



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

APLICACION DE OZONO EN ESCALA MUNICI-
PAL PARA TRATAMIENTO DE AGUAS
EN LA PLANTA POTABILIZADORA
"SANTA CATARINA"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :
HUMBERTO A. ACEVES LEMUS



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.

J U R A D O:

PROP.: CARLOS KOBEH HEDERE.

V O C A L " : MANUEL BUENROSTRO GARCIA

SECRETARIO " : FERNANDO HEREDIA ACOSTA.

1er. SUPLENTE " : ALICIA BENITEZ DE ALTAMIRANO.

2o. SUPLENTE " : GIRA PIÑA PEREZ.

A LA MEMORIA DE MIS PADRES.

CON INMENSA GRATITUD A MI ESPOSA.

CARIÑOSAMENTE A MIS HIJOS.

CON APECTO A MIS HERMANOS Y HERMANAS.

CON RESPETO A MI ESCUELA Y MAESTROS.

COMO UN RECUERDO A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS.

C O N T E N I D O .

- I.-INTRODUCCION.
 - EL AGUA.
- II.-NORMAS DE AGUA POTABLE.
 - ANALISIS DE MUESTRAS.
 - TRATAMIENTOS CORRECTIVOS PARA AGUAS.
- III.-OZONO.
 - LOCALIZACION Y DESCRIPCION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.
- IV.-UNIDAD PRODUCTORA DE OZONO.
 - DESCRIPCION DEL EQUIPO EMPLEADO.
- V.-ESTUDIO COMPARATIVO.
 - COSTO DEL METRO CUBICO DE AGUA TRATADA.
 - REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

C A P I T U L O I

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

La Ciudad de México enfrenta serios problemas para el suministro de agua potable debido a: Por tratarse de la región de mayor importancia demográfica y socio-económica de la República Mexicana debido a que en ella se encuentra localizada la Capital del País, que constituye la máxima concentración de población que genera el 50 % de la producción industrial nacional.

Desde tiempos prehispánicos la cuenca del valle de México ha afrontado serios problemas de índole hidrológica, ya que no cuenta con recursos acuíferos superficiales para satisfacer las necesidades de sus pobladores, sus corrientes salvo contadas y mínimas -- excepciones no son permanentes y su régimen es torrencial, estando ampliada esta situación por la notoria falta de sitios naturales -- apropiados para el almacenamiento.

El bajo costo de venta del agua que impide una efectiva reinversión de los fondos obtenidos por el pago de cuota.

La proliferación de colonias de tipo popular con crecimiento y localizaciones anárquicas.

El alto porcentaje de desperdicios y fugas ocasionadas en gran parte por la inestabilidad del suelo, obligan a proporcionar una dotación muy alta.

Todo lo anterior condujo a:

Desarrollar exhaustivamente y aún en algunas ocasiones sobre -- explotar los acuíferos subterráneos:

La necesidad de hacer inversiones cada vez más cuantiosas para mantener la dotación de agua potable.

La construcción de plantas de re-uso del agua para algunos procesos industriales, enfriamiento y riego de zonas verdes.

La construcción de plantas de re-uso para intercambiar aguas--
negras tratadas para irrigación, por aguas subterráneas de calidad
propia para el abastecimiento de la Ciudad.

Erogaciones por estudios, anteproyectos y proyectos para explo-
tar fuentes lejanas que incluyen túneles, acueductos y plantas de
tratamiento costosos.

Tratar de disminuir la explotación de los pozos localizados en
la zona urbana de la Ciudad de México, con el objeto de frenar el
hundimiento, trayendo agua de acuíferos que no causen problemas.

Dentro del programa de prospección de aguas subterráneas, el -
Departamento del Distrito Federal, por conducto de la Dirección --
General de Obras Hidráulicas, realizó estudios para localizar acuí-
feros abundantes, encontrándolos en la zona oriente de la Ciudad,-
en las faldas de la Sierra de Santa Catarina.

Las perforaciones se realizaron con éxito encontrándose pozos-
con buenos rendimientos, pero con aguas de calidad objetable ya --
que no reunían las normas vigentes de potabilidad debido a que pro-
bablemente atraviesan zonas turbosas que les dan un elevado conte-
nido de Nitrógeno Amoniacal, alta concentración de sólidos, color-
amarillento, sabor y olor desagradables.

Los resultados de los estudios encaminaron a considerar conve-
niente la construcción de plantas Potabilizadoras para obtener - -
agua apta para la alimentación humana y usos domésticos.

Una de ellas se proyectó para tratar el agua de dos pozos a in-
mediaciones de la Unidad Habitacional de "Santa Cruz Meyehualco" a
la cual abastecerá, y la otra, materia de este estudio para la zo-
na de "Santa Catarina" para tratar el agua de nueve pozos, la que-
se inyectará al acueducto de Chalco para conducirse hasta la Esta-
ción de Iotepingo a donde pasará a la red de distribución de la --
Ciudad de México.

Lo importante de estas unidades de tratamiento es la utiliza-
ción por primera vez en Latinoamérica de Ozono a escala Municipal-
para reducir el color y la eliminación de olores y sabores.

Las fuentes de alimentación a estas unidades, se distribuyeron de la siguiente manera: de los aforos efectuados en los pozos se fijaron las capacidades nominales de 60 litros por segundo para "Santa Cruz Meyehualco" y de 500 litros por segundo para "Santa catarina" suficientes para abastecer a 17 500 y 150 000 habitantes respectivamente, con una dotación de 300 litros por habitante y por día.

Como se dijo antes, considerando las fuertes necesidades de agua señaladas, y el buen rendimiento del acuífero, se realizaron estudios, análisis de factibilidad técnica y económica para la explotación de los pozos, tratando las aguas para ajustarlas a las normas de potabilidad y contribuir con ellas al acueducto de Chalco, para el abastecimiento de la Ciudad.

EL AGUA

Aproximadamente cuatro quintas partes de la superficie de la tierra están cubiertas por agua, nada hay más profusamente distribuido, está en todas partes, y en cada una desempeña una función particular e importante.

En la constitución y en la economía de los seres vivos nada interviene en mayores proporciones que el agua. Dos terceras partes del organismo humano están formadas por ella y el setenta y cinco por ciento del alimento que el hombre consume es agua.

Muchas de sus propiedades son de lo más curioso, no concuerdan con las de otros cuerpos ni guardan similitud alguna con las de sus componentes. Las substancias químicamente semejantes son enteramente diferentes a ella, si con los métodos que la ciencia utiliza en ocasiones, se quisiera predecir su comportamiento por comparación o por similitud con otros cuerpos de constitución semejante esta predicción sería distinta de la realidad, si el agua fuera docil a la generalización, sería un gas a la temperatura ordinaria - cuyo punto de congelación estaría más bajo que el del mercurio.

Ser líquido es, ya en sí, una peculiaridad, pero ser líquido es además una paradoja. El agua, miembro prominente del Reino Mineral es móvil, en el curso natural que sufre sobre la tierra, se eleva y adquiere la sutileza del vapor, después cae, gotea, salta, fluye y se ondula. Desde un punto de vista geológico es una roca, pero esa roca tiene un movimiento mayor que el de muchos seres vivos.

Cada una de sus propiedades, o mejor dicho el conjunto de propiedades poco comunes que presenta el agua, el más profuso de los cuerpos, establece y sostiene el equilibrio y el concierto del mundo, la mecánica del planeta, su Geografía, su temperatura, el curso de las estaciones, la aparición de la vida, el crecimiento, la nutrición, reproducción, todo ello depende de las características-

particulares del agua. Si estas características no existieran o se modificaran, la Naturaleza sufriría un desquiciamiento total.

La capacidad calorífica del agua, o sea su propiedad de retener y acumular calor, es mayor que la de otros cuerpos, y la naturaleza la aprovecha con absoluta exactitud, utilizandola como vector en las corrientes marítimas para determinar el clima de los continentes y hacerlos habitables para el hombre y útiles para la vida de las plantas y de los animales.

El agua es uno de los pocos cuerpos que se dilatan al congelarse, debido a esta propiedad el hielo formado en los casquetes polares flota sobre la superficie del mar y entra en contacto con los rayos solares cuyo calor lo funde reintegrando el líquido a los océanos.

Sin esta característica peculiarísima del agua, el hielo se sumergiría, se acumularía en el fondo del mar y sólo una capa delgada de agua, aquella que pudiera ser atravesada por los rayos del sol, persistiría siendo líquida.

El agua es ácido y base a la vez, disuelve todo lo existente, desintegra la roca y la vuelve suelo, disuelve el suelo y nutre a la planta, es vehículo en el desdoblamiento de los alimentos de origen vegetal que sólo pueden ser aprovechados por el hombre y por los animales en virtud de esa rara cualidad que el agua tiene.

Así es el agua que estudiamos.

C A P I T U L O I I

NORMAS DE AGUA POTABLE

REGLAMENTO FEDERAL SOBRE OBRAS DE PROVISION DE AGUA POTABLE.

ARTICULO 7^o.--Se considera agua potable toda aquella cuya ingestión no cause efectos nocivos a la salud, para lo cual deberá llenar -- los requisitos siguientes:

I.-CARACTERES FISICOS: de preferencia, la turbiedad del agua no -- excederá del número 10 (diez) de la escala de sílice; y su color -- del número 20 (veinte) de la escala platino-cobalto. El agua será -- inodora y de sabor agradable. De no poderse cumplir con los requi- -- sitos anteriores, se admitirán aquellos caracteres físicos que -- sean tolerables para los usuarios, siempre que no sean resultado -- de condiciones objetables desde los puntos de vista bacteriológico y químico.

II.-CARACTERES QUIMICOS: Un p^H de 6.0 a 8.0 para aguas naturales -- no tratadas. Para aguas tratadas o sometidas a un proceso químico, se aplicarán las normas especiales de la fracción IV.

Un contenido, expresado en miligramos por litro o las comúnmente -- denominadas "partes por millon", de los elementos, iones y substan- -- cias que a continuación se expresan:

| | |
|--|------|
| Nitrógeno (N) amoniacal hasta..... | 0.50 |
| Nitrógeno (N) proteico hasta..... | 0.10 |
| Nitrógeno (N) de nitritos hasta..... | 0.05 |
| (con análisis bacteriológico aceptable) | |
| Nitrógeno de nitratos hasta..... | 5.00 |
| Oxígeno (O) consumido en medio ácido hasta..... | 3.00 |
| Oxígeno (O) consumido en medio alcalino, hasta..... | 3.00 |
| Sólidos totales, de preferencia, hasta 500, pero tole- randose hasta..... | 1000 |
| Alcalinidad total, expresada en $CaCO_3$ hasta..... | 400 |

| | |
|--|-------|
| Dureza total, expresada en CaCO_3 hasta..... | 300 |
| Dureza permanente o de no carbonatos, expresada en CaCO_3 , en aguas naturales de preferencia, hasta..... | 150 |
| Cloruros expresados en Cl^- , hasta..... | 250 |
| Sulfatos, expresados en SO_4^{2-} hasta..... | 250 |
| Magnesio, expresado en Mg^{2+} hasta..... | 125 |
| Zinc, expresado en Zn^{2+} hasta..... | 15.00 |
| Cobre, expresado en Cu^{2+} hasta..... | 3.00 |
| Fluoruros, expresados en F^- hasta..... | 1.50 |
| Hierro y Manganeso, expresados en Fe^{2+} y Mn^{2+} hasta.... | 0.30 |
| Plomo, expresado en Pb^{2+} hasta..... | 0.10 |
| Arsénico, expresado en As^{3+} hasta..... | 0.05 |
| Selenio, expresado en Se^{6+} hasta..... | 0.05 |
| Cromo hexavalente, expresado en Cr^{6+} hasta..... | 0.05 |
| Compuestos fenólicos, expresados en fenol, hasta..... | 0.001 |
| Cloro libre, en aguas cloradas no menos de..... | 0.20 |
| Cloro libre, en aguas sobrecloradas, no menos de 0.20- ni más de | 1.00 |

III.-CARACTERES BACTERIOLOGICOS:

El agua estará libre de gérmenes patógenos procedentes de contaminación fecal humana. Se considerará que una agua está libre de esos gérmenes cuando la investigación bacteriológica de como resultado final:

- a)-Menos de (20) organismos de los grupos coli y coliforme por litro de muestra, definiendose como organismos de los grupos coli y coliforme todos los bacilos no esporógenos, Gram negativos, que fermenten el caldo lactosado con formación de gas.
- b)-Menos de (200) doscientas colonias bacterianas por mililitro de muestra, en la placa de agar incubada a 37°C por 24 Hs.
- c)-Ausencia de colonias bacterianas licuantes de la gelatina, cromógenas o fétidas, en la siembra de un mililitro de muestra en gelatina incubada a 20°C por 48 horas.

En los abastecimientos de agua potable el número mínimo de pruebas bacteriológicas completas o confirmatorias que se verifi-

quen mensualmente de muestreos en el sistema de distribución (con exclusión de todas aquellas que se originen de muestreos en las -- captaciones o en las plantas potabilizadoras para propósito de vi- gilancia), será el siguiente:

| NUMERO DE HABITANTES SERVIDOS | NUMERO MINIMO MENSUAL DE PRUEBAS BACTERIOLOGICAS |
|-------------------------------|--|
| 2 500 ó menos | 1 (una) |
| 10 000 | 7 (siete) |
| 25 000 | 25 (veinticinco) |
| 100 000 | 100 (cien) |
| 1 000 000 | 300 (trescientas) |
| 2 000 000 | 390 (trescientas noventa) |
| 3 000 000 | 450 (cuatrocientas cincuenta) |

Para las poblaciones con número intermedio de habitantes se requerirá el número de pruebas resultantes de la interpolación lineal - entre los datos que estén más cercanos en la anterior escala.

IV.-Las aguas tratadas químicamente para clarificación o ablanda-- miento, satisfacerán los tres requisitos siguientes:

a).-La alcalinidad a la fenolftaleína calculada como CaCO_3 , será me nos de 15 partes por millón, más 0.4 veces la alcalinidad total, - con un p^{H} inferior a 10.6

b).-La alcalinidad de carbonatos normales será menor de 120 partes por millón, para lo cual la alcalinidad total, en función del p^{H} , - estará limitada según la escala siguiente:

| VALOR DEL p^{H} | ALCALINIDAD TOTAL MAXIMA EXPRESADA EN CaCO_3 |
|---------------------------------|---|
| 8.0 a 9.6 | 400 |
| 9.7 | 340 |
| 9.8 | 300 |
| 9.9 | 260 |
| 10.0 | 230 |
| 10.1 | 210 |
| 10.2 | 190 |
| 10.3 | 180 |
| 10.4 | 170 |
| 10.5 a 10.6 | 160 |

c).--La alcalinidad total no exederá a la dureza total en más de - 35 mg. por litro o partes por millón, ambas calculadas como CaCO_3 . Los métodos que se usen para las investigaciones físicas, químicas y bacteriológicas anteriores, serán los que sugiera la Organización Mundial de la Salud o los que fije la Secretaría de Salubridad y Asistencia.

ARTICULO 8^o--La Secretaría de Salubridad y Asistencia exigirá que las obras de provisión de agua en servicio garanticen la potabilidad de la misma en su distribución.

ARTICULO 9^o.--Toda fuente de provisión de agua potable tendrá una zona de protección bien definida.

ANALISIS DE MUESTRAS.

Basandose en el Reglamento Federal sobre Obras de Provisión de agua Potable se procedió a hacer analisis del agua problema, encontrandose los siguientes resultados comparados con los valores limites. (Tabla 1)

Del estudio de la tabla 1 se concluye que el tratamiento deberá consistir en la reducción de color y la eliminación de nitrógeno amoniacal y olores y sabores desagradables, descartandose la reducción de sólidos totales disueltos por considerarse un tratamiento sumamente costoso y además no justificable, si consideramos que el único problema que pudieran originar sería el de dar al agua un sabor muy ligero al que los consumidores se acostumbran rápidamente.

Además deberá tomarse en cuenta que el agua tratada va a ser mezclada con agua de poco contenido de sólidos, lo cual refuerza el argumento anterior.

Veamos a continuación brevemente los conceptos y definiciones de color, olor, sabor, nitrógeno amoniacal, causas que los provocan y tratamientos correctivos.

T A B L A I

| CARACTERISTICAS | VALORES PROME DIO AGUA CRUDA | VALORES LIMITE | VALORES PRO MEDIO AGUA TRATADA |
|---|---------------------------------|----------------|--------------------------------------|
| Temperatura | 20°C | 10-15°C | 18°C |
| Color | 40 | 20 | 15 |
| Turbiedad | 0 | 0 | 0 |
| p ^H | 8 | 6 a 8 | 8 |
| Sólidos totales | 1150 | 1000 | 1150 |
| Sólidos suspendidos | 0 | 0 | 0 |
| Alcalinidad como CaCO ₃ | 780 | 400 | 780 |
| Dureza total como CaCO ₃ | 265 | 300 | 265 |
| Nitrógeno Amoniacal (N) | 2.5 | 0.5 | 1.0 |
| Nitrógeno de Nitratos (N) | 0.9 | 5.0 | 0.9 |
| Nitrógeno de Nitritos (N) | 0 | 0.05 | 0 |
| Cloruros como Cl ⁻ | 170 | 250 | 170 |
| Sulfatos como SO ₄ ²⁻ | 28 | 250 | 28 |
| Fierro como Fe ²⁺ | 0.3 | 0.3 | 0 |
| Manganeso como Mn ²⁺ | 0 | 0 | 0 |

Nota; valores en mg/l excepto temperatura y P^H.

SABOR Y OLOR.

Los organos del gusto y del olfato son notablemente sensibles- pero no preciso, de persona a persona varian mucho en su sensibilidad y aún la misma persona puede mostrar variaciones durante el día en sus percepciones.

En términos generales podemos decir que el sabor en el agua es tá íntimamente relacionado con el olor y que es causado por las mismas condiciones.

Los psicólogos afirman que sólo existen cuatro verdaderas sensaciones de sabor o gusto y son: agrio, dulce, salado y amargo. Todas las otras sensaciones que por lo general se atribuyen al sentido del gusto son realmente olores, aunque la sensación real se percibe hasta que el material se lleva a la boca.

El sabor es una medida de aceptación del agua por el consumidor, aunque cómo sucede con el olor un cambio en sus características puede causar reclamaciones si los consumidores se han acostumbrado a determinado tipo de sabor; el sabor también se determina como una comprobación de la calidad del agua cruda y del agua tratada.

Los olores ocurren en las aguas debido a la presencia de sustancias extrañas, algunas volátiles, generalmente orgánicas cuando hay descomposición de las mismas, aunque también producen olores algunas inorgánicas como el ácido sulfhídrico. La intensidad y lo ofensivo de los olores varía con el tipo de contaminación, algunos son a tierra y moho mientras que otros son putrefactos, algunos olores de las aguas superficiales son producidos por desechos domésticos e industriales o una combinación de todos ellos, tales como el fenol o derivados del petróleo, en otros casos son producidos por el plancton, estos organismos desprenden pequeños vestigios de aceites esenciales volátiles, según el tipo y concentración liberados pueden ser aromáticos, dulzones y florales, otros son a pescado o chiqueros.

Las sales metálicas como el cobre, cinc, hierro, manganeso, sodio y potasio pueden causar sabores metálicos y ser identificadas cuando se encuentran disueltas, sin embargo esta materia mineral puede impartir sabores pero no olores al agua.

Las concentraciones que producen un sabor varían de unos cuantos décimos a varios cientos de miligramos por litro, algunas sustancias se identifican cuando existen en concentraciones de unos cuantos microgramos por litro, con frecuencia son de carácter químico complejo y es imposible y nada práctico su aislamiento e identificación químicos, la evaluación se deja al sentido del olfato.

Los cloruros y los sulfatos en concentraciones mayores de 250-miligramos por litro hacen que el agua tenga un sabor salado.

COLOR.

El color en el agua es de dos tipos:

Color verdadero.-Es el que está presente en el agua después de haberse removido la materia suspendida.

Color aparente.-Es el color verdadero más cualquier otro color que produzcan sustancias en suspensión.

El color en el agua, es ocasionado generalmente por la extracción de materia colorante del humus de los bosques o de la materia vegetal de los pantanos y areas de poca profundidad.

Esta materia colorante está formada, por compuestos del humus- o sea la descomposición de las materias orgánicas de origen vegetal, aunado al ácido tánico, los cuales originan el color café amarillento como el té en las aguas.

En ciertos casos el color puede ser impartido por el hierro disuelto, o por descarga de desechos industriales cuando el agua procede de abastecimientos superficiales.

Lo atractivo de una agua, depende notablemente del color, o de su apariencia física, dependiendo desde luego del color al cual se haya acostumbrado el público consumidor de determinada localidad.

Generalmente el público acepta el agua cuando tiene menos de 15 unidades de color, aunque es deseable un color de menos de 5 unidades. La eliminación del color es una función del tratamiento del agua y es una medida para apreciar la eficiencia de la planta.

La determinación del color se hace por el método de comparación, con tipos de disoluciones de platino-cobalto y la unidad de color será la impartida al agua por un miligramo de platino disuelto en un litro de agua.

Se preparan tipos de disoluciones cobalto-platino en tubos Nessler de 50 ml.

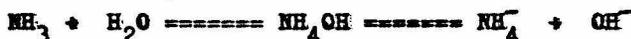
NITROGENO AMONIACAL. X

El amoniaco, es el producto de reducci3n extrema y m1s estable que se origina de la descomposici3n de las combinaciones nitrogenadas de los organismos vegetales y animales, se forma siempre que entran en putrefacci3n sustancias org1nicas, siendo reconocible por su fuerte olor.

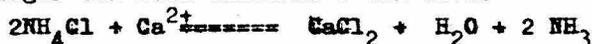
El nitr3geno amoniacal se encuentra presente en concentraciones variables en aguas superficiales y profundas, siendo el producto de actividad microbiol3gica el nitr3geno amoniacal cuando se encuentra en aguas superficiales, se considera que es una evidencia qu1mica de contaminaci3n sanitaria.

La presencia en aguas profundas es general considerarlo como resultado de procesos naturales de reducci3n.

El amoniaco se une con el agua formando hidr3xido de amonio. (agua amoniacal)



El hidr3xido am3nico se comporta como los hidr3xidos alcalinos pero constituye una base m1s debil que 3stos, es as1 como el i3n amonio guarda semejanza con los iones alcalinos. El reconocimiento del nitr3geno amoniacal, o de sus iones amonio en sustancias o soluciones acuosas se puede verificar calentando las sustancias a investigar con sosa ca1stica o cal viva.



El amoniaco se evapora y puede distinguirse por su olor caracter1stico o por las nubes blancas de cloruro de amonio que forma con 1cido clorh1drico, tambi3n puede comprobarse su presencia por que azulera el papel tornasol rojo humedecido, como el amoniaco es la 1nica base volatil inorg1nica estable, no es dudosa, pero todav1a es m1s decisivo el reconocimiento con el reactivo de Messler en el cual el l1mite de sensibilidad de esta reacci3n es de 0.05 miligramos de amoniaco en un litro de agua.

TRATAMIENTOS CORRECTIVOS PARA AGUAS.

Se necesita considerar cada problema desde un punto de vista individual, resultando de esto una serie de procedimientos que necesariamente no pueden ser aplicados a la mayoría de los casos.

Para lograr los objetivos indicados se procedió a realizar una serie de pruebas de laboratorio utilizando diversos tipos de tratamiento, que incluyen desde la aeración, coagulación química, filtración, el empleo de carbón activado y el uso de cloro y ozono.

La aeración es un tratamiento relativamente sencillo y se practica en el tratamiento de agua por tres razones: introducir oxígeno del aire, para dejar que escapen los gases disueltos como el dióxido de carbono y el ácido sulfhídrico y para eliminar las sustancias volátiles que causen olor y sabor.

La introducción del oxígeno constituye la primera etapa en el proceso de eliminación del hierro y el manganeso por filtración.

La eliminación del dióxido de carbono mediante la aeración es un método para hacer que la acción corrosiva de las aguas de un abastecimiento sea mínima. En la práctica es difícil disminuir la concentración del gas por debajo de 5 mg/l por aeración solamente debido a la presencia normal de este gas en la atmósfera.

También es limitada la efectividad de la aeración para eliminar olores y sabores, no pudiendo considerarse como sustituto del control preventivo o de procesos de tratamiento más adecuados. La aeración puede llevarse a cabo por métodos muy diversos; en el laboratorio se hicieron pruebas en depósitos de cinco litros que tenían agua cruda sin ningún tratamiento haciéndose pasar aire durante quince minutos de contacto, encontrándose bastante efectiva la eliminación del ácido sulfhídrico de la misma.

Se ha encontrado que el método más eficaz de tipo industrial consiste en usar aspersores por medio de los cuales el agua se pulveriza en la atmósfera hasta formar neblinas o gotas muy pequeñas.

Otro método consiste en descargar el agua por medio de una tubería elevada que la lleve a una serie de artesas de la que el agua cae a través de pequeños agujeros del fondo o por derrame.

Una modificación a estos procedimientos consiste en dejar que el agua salpique y escurra por una serie de artesas o lechos que contengan coque, piedra triturada, material rasching o porcelana. Además, otra modificación sería y la cual ayuda grandemente a la eliminación de los gases presentes, es forzar el paso de aire comprimido dentro del agua que se va a tratar.

En nuestro caso se diseñaron columnas cerradas de mampostería conteniendo material de porcelana, tubería elevada para dejar escurrir el agua por tratar y además inyección de aire comprimido por la parte inferior a contra corriente.

El control de laboratorio en el proceso de aeración consiste en llevar a cabo determinaciones de la concentración de oxígeno disuelto, del dióxido de carbono y del ácido sulfhídrico así como del P^H después del proceso, si la concentración del oxígeno disuelto es de 7 a 10 mg/l, la del dióxido de carbono de 3 a 5 mg/l y no hay ácido sulfhídrico, el proceso de aeración se toma como eficaz.

La teoría de diseño que se tomó en cuenta para el proyecto de los desgasificadores o aeradores es la de transferencia de gas y operaciones de transferencia de masa, absorción y desabsorción de gas que tienen extensas aplicaciones en procesos de tratamiento en la Ingeniería Sanitaria.

Filtración.— Los ensayos de filtración se llevaron en el laboratorio primero sobre papel filtro del agua cruda por tratar, para determinar si el color del agua se debía a turbiedad por la presencia de sólidos suspendidos tales como arcilla, limo, materia orgánica finamente dividida, plancton y otros organismos microscópicos encontrándose que disminuía poco o casi nada la coloración del agua ya que no se encontró turbiedad.

Con el empleo de filtros lentos de arena se tiene una disminución del color de cerca del 40 %, evidentemente que se requiere un pretratamiento antes de la acción filtrante para eliminar concentraciones bajas de turbiedad, bacterias y color. La velocidad de filtración en los filtros lentos es tan baja que se requiere de grandes superficies.

Lo anterior hizo pensar en el empleo de los llamados filtros rápidos donde es posible usar lechos de arena más gruesa y operarlos a mayores gastos sin que se obstruyan rápidamente.

Los aspectos característicos de este tipo de filtro son: paso rápido a través de la capa de arena, lavado de la arena por medio de reversión del flujo de agua o en algunos casos empleando medios mecánicos, la superficie ocupada por el filtro rápido es de 1/10 a 1/100 menos que la ocupada por un filtro lento, el tamaño de la arena para filtro varía de 0.35 a 0.60 mm. el espesor del lecho de arena es de 60 a 75 cm. y descansa sobre 25 a 50 cm. de grava graduada y base especial para filtración, y la velocidad de filtración 40 veces mayor que la de los filtros lentos.

Coagulación química.—Existen cierto número de sustancias químicas que se pueden emplear para el tratamiento de agua, algunas de ellas son: alumbre o sulfato de aluminio, alumbre activado que contiene sílice, el alumbre negro que contiene carbón activado, aluminato de sodio, caparrosa verde, vitriolo verde o sulfato ferrroso, el cloruro férrico y el sulfato férrico.

La reacción fundamental que se verifica usando cualquiera de los coagulantes mencionados, depende de la presencia de alcalinidad en la forma que sea, ya que el flóculo que se produce es de hidróxido de aluminio o de hidróxido de hierro.

Generalmente se usa el sulfato de aluminio comunmente llamado alumbre, es una sustancia barata facilmente soluble en el agua y su aplicación es bastante sencilla ya sea en forma de solución o como material seco.

Hay varias operaciones importantes en este método que controlar y se designan con los nombres de:

Mezclado.—Se entiende por mezclado la distribución uniforme y rápida de un coagulante, reactivo u otro producto químico al agua por tratar, antes de que se verifiquen reacciones químicas en proporción notable.

Coagulación.—Se refiere a la formación de flóculos precipitados o incipientes mediante agitación o cambios físico-químicos que

tienen lugar entre el coagulante soluble y la alcalinidad del agua o sea producir coalescencia entre las partículas para formar nuevo tamaño de partículas coagiladas o aglomerarlas para aumentar la velocidad de sedimentación y separación de la fase líquida.

→ Floculación.- Consiste en la agitación suavemente del agua tratada con coagulante, durante un período de tiempo apreciable para completar las reacciones de coagulación hasta alcanzar condiciones que permitan que el material floculante se junte y adhiera formando grandes masas de floculos.

→ Sedimentación.- Para separar el agua del material sedimentado se dispone de un tipo especial de tanque para espesar el material-floculado sedimentado. Por lo general es un tanque de sedimenta-ción con una estructura a través de la cual fluye el agua a tan baja velocidad que el material suspendido caerá depositándose en el fondo, saliendo del tanque una agua relativamente clara.

Los factores de operación más importantes de un tanque de sedimentación son: Que el agua al entrar en el tanque provoque la mínima turbulencia; el impedir corrientes en corto circuito o directas entre la entrada y la salida; que el efluente salga sin provocar disturbios para que no arrastre hacia afuera del tanque el material sedimentado.

Algunos de estos tanques tienen mecanismos para hacer el arrastredel material sedimentado para eliminarlo a un drenaje o recircularlo, además puede ser operado continuamente lograndose el mínimo de acción bacteriana, desperdicio de agua, eficiencia máxima etc.

Generalmente se especifican períodos de retención de 3 a 6 horas y velocidades horizontales menores de 0.90 m por minuto.

El control de laboratorio, consistió en hacer pruebas en agua-cruda de acuerdo con su alcalinidad, el color el P^H , alumbre residual, cantidad de material sedimentado, olor y sabor eliminados.

Las dosificaciones de alumbre, se hicieron hasta determinar la óptima mediante la llamada "Prueba de las Jarras", esta técnica -- consiste en agregar cantidades conocidas de coagulante, a varios recipientes de agua por tratar agitando suavemente las mezclas du

rante un período de tiempo definido y observando después la calidad y características de sedimentación de los flóculos, encontrándose después de cierto número de pruebas, que la floculación con este método era incipiente a los 35 minutos de agitación y hasta los 40 minutos el flóculo se obtenía muy fino, por lo que es indispensable recircular parte del agua floculada y haciéndose necesario - agregar 150 mg/l de coagulante.

Como el agua que se obtenía quedaba dentro de las normas de color olor y sabor se tomó como alternativa para proyecto de la planta, tomándose como base para el estudio económico un gasto de 500-litros por segundo, el cual está explicado en el capítulo V.

Tratamiento con carbón activado.- Los carbones activados comerciales empleados como adsorbentes, se agrupan tomando como base su estructura física, sus propiedades y sus aplicaciones en cuatro -- clases. 1) Carbones decolorantes 2) Adsorbentes de gases 3) Adsorbentes de metales 4) Medicinales.

Ningún tipo de carbón puede utilizarse universalmente, ni ser eficaz para todos los fines.

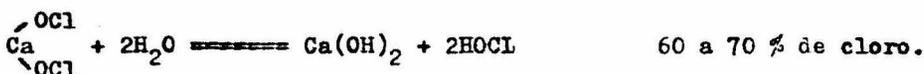
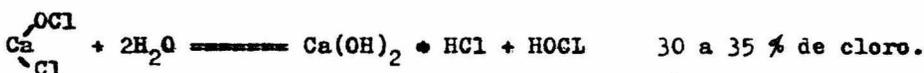
El carbón adsorberá las impurezas tales como material colorante, los olores y sabores hasta que se alcance un estado de equilibrio, después de lo cual el carbón no eliminará ya las sustancias de dicha solución particular.

Los resultados obtenidos en el laboratorio también por el procedimiento de Pruebas de Jarras, se obtuvieron bastante satisfactorios teniéndose un contacto óptimo de 5-10 minutos en el cual se eliminaba el color, olor y sabor quedando dentro de especificaciones como agua potable, usándose una dosis de 5 mg/l.

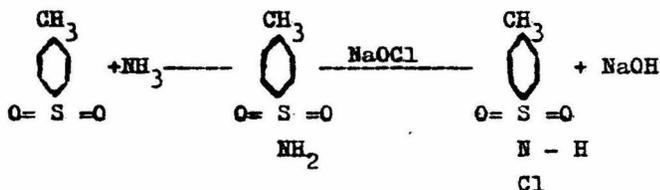
El inconveniente principal en este método, es que se requieren toneladas de carbón activado y acondicionarlo en columnas o filtros para su operación no siendo fácil esto por el costo tan elevado por tonelada que varía alrededor de \$ 12 000.00 empleo de equipo para reactivarlo, mano de obra etc., hicieron que se descartara esta posibilidad.

Tratamiento con cloro.— Es el método más generalizado para tratamiento de agua en abastecimientos públicos, obteniéndose agua de calidad sanitaria, el proceso será tan efectivo como lo sea el control para una desinfección eficaz.

Se aplica en forma de gas o solución de alguno de los diversos compuestos que lo contienen como el cloruro de cal o cloro-hipoclorito de calcio.



La cloramina T o cloracena que es un derivado de la p-toluen sulfonamida.



Siendo en todos los casos un desinfectante activo.

El tiempo de que se pueda disponer para que el cloro actúe sobre los constituyentes del agua, es uno de los aspectos más importantes en la práctica de la cloración, el tiempo mínimo de reacción debe ser de 10 a 15 minutos, pero sería preferible que se dejaran transcurrir varias horas para que se pudiese garantizar una desinfección efectiva sin que el agua llegue al consumidor con una concentración indeseable de cloro residual que podría ser inconveniente debido a la presencia de sabores y olores.

Si se quiere llevar a cabo con éxito una cloración, el cloro debe agregarse de manera que: 1) Se mezcle por igual y completamente con todas las porciones del agua por tratar. 2) Sea continua la dosificación de cloro. 3) Se aplique en cantidad suficiente para la clase de aguas que se estén tratando y grado que se desee.

De acuerdo con las características físicas y químicas de las - muestras y tomando en cuenta todos los factores y aspectos en las - determinaciones que se hicieron en el laboratorio, se encontró que para la naturaleza del agua problema tendrían que agregarse más de 10 mg/l para tener un cloro residual de apenas 0.2 mg/l, y un tiempo de retención mínimo de 30 minutos, dada su alta cantidad en sólidos, notándose además que el color después de una hora disminuía al rededor de 10 unidades del color original.

Por las razones vistas anteriormente se llegó a la conclusión de no llevar a cabo el diseño de una planta tratadora de agua con cloro.

→ Tratamiento con ozono.- El tratamiento con ozono no es un método nuevo, pero sólo hasta últimas fechas se le ha prestado atención y aplicado en escala municipal.

Tiene propiedades desinfectantes, siendo un potente germicida, se emplea también como agente oxidante para la destrucción de los compuestos orgánicos que producen olores y sabores en las aguas, - para destruir la materia orgánica colorante y para las formas reducidas de hierro y manganeso a óxidos insolubles que se pueden precipitar y filtrar del agua.

Tiene la ventaja decisiva de no producir sabores posteriores o residuales y de que no es de importancia un control cuidadoso de su dosificación si llega a excederse. El ozono es una forma activa e inestable del oxígeno, debe producirse en el lugar de aplicación en equipos llamados ozonizadores, en los cuales una descarga eléctrica transforma en ozono parte del oxígeno del aire.

Este aire ozonizado comprimido se hace burbujear a través del agua por tratar en los tanques de contacto.

La curva de la figura 1 (pag 22) nos muestra los resultados de laboratorio graficados como unidades de color en la escala Pt, Co vs. ozono aplicado en mg/l, viendose que si se aplican 5 mg/l de ozono se obtenia una coloración de 10 unidades en la misma escala a partir de agua cruda que tenía 40 unidades.

→ Así que había que considerar el equipo necesario para tratar - 500 litros por segundo que dan un total de 43 200 000 litros por - 24 horas de agua cruda a razón de 5 mg/l, se necesitarían 216 Kg.- de ozono.

De los resultados del laboratorio se puede concluir que los -- procesos aceptables era el de coagulación química y el de ozoniza- ción, requiriéndose en los dos casos una desgasificación previa pa- ra reducir los problemas de olores y sabores.

La secuencia de los procesos de tratamiento queda como se indi- can en los diagramas de la figura 2 pag.23, llamados Alternativa I la de coagulación química y Alternativa II la de ozonización.

Con base en dichos diagramas de proceso, se procedió al diseño de dos plantas completas de tratamiento para 500 litros por segun- do para las Alternativas I y II respectivamente y cuyo estudio eco- nómico se hace en el capítulo V.

Se hace notar que la cloración de las aguas tratadas se hará - en la Estación de Bombas de Xotepingo, por lo cual no se consideró dicho proceso en el diseño de las plantas.

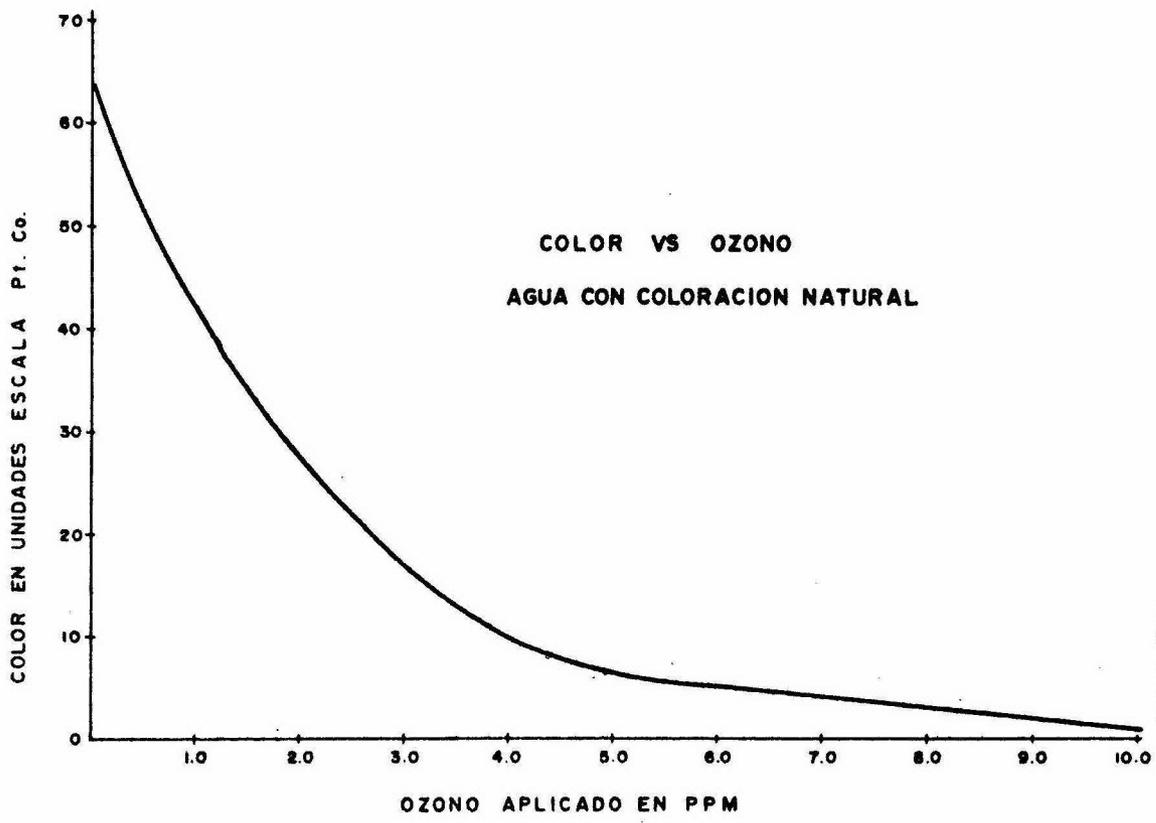
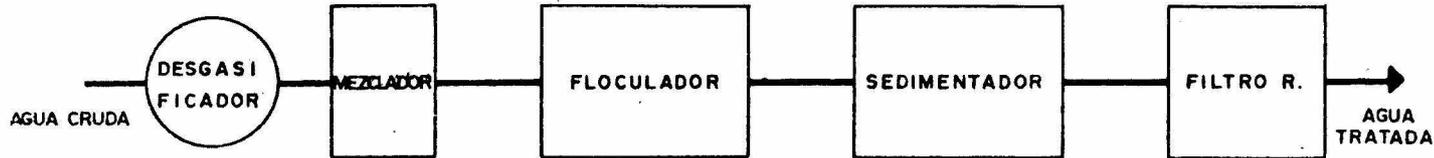


Figura 1.



ALTERNATIVA I



ALTERNATIVA II

Figura 2

C A P I T U L O I I I

O Z O N O

HISTORIA Y ESTADO NATURAL.

→ Su peso molecular 48, es un gas inestable con olor característico, picante, al cual se debe su nombre derivado del griego *osw* - yo huelo, que generalmente se encuentra diluido en mezclas de aire u oxígeno.

→ El olor de ozono en la vecindad de una maquina eléctrica o de chispas eléctricas en el aire, fué notado por Van Marum en 1785, - el mismo olor fué observado por Cruickshank en el gas formado por el ánodo, durante la electrólisis del agua en 1801. Sin embargo no se le dió importancia hasta 1840 cuando Schönbein reportó el olor cuando se oxidaba lentamente el fósforo en el aire, como el estado de una nueva substancia, Marignac y de La Rive, demostraron que el ozono es una variedad del oxígeno.

→ La preparación de mayores cantidades de ozono y de la primera máquina generadora de ozono por descarga eléctrica silenciosa, se debe a Werner Von Siemens (1816-1892) que observó en 1857 su formación en los tubos que llevan su nombre, cuando en ellos tiene lugar descargas silenciosas de corriente alterna de alta tensión, -- más tarde modificado e improvisado este artificio y siguiente progreso lo logró Soret en 1864, que concluyentemente demostró la fórmula triatómica del oxígeno O_3 sin que en realidad pudiera demostrarla.

La existencia de una sustancia unitaria de fórmula O_3 fué demostrada únicamente por Riesenfeld y Schwab en 1922 mediante su preparación en estado de pureza y determinación de la densidad.

→ El ozono es formado fotoquímicamente en la estratósfera de la tierra, en la atmósfera existen pequeñas cantidades de ozono, si se redujera el volumen de todos los gases que existen en la atmósfera a condiciones normales, ocuparía sólo la altura de ocho kilómetros, de estos la capa de ozono tendría solo tres milímetros

de espesor, en esta capa de ozono son absorbidos todos los rayos - ultra-violeta, entre 2200 y 3200 Å y puesto que los rayos de luz - ultra-violeta de onda más corta de 2200 Å son absorbidos por el - oxígeno, resulta que el límite ultra-violeta de luz solar que lle - ga a la superficie terrestre se encuentra casi en los 3200 Å.

La cantidad de calor originada a consecuencia de la radiación ultravioleta solar, es causa de que la temperatura a una altura - de 10 a 22 kilómetros , desde las 9.30 horas hasta las 14.00 per - manezca casi constante a -27°C . Por estas irregularidades en la - distribución de la temperatura y por tanto de la densidad en las - capas superficiales de la atmósfera, se explica aquella anomalía - de la propagación del sonido que se designa con el nombre de "Zo - na del Silencio".

El máximo de riqueza en ozono del aire está a una altura de - 22 kilómetros e incluso allí alcanza sólo a 1×10^{-6} partes en vo - lumen; sólo el 20 % de la cantidad total de ozono se encuentra - por debajo de los 22 kilómetros, en las proximidades de la corte - za terrestre contiene el aire 1×10^{-7} a 1×10^{-8} partes en volu - men de ozono.

A pesar de estas cantidades relativamente pequeñas, el conte - nido de ozono juega un importante papel en las condiciones meteoro - lógicas y climatológicas. A la absorción del ultrarrojo por el - ozono se debe que sea retenida una parte de la radiación calorífica que la superficie terrestre emite al universo, por esto el ozo - no de la atmósfera influye en el clima de manera análoga al vapor de agua.

→ OBTENCIÓN DEL OZONO.

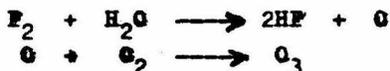
La formación de ozono a partir del oxígeno ocurre con absor - ción de energía.



La energía necesaria para ésta reacción se le puede suminis - trar de diversas formas:

1.-Reacciones químicas simultaneas, acopladas con la formación de ozono, si la energía es suficiente se forman átomos de oxígeno que se fijan a moléculas de oxígeno dando ozono.

Ejemplos: La oxidación del fósforo húmedo en el aire, el fluor sobre el agua, peróxido de hidrógeno y peróxidos por calor o adición de ácido sulfúrico.



2.-Mediante las llamadas descargas eléctricas oscuras o silenciosas en los tubos de Siemens, aquí la disociación del oxígeno es provocada por el choque de electrones, que adquieren del campo eléctrico alterno la energía cinética necesaria para ello, con enfriamiento suficiente de los tubos dieléctricos se puede obtener hasta el 12% de ozono a partir de oxígeno.

3.-Electrólisis de disoluciones acuosas. Cuando se electroliza ácido sulfúrico diluido, con alambre de platino como ánodo, con gran densidad de corriente anódica y buen enfriamiento, el oxígeno que se desprende en el ánodo contiene ozono.

4.-Radiación de oxígeno con luz ultravioleta bajo presión.

REACCIONES QUÍMICAS.

El ozono puro es muy explosivo, suave frotamiento de unos cristales contra otros es suficiente para que el ozono sólido estalle a -250° C. Esto se explica por la gran cantidad de calor que se libera en su descomposición.

A temperatura ordinaria con una riqueza de menos del 10 % en volumen es estable, pero que no estén presentes el cloro o el óxido de Nitrógeno.

El ozono se descompone rápidamente incluso estando diluido, esta descomposición es acelerada por la luz, la acción muy oxidante del ozono se pone de manifiesto a temperatura ordinaria, provoca oxidaciones que el oxígeno sólo es capaz de producir las a altas temperaturas.

Son oxidados casi todos los metales y semimetales con rapidez en presencia de vestigios de agua, los óxidos inferiores son transformados en los superiores por el ozono con más facilidad que por el oxígeno molecular.

Estas oxidaciones se pueden realizar de tal modo que una molécula de ozono, desprende un átomo grammo de oxígeno, que es quien actúa como oxidante y el resto gaseoso se desprende.



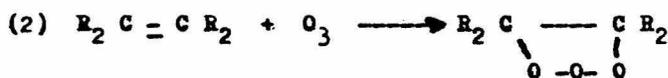
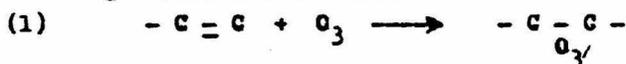
Como ejemplo de la primera reacción, sirve la acción del ozono sobre la disolución de yoduro potásico que se verifica según la ecuación:



El ejemplo de la segunda reacción es con el ácido sulfhídrico.



Sobre las sustancias orgánicas actúa el ozono fijando su molécula completa sobre ellos, sobre todo con hidrocarburos no saturados, en los que el ozono se sitúa en la doble unión dando ozónidos con las siguientes estructuras.



Los ozónidos poseen casi todos olor sofocante, son aceites espesos y fuertemente explosivos. La reacción usual para la determinación del ozono en el agua o en el aire, es la separación de yodo del yoduro de potasio.

LOCALIZACION Y DESCRIPCION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO E
INSTALACIONES CONEXAS.

LOCALIZACION.- Figura 3 pag. 31

La planta queda localizada en el pueblo de Zapotitlán, D. F., a 400 metros al norte de la parada Gloria, que está en el kilómetro 23.5 sobre la carretera México- Tlahuac- Tulyehualco.

DESCRIPCION.

La planta y sus instalaciones accesorias se pueden describir - siguiendo el sentido del escurrimiento del agua como sigue:

a).-Lineas de conducción de los pozos a la unidad de tratamiento;- Se instalaron aproximadamente 10 kms. de tubería de asbesto-cemento con diámetros de 30 a 50 cm.

b).-Distribuidor principal.-Las tuberías de llegada de los pozos - se conectan a la entrada de la unidad, a un distribuidor principal de 76 cm ϕ que conduce el agua a los desgasificadores, los cuales, cada uno tiene su alimentación propia controlada por una válvula - de 30 cm ϕ .

c).-Desgasificadores.-Los desgasificadores son cuatro, con capacidad de 125 lps. (litros por segundo) cada uno, del tipo de inyección de aire a contra corriente, empacados con material de porcelana, teniendo además sello hidráulico y registro de inspección.

En cada unidad está acoplado un ventilador operado eléctricamente.

d).-Medición.-Una vez que el agua ha pasado por los desgasificadores, se recolecta en un canal que la conduce a los tanques de contacto de ozono o a los filtros, dicha canal tiene un medidor - Parshall con indicador instantáneo de gasto, transmisor a control remoto y registrador-totalizador colocado en el edificio central.

e).-Tanques de contacto de ozono.-El agua desgasificada y medida puede pasar a los tanques de aplicación o a los filtros, dependiendo de los resultados de la operación, mediante un sistema especial de compuertas y válvulas.

Los tanques de contacto tienen ocho minutos de retención y para evitar cortes circuitos tienen mamparas intermedias, en el fondo se encuentran los difusores de aire ozonizado de material poro-

se. Los tanques están cubiertos y tienen mirillas de inspección — protegidas con cristales, existen también ventilas para permitir la dilución del ozono en la atmósfera.

f).—Ozonizadores.—Se instaló un moderno equipo de cinco ozonizadores, capaz de suministrar 275 kilogramos por día de ozono, se consideró para el cálculo una demanda promedio de 5 miligramos de ozono por litro de agua.

Los equipos son de la firma The Welsbach Corporation, zone processes division Philadelphia, Pa. para alojar estos se construyó una sala de 160 m². de superficie.

g).—Filtros.—El agua ozonizada y desgasificada o bien solamente — desgasificada, pasará a un sistema de seis filtros rápidos con capacidad de 85 litros por segundo cada uno y diseñados para una carga de 185 m³. por metro cuadrado y por día. Los filtros son de arena tipo convencional, con fondos Wheeler, colocados tres a tres a lo largo de la galería o sala de operación, el múltiple de agua — filtrada y los dos de drenaje son canales de concreto, todas las — válvulas son de mariposa y actuador neumático, también celdas transmisoras de diferencial de presión, en el piso de operación se instalaron seis mesas de operación con manijas para abrir y cerrar — las válvulas, indicador de pérdida de carga e indicador y registrador de agua filtrada, totalizador e indicador de agua de lavado.

h).—Estación de bombeo de aguas tratadas.—Las aguas desgasificadas filtradas y ozonizadas pasan a una cámara seca conectada con la estación de bombas de agua tratada, constituida por cuatro equipos — de 250 lps. contra 24 m. de carga dinámica cada uno, con lo cual — se tiene una capacidad de reserva de 100 %.

Las bombas son horizontales, de escurrimiento radial y caja bipartita, las cuatro bombas se conectan a un múltiple que se continúa con la conducción de aguas tratadas, la protección sobre-presiones debidas al golpe de ariete, consiste en un tanque neumático con orificio diferencial, conectado al múltiple. En la parte superior de esta sala se encuentra el tablero general de operación y control eléctrico.

i).-Conducción de aguas tratadas.-El múltiple de la estación de bombeo, que es de concreto de 76 cm. ϕ para conectarse al acueducto de Chalco tiene una longitud aproximada de 600m.

j).-Instalaciones accesorias.-La planta cuenta además con: Un edificio central con superficie construida de 300 m², con las siguientes facilidades: Hall de recepción, oficina principal, laboratorio sanitarios, almacén, taller, baños y casilleros para los operarios.

Un tanque elevado, construido de acero de 60 000 litros de capacidad, para el lavado de los filtros, el cual se alimenta con una tubería de 30 cm ϕ . conectada a la línea de conducción de agua tratada.

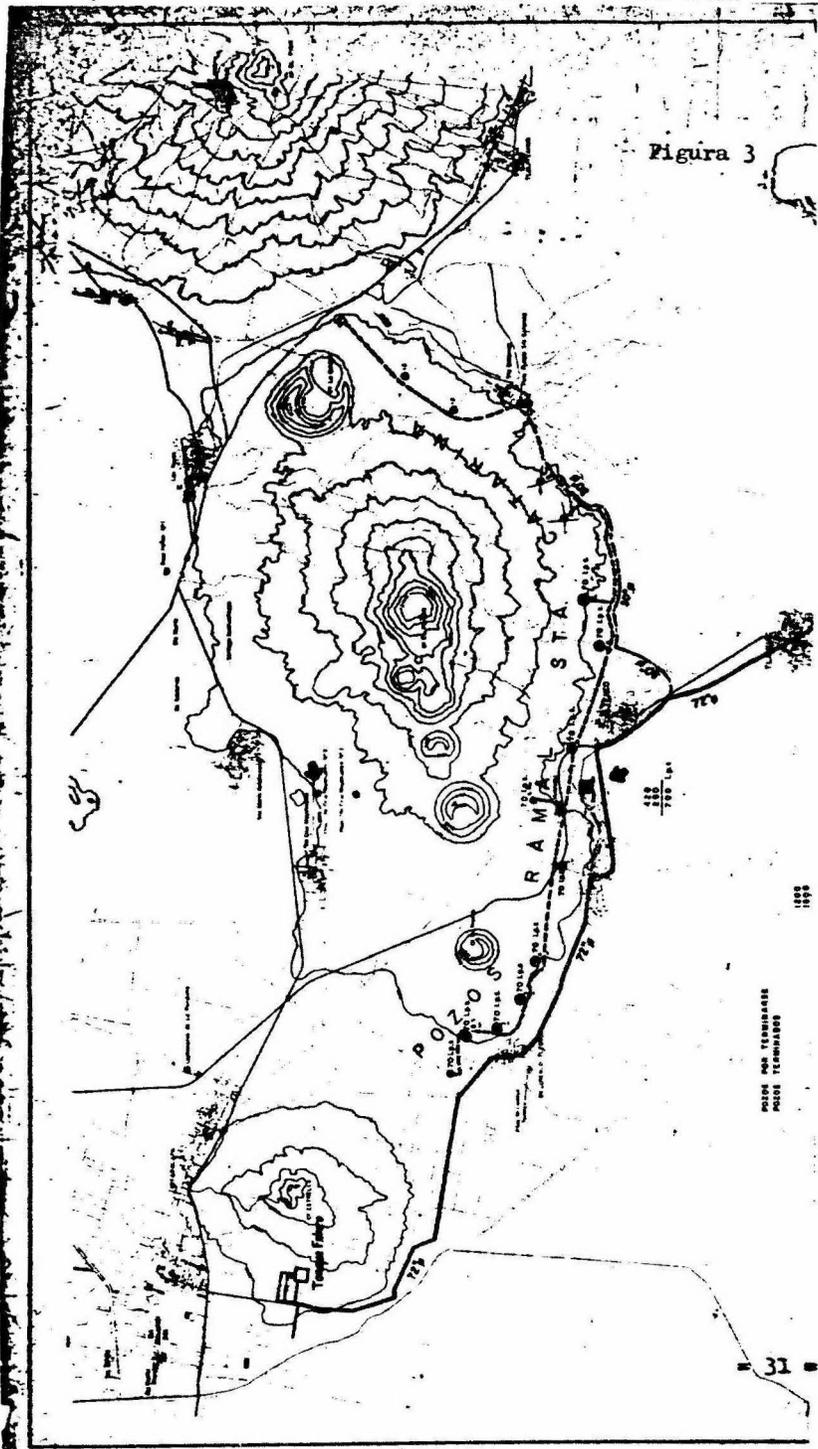
k).-Sistema eléctrico.-Constituido por una Sub-Estación del tipo compacto unitario para intemperie, con relación de transformación de 20/0.44 KV y una capacidad de 600 KVA con 300 KVA adicionales para emergencias. Dos tableros de control y operación alimentados desde la sub-estación y alojados en el edificio central y sala de ozonizadores, los cuales contienen protecciones contra sobrecorriente y corte circuito para cada uno de los motores, así como transformador de alumbrado y servicios propios, con sistema de tierras distribuido en toda la planta. El alumbrado exterior es del tipo alumbrado público de vapor de mercurio y el interior tipo fluorescente, contando también con alumbrado ornamental exterior de vapor de sodio.

Sistema de riego y sistema de drenaje, para el riego de las zonas verdes se instaló sistema de tuberías con tomas para mangueras. La eliminación de las aguas de lavado de los filtros, de aguas pluviales y aguas negras se hace por medio de un sistema de alcantarillado que tiene un emisor de 76 cm. ϕ . descarga en una zanja que distribuye el agua superficialmente, debido a ello se construyó un tanque séptico para tratar las aguas negras de los sanitarios.

Toda la planta se encuentra construida y localizado su equipo en una área de 10 000 m².

l).-Camino de acceso.-se acondicionó para comunicar la planta con la carretera 400 m. totalmente asfaltado.

Figura 3



MAPAS POR TERRANOS
POR TECNICO

C A P I T U L O I V

UNIDAD PRODUCTORA DE OZONO.

DESCRIPCION DEL EQUIPO EMPLEADO.

SECADO DEL AIRE. Fig. 4 Pag. 37

FILTRO DE ENTRADA.-Es del tipo de filtro secador para aire con elemento filtrante reemplazable, diseñado para largo servicio sin peligro de averías. El elemento filtrante es de tela de lana de 1.6-milímetros de espesor, su diámetro es de 35 cm y su longitud de 40 cm. teniendo 41 lonas dobles dispuestas radialmente las que dan un total de 3.5 m^2 . de superficie filtrante.

El objeto principal que se persigue con el empleo de éste tipo de filtro es quitar materiales sólidos que causarían molestias y gastos de conservación de equipo ya que son tan eficaces que pueden retener partículas de polvo de 0.5 de micra de diámetro medio.

Este elemento filtrante se encuentra contenido en su recipiente metálico, fácil de destapar con el objeto de limpiarlo cuando sea necesario o reemplazarlo por uno nuevo, y conectado a la línea de alimentación del compresor por medio de tubería de fierro de 12.5 cm. de diámetro.

COMPRESOR DE AIRE. (SOPLADORES ROOTS)

Es un soplador o bomba de este tipo, trilobular de construcción análoga a una bomba de engranes, ambos impulsores son accionados mediante ruedas dentadas exteriores, evitando el contacto material de los impulsores entre sí y con la caja, la holgura es de décimas de milímetro, lo suficiente para reducir el frotamiento y el desgaste. Estas máquinas son básicamente de volumen constante, con presión de descarga variable, sujeta a la resistencia en el lado de la descarga del sistema.

El equipo instalado en la Planta de "Santa Catarina" consta de dos unidades de abastecimiento de aire, cada una de ellas tiene — dos sopladores en serie fabricados por M-D Blowers, Inc. Racine, - Wisconsin. Las dos unidades serán suficientes para alimentar cinco generadores de ozono.

Características de operación de los sopladores:

Modelo No. 17 vertical para flujo de aire.

Volúmen de descarga: 10500 litros/min a 25°C.
y 0.56 Kg/cm²

Vacio máximo: 35.56 cm de mercurio continuas.

Presión máxima: 1 Kg/cm²

R. P. M. máxima: 3600

R. P. M a pres. máx. 2000

Para llevar a cabo la deshidratación del aire se empieza por — hacer una compresión adiabática, necesitando como accesorio un — post-enfriador o cambiador de calor con camisa de agua y dispositivo de trampa, para la eliminación del condensado sin fugas de aire seco. El aire que es calentado a 177°C. al llevarse a cabo la compresión se satura en un punto antes de que pueda empezar la condesación, paso que se ayuda con el enfriamiento en el condensador a contracorriente con agua.

Desde luego que en el secado por compresión no podemos alcanzar el grado deseado de sequedad, los costos de equipo, instalación, energía y agua de refrigeración son excesivos, pero en este caso se justifica, ya que necesitamos de grandes cantidades de aire y la presión que se tiene la aprovechamos en todo el proceso de la fabricación de ozono.

ENFRIADOR REFRIGERADOR.

Es una unidad completamente automática, diseñada para eliminar la humedad del aire, consiste en un cambiador de calor enfriado — por freón 12 en un sistema de refrigeración convencional.

Cuando se enfria el aire por debajo de su punto de rocío, por medio de salmuera, amoniaco, serpentines o cambiadores de expansión de freón o de dióxido de carbono sólido es posible condensar—

una buena parte del vapor de agua, y reducir la humedad que pudo haber quedado en el proceso anterior. Por ejemplo el aire saturado a -12°C está sólo al 10% de la saturación, de 20 a 29°C sólo al 2%.

El secador refrigerador que se proyectó para este proceso es un modelo 11 de Ingersoll-Rand. elimina la humedad, polvo, vapor de aceite y otros contaminantes del aire comprimido con alta eficiencia, el secador es fácil de instalar en cualquier sistema neumático, en el que se desee aire seco, figura 5, pag. 38.

El corazón del secador es una masa térmica cambiadora de calor que rápidamente reduce la temperatura del gas comprimido, extrayendo y reuniendo la humedad en una parte de la estructura del separador de condensado que se encuentra fuera del secador y unido por una conexión al drenaje. Las especificaciones técnicas para este modelo son las siguientes:

| | |
|--|-----------------------------------|
| Presión máxima de operación | 300 psi. = 10.5 Kg/cm^2 |
| Capacidad a 7 Kg/cm^2 | $14.3 \text{ m}^3 / \text{min.}$ |
| Temperatura atmosférica de rocío a 7 Kg/cm^2 | -24.4°C |
| Suministro de energía. | 230 volts 3 fases 60 Hz. |

La válvula termostato de control de freón operada por control de temperatura, mantiene la temperatura del cambiador a 1.7°C durante las condiciones normales de trabajo.

TORRES DESECANTES.

Consiste en una torre desecadora de Gel de Sílice de tipo doble, utilizando una para secado, mientras la otra está siendo reactivada. Cada torre se usa normalmente en operación ocho horas, cuando se ha completado este tiempo, se cambia el flujo a la otra torre por medio de un control manual de palanca. En este momento deberá hacerse también, manualmente el arranque de tomador de tiempo, fijando cuatro horas para reactivar la columna que se sacó de operación.

El ventilador de reactivación conduce el aire en un circuito cerrado a un cambiador de calor eléctrico, el aire calentado a 150°C se introduce por la parte superior de la columna desecante a través del lecho de gel de sílice llevándose el vapor de agua a un condensador enfriado con agua donde condensa el vapor y es tirado a una trampa de dren.

Después de las cuatro horas que termina el ciclo de calentamiento el ventilador continúa soplando aire seco a través del lecho desecante para enfriarlo antes de ser conectado a la corriente de operación, ciclo que requiere cuatro horas más.

Terminadas las ocho horas del ciclo de reactivación las torres pueden intercambiarse nuevamente. fig. 6 pag. 39

GENERADOR DE OZONO.

Al generador de Ozono u Ozonizador, llega el aire limpio, comprimido, seco y frío que ha pasado por los procesos anteriores para emplearlo en estas condiciones en la fabricación del ozono.

Este aire antes de entrar al ozonizador pasa por un rotámetro o sistema de medición calibrado en metros cúbicos por minuto.

El ozonizador está fabricado de acero inoxidable cédula 304 el cuerpo cilíndrico tiene aproximadamente 1.20 m. de diámetro por -- 3.20 m. de largo, sus tapas tienen mirillas de vidrio de 10 cm ϕ , atornilladas al cuerpo principal. Interiormente del mismo material hay una serie de tubos de aproximadamente 2.20 m. de largo centrados en el cuerpo y rolados a dos mamparas en sus extremos, para -- formar propiamente una calandria, por la parte exterior de estos -- tubos circula agua para refrigerarlos.

Dentro de los tubos de acero inoxidable van colocados 170 dieléctricos que son tubos de vidrio (Pyrex de Boro-silicato) cerrados en uno de sus extremos, recubiertos interiormente de aluminio, en la parte interior de cada uno de ellos va colocada la escobilla de acero, la cual sirve de electrodo de alta tensión que recibe a su vez la corriente del transformador por medio de conductores de alambres de acero y conectados a un electrodo central.

Los dieléctricos que son de aproximadamente 1.30m por 8 cm. de diámetro están espaciados concéntricamente por un resorte de acero dentro de la calandria quedando un espacio anular de 2.5 mm por -- donde circula el aire u oxígeno que se va a procesar para producir ozono.

Durante la operación el agua está circulando continuamente al-

rededor de los tubos llevando el calor generado en el proceso para tener una eficiencia óptima en estos equipos en la producción de ozono a bajo costo, a partir de oxígeno del aire se deberán tomar en cuenta ciertas variables que afectan la capacidad del ozonizador, así para tener concentraciones de 1 a 2 % en peso deberá trabajarse a un rango de 0.14 a 0.57 Kg/cm² manométricos, y la alimentación del aire o gas a -50° C. Si varían las condiciones de operación se tendrá como consecuencia que se sacrifique la eficiencia y la producción. fig 7 pag 40.

Los Ozonizadores WELSBACH que se han empleado en este caso, pueden trabajar con alimentación de oxígeno o aire teniendo el doble de eficiencia con el primero que con el segundo, en la misma relación estarán los costos de operación.

Los generadores de ozono operan a 15 000 volts de corriente alterna y 50 - 60 ciclos por segundo. La energía de carga es de 385 a 440 watts por metro cuadrado, la concentración es de 10 a 12 miligramos por litro, bajo estas condiciones la energía empleada o consumida es de 1 kilowatt hora por 50 - 60 gramos de ozono.

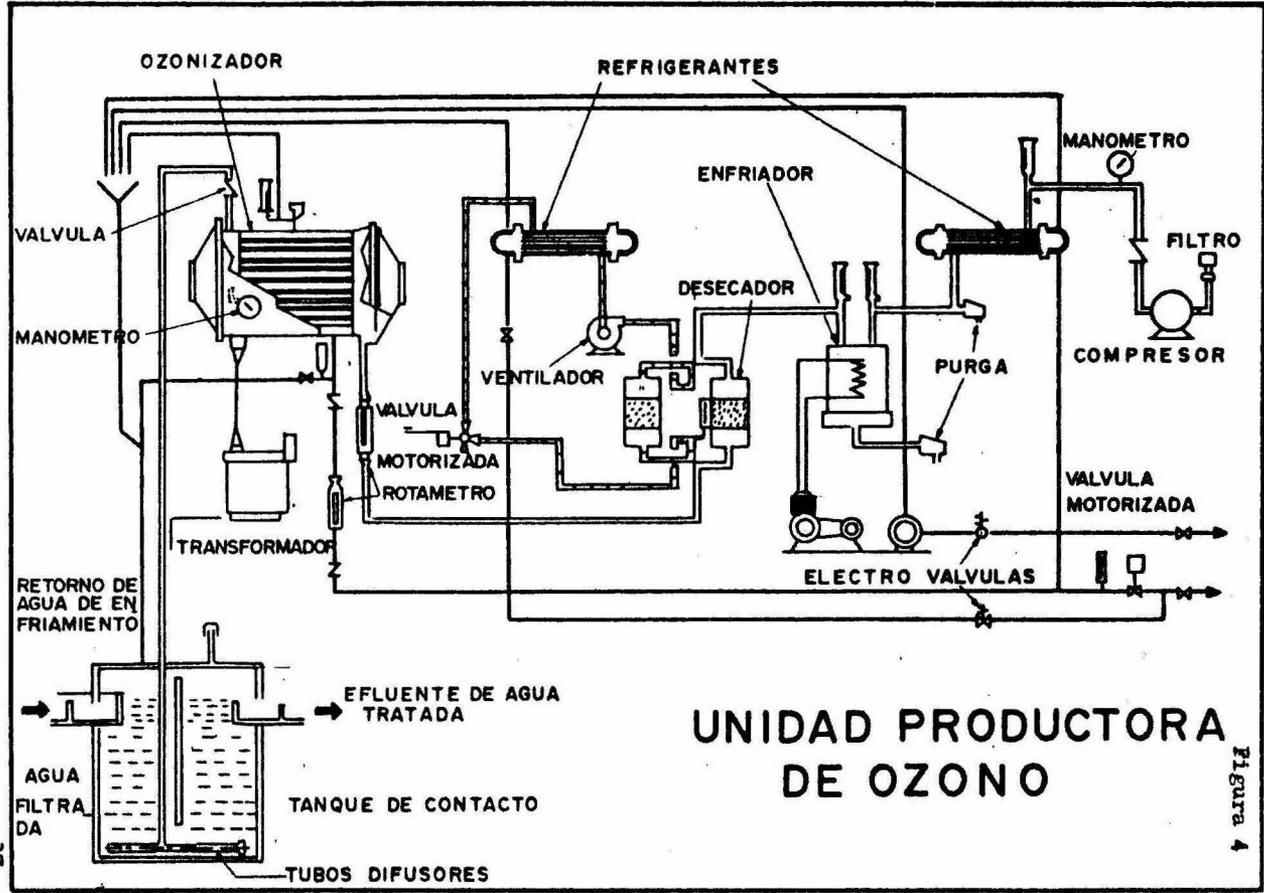
Fig. 8 pag. 41

La humedad en el gas o en el aire aumenta el costo de mantenimiento ya que reduce grandemente la vida del dieléctrico, de aquí la importancia de alimentar el ozonizador a temperaturas inferiores a -50° C de punto de rocío.

El costo del ozono estará en función de la operación de la planta, si el proceso es continuo o intermitente, de la concentración de ozono que se requiera, del factor de potencia de la energía, tamaño de la instalación y equipos accesorios, etc.

Puede decirse en términos generales y aproximados que el costo de un Kilogramo de ozono es de 30 Kilo-watts-hora, incluyendo compresor y secado, operando con aire, si se emplea oxígeno se tendrá que el costo se reduce aproximadamente al 50 %.

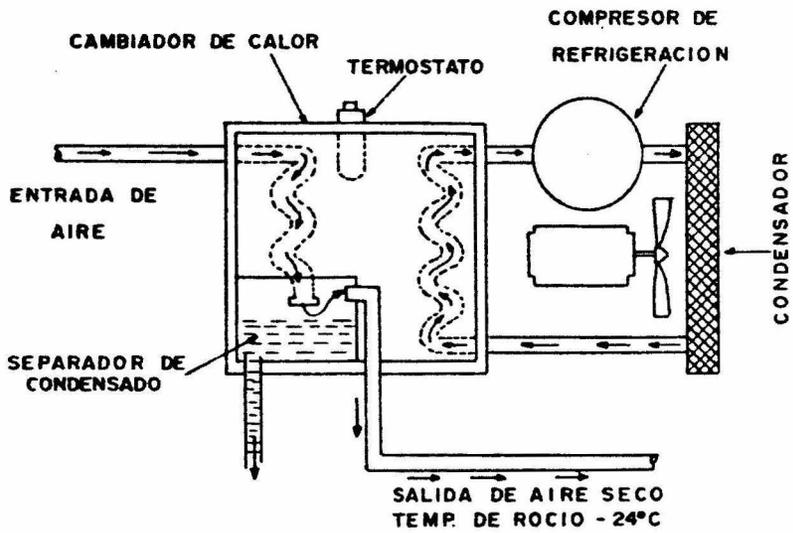
Fig. 9 pag. 42



UNIDAD PRODUCTORA DE OZONO

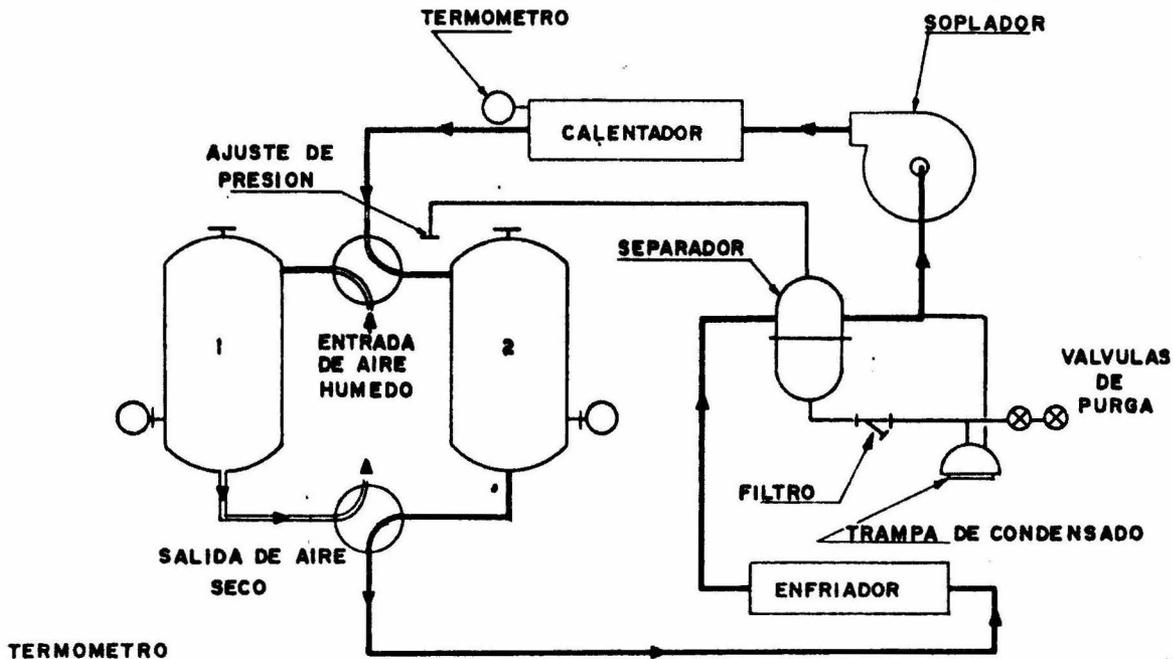
Figura 4

Figura 5



DRENAR

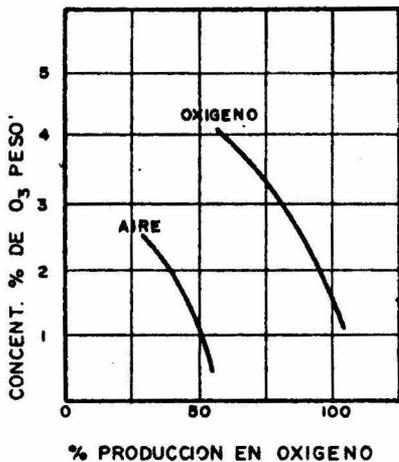
ENFRIADOR - REFRIGERADOR



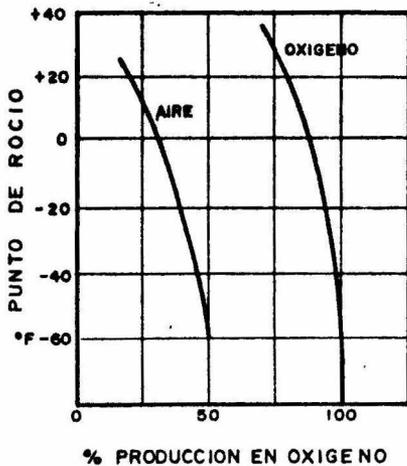
CIRCUITO DE REACTIVACION DE LAS COLUMNAS DESECANTES

Figura 6

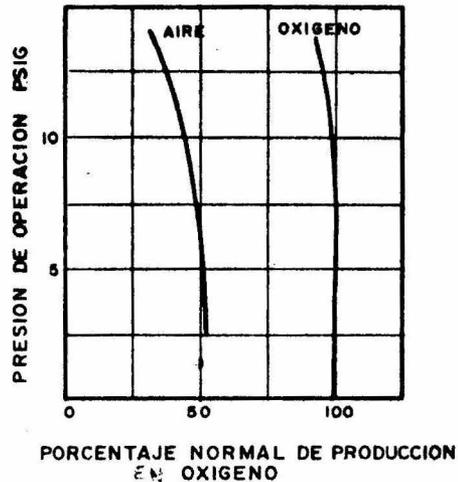
CAPACIDAD Vs. CONC. O₃



CAPACIDAD Vs. GAS HUMEDO



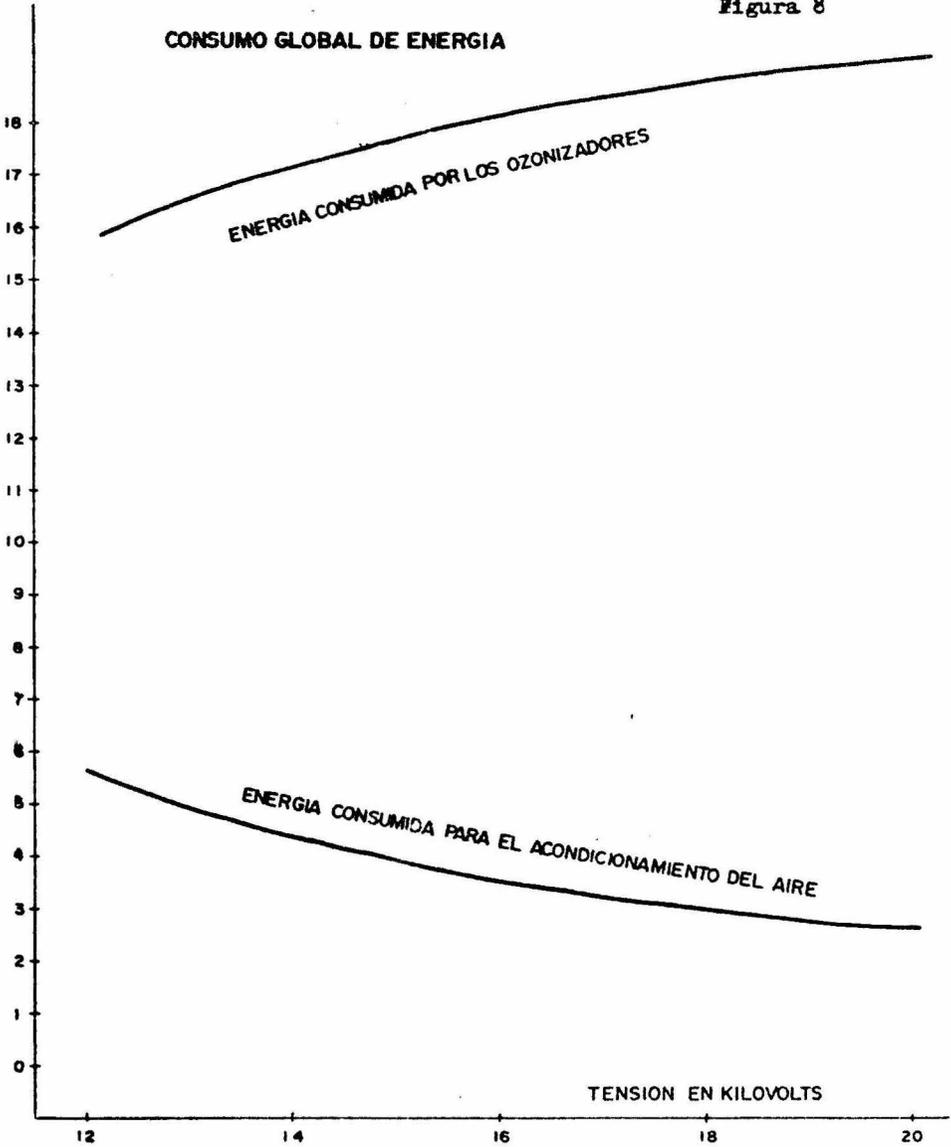
CAPACIDAD Vs. PRESION DE OPERACION



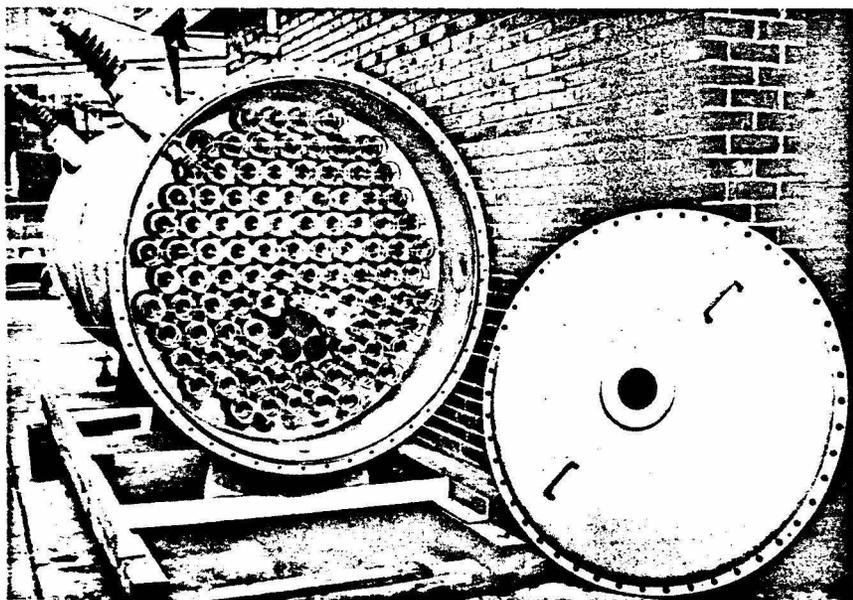
= 40 =

Figura 7

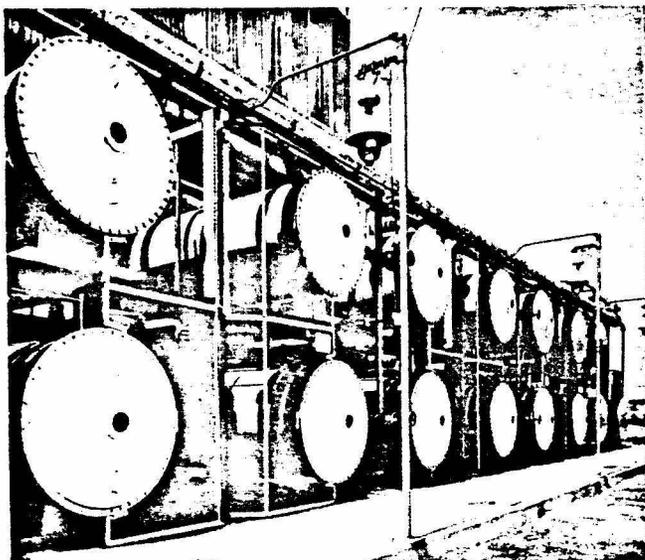
Figura 8



CONSUMO TOTAL DE ENERGIA EN WH POR GRAMO DE OZONO = 41 =



OZONIZADOR DESTAPADO MOSTRANDO LOS DIELECTRICOS.



CONJUNTO DE OZONIZADORES.

CAPITULO V

ESTUDIO COMPARATIVO.

De los resultados de laboratorio se pudo concluir que los procesos aceptables, eran el de coagulación química y el de ozonización, requiriéndose en ambos casos una desgasificación previa, para reducir los problemas de colores y sabores.

La secuencia de los procesos de tratamiento queda como se indica en los diagramas de la figura 2, llamándose Alternativa I la de coagulación química y Alternativa II la de ozonización.

Con base en dichos diagramas de proceso se procedió al diseño de dos plantas completas de tratamiento con un gasto de 500 litros por segundo que aparecen en las figuras 10 y 11 -- (pags. 54 y 55) para las Alternativas I y II respectivamente.

Se hace notar que la cloración de las aguas tratadas se hará en la Estación de Bombas de Xetepingo, por lo cual no se consideró dicho proceso en el diseño de las plantas.

Realizados los diseños, se procedió al estudio comparativo para decidir la alternativa más económica.

Los resultados sintéticos se muestran a continuación.

1.- COSTO INICIAL.

Con base exclusivamente a las diferencias de las dos-
alternativas.

ALTERNATIVA I.

| | | |
|---|----|---------|
| Partida 1.-Dos dosificadores volumétricos inclu- yendo tanque de solución y tolva. | \$ | 100 000 |
| Partida 2.-Dos mezcladores rápidos. | | |
| Obra civil | \$ | 25 000 |
| Equipos | \$ | 90 000 |
| Instalación | \$ | 10 000 |
| Partida 3.-Dos floculadores mecánicos | | |
| Obra civil | \$ | 300 000 |
| Equipos | \$ | 250 000 |
| Instalación | \$ | 30 000 |
| Partida 4.-Dos sedimentadores | | |
| Obra civil | \$ | 40 000 |
| Equipos | \$ | 860 000 |
| Instalación | \$ | 50 000 |
| Partida 5.-Ocho filtros rápidos | | |
| Obra civil | \$ | 340 000 |
| Equipos | \$ | 860 000 |
| Instalación | \$ | 90 000 |
| Partida 6.-Recirculación | | |
| Obra civil | \$ | 50 000 |
| Equipos | \$ | 50 000 |
| Instalación | \$ | 15 000 |

| | |
|---|------------|
| Partida 7.-Edificio central. | \$ 400 000 |
| Partida 8.-Almacén y Taller. | \$ 27 000 |
| Partida 9.-Sub-Estación e Instalación eléctrica. | \$ 550 000 |

R E S U M E N

| | |
|-----------|--------------|
| Partida 1 | \$ 120 000 |
| Partida 2 | \$ 125 000 |
| Partida 3 | \$ 580 000 |
| Partida 4 | \$ 950 000 |
| Partida 5 | \$ 1 290 000 |
| Partida 6 | \$ 115 000 |
| Partida 7 | \$ 400 000 |
| Partida 8 | \$ 27 000 |
| Partida 9 | \$ 550 000 |

T O T A L \$ 4 157 000

ALTERNATIVA II

| | |
|---|--------------|
| Partida 1.-Ozonización | |
| Equipos | \$ 3 500 000 |
| Instalación | \$ 150 000 |
| Partida 2.-Tanque de contacto | \$ 130 000 |
| Partida 3.-Seis filtros rápidos | |
| Obra civil | \$ 250 000 |
| Equipos | \$ 700 000 |
| Instalación | \$ 70 000 |
| Partida 4.-Edificio central | \$ 296 000 |
| Partida 5.-Sala de Ozonizadores | \$ 100 000 |
| Partida 6.-Sub-Estación e Instalación eléctrica | \$ 750 000 |

R E S U M E N

| | |
|-----------|--------------|
| Partida 1 | \$ 3 650 000 |
| Partida 2 | \$ 130 000 |
| Partida 3 | \$ 1 020 000 |
| Partida 4 | \$ 296 000 |
| Partida 5 | \$ 100 000 |
| Partida 6 | \$ 750 000 |

T O T A L \$ 5 946 000

= 46 =

2.-OPERACION, CONSERVACION Y MANTENIMIENTO.

Costos de Energía y Productos Químicos.

ALTERNATIVA I

Energía:

| | |
|------------------------------|-------|
| Dosificadores | 1 HP |
| Mezcladores | 6 HP |
| Floculadores | 10 HP |
| Bombas de recir- culación | 5 HP |
| Sedimentadores | 1 HP |

total 23 HP = 21 KVA (factor de potencia 0.83)

Consumo de Energía por año = 183 960 KVA-Hr.

Costo a 0.20 KVA. = \$ 36 792.00

3.-PRODUCTOS QUIMICOS.

Usando sólo sulfato de aluminio a dosis de 150 mg/l
(miligramos por litro)

Consumo por día = 6.48 Toneladas

Consumo anual = 2,365.2 Toneladas.

Costo a \$ 800/Ton = \$ 1 892 160.00

ALTERNATIVA II

Energía:

Ozonizadores incluyendo

equipos auxiliares: 5,720 Kw/día = 4,500 KVA/día.
(factor de potencia 0.83)

Consumo de energía anual 1 642 500 KVA

Costo a \$ 0.20/KVA \$ 328 500.00

4.- COSTOS DE CONSERVACION Y MANTENIMIENTO.

Los porcentos usados son los recomendados por la A.S.C.E.

Valor de rescate a los 15 años: 40 %

ALTERNATIVA I

$$Cr = 4\,157\,000 \times 0.08 = \$ 332\,560$$

$$\frac{0}{r} = \frac{1\,992\,537}{0.08} = \$ 24\,906\,712$$

$$\frac{C'r}{(1+r)^{n-1}} = \frac{2\,494\,200 \times 0.08}{2.17} = \$ 91\,952$$

$$\text{Gosto total capitalizado } \$ 25\,331\,224$$

ALTERNATIVA II

$$Cr = 5\,946\,000 \times 0.08 = \$ 475\,680$$

$$\frac{0}{r} = \frac{437\,680}{0.08} = \$ 5\,471\,000$$

$$\frac{C'r}{(1+r)^{n-1}} = \frac{3\,567\,600 \times 0.08}{2.17} = \$ 131\,524$$

$$\text{Costo total capitalizado } \$ 6\,078\,204$$

En donde:

C = Inversión Inicial

r = Tasa de interés

O = Costos de operación, conservación y
mantenimiento

n = Período de Amortización

C' = Inversión inicial - valor de rescate.

5.- COMPARACION POR LA INVERSION ANUAL.

| | ALTERNATIVA I | ALTERNATIVA II |
|---|---------------|----------------|
| Primer año: | | |
| Inversión inicial | \$ 4 157 000 | \$ 5 946 000 |
| Costos de operación conservación y man- tenimiento. | \$ 1 992 537 | \$ 437 680 |
| Amortización | \$ 485 687 | \$ 694 707 |
| | <hr/> | <hr/> |
| | \$ 6 635 224 | \$ 7 078 387 |
| | <hr/> | <hr/> |
| Segundo año: | | |
| Inversión inicial | \$ 4 157 000 | \$ 5 946 000 |
| Costos de operación conservación y man- tenimiento. | \$ 3 985 074 | \$ 875 360 |
| Amortización | \$ 971 374 | \$ 1 389 414 |
| | <hr/> | <hr/> |
| | \$ 9 113 448 | \$ 8 210 774 |
| | <hr/> | <hr/> |

COSTO DEL METRO CUBICO DE AGUA TRATADA.

Este concepto incluye exclusivamente el costo por el tratamiento para hacer útiles a los pozos que se perforaron en las faldas de, la Sierrita de Santa Catarina.

El costo total deberá incluir el relativo a la construcción y operación de los pozos, línea de conducción a la Ciudad de México y cloración que no aparecen en este estudio.

Los porcentos son los recomendados por la A.S.C.E.

COSTO ANUAL.

I.-Operación, conservación y mantenimiento.

a).-Energía Eléctrica:

$$600 \text{ HP} \times 0.746 \times \frac{1}{0.85} \times 24 \times 365 \times \$ 0.20 = \$ 923 \text{ 288}$$

b).-Conservación y Mantenimiento.

| | | |
|-------------------------|------------------------------|--------------|
| Edificios | 0.005 x 396 000 = 1 980 | = \$ 1 980 |
| Estructuras Hidráulicas | 0.01 x 3 000 000 = \$ 30 000 | = \$ 30 000 |
| Tuberías | 0.005 x 2 000 000 | = \$ 10 000 |
| Equipos | 0.02 x 6 604 000 | = \$ 132 080 |
| | | <hr/> |
| | | \$ 174 060 |

2.-Personal de operación que incluye:

- 1 Ingeniero Químico.
- 1 Ayudante.
- 3 Encargados de turno.
- 2 Mecánicos.
- 2 Electricistas.
- 3 Choferes.
- 4 Auxiliares

3.- Amortización del costo total de la Planta:

Al 8 % durante 15 años y con valor de rescate del 40 %.

$$\frac{7\ 200\ 000}{15 \times 0.08} = \frac{7\ 200\ 000}{8.559} = \$\ 841\ 000$$

$$a = 10.3$$

R E S U M E N

| | |
|---------------------------------|--------------|
| 1.-Energía eléctrica | \$ 923 288 |
| 2.-Conservación y Mantenimiento | 174 060 |
| 3.-Personal | 258 960 |
| 4.-Amortización | 841 000 |
| | <hr/> |
| | \$ 2 197 308 |

CANTIDAD DE AGUA TRATADA ANUALMENTE.

$$43\ 200\ \text{m}^3/\text{día} \times 365\ \text{días} = 15\ 768\ 000\ \text{m}^3.$$

COSTO DE METRO CUBICO DE AGUA POR CONCEPTO DE TRATAMIENTO.

$$\frac{\$ 2\ 197\ 308}{15\ 768\ 000} = \$ 0.1393 = \$ 0.14$$

CATORCE CENTAVOS POR METRO CUBICO.

C O N C L U S I O N E S

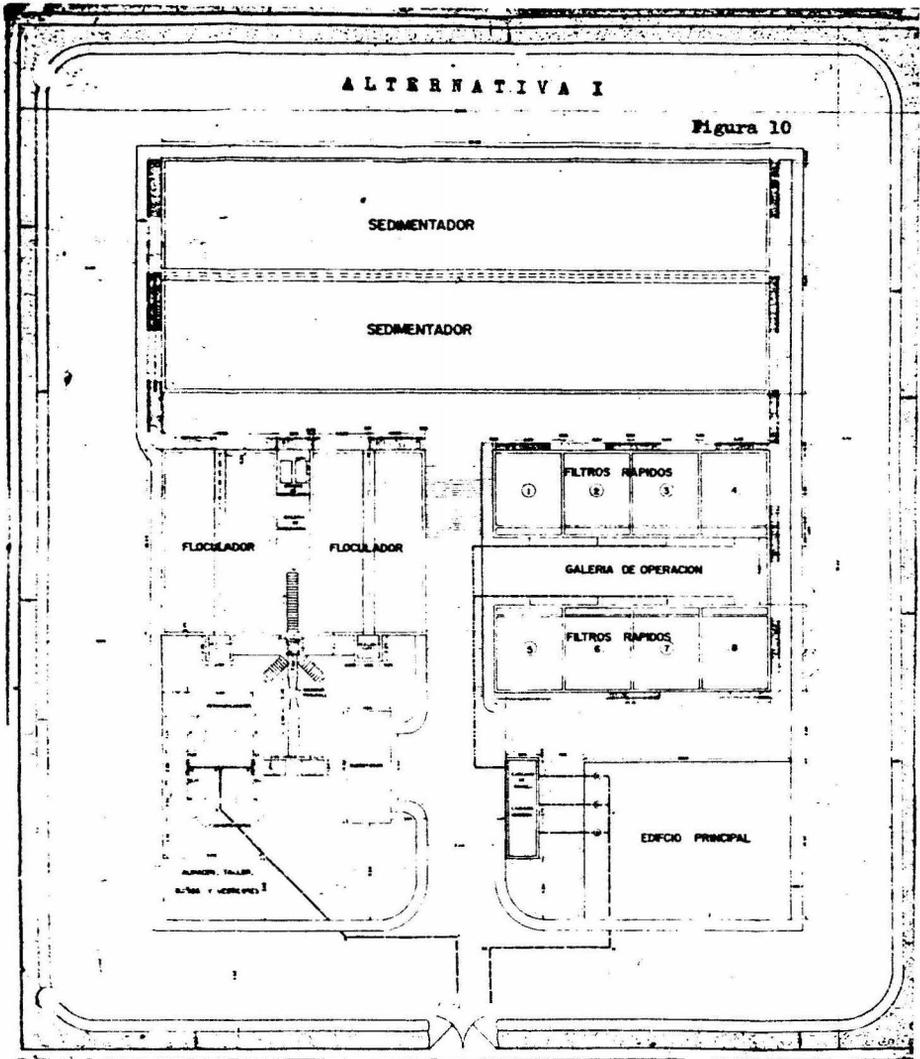
- 1.-El bajo costo del metro cúbico de agua por concepto de tratamiento es suficiente para justificar la construcción de la instalacion descrita.
- 2.-Las características peculiares de las aguas crudas condujeron a resultados muy interesantes, haciendose patente la necesidada imperiosa de las pruebas de laboratorio y contar -- con un número razonable de análisis previos.
- 3.-La elección del tipo sui-géneris de esta planta, puntualiza la necesidad de evitar generalizaciones y diseñar las plantas de tratamiento con el único dato del gasto.
- 4.-Las condiciones peculiares de los operadores con que podemos contar en nuestro país obliga a la elección de métodos simples de operación para evitar costos excesivos en el consumo de productos químicos y/o eficiencias bajas en el tratamiento.
- 5.-Los estudios de factibilidad técnica y económica permitieron decidir la construcción de la planta, aprovechando la inversion realizada en la construcción de once pozos, incluyendo los dos de Santa Cruz Meyehualco, que en otras condiciones se hubiera desechado.
- 6.-La utilización del ozono como medio de eliminación de color abre perspectivas nuevas al empleo de este producto, que habia caído en desuso como desinfectante, pero que gracias a su gran poder oxidante tiene aplicaciones efectivas y economicas para el tratamiento de aguas complicadas como la de nuestro caso.

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

- 1.--ARNULFO PAZ SANCHEZ. INGENIERO CIVIL.
"Ponencia, Congreso de Ingeniería Sanitaria.
Hotel del Prado. México D. F., 1967.
- 2.--RAPAEL ILLESCAS FRISBIE.
"Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial
AGUA. México 1952.
- 3.--LINVIL G. RICH.
"Unit Operation of Sanitary Engineering".
John Wiley Sons. Inc. Publishers 1962.
- 4.--THE WELSBACH CORPORATION.
"Basic Manual of Applications and Laboratory Ozonation,
Techniques".
Ozone processes Division Philadelphia Pa.
- 5.--V. A. HANN Y T. C. MANLEY.
"Ozone" The interscience Encyclopedia, Inc. New York. 1952
- 6.--PERRY JOHN H.
"Chemical Engineers' Hand book".
McGraw Hill Book Company 1963.
- 7.--DR. ERNESTO H. RIESENFIELD.
"Tratado de Química Inorgánica.
Editora Nacional 1949.
- 8.--AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION.
"American Pollution Control Federation.
Standard Methods for the Examination of water and Wastewater
1960 by American Public Health Association Inc. New York.N.Y.
- 9.--W. A, KOEHLER.
"Principles and Applications of Electrochemistry".
Wohn Wiley Sons Inc Chapman & Hall LTD London.
- 10.--HERMAN WILLEBOE M. D. COMISIONADO.
"Manual of Instructions for Water Treatment Plant Operators.
1962. Manual de Tratamiento de aguas. Versión española.
Raúl Guerrero Torres. Ingeniero Químico 1964.

ALTERNATIVA I

Figura 10



ALTERNATIVA II

Figura 11

