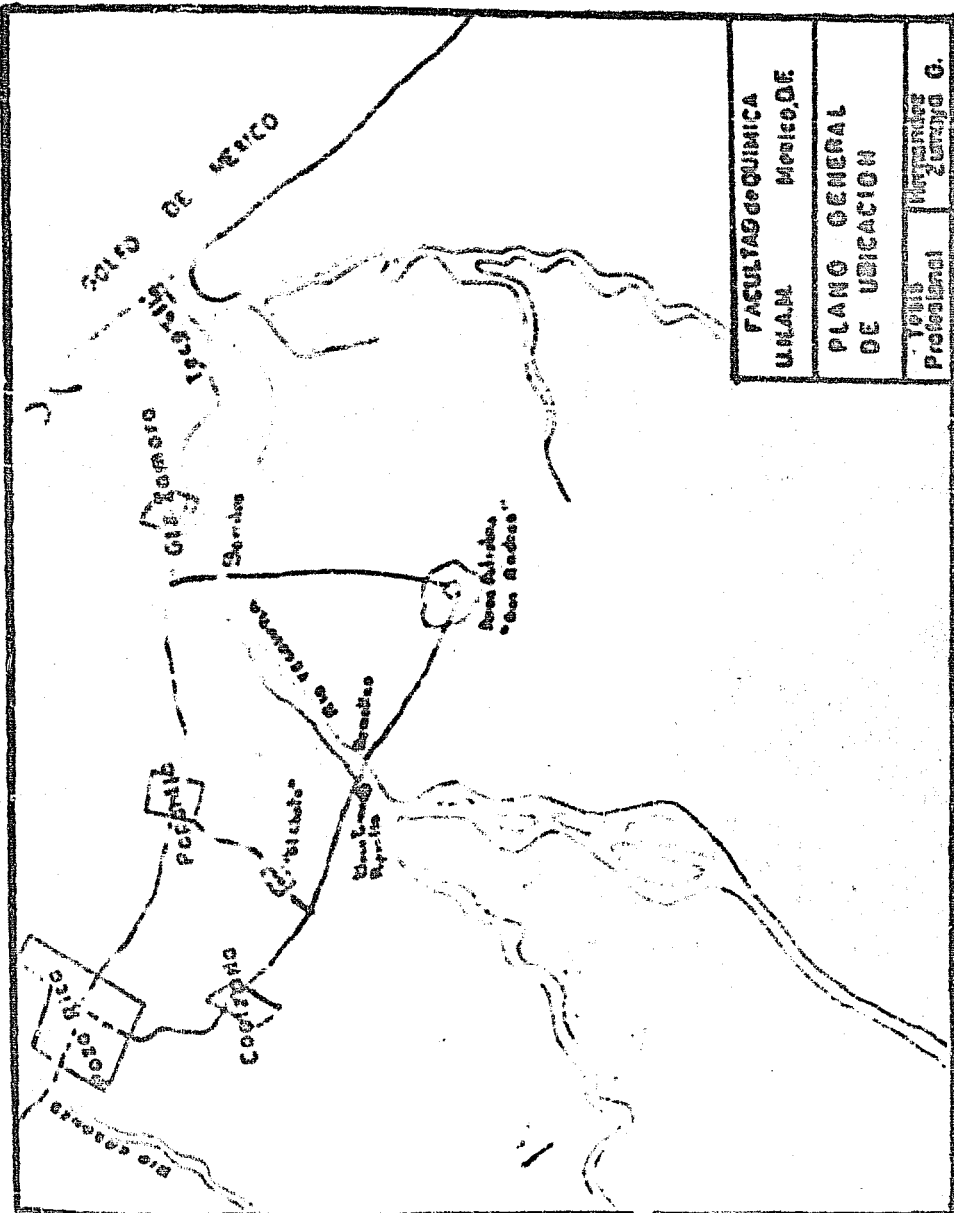
Latitud Norte ----- 20° 27'

Longitud Oeste ----- 97° 19'

Altitud ----- 298 m. S.N.M.

Distancia a la costa del Golfo de México: 20 km aprox., en línea recta.

Papantla es cabecera del Municipio del mismo nombre, cuya configuración geográfica es la siguiente: Una zona plana hacia el N.E.,



FACULTAD QUIMICA
UNAM **MEXICO DE**
PLANO GENERAL
DE UBICACION
 Tesis Profesional **Vicente Zúñiga G.**

la costaña, de llanuras bajas que forman lagunas y albuferas; al Oeste, una zona montañosa caracterizada por sus elevaciones de 600-1000 m S.N.M., y al Centro, la zona media definida por su relieve variado de lombríos y por la formación de cañadas y valles con alturas que varían de 200 a 600 m S.N.M. que es donde se encuentra enclavada la ciudad.

La presencia de los vientos del Norte durante los meses de -- Noviembre a Abril (Corriente Boreal) origina las lluvias invernales y -- la de los vientos alisios (Corriente Atlántica) producen la precipita-- ción pluvial mas abundante de Mayo a Octubre. El clima de la región es -- semicálido húmedo y no tiene estación seca e invernal definidas, tenien-- do su vegetación, características de selva tropical. La configuración -- geológica está formada principalmente por terrenos de los periodos Mio-- ceno y Oligoceno de la Era Terciaria.

La población de la ciudad alcanzaba, según el censo de 1960, -- un total de 18,665 habitantes en un área de 100 km² aprox., ocupando el -- décimo lugar en población dentro del Estado, teniendo como fuentes de -- ingreso económico la agricultura y la ganadería, fundamentalmente, aun-- que es de considerarse la importancia que tiene Petróleos Mexicanos, -- con su Distrito Forá Rica, como fuente de ingreso económico también. La -- ciudad cuenta con 6 hoteles con total de 145 cuartos, 5 planteles educa-- tivos de población escolar importante donde se imparte hasta Secundaria, -- una escuela de Bachilleres y dos academias comerciales, un mercado, 2 -- centros religiosos, una embotelladora de refrescos, una embotelladora -- de agua, 3 plantas de hielo, tiendas comerciales de todos los tipos y -- pequeñas industrias (molinos de maíz, panificadoras, etc.), un parque --

público, todos ellos requiriendo agua potable en mayor o menor cantidad para su mejor desempeño, de la cual se ha carecido hasta la fecha.

Generalidades sobre potabilización.- Los principales usos de agua potable en las poblaciones pueden ser:

Para bebida y usos culinarios

Para baño y lavado

Para piscinas, jardines y fuentes

Para sistemas de calentamiento y enfriamiento

Para numerosos procesos e industrias

Para contraincendio.

El suministro de agua para dichos servicios debe ser satisfactorio en calidad y cantidad, y económico, es decir, accesible al consumidor. Por lo que toca a calidad, el agua para que sea potable debe llenar los dos requisitos siguientes; ser atractiva al consumidor, así como a sus demás sentidos de olor y gusto, y además no estar contaminada, es decir, debe estar libre de agentes infecciosos o tóxicos que puedan afectar al consumidor. Como se sabe, las enfermedades hídricas han sido siempre problema en los medios donde no se cuenta con suministros adecuados de agua potable y son causadas por bacterias, protozoarios, gusanos, virus y hongos presentes en el agua debido a la contaminación de residuos de personas enfermas de infecciones intestinales o transportadoras de organismos responsables, siendo dichas enfermedades, entre las más comunes, la fiebre tifoidea, paratifoidea, disentería bacilar y el cólera, que en casos extremos conducen al fallecimiento y son la razón principal de los sistemas de agua potable; también son a mencionarse -- la diarrea en los niños, una especie de dermatitis (comestión por carne)

causada por protozoarios, la hepatitis infecciosa causada por un virus y la histoplasmosis que parece estar aliada con algunos hongos, entre otras. Tambien los agentes toxicos transportados por aguas naturales, pueden causar serios problemas si no son eliminados y pueden clasificarse en: 1) Contaminantes naturales que son adquiridos por el agua al pasar por formaciones minerales venozas; 2) Contaminantes naturales asociados con desarrollos acusticos especificos; 3) Contaminantes naturales como fluor, selenio, arsénico y boro, rara vez encontrados en cantidades peligrosas y 4) Contaminantes adquiridos en el tratamiento de agua. Las sustancias toxicas que pueden mencionarse como ejemplo son las siguientes: nitratos, que en cantidades excesivas, puede causar metahemoglobinemia en los niños (ciannosis nitrosa), enfermedad que consiste en la reduccion de nitratos a nitritos en la region intestinal y absorcion por la corriente sanguinea donde los nitritos se combinan con la hemoglobina despojando a los organos y tejidos del oxigeno necesario; los fluoruros en cantidades excesivas ocasionan manchas en los dientes, aunque en pequenas cantidades reducen la caries dental; entre los metales el plomo es el unico con toxicidad probada, siendo un veneno acumulativo, aunque otros metales tambien son indeseables, como el cobre, el fierro o el zinc, que imparten olor sulfidico al agua si estan presentes en forma significativa y pueden decolorar telas, tejidos, ademas de que el exceso de cobre produce náuseas.

Existen otras causas por las cuales es necesario tratar las aguas naturales, como son la existencia de minerales excesivos o gran cantidad de materia viva o muerta. Las aguas duras, llamadas asi las que contienen gran cantidad de iones calcio y magnesio disueltos, consumen ma-

cho jabón antes de hacer espuma e incrustan cuando el agua se calienta o evapora y aunque las aguas duras son menos corrosivas que las aguas blandas, debido a que depositan capas protectoras sobre las superficies metálicas, la presencia de sulfos o sales sulfúricas pueden convertirlas en muy corrosivas; también la ausencia de iodo y alcalinidad excesiva --- transforma el agua en corrosiva. No hay evidencia directa de la nocividad de cantidades excesivas de materia orgánica en el agua, pero los malos olores y su experiencia dañina hacen prevenir a nuestros sentidos.

El consumidor, a más de desear un agua salubre o higiénica, profigere aguas con ciertas características físicas agradables a sus sentidos, es decir, con ausencia de color, turbiedad, sabor y olor desagradables. Estas características físicas son debidas a sustancias de origen vegetal, arcilla suspendida, residuos industriales, organismos microscópicos que contienen aceites esenciales olorosos, sustancias fenólicas, --- sustancias añadidas en agua para su tratamiento, materia orgánica decompuesta, etc. Por lo que toca a la temperatura, el agua caliente tiene un efecto de desagrado para el usuario e influye en el mejor desarrollo de algas y otros microorganismos y varía en las diferentes fuentes.

Al implantar un sistema de agua potable para un municipio, las ventajas creadas no sólo se reflejan en los índices de enfermedad y muerte causadas por enfermedades hídricas, sino que están relacionadas con el bienestar y confort humanos, ventajas que carecen de medios para su medición y determinación, pero que influyen notablemente en las decisiones de dotar agua a las poblaciones. Generalmente los índices citados se anotan como el número de casos de un mal dado y el número resultante

de muertes por ese mal específico, por cada 10,000 habitantes (en México), anualmente. La relación de muertes a casos es la fatalidad del mal. También son de interés sanitario el número de epidemias de enfermedades hídricas y las causas de esas epidemias.

Fuentes de suministro de agua.- Dos fuentes de agua son comúnmente empleadas para abastecimientos públicos: aguas superficiales y aguas subterráneas.

Las aguas superficiales pueden encontrarse en forma de corrientes, ya sea temporales o estacionarias, que permiten flujos continuos o intermitentes respectivamente, y que en caso necesario, sea posible almacenarlas para alimentar durante todas las épocas del año; existen también en forma de lagos o estanques, los cuales deben ser de capacidad adecuada para sujeción continua. Las aguas de corrientes continuas (ríos) contienen sustancias orgánicas e inorgánicas, parte en solución y parte en suspensión, dependiendo la cantidad de la fuerza y ruta de la corriente, y en caso de manantiales, la composición de las rocas que atraviesan. Las aguas de los ríos varían su composición en las diferentes épocas del año y algunas veces presentan gran turbiedad con coloración café oscura, sobretudo en épocas lluviosas, siendo los componentes comunes en solución, bicarbonatos y sulfatos de calcio, así como bicarbonato de magnesio, todos ellos siendo causantes de la dureza en las aguas. Las aguas superficiales contienen también gases atmosféricos disueltos, principalmente oxígeno y dióxido de carbono, aunque se encuentran en ocasiones ácido sulfhídrico y metano, sobretudo en áreas industriales; del dióxido de carbono del agua, solo una pequeña cantidad se deriva de la atmósfera, que contiene de 0.035 a 0.04 % y la gran mayo-

ría proviene de procesos de descomposición de la materia orgánica, principalmente en las capas superiores del suelo y que son la causa de la formación de gran cantidad de bicarbonatos disueltos en las aguas superficiales. Otra característica importante en estas aguas es que el crecimiento de organismos es comúnmente grande y frecuentemente le imparten olores y sabores desagradables.

Las aguas subterráneas son ricas en sales disueltas, lo cual se debe al espesor de los estratos por donde pase el agua y el aumento de la solubilidad del CO_2 por la presión y, al mismo tiempo, por la temperatura elevada en las aguas profundas. Los pozos de poca profundidad son fácilmente contaminados por las aguas superficiales (desagües) y no son bacteriológicamente puros las aguas que contienen, aunque sea menor la proporción de sales disueltas. Las aguas de pozos profundos, provienen de estructuras de rocas porosas a diferencia de los pozos profundos que provienen de la unión de una roca porosa como caliza o arena, con una roca impermeable como la arcilla, y su contenido de bacterias es reducido, además de que es incolora y clara, aunque con gran cantidad de sales disueltas, siendo los manantiales de estas características, que proporcionan agua de gran calidad higiénica.

Normas para agua potable.- Diversas dependencias que tienen relación con los suministros de agua potable establecen normas de calidad y protección que se requieren para que un agua sea segura y del agrado del consumidor. Como ejemplo, se anotarán las siguientes normas dadas por el Servicio de Salud Pública de los EE.UU. (7) por considerarlas más completas que las fijadas por instituciones mexicanas (5) en las que se nota cierta vagüedad.

1) Fuente y protección.- A menos de que el agua sea tratada adecuadamente por métodos apropiados, la alimentación debe obtenerse de una fuente libre de contaminación y que todas las partes que comprenden el sistema de alimentación deben estar libres de defectos sanitarios y riesgos para la salud, es decir, evitar conexiones cruzadas de aguas negras y otras conexiones indeseables.

2) Calidad bacteriológica.- Las muestras para examen bacteriológico deben tomarse de puntos representativos del sistema de distribución con suficiente frecuencia para seguridad del sistema, siendo el mínimo número de muestras, en relación con la población, el siguiente:

Población servida	Mínimo número de muestras por mes
2550 o menos	1
10,000	7
20,000	25
100,000	100
1,000,000	300
2,000,000	390
5,000,000	500

Las normas bacteriológicas indican que el agua no debe contener más de 1 organismo coliforme por 100 ml. El cuadro siguiente puede usarse para determinar el "número más probable", cuando se usen 5 porciones de 10 ml., una de 1 ml. y otra de 0.1 ml:

Porciones de 10 ml.	Porción de 1 ml	Porción de 0.1 ml	Número más probable
- - - - -	-	-	menor de 2.2
+ - - - -	-	-	2.2
+ + - - -	-	-	5.0
+ + + - -	-	-	8.8
+ + + + -	-	-	15.0
+ + + + +	-	-	30.0
+ + + + +	+	-	240.0
+ + + + +	+	-	240.0
			o más.

3) Características físicas y químicas.- El agua no debe contener -
sabor y olor desagradables y no debe contener cantidades excesivas de -
sustancias minerales solubles o de reactivos empleados en el tratamien-
to.

Sustancias	Partes por millón (mg/l) máximo
Turbiedad (ppm SiO ₂)	10
Color-(escala Pt-Col)	20
Plomo, Pb	0.1
Fluoruros, F ⁻	1.5
Arsénico, As; selenio, Se; cromo, Cr ⁺⁶	0.05
Cobre, Cu	3.0
Hierro y manganeso, juntos	0.3
Magnesio, Mg	125.0
Zinc, Zn	15.0

Cloruros, Cl^- sulfatos, SO_4^{2-}	250.0
Nitrógeno de nitritos	0.05
Compuestos fenólicos, como fenol	00.001
Nitrógeno de nitratos	5.0
Sólidos totales disueltos	500.0

Las concentraciones anteriores de sustancias indeseables solo son para aguas que van a servir a la población, aunque las aguas para bañarse, agricultura, etc., difieren un poco de estas concentraciones, presentan menos dificultades para estos usos que las aguas crudas.

Se dan también los requerimientos de alcalinidad para aguas tratadas químicamente:

Alcalinidad a la fenolftaleína (ppm CaCO_3) = 15 ppm + 0.4 x alcalinidad total

Alcalinidad normal de carbonatos (ppm CaCO_3) = 120 ppm

Alcalinidad total (ppm CaCO_3) = 35 ppm mas dureza (pp CaCO_3)

Métodos de tratamiento de agua para municipios.- Resumiendo las finalidades de los tratamientos de agua para un municipio, puede decirse que se basan en los siguientes puntos:

1) Evitar en el agua la presencia de cualquier tipo de microorganismos, sobretudo, bacterias de origen fecal o productoras de olores desagradables.

2) Obtener un agua clara, libre de turbiedad y sin color, ni olor o sabor desagradables.

3) Evitar que el agua sea incrustante, es decir, que no tienda a --

depositar sales de iones calcio y magnesio sobre los conductos o equipos mecánicos, obstruyéndolos o disminuyendo su eficiencia.

c) Evitar que el agua sea corrosiva, ya que podría destruir las partes metálicas del equipo de tratamiento. La corrosividad del agua se debe principalmente a presencia de gases disueltos como oxígeno, dióxido de carbono y ácido sulfhídrico entre otros. Gran importancia han adquirido las bacterias sulfatoredutoras que reducen los sulfatos disueltos en el agua a sulfuros que son sustancias corrosivas.

Sobre esta base, existen diferentes operaciones o procesos, que combinados satisfacen las condiciones citadas. Fundamentalmente, pueden citarse los siguientes:

a) Sedimentación.- Consiste en la eliminación, por asentamiento gravitacional, de partículas suspendidas que son más pesadas que el agua y constituye un factor importante en la purificación natural de corrientes y lagos. En sistemas de tratamiento de agua, se construyen grandes depósitos de sedimentación, de donde es enviada el agua para ser tratada.

b) Congulación y asentamiento.- Proceso empleado para clasificar agua con alta turbiedad y coloración, lo que no se logra con simple filtración, mediante la adición de sustancias llamadas coagulantes, que tienen la propiedad de englobar por adsorción o reacción, las partículas causantes de la turbiedad y coloración del agua haciéndolas más pesadas, que pueden eliminarse por asentamiento posterior. El proceso se efectúa en tanques espaciales (existen diferentes diseños en el mercado) donde se realizan las siguientes fases: mezclado, coagulación, floculación y asentamiento. En el mezclado se efectúa la distribución uni-

forma y rápida del coagulante u otro producto químico con el agua que se vaya a tratar: la coagulación se refiere a la formación de copos precipitados o incipientes al entrar en reacción las sustancias empleadas; la floculación consiste en agitar suavemente el agua tratada con coagulante, durante un período de tiempo apreciable para completar las reacciones de coagulación y dar tiempo a la adherencia de los precipitados formados y las partículas coloidales con el copo formado al añadirse el coagulante y al hacerse más pesadas se asientan en el fondo del tanque donde son eliminados (asentamiento).- El afluente de estos tanques debe ser claro, mediante operación adecuada, con pocas partículas en suspensión que pueden eliminarse por filtración posterior.

c) Filtración.- Consiste en pasar el agua, tratada o sin tratar, al través de un medio filtrante como arena, con el propósito de eliminar la materia suspendida. Existen diferentes diseños de filtros, dependiendo de su velocidad de filtración o del material filtrante, pudiéndose citar entre los más empleados el filtro lento de arena para aguas sin tratar, el filtro rápido de arena para aguas tratadas previamente; ambos tipos de filtros son llamados de gravedad, donde el agua fluye libremente, a diferencia de los filtros a presión, donde el agua es alimentada generalmente al filtro a una determinada presión. Todos los tipos de filtros requieren accesorios, como válvulas de alimentación, de contralavado, de descarga al drenaje, etc., para efectuar sus operaciones de filtrado, contralavado y enjuague. Un diseño moderno de filtros lo constituye el llamado "filtro automático de gravedad sin válvulas" (12) que no requiere personal de operación, además de otras ventajas, y del cual se darán sus características, ya que es el tipo de filtro se--

leccionado para este anteproyecto.

d) **Ablandamiento.** - Consiste en la disminución de la dureza de las aguas y puede efectuarse mediante los dos métodos generales que son el de "precipitación" usando cal solamente, cal y carbonato de sodio o cal y dióxido de carbono, para hacer que precipiten el calcio y el magnesio, causantes de la dureza, en forma de compuestos insolubles. En poblaciones chicas y en plantas que tratan aguas para usos industriales particulares, se emplea el método de "permutación iónica", cuya forma más común, consiste en filtrar el agua al través de una sustancia especializada llamada zeolita, ya sea natural o sintética. Las plantas de tratamiento de agua para calderas, combinan varios de los métodos de ablandamiento para obtener agua con dureza casi cero.

e) **Desinfección.** - El método más empleado para desinfectar aguas naturales es la cloración y representa el punto más importante usado en la obtención de agua de calidad sanitaria adecuada. La desinfección significa una disminución de la población de bacterias hasta una concentración inocua, a diferencia de la esterilización en la cual se efectúa una destrucción total de la población bacteriana. El cloro se alimenta generalmente como gas o en algunos de los diversos compuestos que lo contienen, como el hipoclorito de calcio, por medio de dosificadores especiales, ya sea cloradores o bombas de inyección. Esencialmente los cloradores, consisten en diversas combinaciones de válvulas de reducción de presión, que funcionan por medio de diafragmas mecánicos o flotadores operados hidráulicamente, orificios u otro tipo de medidores para medir el gasto de cloro gaseoso, después de que se ha reducido a una

presión uniformemente baja, y dispositivos para hacer una solución acuosa del gas e inyectar esta solución al agua que se vaya a tratar. El tiempo mínimo de desinfección eficaz debe ser de 10 a 15 min., y se añade el cloro suficiente para reaccionar con los compuestos reductores, la materia orgánica presente y además dejar una cantidad llamada "cloro residual libre" en más o menos 1.0 ppm. Para la dosificación del cloro deben tenerse en cuenta los siguientes factores: tiempo, concentración, temperatura y pH. El cloro puede agregarse antes o después del tratamiento, siendo así lo que constituye la "precloración" y la "postcloración" respectivamente; también se añade a veces amoníaco y cloro juntos, método llamado "cloraminación" o "cloración residual combinada"; a la cloración en exceso se le llama "sobrecoloración" la que generalmente va seguida de una "decoloración" para mantener el cloro residual deseado.

f) Control de corrosión.- El control de corrosión puede llevarse a cabo por uno o todos los procedimientos siguientes: 1) por la reducción de la concentración de iones hidrógeno, o sea elevando el pH, añadiendo un álcali como la cal hidratada; 2) por reducción del contenido de oxígeno mediante desaeración; 3) por reducción del CO_2 , mediante adición de cal hidratada; 4) manteniendo una capa protectora sobre la superficie del metal, para que este no pueda ponerse en contacto con los iones hidrógeno en solución, lo que puede lograrse, dejando que el agua tratada sea ligeramente incrustante, aunque pueden emplearse recubrimientos anticorrosivos como pinturas, etc.

g) Eliminación del hierro y manganeso.- El hierro se encuentra comúnmente en forma de bicarbonato ferroso, sal incolora y soluble, en no más de 5 ppm. en las aguas naturales dando color y un sabor desagradable.

ble y además tiene el inconveniente de manchar la ropa. El hierro que se encuentra en el agua en alguna de sus sales pueda eliminarse por aereación precipitando el bicarbonato como hidróxido férrico, en el paso del agua al través de zeolitas o en el proceso de ablandamiento con cal y carbonato de sodio. El manganeso rara vez se encuentra en las aguas naturales y se elimina, cuando existe como bicarbonato, en la misma forma que el hierro. Las aguas que contienen hierro, favorecen el crecimiento de las bacterias del hierro, conocidas como "ironotrix" que son bacterias en forma de filamentos no ramificados, que tienen una cubierta gelatinosa en que se deposita el hierro y tienen la tendencia a depositar precipitados metálicos en las tuberías, etc., lo cual colorea a veces el agua y después de muertas causan olores y sabores desagradables.

h) Aereación.- Se practica en el tratamiento de agua por tres razones: 1) para introducir oxígeno al aire; 2) para dejar que escapen los gases disueltos, como el CO_2 y el H_2S , y 3) para eliminar las sustancias volátiles que causan mal olor y sabor.

CAPITULO SEGUNDO.

MATERIALES Y METODOS.

Materia prima principal: agua. Fuente probable.- Una fuente con gran capacidad está constituida por el Rio Tecolutla que corre alejado de la ciudad de Papantla, Veracruz a unos 10 km en la zona más cercana conocida como "Ramolino" y cuyo nivel se mantiene en buenas condiciones durante todo el año, aún en las épocas calurosas, como lo demuestran los datos obtenidos por la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.). Su calidad deja mucho que desear, sobretudo en épocas de lluvia, presentando gran turbiedad y fuerte coloración. El sistema actual de suministro de agua a la ciudad consta de una bocatoma y el equipo de bombeo correspondiente que es el que suministra agua cruda a la población al través de un tanque de almacenamiento, sin recibir esta agua ningun tratamiento previo antes de distribuirla a la ciudad. El bombeo es irregular en todas formas e inconstantes por el descuido que se tiene para solucionar este problema debido a la falta de recursos económicos. Las bombas actuales son 3, marca Worthington, de pozo profundo, accionadas por motores Waukesha Diesel y se encuentran montadas desde 1956, encontrándose actualmente en condiciones regulares de servicio; uno de los objetos de este trabajo es ver si el sistema actual de bombeo es de capacidad adecuada para un futuro sistema de agua potable o modificarlo convenientemente.

Es notorio observar que aunque esta fuente se halla situada en una zona productora de petróleo, no contiene aceite, como sucede en otras aguas superficiales de la región. Las características químicas de esta-

fuentes son benignas, como se observará en los análisis que se dan como ejemplo, aún en las épocas más drásticas y con respecto a cantidad, como se dijo, el caudal del río es suficiente, de acuerdo con los datos anotados adelante.

Aparte de la fuente mencionada, la población de Papantla cuenta con gran cantidad de pozos artesianos que son utilizados como suministros de agua para hoteles, embotelladoras de refrescos, consumo particular, y parte de la población, ya que se han acondicionado algunos de ellos, pero a más de no satisfacer la demanda, existe el peligro de quedar agotados en un tiempo no muy lejano, como parece suceder con el llamado "Pozo de la Cruz" situado en el Barrio del Zapote de la ciudad, que es uno de los principales proveedores del líquido a la ciudad. Las características del agua de estos pozos, la hacen apreciable a los sentidos y es utilizada como bebida pero presentan inseguridad por su posible contaminación con aguas negras, ya que son pozos de poca profundidad; por las desventajas que presenta, no es posible emplear el agua de agua de estos pozos como fuente de alimentación para un sistema de agua potable en gran escala.

Coagulantes.- Los coagulantes empleados en clarificación de agua pueden ser ácidos o alcalinos y los más conocidos son: (7)

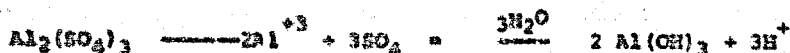
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	-----	Sulfato ferroso
$\text{Fe}^2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	-----	Sulfato férrico
$\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Fe}^2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$	-----	Alumbre de hierro
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	-----	Sulfato de aluminio
$\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	-----	Sulfato doble de aluminio y potasio

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$ ----- Sulfato de aluminio
(lo vende AlkaMax)

NaAlO_2 ----- Aluminato de sodio

Los cloruros de fierro pueden emplearse pero son muy higroscópicos. Los mas utilizados son los dos primeros y el que vende Alka Max.

Los coagulantes ácidos primero se disocian y luego se hidrolizan liberando los iones hidrógenos.



Para poder utilizar el coagulante ácido es necesario añadir cal viva e hidratada para eliminar los iones H^+ .

La cantidad de coagulante necesaria para clarificar el agua se determina experimentalmente poniendo varias probetas con agua y diferentes cantidades de coagulante en unión de los otros reactivos, mezclándolos convenientemente y dejando reposar para asentar las partículas formadas, durante 30 min. Según la rapidez de sedimentación, se determina la cantidad de coagulante, escogiendo aquella con la que se obtenga una buena clarificación del agua problema.

En un proceso de clarificación de agua para usos potables, donde se emplea generalmente un coagulante ácido, como el sulfato de aluminio, debe mantenerse en pH mayor que 8.0, añadiendo una sustancia alcalina como la cal hidratada, para evitar que el agua sea muy corrosiva. La cal añadida generalmente tiene tres funciones: 1) formar el hidróxido de aluminio (coagulante), 2) eliminar el dióxido de carbono y 3) elevar o mantener el pH adecuado. En la mayor parte de los procesos de purificación de operación continua, se emplea un tanque con dos compartimien-

tos (uno de ellos pequeño), donde el agua y los reactivos químicos se introducen en el tanque pequeño con medios para mezclar perfectamente, fluyendo el agua hacia arriba, a través del segundo tanque que es de mayor tamaño y de sección cónica y por la disminución de la velocidad del agua al través de la segunda cámara al ir aumentando la sección del tanque, la parte superior queda libre de precipitado y posteriormente se filtra; del fondo del tanque, los lodos son descargados continuamente, aunque una porción pueda recircularse para aprovechar mejor los reactivos. En el proceso de sulfato de aluminio con cal hidratada hay formación de sulfato calcio soluble, cuyos iones calcio hacen aumentar la dureza del agua, por lo que hay que compensar la elevación anotada con la disminución de dureza causada por parte de la cal añadida, dependiendo esto de la dureza que se quiera mantener; hay que tomar en cuenta también, que los iones aluminio del sulfato de aluminio elevan la dureza. Este proceso generalmente se emplea para clarificar aguas superficiales, que generalmente su dureza no es demasiada y con pH alrededor de 8.0, pues el sulfato de aluminio coagula bien en agua con pH entre 8.0 y 8.3 (9), a la temperatura ambiente.

Características de reactivos empleados.- Las características de los reactivos empleados en tratamiento de agua para usos potables, se dan a continuación:

1) Cal viva u óxido de calcio CaO .- Es el producto obtenido de la calcinación del carbonato de calcio contenido en la piedra caliza, mármol y conchas de moluscos. La adición de este reactivo al agua, es mucho más barata, sobre una base equivalente, que el empleo de cal hidratada, pero requiere mayor cuidado en almacenamiento y manejo y debe

ser apagada a $\text{Ca}(\text{OH})_2$, en una cantidad limitada de agua, antes de alimentarla. La cal comercial debe contener, cuando menos, 90 % de cal aprovechable; fundamentalmente ha de formar trozos de color blanquecino, porosos y escorcos al golpearse con un objeto duro y que al rociarlos con una cantidad de agua equivalente a la mitad de su peso, deberá calentarse y desmoronarse rápidamente, convirtiéndose en un polvo blanco y deberá ser completamente soluble en ácido nítrico diluyéndose sin efervescencia.

2) Cal hidratada.- De fórmula $\text{Ca}(\text{OH})_2$, es un polvo blanco y seco que se obtiene al tratar la cal viva, con agua. La cal apagada reacciona, al añadirse al agua, con los bicarbonatos de calcio y magnesio y con el dióxido de carbono, precipitando carbonato de calcio, así como también con los coagulantes ácidos para formar la sustancia que actúa como clarificadora. La Dirección General de Normas, con objeto de reglamentación ha fijado las siguientes especificaciones químicas y físicas que a continuación se expresan:

a) Especificaciones físicas:

Residuo retenido en el tamiz # 30 (590 micras), máximo 0.5 %

Residuo retenido en el tamiz # 200 (74 micras), máximo 15 %

b) Especificaciones químicas:

Humedad sobre muestra original, máximo 3 %.

Oxidos de calcio y magnesio ($\text{CaO} + \text{MgO}$) calculados sobre muestra original calcinada, mínimo 90 %.

Anhidrido carbónico (CO_2) sobre muestra original, máximo: cuando la muestra se toma en la fábrica, 5 %; en otro lugar, 7 %.

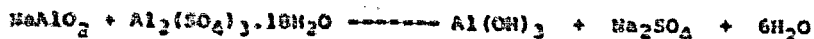
3) Sulfato de aluminio. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$. - Es el coagulante más — empleado en procesos de clarificación, siendo su contenido teórico de Al_2O_3 de 15.3 %. El contenido de agua del producto comercial es más — cercano a 13 moléculas y es vendido en polvo comúnmente. Es fácilmente soluble en agua y se aplica con facilidad, bien en solución o en forma de material seco; puede reaccionar con sustancias alcalinas, dado su — carácter ácido, precipitando el hidróxido de aluminio, que es el que — actúa como coagulante.

4) Sulfato ferroso. $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. - Es utilizado como coagulante, ya sea en cristales o en granos y es fácilmente soluble en agua. Cuando — reacciona con la alcalinidad natural del agua o alcalinidad añadida, — se forma hidróxido ferroso, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, que tiene una solubilidad alta, — por lo que debe ser oxidado a óxido férrico- $\text{Fe}(\text{OH})_3$ -poco soluble, lo — que se logra por aereación o por cloración, en forma eficiente a pH bajo. Cuando el cloro es empleado para oxidar el sulfato ferroso, se requiere, por cada ppm de sulfato, 0.126 ppm de cloro para oxidarlo.

5) Sulfato férrico. $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$. - Contiene entre 70 a 90 % de — sulfato férrico el producto comercial; se vende en forma granular, es — muy soluble y puede alimentarse en seco o en solución, siendo en este — último caso necesario emplearse materiales no corrosivos (hule, plomo, etc.). Reacciona, al igual que el sulfato de aluminio, con sustancias — alcalinas precipitando hidróxido de férrico, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, de característi- — cas similares al hidróxido de aluminio, $\text{Al}(\text{OH})_3$, es decir, un precipi- — tado gelatinoso y pesado, que actúa como coagulante.

6) Aluminato de sodio. NaAlO_2 . - Difiere de los anteriores en que — es de carácter alcalino. Cuando se emplea en aguas turbias o coloridas,

se emplea junto con el sulfato de aluminio; reacciona también con el CO_2 :



El aluminato de sodio puede almacenarse seco o en solución y es soluble en agua; es vendido en polvo dentro de bolsas nylon que se abren solo para uso inmediato.

7) Cloro Cl_2 .— Como desinfectante, el cloro es comúnmente empleado en los sistemas de agua potable, ya sea en forma de gas o de alguno de los diversos compuestos que los contienen como el hipoclorito de calcio, debido a su costo, confiabilidad, eficiencia y facilidad de manejo. En condiciones normales de presión y temperatura, el cloro es un gas, sin embargo, puede comprimirse fácilmente hasta un punto en que se licúa, hecho que se aprovecha para almacenarlo en tanques de acero. De los métodos de cloración existentes, el más empleado es el llamado "a cloración residual libre", en donde existe una cantidad residual de cloro libre, después de que el cloro inyectado reacciona con las sustancias reductoras, la materia orgánica y el amoníaco, si es que se encuentra. A continuación se anotan las concentraciones necesarias a diferente pH:

pH	Concentración mínima de cloro residual libre en ppm, después de un tiempo de contacto de 10 min.
6.0	0.2
7.0	0.2
8.0	0.4
9.0	0.8
10.0	0.8

Por lo tanto será necesario añadir, una cantidad adecuada de cloro para obtener la concentración mínima de cloro en el agua tratada.

La adición de cloro o sus compuestos desinfectantes da como resultado la obtención de los siguientes grupos de sustancias:

1.- Ácido hipocloroso (HOCl), ion hipoclorito (OCl^-) y cloro elemental (Cl_2). La distribución de las tres especies en este grupo depende del valor del pH del agua. Cloro elemental, en estado gaseoso, se encuentre presente en el agua durante un momento y a determinado rango de pH. Las 2 especies prevaletientes (HOCl y OCl^-) son llamadas en la práctica como "cloro libre aprovechable".

2.- Monocloramina (NH_2Cl), dicloramina (NHCl_2) y tricloruro de nitrógeno (NCl_3). La presencia de amoníaco, o nitrógeno orgánico, que reaccionará para formar las cloraminas, es esencial para la producción de esos compuestos. La distribución de las tres especies en este grupo es también una función del pH del agua. El tricloruro de nitrógeno no es formado en cantidades significantes dentro de la zona normal de pH y las dos especies restantes son conocidas como "cloro combinado aprovechable".

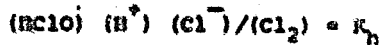
3.- Las cloraminas orgánicas complejas empleadas especialmente en aguas negras.

El poder desinfectante de los compuestos del cloro varía notablemente.

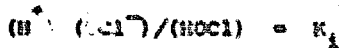
Cloro libre aprovechable.- La solución de cloro elemental en agua se caracteriza por las siguientes reacciones en equilibrio:

a. Hidrólisis:-

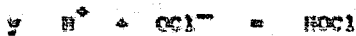




b.- Ionización:-

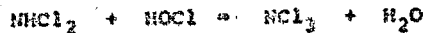


Las soluciones de hipocloritos, tales como cloruro de cal e hipoclorito de calcio, establecen las mismas reacciones de ionización:



A temperaturas ordinarias del agua, la hidrólisis de cloro es esencialmente completa dentro de pocos segundos, y la ionización de ácido hipocloroso producido es una reacción reversible instantánea.

Cloro combinado aprovechable.- La reacción mas importante del cloro con compuestos del nitrógeno es la del ácido hipocloroso con amoníaco:

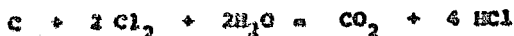


Cuando el pH es mayor que 6 y la relación molar de cloro (o hipoclorito a amoníaco (o iones amonio) no es mayor que 1, la formación de monocloramina predomina y la velocidad de reacción depende bastante del pH de la solución.

La comparación de ambos métodos de desinfección muestra que el de "cloro combinado aprovechable" es mucho menos eficiente como extermina-

dar de colibacilos que el de "cloro libre aprovechable".

Decoloración. - Cuando grandes cantidades de cloro han sido agregadas al agua (por ejemplo, para desinfección segura o para destruir olores y sabores desagradables), el cloro residual indeseable puede eliminarse por decoloración y este método de desinfección se llama "sobrecoloración y decoloración". Para decolorar se pueden emplear diferentes métodos: la adición de agentes reductores; paso al través de lecho de carbón activado; y aeración. Los agentes reductores pueden ser: dióxido de azufre, SO_2 ; bisulfito de sodio, $NaHSO_3$; y sulfito de sodio, Na_2SO_3 . El bisulfito de sodio es el más empleado, por ser más barato y más estable que el sulfito. Las reacciones efectuadas son las siguientes:



MÉTODOS Y ANÁLISIS

Los métodos de análisis empleados son algunos de los encontrados en la bibliografía respectiva y se da a continuación una idea somera de los métodos seguidos (9,2):

Análisis de aguas. - Las siguientes determinaciones de las características de una fuente de agua son importantes en los sistemas de agua potable:

- 1) Turbiedad. - Mediante el turbidímetro de Hellige basado en la -

comparación de un rayo luminoso que atraviesa la muestra de agua problema con el efecto Tyndall producido por la iluminación lateral de la muestra colocada en un vaso graduado, empleándose la misma muestra luminosa. La lectura efectuada cuando se han igualado ambos efectos, se lleva a una gráfica trazada previamente y se informa para este caso, - en ppm de SiO_2 .

2) Sólidos totales disueltos.- Mediante evaporación de la muestra filtrada, empleando 100 ml., y el residuo, pasado, se multiplica por 10, o bien, mediante un puente de solubilidad que nos da la conductancia específica de la muestra, la cual se halla graficada en función de alguna sustancia, por ejemplo, sulfato de sodio.

3) Alcalinidad.- Por titulación con solución de ácido fuerte valorado empleando fenolftaleína y anaranjado de metilo como indicadores, - determinando así, los valores de alcalinidad a la P y la alcalinidad a la M, respectivamente y que se expresan en ppm de CaCO_3 . Con estos datos se obtienen los carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos que pudieran encontrarse en la muestra problema.

4) Dioxido de carbono.- Se obtiene titulando una muestra alícuota (100 o 50 ml) con solución valorada de NaOH, empleando fenolftaleína como indicador hasta aparición de color rosado permanente. La cantidad de CO_2 en el agua puede encontrarse también en función del pH del agua.

5) Cloruros.- Por el método de Mohr, basado en que al agregar una solución valorada de nitrato de plata al agua que contiene cloruros, - en presencia de cromato de potasio, se obtiene precipitado rojo de cromato de plata, una vez obtenido el cloruro de plata, el cual se forma

primero.

6) Sulfatos.- Por precipitación como sulfato de bario en medio ácido, empleando como reactivo cloruro de bario y después pesando el precipitado obtenido o mediante el fotocolorímetro Klett Summerson, empleando 10 ml de muestra y la lectura obtenida se lleva a una gráfica trazada previamente.

7) Dureza.- Por el método del versenato, compuesto que tiene la propiedad de secuestrar los iones causantes de la dureza de las aguas (Ca y Mg) empleando como indicador erio cromo negro T, colorante que forma compuestos poco ionizados con el calcio y magnesio. Para determinar la dureza producida por el calcio únicamente (dureza al calcio), se emplea purpurato de amonio, que secuestra sólo los iones calcio y titulando después con solución valorada de versenato. La diferencia entre la dureza total (Ca y Mg) y la dureza al calcio, da la dureza al magnesio.

8) Nitritos.- Por determinación colorimétrica empleando alfa naf--til amina y ácido sulfanílico en medio acético; la coloración producida de acuerdo con la cantidad de nitritos se determina en un fotocolorímetro Klett Summerson.

9) Nitratos.- Por formación de un nitroderivado de color amarillo, al reaccionar el ácido fenol disulfónico con los nitratos, primero en medio ácido y después en medio alcalino y llevando la coloración producida a un fotocolorímetro Klett Summerson.

10) Cloro residual libre.- Por formación de un compuesto colorido con ortotolidina y cloro, haciéndose la determinación en un comparador-Taylor para cloro.

11) Hierro.- Por formación del tiocianato férrico producido al reaccionar una solución de sulfocianuro de potasio con el ión férrico que se encuentra en la muestra de agua; se produce una coloración roja que se determina en un fotocolorímetro.

12) pH.- Por determinación colorimétrica basada en el uso de diversos indicadores, cada uno de los cuales cubre una porción del intervalo total del pH, siendo que cada indicador produce diferente coloración que el indicador inmediato y al mismo tiempo da diferentes tonalidades de color en su propio intervalo de pH. Puede determinarse también mediante un potenciómetro.

13) Sílice.- Por evaporación de una muestra alícuota, disolviendo el residuo con HCl y HNO_3 , solución que se filtra y el filtrado se calienta a 600°C durante 1 hora, se enfría y el residuo se pesa. La sílice soluble se determina con ácido fosfomolibdico, al producirse una coloración azul.

14) Sodio.- Generalmente para determinarlo se toma la diferencia entre los aniones y los cationes encontrados, en ppm.

15) Oxígeno consumido.- Da una idea de la presencia de materia orgánica en el agua y su determinación se basa en la oxidación del permanganato de potasio en medio ácido. Se ha convenido que la cantidad de oxígeno consumido en medio ácido sea una medida de la materia orgánica presente.

16) Análisis bacteriológico.- Existen diferentes medios de cultivo para sembrar muestras de agua con posible contaminación y generalmente se efectúan en una misma muestra, 3 pruebas: análisis presuntivo, análisis de confirmación parcial y análisis de confirmación total. El-

El método seguido para este trabajo se basa en la siembra de muestras - alícuotas del agua en los siguientes medios: medio de Endo, caldo lacto- sado y gelosa simple, sirviendo este último medio para el análisis pre- suntivo, el caldo lactosado para confirmación parcial de la existencia- de bacterias del grupo coli y el medio de Endo como prueba de confirma- ción total de la presencia de dichas bacterias. Las bacterias del gru- po coli, son organismos indicadores no patógenos característicos de las evacuaciones intestinales de seres humanos y animales que nos indican - la contaminación del agua analizada. El análisis presuntivo nos indica- la posible contaminación de la fuente y da el número total de bacterias presentes, determinado en un contador de colonias. El criterio a seguir se basa en los siguientes datos:

Siembra de la muestra de agua en "gelosa simple"

Número total de bacterias		Calidad de la muestra
De 0 a	10 gérmenes/c.c.	Agua Extremadamente pura
De 10 a	100 "	Agua muy pura
De 100 a	1000 "	Agua pura
De 1000 a	10,000 "	Agua mediocre
De 10,000 a	100,000 "	Agua impura
De 100,000 a	más "	Agua muy impura

Siembra de la muestra en "caldo lactosado" a 37.5°C

- A las 48 horas : Ausencia de gas ----- Prueba negativa
- A las 48 horas : Formación de gas de 10 % ---- Prueba dudosa
- A las 48 horas : Formación de gas mayor de 10 % --- Prueba positiva.

Por último, la presencia de colonias en el medio de Endo, da --

bacterias del grupo coli, confirma la contaminación de la muestra de agua analizada.

Los cultivos de gelosa simple, medio de Endo y caldo lactosado, son selectivos para los gérmenes del género: Escherichia, bacilos y salmonelas. Las incubaciones se efectúan, a más o menos, 37°C y las lecturas a las 24 y 48 horas.

17) Análisis microscópico.- En algunas ocasiones se efectúan análisis microscópicos ya que el sabor y olor de algunas aguas puede deberse a la proliferación de plantas unicelulares que flotan libremente, siendo tan pequeñas que solo pueden verse con gran aumento. Hay diversas clasificaciones de esos microorganismos y para determinar tal género o especie, hay grabados en la bibliografía respectiva (7) para identificarlos con los vistos al microscopio, existentes en la muestra de agua.

18) Análisis de la materia prima.- También es importante analizar la materia prima empleada para saber su composición y saber si llena los requisitos comerciales y especificaciones requeridas para el tratamiento de aguas. A continuación se indican los métodos seguidos para saber la composición de la cal hidratada y el sulfato de aluminio (1).

a) Índice de cal aprovechable.- Este índice de cal viva o cal hidratada designa aquellos constituyentes que entran en reacción, bajo las condiciones de este método especificado llamado "método rápido de azúcar". Este método consiste en hervir una cantidad pesada de la cal hidratada disuelta o suspendida en agua destilada añadiendo posteriormente azúcar granulada, agitando fuertemente por un intervalo de tiempo; la solución obtenida se titula con solución valorada de HCl empleando fenolftaleína como indicador hasta que se logre la primera desaparición

de color; la información se hace en % de CaO ó % de $\text{Ca}(\text{OH})_2$. En algunos casos también se determina la humedad en cal hidratada y la cantidad de CO_2 presente.

b) **Grado de aluminio total en sulfato de aluminio.** - Consiste en la precipitación del hidróxido de aluminio con amoníaco en medio ligeramente alcalino y calentando cerca de al ebullición, el cual después es filtrado en Cooch o filtro de papalo de cenizas conocidas; el precipitado se calienta en mufla hasta la ignición y el residuo es pesado. El resultado se obtiene de la siguiente fórmula:

$$\text{Grado de aluminio total en \%} = \frac{\text{Peso del precipitado}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

También puede precipitarse el sulfato de aluminio presente en la muestra, como sulfato de bario con BaCl_2 y titulando con KOH usando fenolftaleína como indicador. Si se emplea KOH 1 y 1 gramo de muestra, los ml. de KOH empleados se multiplican por 0.05664 para obtener el contenido de sulfato de aluminio en gramos.

Determinación de Índices de Langlier y Estabilidad. - El índice de Langlier (11) da una estimación cualitativa de la tendencia corrosiva o incrustante de un agua, mientras que el Índice de Estabilidad trata de dar una estimación cuantitativa de dichas tendencias; ambos índices parten de la base de la determinación de un "pH de saturación", mediante la siguiente fórmula:

$$\text{pH}_s = (9.30 + A + B) - (C + D), \text{ en donde:}$$

A, B, C son valores que están en función de los sólidos totales disueltos (aprox.), la temperatura, la dureza al calcio en ppm de CaCO_3 y la alcalinidad al anaranjado de metilo, en ppm de CaCO_3 , respectiva-

mente. Los índices citados se determinan mediante las siguientes fórmulas:

Índice de Langelier: $I_L = pH - pH_s$; si el índice da una cantidad positiva, el agua tiende a incrustar y si da un valor negativo, tiende a corroer. (pH_s es el obtenido de la muestra de agua).

Índice de Estabilidad: $I_E = 2pH_s - pH$; para el criterio a seguir con el valor obtenido de este índice se cuenta con datos experimentales que dan la tendencia del agua y así tenemos los siguientes datos:

Índice de Estabilidad

- 5.1 ----- Fuerte depósito en aguas frías o calientes
- 5.3.5.5 ----- Deposición en agua caliente
- 5.6 ----- Deposición en enfriadores o calentadores
- 6.1 ----- Deposición en calentadores sin tratamiento con polifosfatos
- 6.2 ----- No es apreciable ni deposición ni corrosión
- 6.7 -----
- 6.8 ----- Solo ligera corrosión a 150°F
- 7.0 ----- Practicamente no se aprecia corrosión
- 7.2 ----- Absoluta corrosión a 150°F (53°C)
- 7.3 ----- Corrosión en agua caliente de calentadores
- 7.6 ----- Corrosión en líneas de agua caliente
- 6.0 ----- Severa corrosión
- 8.2 ----- Poca corrosión en líneas de agua fría
- 8.3 ----- Corrosión apreciable en un año
- 8.5 ----- Corrosión en líneas de agua fría, principalmente.

CAPITULO TERCERO

P A R T E E X P E R I M E N T A L .

Análisis del agua del Río Tecolutla.- Se obtuvieron datos, durante un año completo, de la composición química, física y bacteriológica del agua del Río Tecolutla de acuerdo con los análisis efectuados, para tener idea de las variaciones que sufren dichas características y las consecuencias que sobrevienen para el tratamiento del agua de dicha fuente, notables, por cierto, en épocas de precipitación pluvial. El lugar de muestreo se localizó a la altura de la bocanana actual y los más representativos de los análisis efectuados, se anotan en el capítulo siguiente. Estos datos servirán de base para determinar el tratamiento a seguir y las cantidades de reactivo necesarias para obtener agua de características adecuadas para uso potable.

Caudal del Río Tecolutla.- Los datos de caudal de río, fueron obtenidos por la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.) en 7 meses del año de 1961, los que son anotados en este trabajo para dar idea de la cantidad de agua que fluye, lo que es necesario, para saber si la fuente tiene suficiente capacidad para satisfacer las necesidades de un futuro sistema de agua potable. La Estación Hidrométrica del Remolino de la C.F.E., por medio de la cual se obtuvieron los datos, se encuentra como a unos 300 m aguas arriba del puente colgante que hay en el cruce del río con la carretera Poza Rica-San Andrés; queda dentro del municipio de Papantla, Veracruz y para llegar a la Estación se parte de Papantla rumbo a San Andrés y 5 km an-

tes de llegar se cruza el río por el puente colgante y dicha Estación tiene por objeto determinar el régimen de la corriente para futuros aprovechamientos hidroeléctricos. Los afloras se practican en canastilla, suspendida de un cable de 215 m de claro, por el método de sección y velocidad por medio de molinete hidráulico y el registro de elevaciones de agua se toma con un limnógrafo y además hay una escala de aluminio de 5 m de longitud dividida en 2 tramos que se lee diariamente para verificar los datos del limnógrafo.

Condiciones climatológicas.- De fuentes oficiales (14) se obtuvieron datos de precipitación, evaporación y temperaturas promedio de la región de Papantla, Veracruz que dan idea de las condiciones climatológicas que caracterizan a dicha región y que influyen en diferentes formas para el diseño de un sistema de agua potable.

Tratamiento del agua del Río Tecolutla.- Con objeto de determinar el tratamiento requerido por el agua del río para hacerla potable y la cantidad de reactivo necesaria para clarificar principalmente y obtener las condiciones físicas y químicas adecuadas, se efectúan pruebas de clarificación. Para este trabajo se escogió como coagulante el sulfato de aluminio, por sus ventajas sobre los demás coagulantes para este tipo de agua, añadiendo cal hidratada para mantener la alcalinidad requerida, por ser el sulfato de aluminio un coagulante ácido, según se anotó anteriormente en unión de las condiciones de operación de este coagulante. Se hicieron pruebas también con el sulfato ferroso oxidándolo con cloro para formar el hidróxido férrico, dando resultados satisfactorios de clarificación aún a pH alcalino (9.0), pero se tiene el problema de su almacenaje-

ya que es muy higroscópico, experiencia obtenida en una visita a la planta de tratamiento de agua de la planta termoeléctrica del Manantial situada en Poza Rica, Veracruz (C.F.E.), por lo cual se realizó. El método de las pruebas de clarificación, empleado en las experiencias, consistió en añadir diferentes cantidades de coagulante a varias muestras de agua de una turbiedad determinada, agitando lentamente a 10 rpm, durante 15 min, dejando asentarse después el precipitado formado; es conveniente observar la formación más pronto del coque obtenido, su tamaño y la brillantez de cada muestra de agua, eligiendo aquella dosis mínima en que se nota la primera formación de coque de buen tamaño y se obtiene una buena clarificación; una vez escogida la dosis necesaria del coagulante, se efectúan cálculos para determinar la cantidad de caliche necesaria para obtener las condiciones químicas requeridas en el agua; tomando en cuenta que dicho caliche reacciona con el sulfato de aluminio añadido, el calcio de carbono presente en el agua y parte de los bicarbonatos presentes hasta obtener un pH en el agua resultante de 8.5. Como quiera, es necesario hacer pruebas adicionales en el sistema de agua potable para el mejor control en la clarificación de emergencia. Para la clarificación del agua, escogida para este trabajo se usó como coagulante, se tomaron en cuenta las experiencias realizadas en la hidrología regional (7, 15).

El tiempo de retención y el tipo de coque de los asentamientos. Para determinar el tiempo de retención se usó un tanque de asentamiento de un volumen conocido con partículas sólidas que caracterizan la muestra de agua, en donde, sus características de peso específico, tamaño y...

velocidad de asentamiento. Para conocer el tipo de partículas que constituyen la suspensión se toma una muestra grande de agua y se deja asentar durante varios días, decantando después y secando los sólidos asentados, clasificándolos posteriormente de acuerdo con su tamaño y características físicas; obtenido el tipo de partículas, se tienen datos de su tamaño y su velocidad de asentamiento (según su peso específico), los que se anotan en el siguiente capítulo.

Es posible determinar experimentalmente el tiempo de retención necesario para eliminar determinado porcentaje de sólidos suspendidos poniendo en probetas graduadas muestras de agua iguales y determinando la cantidad de sólidos eliminados en diferentes tiempos de asentamiento; el resultado mejor es aquél tiempo mínimo que da el % adecuado de sólidos eliminados. La carga (flujo) superficial del tanque de asentamiento está en función del tiempo de retención y del flujo necesarios.

Consumos de agua.- Los consumos de agua de las poblaciones varía según el tamaño de ellas y las condiciones climatológicas de la región y se han obtenido datos experimentales (5) de dichos consumos para las poblaciones de la República Mexicana, los que se anotan adelante, así como también se anotan los coeficientes de variación diaria (para el diseño del sistema de tratamiento) y horario (utilizado en el cálculo de los sistemas de distribución).

CAPITULO CUARTO
DATOS Y RESULTADOS.

Analisis del agua del Rio Tecolutla.- Los analisis efectuados--
son rutinarios y se anotan a continuación los resultados más drásti-
cos obtenidos en 5 meses diferentes:

	Enero	Mayo	Julio	Septiembre	Noviembre
Temperatura, °C	18	30	30	28	24
Turbiedad, ppm SiO ₂	16	153	136	44	20
Alcalinidad a la fenol- ftaleína, ppm CaCO ₃	0	0	0	0	0
Alcalinidad al anaran- jado de metilo, ppm CaCO ₃	94	90	94	100	106
Dureza al calcio, ppm CaCO ₃	90	80	94	88	98
Dureza al magnesio, ppm - CaCO ₃	16	12	16	14	12
Dureza total, ppm CaCO ₃	106	92	110	102	110
pH	8.0	8.0	7.9	7.9	7.8
Cloruros, Cl ⁻	8	8	12	10	6
Sulfatos, SO ₄ ²⁻	8	7	22	15	12
Hierro, Fe ⁺³	0.0	0.2	0.4	0.1	0.0
Oxígeno disuelto, O ₂	5.3	5.0	4.1	4.6	5.3
Dióxido de carbono, CO ₂	2.2	2.0	2.6	2.0	2.8
Oxígeno consumido, O ₂	3.8	3.4	6.8	3.9	4.2
Nitratos	0	0.1	0.1	0.0	0.1
Sólidos totales disueltos	122	118	153	144	140

Las muestras con altas turbiedades muestran coloración café muy oscuro y en ocasiones café rojizo (lluvias) como sucede en ocasiones dentro de los meses de mayo a octubre, mientras que en invierno principalmente, el agua se presenta casi clara. Los olores generalmente no son desagradables y percibe el olor a tierra y moho.

A continuación se anotan los resultados obtenidos en los análisis bacteriológicos:

Medio de cultivo	Enero		Agosto		Septiembre	
	24 hs	48 hs	24 hs	48 hs	24 hs	48 hs
Gelosa simple <u>dérmica</u> ml	16000	110000	16000	32000	32000	46000
Cuido lactoso	5 %	30 %	20 %	25 %	1 %	12 %
Medio de Edo	++	+++	++	+++	+	++

Datos de caudal del Río Teocolutla (14)

Gastos en m³/seg y escala en metros.

Mes	Máximas			Mínimas			Volumen en miles de m ³
	Día	Gasto	Escala	Día	Gasto	Escala	
Junio	15	715	4.44	2	37.4	0.86	498,708
Julio	8	1314	4.72	23	81.9	1.78	1006,707
Agosto	1	873	4.26	31	106.0	1.62	820,421
Sep.	16	1247	5.7	14	85.8	1.48	750,681
Octubre	15	1892	6.16	30	114.0	1.52	723,689
Nov.	8	1457	5.61	3 y	98.5	1.45	654,283
Dic.	20	459	3.19	18	67.6	1.08	300,519

Los datos anteriores de flujo dan un promedio mensual de -----
679,288 miles de m³ aunque no exacto, por los datos faltantes, "

pero dan una idea del caudal del río.

Condiciones climatológicas (14)

Mes	Precipitación, mm	Evaporación mm,	Temperatura °C.
Enero	45.1	79.4	18.8
Febrero	31.5	93.8	20.2
Marzo	33.2	102.6	22.6
Abril	46.2	136.5	25.3
Mayo	71.7	168.4	27.1
Junio	131.4	172.7	27.5
Julio	128.4	169.5	27.0
Agosto	106.9	181.7	27.6
Septiembre	285.4	163.2	25.9
Octubre	164.3	142.2	24.6
Noviembre	92.5	99.2	21.3
Diciembre	61.7	76.6	19.2
Total	1180.8 mm	1585.5 m	

Datos de consumo particular de agua en las poblaciones de la República Mexicana.

Consumo	Población 5000		Población 5000 - 15000		Población 15000-50000		Población 50000-200000			
	Mín	Max.	Mín.	Max	Mín	Max	Mín	Max	Mín	
Doméstico	35	60	50 - 60	90	120- 90	120	150-	120	150	180
Público	12	20	30 - 20	30	40- 30	40	50-	40	50	60
Industrias	10	15	23 - 15	23	30- 23	30	35-	30	35	40
Pérdidas	3	5	7 - 5	7	10- 7	10	15-	10	15	20
Total	60	100	150 -100	150	200-150	200	250-	200	250	300

Coefficiente de variación diaria

C = 1.20 para climas uniformes.

C = 1.30 para climas variables no extremos.

C = 1.50 para climas extremos secos con variaciones notables.

Coefficiente de variación horaria

C = 0.45 a 1.00

Características de las partículas suspendidas en aguas natura-les y en aguas tratadas.

Partícula	Diámetro, mm	Velocidad de asentamiento mm/seg(°C)
Gravilla basta	2 ó más	Mayor de 100
Gravilla fina	2 - 1	
Arena basta	1 - 0.5	100 - 53
Arena media	0.5 - 0.25	53 - 25
Arena fina	0.25- 0.1	25 - 8
Arena muy fina	0.1 - 0.05	8 - 2.9
Cieno	0.05- 0.01	2.9 - 0.154
Cieno fino	0.01- 0.005	0.154-0.0385
Arcilla	0.01- 0.001	0.154-0.00154
Arcilla fina	0.001-0.0001	0.00154-0.0000154
Arcilla coloidal	menor de 0.0001	despreciables
Hidróxido de aluminio	1	12
Hidróxido férrico	1	12

Presión de los reactivos empleados

Reactivo	Precio, \$/ton.
Cal hidratada	150
Sulfato de aluminio, - $Al_2(SO_4)_3$	700
Cloro, Cl_2	1600

Pruebas de floculación.- Como ejemplo de las experiencias de clarificación efectuadas, se anotan a continuación las siguientes: las condiciones físicas y químicas se indican de la siguiente manera:

t = Temperatura, °C

F = Alcalinidad a la fenolftaleína en ppm de $CaCO_3$

M = Alcalinidad al anaranjado de metilo, ppm de $CaCO_3$

STD = Sólidos totales disueltos, aprox.

D_2 = Dureza total, ppm de $CaCO_3$

T = Turbiedad, ppm de SiO_2

ph = Concentración de iones hidrógeno.

EC_{Ca} = Dureza al calcio, ppm de $CaCO_3$

I_L = Índice de Langliar.

I_g = Índice de estabilidad.

Prueba # 1.-

1.- Condiciones agua cruda:

$F = 0$
 $N = 55$
 $D_t = 95$
 $D_{Ca} = 80$
 $STD = 135$
 $pH = 7.9$
 $T = 130$
 $t = 27$
 $I_L = +0.01$
 $I_E = 7.92$

2.- Dosificación:

60 ppm $Ca(OH)_2$ (66% CaO)
 110 ppm $Al_2(SO_4)_3 \cdot 13H_2O$

3.- Resultado:

$F = 0$
 $N = 53$
 $D_t = 124$
 $D_{Ca} = 115$
 $STD = 155$
 $pH = 7.9$
 $T = 8$
 $t = 27$
 $I_L = +0.012$
 $I_E = 7.55$

Notar la disminución de la turbiedad del agua cruda después de la --
prueba.

Prueba # 2.-1.-
Agua
cruda

$N = 94$
 $D_t = 100$
 $D_{Ca} = 82$
 $STD = 140$
 $pH = 7.9$
 $T = 160$
 $t = 27$
 $I_L = +0.03$
 $I_E = 7.84$

2.- Dosificación:

85 ppm $Ca(OH)_2$ (66% CaO)
 125 ppm $Al_2(SO_4)_3 \cdot 13H_2O$

3.- Resultado:

$F = 4$
 $N = 96$
 $D_t = 140$
 $D_{Ca} = 122$
 $STD = 206$
 $pH = 8.3$
 $T = 8$
 $t = 27$
 $I_L = +0.59$
 $I_E = 7.12$

Prueba 9 L.-

3.- Resultados

1.- Condiciones agua cruda

P = 0

H = 100

D_g = 106DC_u = 93

STD = 160

pH = 7.9

T = 18

t = 27

I_L = +0.12I_E = 7.66

P = 4

H = 94

D_g = 146DC_u = 132

STD = 214

pH = 8.3

T = 8

t = 27

I_L = +0.61I_E = 7.09

DISCUSION.

De las experiencias efectuadas y sus resultados, así como de los datos obtenidos, se llega a las siguientes conclusiones que servirán de base para el presente anteproyecto:

1.- El agua cruda del Río Tecolutla necesita un tratamiento -- previo de clarificación y desinfección, antes de emplearse como suministro público de agua potable para la ciudad de Papantla, Veracruz por las siguientes razones:

a) Los análisis físicos efectuados indican turbiedad, comúnmente elevada, así como coloración en épocas de lluvias.

b) Los análisis bacteriológicos clasifican a dicha agua como "impura" al efectuarse la siembra de muestras en el medio "geosa simple", así como se confirma la presencia de bacterias del grupo coli

al efectuar la siembra en los medios "caído lactosado" y "medio de Endo", por formación de gas en todas las muestras en el primer medio y presencia de colonias de dicho grupo de bacterias en el segundo medio; esto último indica la contaminación del río con aguas negras. Por lo que respecta a los análisis químicos, la presencia de sustancias tóxicas no es apreciable y las condiciones de dureza, alcalinidad y pH están dentro de los límites permitidos para el uso de la fuente referida como agua potable.

2.- Por lo que toca al caudal del río, se nota la suficiencia para mantener un servicio continuo de suministro como lo indica el promedio mensual y no hay peligro de que dicha fuente se agote o disminuya su caudal en gran cantidad en determinada época del año.

3.- Para el consumo de agua per cápita, se tomará un promedio de 250 litros por habitante por día y los coeficientes de variación diaria y horaria serán 1.2 y 1.5 respectivamente.

4.- Para efectuar el tratamiento se empleará sulfato de aluminio como coagulante y siendo este un coagulante ácido, tiende a disminuir la alcalinidad presente en el agua así como a aumentar la dureza y para evitarlo se añadirá cal hidratada hasta obtener un pH adecuado, ya que, como se dijo, reacciona con el sulfato de aluminio añadido, con el dióxido de carbono y parte de los bicarbonatos presentes en el agua. La finalidad de este tratamiento consistirá en obtener una turbiedad menor de 10 ppm de SiO₂ en el afluente del tanque de clarificación y los índices de Langeliery de estabilidad dentro de los valores siguientes:

Índice de Langelier entre 0.0 y 1.0

Índice de estabilidad entre 6.2 a 7.0 (+ ó - 7.0)

Las pruebas de floculación anotadas anteriormente indican los valores que deben tenerse en el agua tratada para obtener dichas condiciones.

5.- Es necesario efectuar pruebas continuas de floculación para conocer la cantidad de reactivo necesaria para obtener las condiciones deseadas, ya que no se puede establecer una norma de tratamiento, por las continuas variaciones en las condiciones del agua cruda. Para este trabajo y con el objeto de calcular los costos anuales de materia prima, se tomará el promedio anual para el consumo de reactivos:

Cal hidr. - 70 ppm

Sulfato de aluminio - 90 ppm

6.- Con objeto de lograr la desinfección bacteriana del agua cruda se empleará cloro como bactericida, de tal manera que se obtenga en el efluente de los filtros una concentración de 1.0 ppm como "cloro residual libre" y para el consumo anual se tomará un promedio de 1.5 ppm del cloro gaseoso.

7.- Para el diseño del tanque de clarificación se considerarán las experiencias obtenidas para la clarificación de aguas turbias con sulfato de aluminio (7) tomando 2 horas de tiempo de retención y un fondo de 3.5 m sin contar la altura del fondo de lodos (1.5 m).

CAPITULO QUINTO
DISEÑO DEL EQUIPO

Prólogo.- Actualmente el sistema de alimentación de agua a la población consta de una estación de bombeo, una línea de conducción de 17" y un depósito de almacenamiento desde donde se distribuye a toda la ciudad, sistema que no es satisfactorio para la población, - por lo que se propone un sistema de agua potable, que constará de lo siguiente:

a).- Una estación de bombeo modificada, situada en la bocana actual, que da la cantidad necesaria de agua para un futuro de 15 años.

b).- Una subestación eléctrica para la estación de bombeo.

c) Un acueducto de diámetro adecuado, de acuerdo con las normas especificadas de velocidad. En caso de que el acueducto actual, - pueda emplearse, ello consistirá un ahorro para el sistema.

d).Una planta potabilizadora de agua, situada en el cerro "Campanario" de la ciudad, mismo donde se encuentra el depósito actual, - y que constará de las siguientes partes:

1).- Un tanque clarificador con su respectivo mezclador, donde serán añadidos los reactivos empleados al agua entrante, que sufrirá una clarificación y desinfección a base de sulfato de aluminio, calhidratada y cloro. El agua se desalojará por derrame hacia un canal de distribución de la batería de filtros.

2).- Una batería de "filtros automáticos de gravedad sin válvulas" para filtrar el efluente del tanque clarificador.

3).- Un depósito de agua potable que servirá de distribuidor y regulador del sistema. La distribución se efectuará por gravedad.

4).- Un edificio que alojará una oficina, un laboratorio, una bodega de reactivos y la sala de dosificadores y cloradores.

Consumo probable.- Para la cantidad de agua necesaria al final del período de diseño del sistema se hicieron los siguientes cálculos:

Período de diseño = 15 años.

Cálculo de la población probable en 1991.- La estimación aritmética, se efectuó mediante la siguiente ecuación (7):

$$y_n = y_1 + (y_2 - y_1) (t_n - t_1) / (t_2 - t_1). \text{ en donde:}$$

y_n = dato postcensal deseado.

y_1 = dato de la población en 1950 = 14,200 habitantes.

y_2 = dato de la población en 1960 = 18,600 habitantes.

t_n = año del dato postcensal deseado.

t_1 = año del dato de población más lejano = 1950

t_2 = año del dato de población más cercano = 1960

Sustituyendo valores en la ecuación dada y calculando y_n resulta:

y_n = 27,530 habitantes; se tomará una población de 28,000 hab.

Si el consumo per cápita es de 250 l/hb/día, se tiene:

Consumo probable: 28,000 x 250 = 7,000,000 litros.día.

Tomando en cuenta el coeficiente de variación diaria, el dato base de diseño será:

$$7,000 \text{ m}^3/\text{día} \times 1.2 = 8,400 \text{ m}^3/\text{día}$$

Estación de bombeo.- Está situada sobre la margen izquierda del río a la altura del puente colgante "Remolino". Consiste de un -

cárcamo sobre el cual están situadas las bombas actuales que envían el agua cruda del río al depósito elevado situado en el cerro "Campanario" a unos 10 km de distancia por un acueducto de 12". Las características de las bombas actuales se dan a continuación:

Motor:

Marca **Waukesha Diesel**

Modelo **6MARDU**

Series **18,355, 18356 y 18,357.**

Especificación **G1739**

Velocidad del gobernador **1500 rpm, cargado**

Potencia **200 HP**

Bomba:

Marca **Worthington**, de paso profundo

Gasto **31.6 lt/seg.**

Series **10-10985, 10,986 y 10987**

Número de la fábrica **AO-4654**

Velocidad **1760 rpm**

Carga total dinámica **324 m.**

Potencia necesaria en el extremo superior **168 HP.**

Cabazal:

Marca **Amarillo**

Modelo **5 BL**

Series **5427, 5428, 5429.**

Relación: motor 10-bomba 11.

Potencia **200 HP a 1760 rpm.**

La flecha de la bomba consta de 5.5 tramos de columna lubricados por aceite, de 1.05 m x 152 mm. El cuerpo de tazones son de modelo 13154-14 con coladera de 152 mm, cónica y el tubo de succión de 152 mm x 152 mm.

Cálculo de la potencia necesaria.- El flujo de 2 de las bombas actuales alcanza teóricamente unos 5,400 m³/día, insuficientes aún para la población actual (± 21,000 habitantes), por lo cual es necesario un nuevo diseño del equipo de bombeo para el presente anteproyecto:

Datos: Se utilizarán bombas centrífugas, de eje profundo

Altura bocanema - 10.2 m

Altura carro campanario - 232.85 m

Longitud de la tubería - 12°

Flujo necesario - 10,400 m³/día

Por la dificultad para conocer los cambios de dirección-existent en la línea de 12°, se tomará una longitud equivalente de 11,000 m, que incluye válvulas y cambios de dirección.

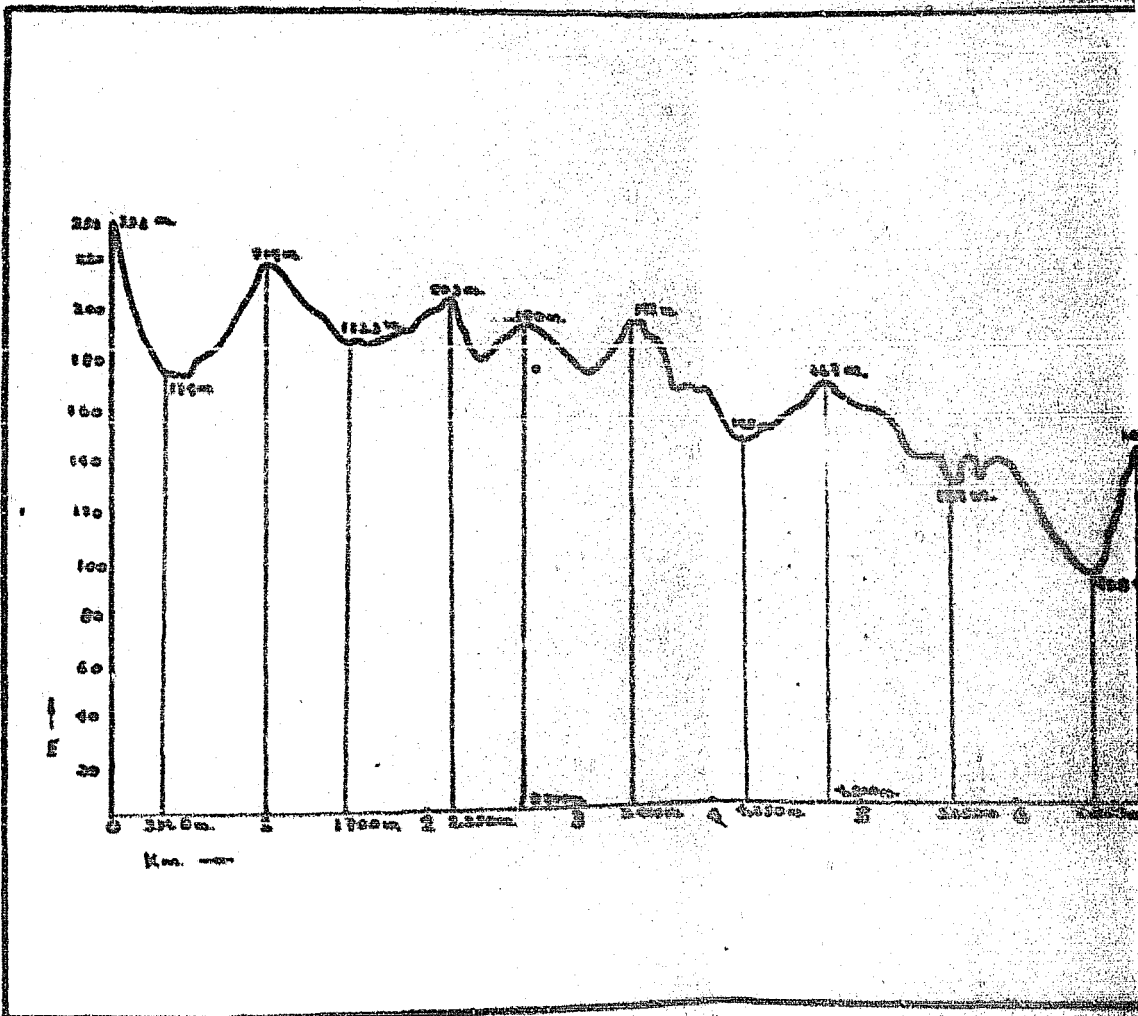
Pérdidas en la tubería de succión:

La succión de las bombas actuales es de 6°

Se tendrán 3 bombas, de las cuales 2 operarán continuamente, quedando una de relevo; por lo tanto el flujo en la succión de cada bomba, será:

$$\frac{10,400 \text{ m}^3/\text{día}}{2} = 5,200 \text{ m}^3/\text{día}$$

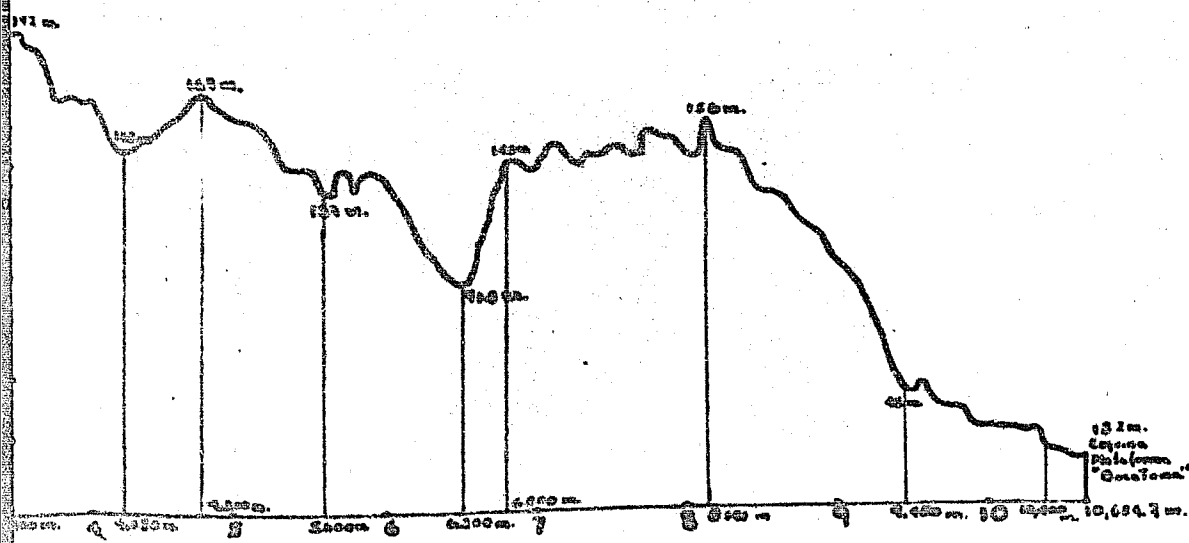
El área interna de una línea normal de 6°, es 186.386 cm², -



FACULTAD de QUIMICA
U. N. A. M. Mexico, D.F.

PERFIL del ACUEDUCTO
REMOLINO-PAPANTLA

Tesis Profesional Hernandez
Zunaya G.



por lo que se tendrá en la succión de cada bomba una velocidad de:

$$v = Q/A = \frac{4.200 \times 1000}{24 \times 3,600 \times 1.65 \times 10} = 2.62 \text{ m./seg.}$$

Nota (6). Referencia en la cual se basaron los cálculos, la velocidad en la tubería de succión debe ser entre 1.0 a 1.5 m/seg., por lo cual se descarta la tubería de 6"; empleando ahora una línea de succión de 8", se tiene:

$$\text{Área interna} = 322.8 \text{ cm}^2$$

$$v = Q/A = \frac{4.200 \times 1.000}{24 \times 3,600 \times 3.22 \times 10} = 1.5 \text{ m/seg.}$$

la velocidad obtenida está entre los límites permitidos .

Datos de la tubería de succión:

Diámetro = 8" = 203 mm

Longitud = 16.7 m; consta de una coladera cónica de diámetro = 203 mm y una válvula de pie.

Pérdida por rozamiento:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} = 0.03 \times 16.7 \times 1.5^2 / 0.203 \times 2 \times 9.81 = 0.22 \text{ m.}$$

$$\text{Pérdida por la coladera} = kv^2/2g = 1.0 \times 1.51^2/2 \times 9.8 = 0.12 \text{ m.}$$

$$\text{Pérdida por la válvula de pie} = k_v v^2/2g =$$

$$\text{si } A_1/A_2 = 0.7, k_v = 0.8 \quad = 0.8 \times 1.51^2/2 \times 9.8 = 0.10 \text{ m.}$$

$$\text{Pérdida por temperatura (20°C)} = 0.4 \text{ m.}$$

$$\text{Pérdida por variación en la presión atm. (10.2 m)} = 0.51 \text{ m.}$$

$$\text{Por carga de velocidad} = v^2/2g = 1.5^2/2 \times 9.8 = 0.12 \text{ m.}$$

$$\text{Pérdidas totales en la succión} = 1.54 \text{ m columna de agua.}$$

Altura de succión disponible = presión barométrica - suma de pérdidas = 10.35 m - 1.54 = 8.71 m de columna de agua.

Pérdidas en la tubería de descarga de cada bomba antes de llegar al cabezal de 12".

Diámetro = 6", $V = 2.62$ m/seg. (dentro de los límites permitidos).

Longitud equivalente = 20 m (incluye válvula y codo)

$f = 0.03$; $h_f = 0.03 \times 20 \times 2.62^2 / .150 \times 2 \times 9.8 = 1.67$ m. de columna de agua.

Pérdida por ensanchamiento súbito (de 6" a 12") $A_1 = 186 \text{ cm}^2$, ---
 $A = 722 \text{ cm}^2$.

$V_2 = \frac{59.6 \text{ lpm} / 1.11 \text{ cm}^2}{10} = 0.67$ m/seg., operando una sola ---
 bomba.
 = 1.35 m/seg., operando 2 bombas.

Pérdidas en la descarga:

Diámetro = 12" = 303 mm. Área interna = 722 cm^2

Longitud equivalente = 11,000 m.

$h_f = fLV^2/2gD = 0.03 \times 11,000 \times 1.35^2 / 2 \times 9.81 \times 0.303 = 24$ m de ---
 columna de agua.

Diferencia de alturas = 232.83 - 18.2 m = 214.63 m

Suma de pérdidas en todo el sistema del acueducto:

Pérdidas en la succión	-----	1.54 m de columna de agua.	
Pérdidas en descarga de 6"	-----	1.67 m	"
Pérdidas en línea de 12"	-----	24.00 m	"
Diferencia de alturas	-----	214.63 m	"

Total ~~-----~~ 311.97 m. de columna de agua. (H_m)

Las bombas actuales tienen una carga total dinámica de 322 m - de columna de agua, el cual se dejará como dato de diseño.

La potencia necesaria del motor que impulsará la bomba será:

$$H = \frac{P_e \times Q \times H_m}{75 \times \text{eficiencia}}$$

Dando:

P_e = peso específico del líquido, $\text{kg/m}^3 = 1,000 \text{ kg/m}^3$

Q = gasto volumétrico = $0.0486 \text{ m}^3/\text{seg.}$

H_m = carga total dinámica = 322 m de columna de agua.

La eficiencia se tomará de 75%, común para este tipo de bombas.

Sustituyendo valores se tiene: $H = 279$ caballos de fuerza.

La potencia del motor comercial será: 300 HP.

Cálculo de la subestación eléctrica. - Para accionar las bombas se necesitarán motores eléctricos de 300 HP c/u y siendo 3, la potencia necesaria será de 900 HP, que transformados a Kw, resultan:

$$900 \text{ HP} \times 0.746 \text{ Kw/HP} = 671.4 \text{ Kw}$$

Energía eléctrica para alumbrado = 3.0 Kw (estación de bombas)

Total energía eléctrica, estación

de bombas

$$= 674.4 \text{ Kw}$$

Si el factor de potencia, dado por la C.F.E. es de 85%, la capacidad necesaria de un transformador trifásico será:

674.4/0.85 = 795 KVA.

El transformador comercial más próximo a esta capacidad es de 1000 KVA. Se utilizarán interruptores para los motores de las bombas, de 600 amperes y un transformador de 5 KVA para el alumbrado, con su correspondiente interruptor.

La relación de transformación del transformador será de: 66000/2400 volts.

Este transformador de 1000 KVA tendrá como protección un interruptor de 1000 M.V.A., 66000 volts, con transformadores de corriente, tipo-columna.

Dimensiones del tanque de clarificación.

Datos: Flujo mínimo - 8,400 m³/día
 Tiempo de retención - 2 horas
 Altura - 4.5 m (considerando fondo de lodos de 1.5 m.)

$$\text{Volumen del tanque} = \frac{8,400}{24} \times 2 = 700 \text{ m}^3$$

$$\text{Superficie del tanque} = 700/3 = 234 \text{ m}^2$$

Las dimensiones del tanque de clarificación, serán de tal modo que la relación de longitud/anchura sea de 2/1, aproximadamente, resultando:

$$\text{Longitud} = 22 \text{ m} ; \text{anchura} = 11 \text{ m}.$$

El diseño del tanque deberá ser de tal manera que exista una cámara de mezcla de agua cruda y reactivos, así como sistemas de-

purga. La descarga del tanque será por derrame.

Dimensiones de los filtros:

Los filtros serán del tipo de "filtros automáticos de grave --
dad sin válvulas" (12) recomendado por Pfaudler Permutit, cuya opera-
ción se explica en hojas aparte. Las dimensiones para un promedio --
de flujo de 3 gpm/pie² serán las siguientes:

$$\text{Flujo} = 8,400 \text{ m}^3/\text{día} = 1545 \text{ gpm}$$

si se utilizan 6 unidades: $1545 \text{ gpm} / 3 \text{ gpm/pie}^2 = 26 \text{ pie}^2$, será la --
superficie filtrante y si ésta es circular se obtiene un diámetro --
de 10.5 pies (3.28 m). Del catálogo sobre estos filtros (12) se en -
cuentran filtros circulares de 11 pies de diámetro para un gasto de -
205 gpm, que sería el adecuado: estos filtros tienen una altura to -
tal de 20 pies (6 m) y son de acero.

Dimensiones del tanque de almacenamiento. - Se recomienda un -
15% del flujo máximo diario (7) para almacenamiento de agua como re-
serva:

$$8,400 \times 0.15 = 1260 \text{ m}^3$$

El depósito será de concreto y situado sobre la superficie.

Constará de dos compartimientos, para efectos de limpieza y sus di-
mensiones serán: 18 m x 18 m x 4 m de fondo.

OPERACION DE LOS FILTROS AUTOMATICOS DE GRAVEDAD SIN VALVULAS.

Estos filtros operan automáticamente sin necesidad de ninguna
atención prácticamente del operador. Los contralavados están deter -
minados por la caída de presión al través de la cama filtrante y no
por tiempo ni por turbiedad del efluente.

Operación manual. - Aunque los filtros operan en forma automá -

tica, el operador puede inicialmente efectuar un contralavado normal, a la hora que así lo desee, sin importar que la cama esté limpia o sucia. Para lograr esto, todos los compartimientos de almacenamiento de agua de cada unidad (ver diagrama) deberán estar a su nivel máximo, ya que en la batería de filtros hay un dispositivo de provención de lavados simultáneos, el cual opera cuando cualquier unidad no tiene su nivel máximo en el compartimiento de agua. La operación de contralavado manual se efectúa de la siguiente manera:

a) Se cierra la válvula de compuerta que abastece el eyector y que está colocada directamente arriba de éste.

b) Se abre la línea de presión proporcionada para el efecto, de unos 15 psi (1 kg/cm^2), a la entrada de la válvula.

Con la cama limpia, el sifón se crea en 30 min. o 1 hora y con la cama sucia en 3 a 10 min.

Regulación del gasto de contralavado.- Este gasto deberá ser en promedio de 15 gpm/psi², aunque la operación real de este equipo podrá determinar un gasto mayor o menor, dependiendo de las condiciones de operación. Tomando en cuenta y estudiando los datos obtenidos, se podrá regular el gasto de contralavado y tiempo que originalmente será de 3 ½ min. Los siguientes puntos son de tomarse en cuenta.

b) El tanque de almacenamiento mantiene siempre el mismo volumen de agua para comenzar el contralavado, por lo tanto, entre menor sea la duración de esta operación mayor será el gasto y viceversa.

c) Una limpieza más efectiva de la cama de arena se llevará a cabo usando el gasto máximo posible sin escurrir al drenaje, los

granos de arena de dimensiones normales.

④ El agua fría debido a su densidad provee una fuerza de ascensión mayor para la arena de la cama.

Dispositivo para prevención de lavados simultáneos.- Este dispositivo permite sólo el lavado de un filtro, manteniendo así el gasto completo, restado el flujo de una unidad. Es un sistema de tuberías, conectadas en la parte superior del sifón de contralavado y a la vez a cada uno de los compartimientos de agua de contralavado de los demás filtros, por lo que si alguna unidad está en contralavado, el eyector de la unidad que quiere lavarse no producirá el vacío correspondiente, ya que falta agua en alguna otra unidad, permitiendo así que entre aire por esta conexión y no se produzca el contralavado. Cuando cualquiera de las unidades esté fuera de servicio, con el compartimiento vacío, se coloca un tapón a las tuberías que llegan a este compartimiento, para que las otras unidades puedan contralavarse.

Para regular el gasto relativo de cada unidad se usa un collarín ajustable de acero inoxidable que está colocado en la conexión de entrada, situada en el canal de distribución de todos los filtros.

Descripción y operación general de los filtros.- Varias plantas municipales emplean este tipo de filtros con satisfacción, por las ventajas siguientes:

- 1) Es automático, por que cuando se produce determinada pérdida de carga, el filtro mismo se lava y enjuaga y, acumulándose el agua suficiente de lavado para la siguiente operación, retorna a su

función filtrante, sin intervenir atención humana.

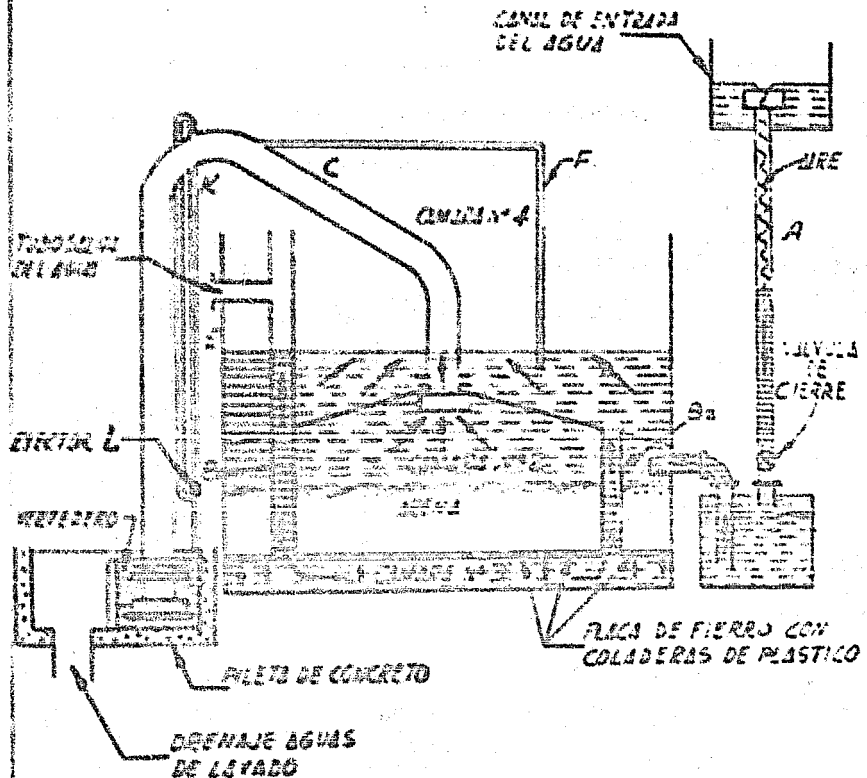
2) Exceptuando la válvula de entrada, carece de ellas, ya que ninguna es necesaria para su operación normal.

3) Es de gravedad, ya que ninguna presión adicional a la producida por una columna de agua de 1.5 m, es la que necesita para su operación.

Como ocurre en cualquier otro tipo de filtro de agua, se tienen 3 fases en su ciclo de operación:

1) Fase de enjuague.- Para mayor claridad se supone que el filtro acaba de completar la fase de contralavado y que el filtro pasa ahora a la fase de llenar el compartimiento del agua de lavado, situando en la parte superior de cada filtro (llamada cámara # 4); entonces el agua del canal colector (cámara # 1) del agua del precipitador fluye hacia abajo por la tubería "A" y entra a la cámara anterior a la filtración (cámara # 2). El agua pasa al través de la arena, enjuagándola y asentándola uniformemente, y después al través de los coladores de plástico que forman el fondo, pasando a la cámara # 3 que viene a constituir el falso fondo. De aquí pasa a las tuberías B₁ y B₂, hacia arriba, llenando la cámara # 4. Así se ve que el agua de enjuague tiene un doble uso, pues además se emplea para el contralavado; cuando la cámara # 4 se ha llenado hasta la elevación de salida del agua filtrada, el enjuague está terminado. Ahora toda el agua que entra al filtro, pasa por el lecho de arena y después por los tubos B₁ y B₂ al canal de agua filtrada.

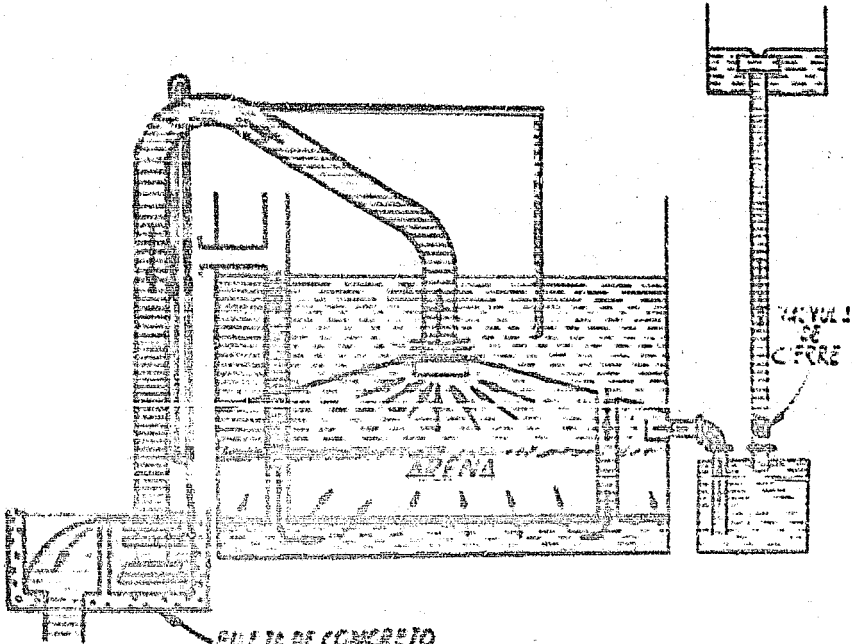
2) Fase de filtración.- Mientras transcurre la corrida de un filtro, la pérdida de carga al través de la arena aumenta y ésta ---



PRINCIPIO DE LA FASE DE ENJUAGUE

pérdida se refleja en el aumento de elevación de niveles de agua en las tuberías A y C. por el principio de vasos comunicantes. En estas condiciones, la diferencia de nivel de agua en la cámara # 4 y en la tubería C, da la medida de la pérdida de carga producida por el medio filtrante, por razón de las materias retenidas en la arena. Durante la operación, la pérdida de carga aumenta progresivamente y el nivel de agua en la tubería C se eleva hasta que llega el momento -- en que el agua en dicho tubo C, alcanza la elevación máxima; cuando esta condición se alcanza, el agua no pasará más al través de la cámara # 3 o falso fondo y la correspondiente a la tubería B hasta el canal de agua filtrada, siendo que estas pérdidas exceden ligeramente de 1.5 m. mientras que la pérdida de carga al través de la tubería C no llega a esta cantidad y el agua seguirá elevándose en la tubería C hasta sobrepasar el límite máximo de esta tubería; entonces la tubería K se llenará de agua que descenderá hasta el eyector L donde se producirá vacío, extrayendo el aire del tubo C. En estas condiciones, el agua del tubo C, descenderá por K y G haciendo mayor vacío en el tubo G y quedando el sifón que constituye el tubo C, -- cabado. Al mismo tiempo, al extremo del tubo C está sellado por el agua del pozo de descarga de la tubería G y por lo tanto cuando se hace el vacío en la parte superior, el agua se eleva por el tubo C -- y también por el brazo de C, que queda afuera del filtro, por el ascenso del agua del pozo, lo que contribuye a cebar completamente el sifón que forma la tubería C y por lo tanto se inicia la fase de lavado del filtro.

3) Fase de lavado.- El flujo de lavado está fijado para

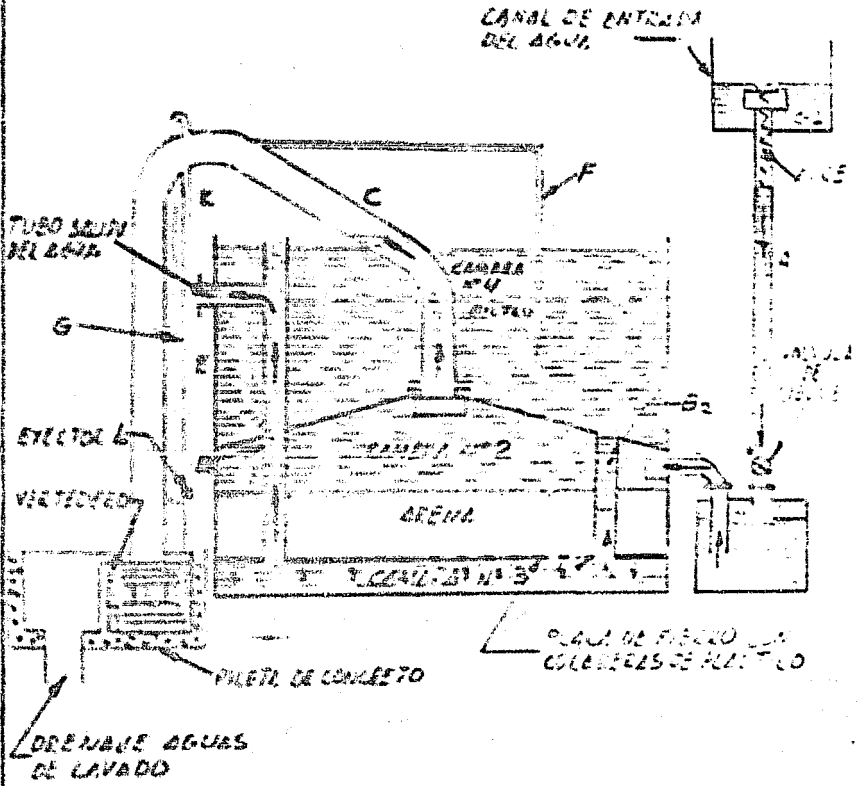


PILETA DE CONCRETO

PRINCIPIO DE LA FASE DE LAVADO

comenzar a razón de 18 gpm/pie² y terminar a 12 gpm/pie², lo que da un promedio de 15 gpm/pie². Puesto que no hay válvulas en la instalación, el agua proveniente del precipitador se utiliza también como agua de lavado, que con la depositada en la cámara # 4, pasa al desagüe general de la planta por las tuberías C y G: por consiguiente estas tuberías, tendrán una medida suficiente para conducir un flujo mínimo de 20.5 gpm/pie², compuesto de 2.5 gpm/pie² (mínimo) de la entrada y 18 gpm/pie² del flujo inicial del agua de lavado de la cámara # 4.

Ahora bien, puesto que un flujo de 20.5 gpm/pie² está pasando por las tuberías C y G y sólo 2.5 gpm/pie² provienen de la tubería A, la diferencia de flujos debe salir de la cámara # 4, lo que da lugar a que el flujo por las tuberías B₁ y B₂ se invierta y el agua pase al través de B₁ y B₂ a la cámara # 3 y de ahí a los coladores y el lecho de arena expandiendo y lavando la arena en la cámara # 3 de donde sigue hacia arriba por los conductos C y G, arrastrando la turbiedad depositada en la arena llevándola hacia el drenaje general de la planta. El pozo de descarga P recibe el agua por el tubo G cuyo extremo queda siempre tapado por el agua de este pozo y contiene un dispositivo para ajustar el flujo de lavado. Posteriormente el nivel del agua de la cámara # 4 desciende lo suficiente para descubrir el extremo inferior de la tubería F de ruptura del sifón, admitiendo aire en las tuberías C y G, interrumpiendo la operación de lavado. Esta operación hace volver al filtro a la fase de enjuague.



PRINCIPIO DE LA FASE DE FILTRACION

• Ingeniería y construcción (70% del costo físico) --	\$ 1,037,000.00
Suma (costo directo) -----	6,172,000.00
• Contrato (9% del costo directo) -----	308,600.00
contingencias (15% del costo directo) -----	925,800.00
Suma (capital fijo) -----	7,406,400.00
Capital de trabajo (6% del capital fijo) -----	592,512.00
Capital total (capital fijo + capital de trabajo) -	7,998,912.00

II.- Costo de clarificación (por m³)

Base: 1 año (365 días); Volumen agua tratada
 día = 3,000,000 m³.

Concepto	Costos asignados	Totales
	70 ppm Ca(OH) ₂ -----	\$ 34,339.00
Materias primas	90 ppm Al ₂ (SO ₄) ₃ --	193,086.00
	1.5 ppm Cl ₂ -----	7,260.00
		\$ 234,785.00
Mano de obra:		
1 ½	horas de operación (35 \$/día	\$ 50,000.00
1	ingeniero químico supervisor --	
	(140 \$/día) -----	60,000.00
3 ½	trabajadores de agua (60 \$/día)	60,000.00
1	electricista especialista -----	
	(55 \$/día) y un ayudante respec-	
	tivo (35 \$/día) -----	40,000.00
1	médico especialista (55 \$/día)	
	y su ayudante respectivo -----	
	(35 \$/día) -----	40,000.00
4	obreros generales (25 \$/día) --	43,000.00
	Total costo anual mano de obra -----	\$ 293,000.00

Servicios:

Electricidad- 2 bombas operando consumen 558 HP. Si el factor de carga es 0.85, la energía consumida es:

$$558 \times 0.85 \times 0.746 = 346 \text{ Kw}$$

$$\text{Alumbrado estación de bombeo} = 3 \text{ Kw}$$

$$\text{Alumbrado planta potabilizadora} = 10 \text{ Kw}$$

$$\text{Consumo total} = 369 \text{ Kw}$$

Si se consideran 360 días de trabajo continuo y a 0.15\$/Kwh

$$\text{se tiene: } 369 \times 360 \times 24 \times 0.15 = \$ 480,000.00$$

$$\text{Mantenimiento (5% del costo total de la planta)} = \$ 369,286.00$$

$$\text{Depreciación (15 años de vida útil)} = \$ 343,000.00$$

$$\text{Impuestos (2% de la inversión total)} = \$ 170,000.00$$

$$\text{Costos de administración (30% del costo de mano de obra)} = \$ 87,900.00$$

$$\text{Costo total de clarificación anual} = \$1,977,972.00$$

• Ingeniería y construcción (70% del costo físico) --	\$ 1,037,000.00
Suma (costo directo) -----	6,172,000.00
• Contrato (5% del costo directo) -----	308,600.00
contingencias (15% del costo directo) -----	925,800.00
Suma (capital fijo) -----	7,406,400.00
Capital de trabajo (8% del capital fijo) -----	592,512.00
Capital total (capital fijo + capital de trabajo) -	7,998,912.00

II.- Costo de clarificación (por m³)

Base: 1 año (365 días); Volumen agua tratada = 3,066,000 m³.

Concepto	Gastos asignados	Totales
	70 ppm Ca(OH) ₂ ----	\$ 34,339.00
Materias primas	90 ppm Al ₂ (SO ₄) ₃ --	193,038.00
	1.5 ppm Cl ₂ -----	7,260.00
		\$ 234,785.00
Mano de obra:		
3 ½ bombas de operación (35 \$/día	\$ 50,000.00	
1 ingeniero químico supervisor --		
(140 \$/día) -----	60,000.00	
3 ½ trabajadores de agua (40 \$/día)	60,000.00	
1 electricista especialista -----		
(55 \$/día) y un ayudante respag		
tivo (35 \$/día) -----	40,000.00	
1 mecánico especialista (55 \$/día)		
y su ayudante respectivo -----		
(35 \$/día) -----	40,000.00	
4 obreros generales (25 \$/día) --	43,000.00	
Total costo anual mano de obra -----		\$ 293,000.00

Servicios:

Electricidad- 2 bombas operando consumen 558 HP. Si el factor de carga es 0.85, la energía consumida es:

$$558 \times 0.85 \times 0.746 = 346 \text{ Kw}$$

Alumbrado estación de bombeo = 3 Kw

Alumbrado planta potabilizadora = 10 Kw

Consumo total ----- 369 Kw

Si se consideran 360 días de trabajo continuo y a 0.15\$/kwh

se tiene: 369 x 360 x 34 x 0.15 ----- \$ 480,000.00

Mantenimiento (5% del costo total de la planta) -- \$ 369,286.00

Depreciación (15 años de vida útil) ----- \$ 343,000.00

Impuestos (2% de la inversión total) ----- \$ 170,000.00

Gastos de administración (30% del costo de mano - \$ 87,900.00

de obra) -----

Costo total de clarificación anual ----- \$1,977,971.00

Costo unitario = $\frac{1,977,971.00}{3,066,000.00}$ = 0.65 \$/m³ agua clarificada.

CAPITULO SEPTIMO

CONCLUSIONES

De acuerdo con el estudio efectuado, se concluye lo siguiente:

1.- Es necesaria la construcción e instalación de una planta potabilizadora para purificar el agua bombeada del Rio Tecolutla con objeto de suministrarla a la ciudad de Papantla, Veracruz, tanto por ser una necesidad de primer orden, como por el ritmo de progreso que acarrearía en todos los aspectos.

2.- Según los cálculos de necesidades de agua, es necesario aumentar la capacidad de bombeo de la estación para suministrar el caudal necesario y se propone que el sistema diesel sea cambiado a sistema eléctrico totalmente. El sistema de toma está bien localizado y se cuenta con tuberío, suficiente para transportar el flujo necesitado, por lo que ambos sistemas se mantendrán en las mismas condiciones.

3.- El agua bombeada requiere un tratamiento para clarificarla y desinfectarla. Al emplear un coagulante ácido como el sulfato de aluminio, para mantener un pH adecuado para un agua potable, es necesario añadir una sustancia alcalina como la cal hidratada y para desinfección se añade cloro como bactericida, para mantener 1.0 ppm en el afluente de los filtros (como cloro residual libre). Para efectuar el tratamiento no es posible fijar una norma constante de dosificación, dadas las variaciones continuas del agua del río, sino que hay necesidad de efectuar pruebas continuas de floculación para determinar la cantidad de reactivo necesaria.

4.- Se propone que la planta potabilizadora sea construida en el--

carro "Campanario" por la facilidad de efectuar todo el proceso por gravedad, inclusive facilita la alimentación y distribución del agua para toda la población, ya que se encuentra en una situación estratégica.

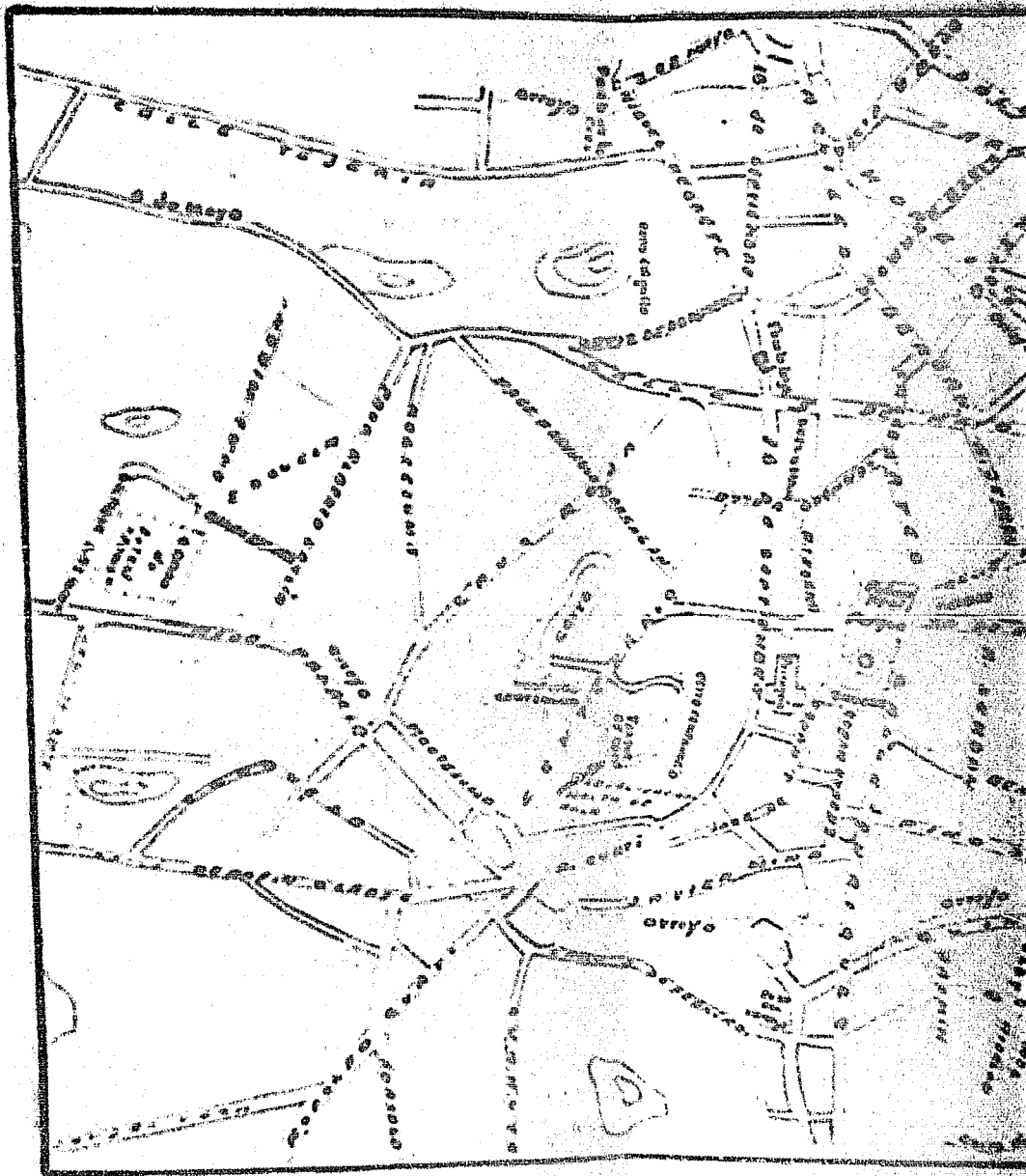
5.- El costo de clarificación por m³ da un valor económico, pero sin tomar en cuenta el sistema de distribución; aún así, la mayoría de los sistemas de agua potable de este tipo son rentables y no hay probabilidades de inestabilidad del sistema.

6.- Para la instalación del sistema, será necesaria una fuerte presión por parte del municipio para que el Gobierno Federal tome interés en el problema, a través de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, así como ante el Gobierno Estatal, para que en mutua cooperación, de acuerdo con el programa actual de instalación de plantas potabilizadoras, sea factible contar con tan necesario servicio.

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- American Society for Testing Materials, A.S.T.M., Philadelphia, 4, - 235 (1958).
- 2.- American Public Health Association y American Water Works Association, Standard Methods for the Examination of Water and Sewage, A. P.H.A., New York, 195(1936).
- 3.- Gavira A. y Didiar G., Distribución de agua en las aglomeraciones, - Ed. Novartis, S. A., México, D. F., 435 (1961).
- 4.- Castillo R.M., Máquinas hidráulicas, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (I.P.N.), Reproducciones Gutenberg, México, D. F. 1-19 (1960).
- 5.- Caballero J.P., Discusión sobre las normas de calidad de agua potable, Ingeniería hidráulica en México (S.R.H.), 2° trimestre, 34 --- (1950).
- 6.- De silve R.M. y Brando P.M., Estudio del costo de barril de agua --- tratada para inyección al yacimiento San Andrés, Distrito Poza Rica, Veracruz. Superintendencia General de Construcción y Mantenimiento y Servicios Auxiliares (Petróleos Mexicanos), México, D. F., 30 (1966)
- 7.- Fair G.M. y Geyer J.C., Water Supply and Waste Water Disposal, John Wiley & Sons, Inc., New York, 565 (1954).
- 8.- García E.M., Unidad cultural en Papantla, Veracruz, Tesis. Facultad de Arquitectura, Universidad Veracruzana, Jalapa, Veracruz (1965).
- 9.- Hops H.P., Apuntes sobre tratamiento de aguas, Facultad de Química, U.N.A.M. (1962).
- 10.- Hillebos H.E., Manual de tratamiento de aguas, New York State Department of Health, Ed. Limusa Wiley, México, D. F., 79 (1965).
- 11.- Hordell E., Water Treatment for Industrial and Others Uses, Reinhold, Publishing Corp., New York 213, 348 (1961).
- 12.- Pfaudler Permatit, Filtro automático de gravedad sin válvulas, Catálogo, (1959).
- 13.- Hase H.F. y Barrow N.H., Project Engineering of Process Plants, --- John Wiley & Sons, Inc., New York, 263, (1958).
- 14.- Secretaría de Recursos Hidráulicos (Dirección de Hidrología), boletín hidrológico # 20, 24, 76, 126, 145 (1963).

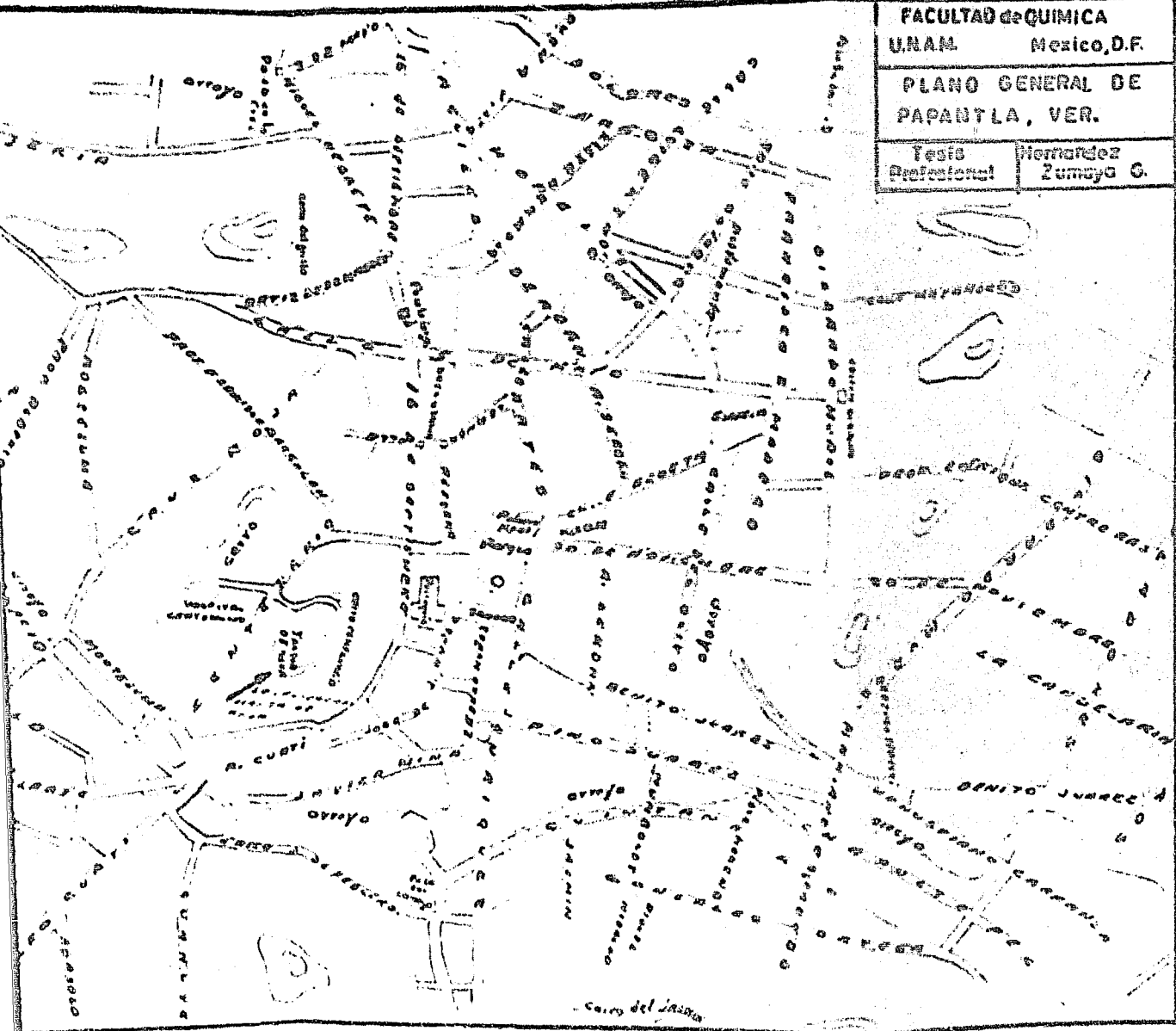
15. - Steel E. W., Abastecimiento de agua y alcantarillado, Ed. Gustavo Gili, S.A., Barcelona, 283 (1958).
16. - Wilbrandt F.C. y Dryden Ch.E., Ingeniería química del diseño de plantas industriales, Ed. Grijalbo, S.A., México, D. F., 263 (1958).

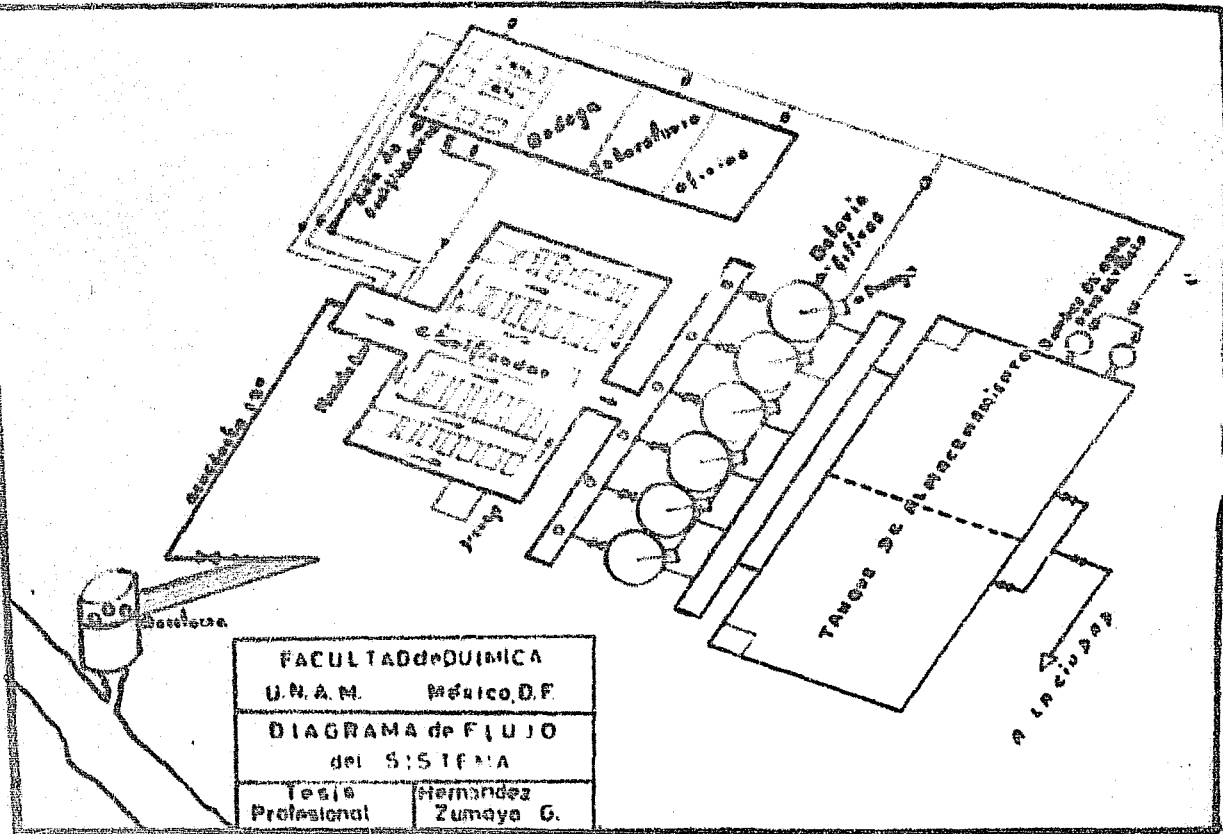


FACULTAD de QUIMICA
UNAM Mexico, D.F.

PLANO GENERAL DE
PAPANTLA, VER.

Teófilo
Profesional Hernandez
Zumbado G.





FACULTAD DE QUÍMICA	
U.N.A.M. México, D.F.	
DIAGRAMA de FLUJO del SISTEMA	
Tesis Profesional	Hernández Zumaya G.