



UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA
INCORPORADA A LA U. N. A. M.
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

**PURIFICADOR DE AGUA MEDIANTE OZONIZACION
PARA EL USO DE PEQUEÑAS INDUSTRIAS**

TESIS PROFESIONAL

JUAN GARCIA DE ACEVEDO GUERRA

México, D. F.

1966



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 IBEROAMERICANA
INCORPORADA A LA U. N. A. M.
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

PURIFICADOR DE AGUA MEDIANTE OZONIZACION
PARA EL USO DE PEQUEÑAS INDUSTRIAS

T E S I S
QUE PARA OPTAR POR
EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A
JUAN GARCIA DE ACEVEDO GUERRA

**A LA MEMORIA DE MIS
PADRES.**

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

A la Universidad Iberoamericana.

INDICE

CAPITULO I.- INTRODUCCION.

CAPITULO II.- CONSIDERACIONES TEORICAS DEL PROCESO.

CAPITULO III.- CONCENTRACION DE DATOS EXPERIMENTALES.

CAPITULO IV.- CONSIDERACIONES ECONOMICAS.

CAPITULO V.- CONCLUSIONES.

BIBLIOGRAFIA.

INTRODUCCION.

El agua es uno de los recursos existentes en la naturaleza indispensable para la vida humana y el cual debe reunir ciertas cualidades que la hacen útil para el uso doméstico, entre éstas está la de no contener gérmenes patógenos ni sales disueltas que excedan de 500 p.p.m. (1).

La ozonización y la cloración del agua son los principales métodos que se usan en la actualidad para destruir los gérmenes patógenos que se pudieran encontrar en ella.

El uso del ozono tuvo su desarrollo principalmente en Francia, donde se utiliza para esterilizar el agua que abastece las ciudades de Paris y Niza. Según el concepto francés la ozonización es más conveniente que el uso de cloro debido a que no solamente esteriliza sino que elimina olores y sabores desagradables, el agua tratada mediante este procedimiento la recibe el consumidor sin productos químicos remanentes, como los derivados del cloro, los cuales siempre se encuentran después de la esterilización con este elemento.

Los compuestos del cloro han sido siempre objeto de sospechas de ser dañinos a la salud si son ingeridos por el organismo aún en pequeñas cantidades por periodos prolongados.

Este concepto difiere del que prevalece en los Estados Unidos donde el

fin que se persigue no es solamente esterilizar el agua sino evitar posteriores contaminaciones en los ramales de distribución con la presencia de cloro residual hasta que el agua llega al grifo del consumidor. Así mismo opinan que la ozonización de las aguas que abastecen las ciudades pueda ser vista como un tratamiento especialmente reservado para aguas altamente contaminadas con desperdicios industriales, que causan olores y sabores desagradables que de otro modo no pueden ser destruidos. Por otra parte el ozono no es simple en su uso y la planta requiere supervisión por expertos, además de ser más caro que el cloro que puede usarse en lugares donde la corriente eléctrica falla. (2)

La acción bactericida del ozono se ha comprobado por diversos estudios; es de interés particular el realizado sobre suspensiones de *Escherichia Coli* las cuales fueron diluidas a aproximadamente 5×10^4 células por mililitro en una solución Buffer de fosfato (pH 6.8) y enfriadas a 1° C, determinándose como dosis letal aquella cantidad de ozono necesaria para producir un residuo detectable en la solución.

Bajo estas condiciones se encontró, que la dosis entre 0.4 y 0.5 mgs. por litro de ozono, presenta un 1% de bacterias sobrevivientes. (3)

En nuestro país y concretamente en el primer centro poblado del territorio nacional que es la Ciudad de México, el problema de abastecimiento de agua potable ha tenido aspectos complejos.

Hace veinte años las redes de distribución instaladas en terreno blando como es el de la Ciudad de México, con un tráfico intenso de vehículos pesados oca-

sonaba roturas de líneas de abastecimiento de agua, el consecuente desperdicio de la misma y la escasez que naturalmente se provocaba dió origen al uso extendido de pozos por todos los rumbos. Esto provocó otro tipo de problema el hundimiento de la Ciudad que a su vez era causa de inundaciones en la temporada de lluvias.

La existencia de pozos significaba una muy frecuente contaminación del agua. Una gran parte de la población se veía obligada a construir cisternas para almacenar agua debido a la escasez, siendo propicia esta situación para contaminarse, además la misma agua circulante en las redes de distribución se encontraba contaminada en vista de que las tuberías rotas y sin presión por períodos prolongados aceptaban desechos del exterior que al reanudarse la circulación del agua eran fácilmente arrastrados a los sitios de consumo.

Entre las medidas que fueron tomadas y como una aportación para resolver el grave problema que representaba la contaminación del agua, se puso a la venta del público un purificador para uso doméstico basado en la ozonización, el cual era fabricado por una industria de proporciones modestas, la que más tarde pudo proporcionar otro tipo de purificador de mayor capacidad con fines comerciales y de mayor tamaño que el primeramente mencionado aconsejado para uso doméstico.

La experiencia obtenida acerca del nuevo aparato quedó incompleta; no se pudieron reunir suficientes datos en relación con la eficacia del nuevo diseño y es por lo tanto la finalidad de este estudio reunir hechos experimentales que determinen cual es la eficiencia de este equipo ya que la empresa aludida no pudo llevar a término la investigación por haber desaparecido como consecuencia de problemas económicos.

Ya que el problema de abastecimiento de agua potable a las numerosas poblaciones del país, persiste, se ha considerado que esta clase de estudios tiene su ma importancia por el hecho de contribuir a la solución de un problema de gran alcan ce social.

CAPITULO II

CONSIDERACIONES TEORICAS DEL PROCESO.

El proceso cuyo nombre técnico es el de ozonización tiene lugar de una manera natural en el ambiente durante las tormentas en las cuales las descargas eléctricas producen ozono.

La presencia de este gas en tales situaciones ya había sido notada desde hace mucho tiempo como lo demuestran algunos pasajes de la "Iliada" de Homero, que mencionan el olor de los rayos o relámpagos.

Como resultado de investigaciones atmosféricas se ha comprobado la existencia de ozono en las capas superiores de la atmósfera, formado por la acción de la luz ultravioleta del sol sobre el oxígeno.

De acuerdo con Paneth (1938), el aire común contiene una millonésima parte en volumen de ozono. (4) El máximo de riqueza en ozono del aire está a una altura de 22 kms., sólo el 22% de la cantidad total de ozono de la atmósfera se encuentra por debajo de los 22 kms.

Como un constituyente de la atmósfera el ozono forma una película protectora que absorbe radiaciones de una longitud de onda abajo de 3000 \AA , las cuales son perniciosas para la vida.

Además, el calor liberado por tal absorción y por la descomposición -- exotérmica del ozono crea en la alta atmósfera una capa caliente la cual ayuda a establecer el equilibrio térmico de nuestro planeta. (5)

El ozono fue descubierto en 1785 por Van Marum, quien encontró que el gas oxígeno a través del cual había pasado una descarga eléctrica, tenía un olor peculiar y empañaba el mercurio. Cruikshank, en 1801, notó el mismo olor en el oxígeno -- electrolítico pero hasta 1804, Schönbein, fue el primero en reconocer que este olor era debido a un gas especial que él llamó ozono (del griego ozo, olor). (4)

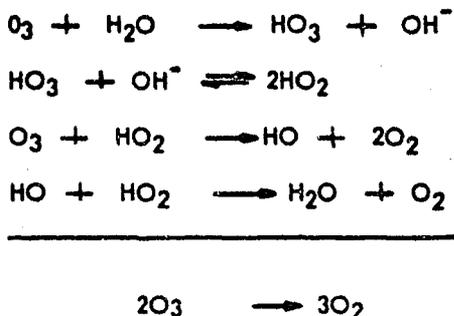
El ozono comenzó a utilizarse como bactericida en virtud de ser después del fluor el agente oxidante más enérgico.

Las propiedades físico-químicas de las soluciones de ozono aún no son -- adecuadamente conocidas. Esta escasez de conocimientos ha impedido la recopilación de datos seguros sobre las propiedades germicidas del ozono.

El ozono en solución es inestable y se descompone transformándose en -- oxígeno. La transformación es dependiente de la temperatura y es fuertemente catalizada aún por muy pequeñas concentraciones de muchos constituyentes inorgánicos y orgánicos del agua. El porcentaje de descomposición depende especialmente de la concentración de iones oxhidrilo. Por esta razón el ozono no persiste en el agua tratada. Esto ocasiona que no exista una protección residual contra recontaminaciones.

El mecanismo de descomposición del ozono no está plenamente entendido. La fuerte dependencia del grado de descomposición en relación con el pH y la --

descomposición catalítica por vestigios de diversos compuestos en el agua, puede solamente explicarse por la teoría de que se realiza en una serie de pasos en los cuales se producen radicales de corta vida. Adler y Hill, por ejemplo, sugieren el siguiente mecanismo:



A pesar de las considerables controversias sobre el mecanismo de la reacción de descomposición muchos investigadores están de acuerdo que los grupos HO_2 y OH , son intermediarios. No se sabe definitivamente si estos intermediarios son de algún significado para la interpretación de las propiedades químicas y germicidas de las soluciones de ozono.

La posibilidad de que tales intermediarios del ozono puedan interactuar con las moléculas de los citoplasmas de las células y contribuyan a la desinfección efectiva no puede ser excluida.

La escasez de conocimientos sobre la química y cinética de las soluciones de ozono y las técnicas analíticas inciertas, son un serio obstáculo en las investigaciones sobre desinfección con ozono.

Una cuidadosa investigación sobre la cinética de desinfección con ozono fué realizada por Wuhrmann y Meyrath. Durante cada experimento la concentración de ozono se mantuvo constante mediante un burbujeo continuo, a través de las soluciones, con aire conteniendo pequeñas cantidades de ozono. Los resultados indican que la desinfección con ozono es una función principalmente del tiempo de contacto, de la concentración de ozono y de la temperatura del agua. El mecanismo de desinfección, aparentemente, es similar al de la desinfección con ácido hipocloroso. Sus investigaciones revelan que el tiempo de contacto necesario para destruir un 99% de E. Coli es siete veces más corto que con la misma cantidad de ácido hipocloroso, mientras que el porciento de esporas muertas (*B. Megaterium Cereus*) es alrededor de 300 veces más con ozono que con cloro.

Fetner e Ingols, postulan, sin embargo, basados en sus investigaciones con E. Coli que el ozono tiene una manera de actuar diferente a la del cloro. Ellos afirman que muestra todo o ningún tipo de efecto dentro de un tiempo de contacto de un minuto. No encontraron efecto producido por el ozono abajo de cierta concentración crítica, en cambio arriba de ella la cantidad de sobrevivientes detectables es nula.

Bringmann reporta que el ozono destruye los siguientes organismos más rápidamente que el cloro: E. Coli, esporas, diferentes algas y protozoarios. Sus resultados indican que el ozono tiene una eficiencia letal considerablemente más alta que el cloro especialmente para organismos que presentan una alta resistencia a la desinfección con cloro.

De acuerdo con Newton y Jones más del 99% de quistes de *E. Histolítica* mueren en agua dentro de 1-3 minutos después de la aplicación de 0.5-1 mg. de ozono por litro. Hettche y Ehlbeck afirman que 0.15 mg. de ozono por litro inactiva el virus de la polio. (6)

La reacción de formación del ozono es una reacción endotérmica:



Por esta razón para obtener ozono habrá que suministrar energía; pero como por otra parte, el ozono se descompone rápidamente al subir la temperatura, esa energía no se puede introducir calentando los cuerpos que reaccionan; por eso no se obtiene ozono en la descomposición del clorato de potasio.

El ozono se formará por tanto:

- a).- Cuando se puede suministrar energía sin que se calienten los cuerpos.
- b).- Cuando se obtenga oxígeno atómico a bajas temperaturas.

Ejemplos del primer caso lo son la obtención de ozono cuando se hace pasar una corriente de oxígeno o de aire a través de efluvios eléctricos, así como la obtención de ozono por la electrólisis de una solución bastante concentrada de ácido sulfúrico. El oxígeno se desprende del polo positivo y sale mezclado con más o menos cantidad de ozono, según la densidad de la corriente empleada.

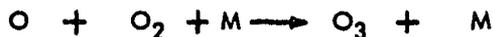
Por lo que respecta a la segunda forma de obtención basta con mencio-

nar la reacción que se efectúa entre el sulfúrico concentrado y el permanganato de potasio en polvo (7)



La producción de ozono por descargas eléctricas en un medio gaseoso -- que contenga oxígeno se debe a la formación de átomos de oxígeno producidos por la disociación de las moléculas de oxígeno causada por las colisiones inelásticas de los electrones de las descargas eléctricas.

La reacción siguiente explica la formación de ozono.



M representa todas las sustancias convenientemente pesadas, incluyendo el ozono, presentes en la fase gaseosa. (8)

Las características de la corriente eléctrica empleada para la producción de la descarga eléctrica que más influyen en la obtención del ozono son el potencial y la frecuencia. (9)

En los aparatos comerciales que producen ozono lo obtienen ya sea por la acción de la luz ultravioleta sobre oxígeno o por descargas eléctricas en un medio que contenga oxígeno. La forma más frecuente de obtención es la de descarga eléctrica. En particular los aparatos ozonizadores de agua son fundamentalmente similares en su disposición pero hay muchas variaciones en detalle tales como la forma, dimensiones, dispositivos de enfriamiento, disposición de los electrodos y del dieléctrico, po--

tencial y frecuencias de operación y medios para disolver el ozono en agua. (10)

El ozono puede ser convenientemente aplicado al agua por cualquiera de los siguientes métodos: 1.- El aire ozonizado es íntimamente mezclado con agua - en un tipo de inyector; 2.- El ozono es dispersado bajo presión dentro de agua a través de un medio poroso en el fondo de un tanque profundo; 3.- El gas es introducido por medio de una turbina. Sin embargo los medios usados hoy en día dejan escapar hacia la atmósfera una considerable proporción del ozono aplicado y es conveniente recuperarlo para usarse nuevamente. (6)

La cantidad de ozono transferida a la solución depende de la concentración del ozono en el gas que se va a mezclar y de la presión aplicada de acuerdo con la ampliación a la Ley de Henry, debida a Dalton, que establece que: la cantidad disuelta de cualquier gas de una mezcla es proporcional a su presión parcial cuando - el gas se ha puesto en equilibrio con el líquido. (4)

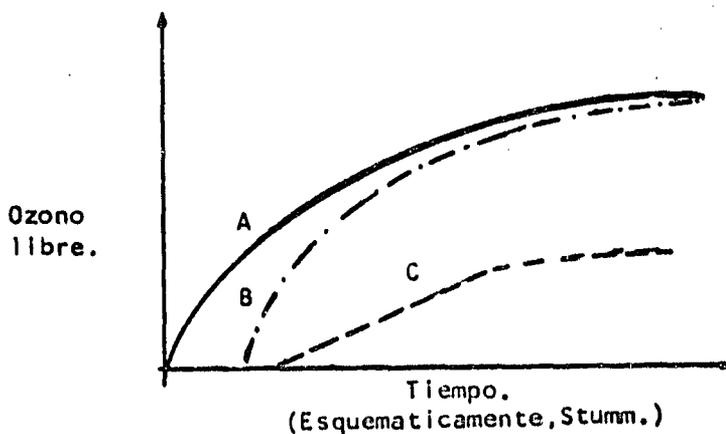
El ozono es alrededor de diez a doce veces más soluble en agua que el oxígeno, pero, por su baja presión parcial, la concentración máxima que puede obtenerse en solución es solamente de unos cuantos miligramos por litro. La siguiente -- tabla da el valor del coeficiente de distribución con respecto a la temperatura.

SOLUBILIDAD DEL OZONO EN AGUA.

TEMPERATURA °C.	COEFICIENTE DE OSTWALD *	SOLUBILIDAD (100% O ₃) g./l
0°	0.51	1.09
10	0.38	0.78
20	0.29	0.57
30	0.21	0.40
40	0.15	0.27
50	0.105	0.19
60	0.08	0.14

* Volumen del gas absorbido por unidad de volumen de líquido a la temperatura indicada.

La siguiente figura muestra la cantidad de ozono admitida en solución por diferentes tipos de agua.



El aire ozonizado fue introducido continuamente en una proporción constante en diferentes tipos de agua y con las mismas condiciones de mezclado. La concentración de ozono fue graficada como una función del tiempo la cual es una representación de la cantidad de ozono añadida a la solución. La curva A fue obtenida con un agua pura, sin demanda de ozono. Esta es una curva de primer orden típica de absorción de gas. La curva B, fue obtenida con un agua que ejerce una demanda de ozono. Un proceso de oxi-reducción substancialmente completado tiene lugar antes de lograrse se presente ozono residual. Después la aceptación de ozono se efectúa en la misma forma que lo hace un agua con libre demanda de ozono. Tales curvas son frecuentemente obtenidas en la ozonización de aguas de desperdicio. Con algunas aguas (Ejem. aguas de superficie, aguas negras) las curvas del tipo C son usuales. En adición a una demanda de ozono, el grado de ozono libre aceptado decrece de acuerdo con el ozono adicional consumido a causa de las reacciones lentas de oxidación y por el incremento en la descomposición catalítica del ozono.

METODOS ANALITICOS EN LA DETERMINACION DEL OZONO DISUELTO EN AGUA.- Una técnica analítica que permita la determinación sensitiva y cuantitativamente específica del ozono residual, no ha sido aún desarrollada. Los métodos más específicos, la medida espectrométrica de la absorción de la luz ultravioleta no es muy sensible. Los métodos más sensibles reportados en la literatura (oxidación de o-toluidina, Mn^{+2} , Fe^{+2} , índigo, yoduro) se basan principalmente en la determinación de la capacidad total de oxidación de la solución mas bien que solamente la cantidad de ozono residual y no son completamente específicos. Interfieren además los constituyentes inorgánicos, (hierro, manganeso, etc.) y orgánicos oxidados así

El aire ozonizado fue introducido continuamente en una proporción constante en diferentes tipos de agua y con las mismas condiciones de mezclado. La concentración de ozono fue graficada como una función del tiempo la cual es una representación de la cantidad de ozono añadida a la solución. La curva A fue obtenida con un agua pura, sin demanda de ozono. Esta es una curva de primer orden típica de absorción de gas. La curva B, fue obtenida con un agua que ejerce una demanda de ozono. Un proceso de oxi-reducción substancialmente completado tiene lugar antes de lograrse se presente ozono residual. Después la aceptación de ozono se efectúa en la misma forma que lo hace un agua con libre demanda de ozono. Tales curvas son frecuentemente obtenidas en la ozonización de aguas de desperdicio. Con algunas aguas (Ejem. aguas de superficie, aguas negras) las curvas del tipo C son usuales. En adición a una demanda de ozono, el grado de ozono libre aceptado decrece de acuerdo con el ozono adicional consumido a causa de las reacciones lentas de oxidación y por el incremento en la descomposición catalítica del ozono.

METODOS ANALITICOS EN LA DETERMINACION DEL OZONO DISUELTO EN AGUA.- Una técnica analítica que permita la determinación sensitiva y cuantitativamente específica del ozono residual, no ha sido aún desarrollada. Los métodos más específicos, la medida espectrométrica de la absorción de la luz ultravioleta no es muy sensible. Los métodos más sensibles reportados en la literatura (oxidación de o-toluidina, Mn^{+2} , Fe^{+2} , índigo, yoduro) se basan principalmente en la determinación de la capacidad total de oxidación de la solución mas bien que solamente la cantidad de ozono residual y no son completamente específicos. Interfieren además los constituyentes inorgánicos, (hierro, manganeso, etc.) y orgánicos oxidados así --

mismo la posibilidad de interferencia por la descomposición de los intermediarios (6).

En la literatura se encontró que para nuestro caso en especial el método más conveniente era el procedimiento para determinar ozono residual en agua desarrollado por Manley (11) llamado OTM porque emplea como reactivos ortotoluidina y sulfato manganoso, es un método colorimétrico que produce un color más intenso que el cloro en las mismas condiciones en una relación de 3/2.

Reactivos.

(1).- La orto-toluidina se preparó de acuerdo con las nuevas recomendaciones de la APHA (American Public Health Association). (12)

Se disolvieron 1.35 g. de dihidro cloruro de ortotoluidina en 500 ml. de agua destilada, mezclando constantemente esta solución se le adicionaron 350 ml. de agua destilada y 150 ml. de clorhídrico concentrado. Esta solución, según las instrucciones debe guardarse en un frasco ámbar.

(2).- Reactivo de sulfato manganoso. Se disuelve 3.1 g. de $MnSO_4 \cdot H_2O$ puro en un litro de agua destilada conteniendo 3 ml. de H_2SO_4 concentrado. Esta solución es aproximadamente N/10 en ácido sulfúrico y contiene aproximadamente 1 g. de manganeso (como Mn) por litro.

Si aparece color en un testigo de agua destilada el reactivo deberá ser renovado.

Procedimiento.- Se colocan 5 ml. del reactivo de $MnSO_4$ en un frasco.

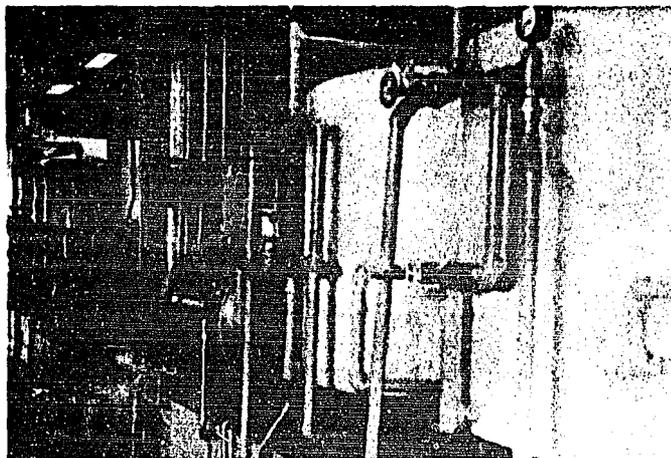
Se adicionan 100 ml. de la muestra; se mezcla.

(si hay alguna pausa, esta deberá ser entre este paso y el siguiente)

Se adicionan 5 ml. del reactivo de o-taloudina.

Colóquese en un comparador de cloro, léase las p.p.m. de cloro; multiplíquese este resultado por 2/3. Esto da el contenido de ozono de la muestra en -- mg./l (= partes por millón).

Si la cantidad de muestra es mayor que 100 ml. la cantidad de reactivos se variará en proporción.



Planta Ozonizadora de una capacidad de 3,785.3 litros de agua por hora.

(Cortesía de Agua Electropura, S. A.)

CAPITULO III

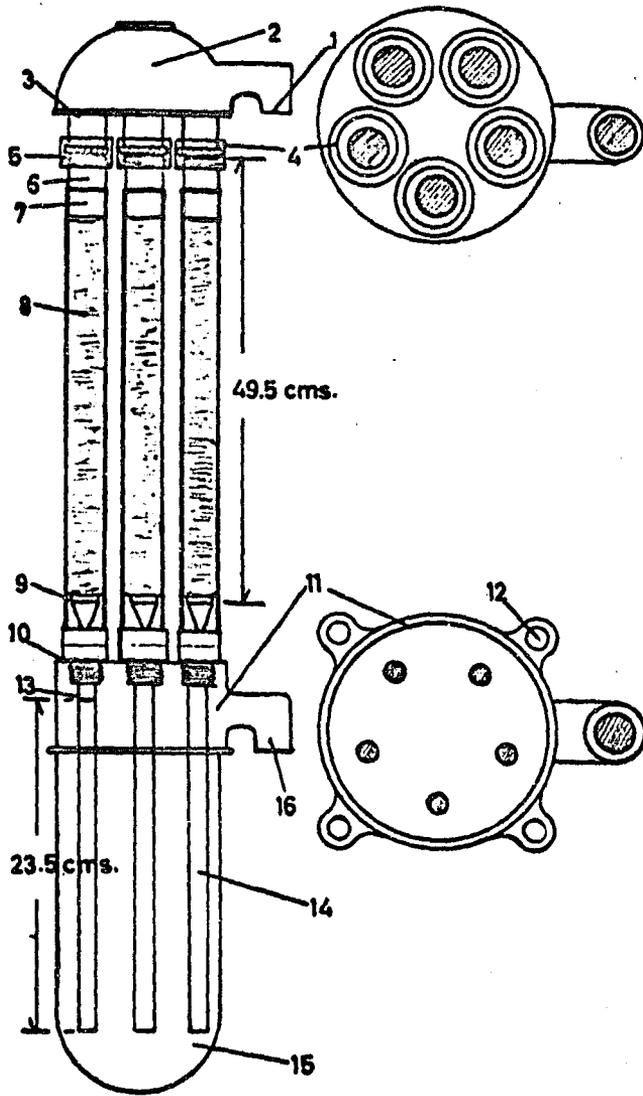
CONCENTRACION DE DATOS EXPERIMENTALES

DESCRIPCION DEL APARATO.

El agua entra por el cople 1* a la cámara de distribución 2* que a su vez reparte el líquido en los cinco tubos 6*, los cuales están unidos mediante las tuercas 4* engargoladas a las cinco prolongaciones que salen de la placa 3* de la cámara de distribución 2*; la unión entre las prolongaciones y los tubos 6* se empaquetan con las rondanas de hule 5* para evitar fugas. Los tubos 6* son cada uno de ellos un electrodo y están cubiertos por el dieléctrico 7* que es un tubo de vidrio de un diámetro interno 26.92 mm (1-3/8") y los tubos 6* de 29.74 mm (1-1/4") de diámetro externo habiendo por lo tanto un espacio entre 6* y 7* en el cual saltará la chispa y por donde pasará el aire formándose por tanto en ese lugar el ozono. El otro electrodo es el papel de estaño 8* que forra la superficie del dieléctrico 7*.

A continuación de los tubos metálicos 6* se encuentran las cámaras de succión 9* que son las causantes de que pase el aire a través del espacio formado por 6* y 7* una cámara por cada tubo. Estas cámaras están a su vez roscadas a la pieza 11* que sirve así mismo de soporte mediante los aditamentos 12* a todo el aparato y también al vaso 15* que va roscado a ella. Los tubos 14* que son de un diámetro menor van soldados en 13* a las cámaras y desembocan en el vaso 15*; posteriormente

* Los números con asterisco corresponden al Esquema 1.



Esq. 1

Descripción del Esquema 1.

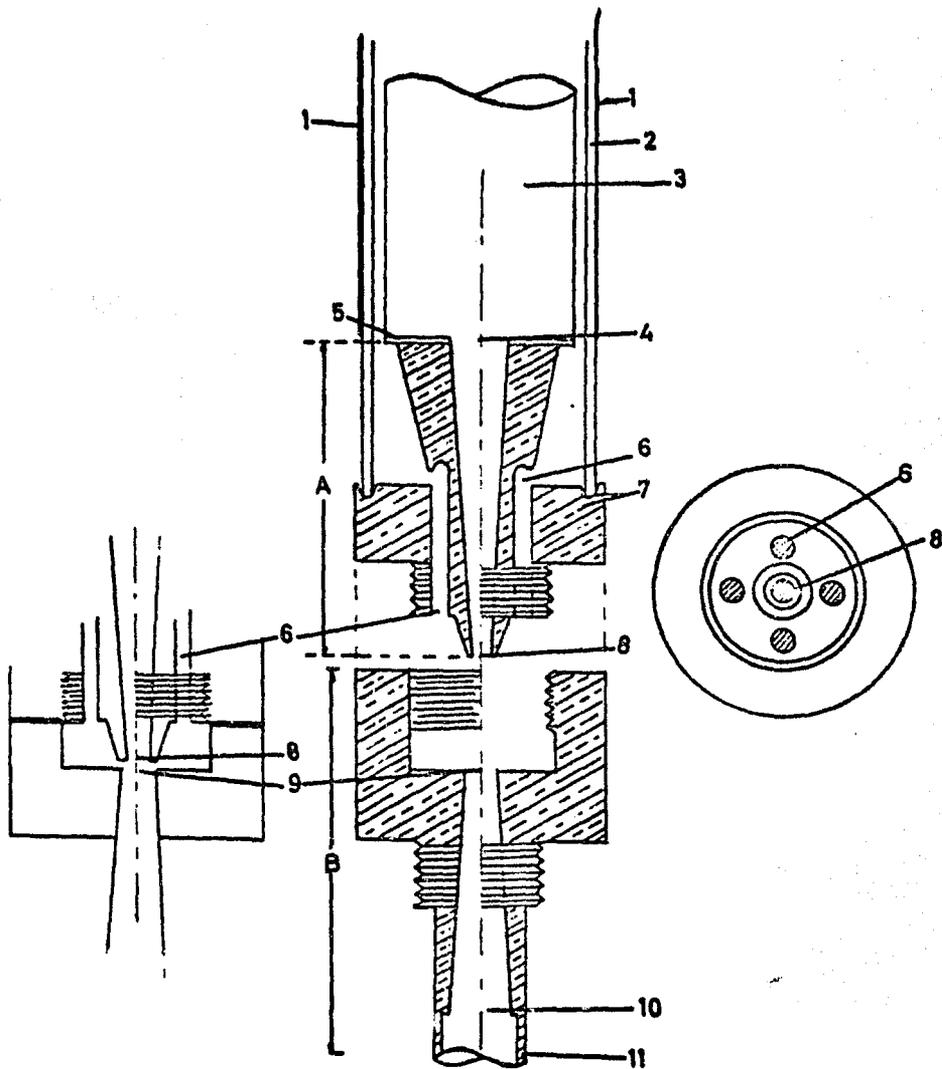
- 1.- Entrada de agua.
- 2.- Cámara de distribución.
- 3.- Tubo distribuidor con contratuerca.
- 4.- Tuerca
- 5.- Empaque.
- 6.- Tubo-electrodo por cuyo interior circula agua.
- 7.- Tubo de vidrio (dieléctrico).
- 8.- Papel de estaño. (electrodo).
- 9.- Unión entre el tubo y la cámara de succión.
- 10.- Empaque.
- 11.- Soporte.
- 12.- Orificios para patas del soporte.
- 13.- Unión (soldada).
- 14.- Tubos prolongación de la cámara de succión.
- 15.- Vaso.
- 16.- Salida de agua.

el agua sale por el grifo 16* de la pieza 11* que se une a un tubo que desemboca al tanque de almacenamiento.

El diseño de las cámaras puede observarse en el esquema 2. Constan de una trompa de agua o trompa de vacío conocidas también con el nombre de absorbedor de gases (fume absorber), son un tipo de eyectores que se clasifican dentro de las bombas de chorro. En esta clase de eyectores el fluido que provoca el vacío es un líquido y el fluido que se evacua es un gas.

El término general, bombas de chorro, incluye todas las máquinas en las cuales su operación está basada en la transferencia de energía por el impacto provocado por el chorro de un fluido a alta velocidad en un fluido estacionario o en movimiento lento dando a la mezcla de fluidos una velocidad moderadamente alta la cual es entonces reducida cuidadosamente hasta dar una presión final más grande que la presión inicial del fluido a baja velocidad. Las partes esenciales de una bomba de chorro son la boquilla y el difusor. La boquilla es un aditamento para transformar la presión alta del fluido en movimiento en alta velocidad; el difusor es una cámara de mezclado y un recurso para convertir la velocidad residual de la mezcla en presión. (13)

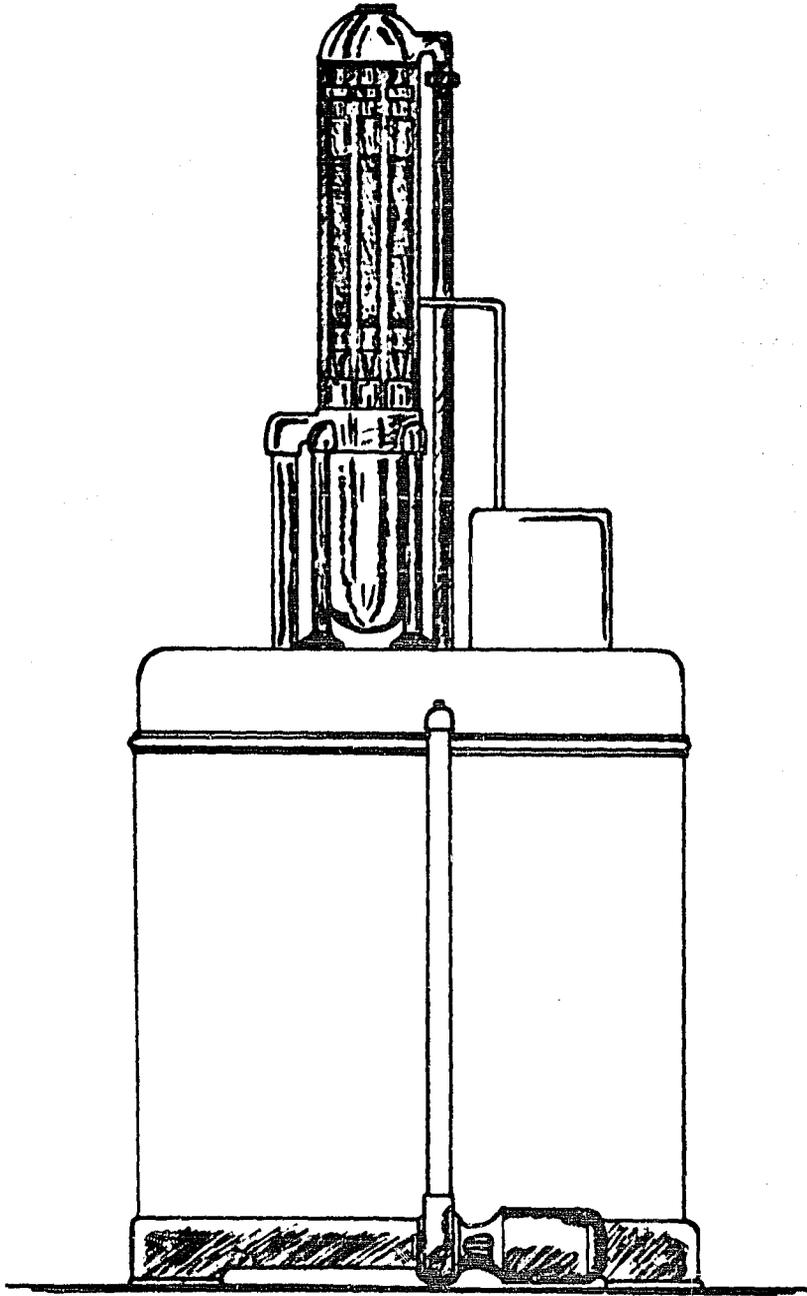
La boquilla a que se hace mención en el párrafo anterior puede observarse en el Esquema 2 situada en el espacio señalado por los números 4-8; es un cono convergente en el sentido del flujo del fluido. El difusor o cámara de mezclado viene a formar parte en el esquema como el cono divergente 10, el cual está soldado al tubo 11, que a su vez desemboca en el vaso 15* (Esquema 1) donde el contacto entre los fluidos es enérgico.



Esq. 2

Descripción del Esquema 2.

- 1.- Papel de estaño**
- 2.- Tubo de vidrio**
- 3.- Tubo metálico**
- 4.- Principio del primer cono**
- 5.- Unión soldada entre la parte A y el tubo 3.**
- 6.- Canal de comunicación.**
- 7.- Ceja sobre la que descansa el tubo 2**
- 8.- Final del primer cono.**
- 9.- Principio del segundo cono.**
- 10.- Final del segundo cono.**
- 11.- Unión con la prolongación.**



Esq. 3. Vista general del aparato.

DESCRIPCION DEL SISTEMA ELECTRICO.

Para producir la descarga eléctrica entre los electrodos en este caso se usó un autotransformador diseñado para usarse en corriente monofásica de 50-60 ciclos y de 110-120 voltios con selector de potencial el cual puede variarse de 5,000 a 10,000 voltios según lo que indica la placa. Con objeto de cerciorarse si estaba de acuerdo con la realidad se midió la relación de transformación aplicando un potencial constante al lado de alta y midiendo el potencial resultante en el lado de baja tensión. Los resultados fueron los siguientes:

MEDICION DE LA RELACION DE TRANSFORMACION DEL AUTOTRANSFORMADOR EMPLEADO.

1a. DETERMINACION:

El potencial aplicado y constante en las terminales de alta tensión fue de 118 voltios.

Potencial obtenido a las terminales - de baja tensión. voltios.	Conmutador en: voltios	Relación de transformación
1.9	5,000	62.1:1
1.5	6,000	78.7:1
1.37	7,000	83.13:1
1.2	8,000	98.33:1
1.05	9,000	112.38:1
0.97	10,000	121.65:1

Corriente alterna monofásica 60 ciclos.

Esta determinación se efectuó en el Laboratorio de la Cía. de Luz en Puebla, Pue.

2a. DETERMINACION:

El potencial aplicado y constante en las terminales de alta tensión fue de 125 voltios.

Potencial obtenido en las terminales de baja tensión Voltios.	Conmutador en: Voltios	Relación de transformación.
1.91	5,000	66.5:1
1.57	6,000	79.5:1
1.45	7,000	86.0:1
1.26	8,000	99.0:1
1.12	9,000	111.9:1
1.05	10,000	119.0:1

Corriente alterna monofásica 50 ciclos.

Esta determinación se efectuó en el laboratorio de Instrumentos de Precisión, S.A. México, D.F.

Se consideró que el potencial cuando se efectuaron los experimentos se mantenía constante a 120 voltios. De acuerdo con los datos anteriores el potencial realmente aplicado a los electrodos es el siguiente:

Commutador en: Voltios.	Relación de transformación.	Potencial real aplicado a los electrodos. Voltios.
5,000	64:1	7,680
6,000	79:1	9,480
7,000	86:1	10,320
8,000	99:1	11,880
9,000	112:1	13,440
10,000	120:1	14,400

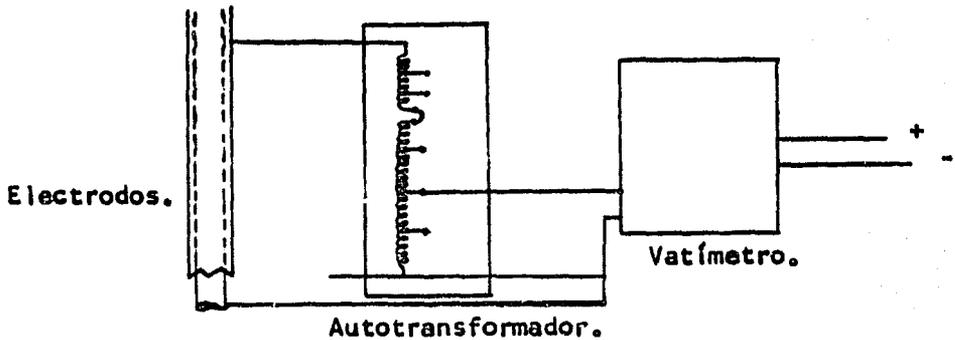


Diagrama eléctrico.

Para medir la energía eléctrica consumida se instaló antes del autotransformador un vatímetro Goertz que consta de:

- a).- Sistema mecánico de relojería.
- b).- Sistema eléctrico.

El sistema mecánico de relojería tiene por objeto accionar un cilindro a diferentes velocidades según se necesite. que varían de 120 mm/h. hasta 5 mm/h. en el cual se enrolla el papel con escala especial sobre él que la pluma registra las lecturas. Este papel pasa por la parte visible del aparato.

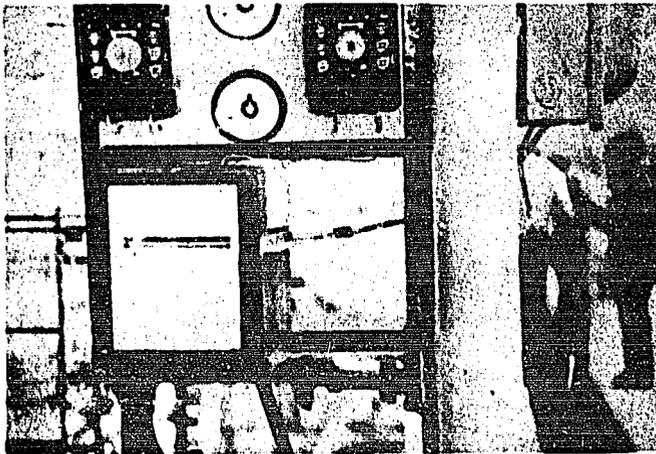
El sistema eléctrico consta de un elemento de medición de la diferencia de potencial y de otro elemento de intensidad de corriente. El primero es una bobina móvil que comunica su movimiento a la pluma registradora, el segundo es una bobina fija. La interacción de los dos campos electromagnéticos producidos por el paso de la corriente es lo que provoca el movimiento de la bobina móvil dando como resultado el que la pluma registre la energía consumida en vatios.

Este aparato está diseñado para operar en corriente trifásica de 220 V o monofásica de 110 V; depende de las conexiones el uso para los distintos sistemas de corriente. La escala normal del instrumento tiene una gama para la intensidad de corriente de 0-5 amperios; pero en caso de necesidad el mismo instrumento puede emplearse para medir mayores consumos de energía y aplicarse a un sistema del mismo voltaje (por ejemplo 220 V), siendo por lo tanto necesario recurrir al empleo de transformadores que se instalan en dos de las fases para evitar descompensaciones que alteren la medición o pongan en peligro de quemarse los circuitos internos de dicho instru-

mento.

Tanto para cargas mayores de 5A como para menores de 1A, es necesario intercalar los transformadores mencionados los cuales tienen por objeto proporcionar la intensidad de corriente necesaria para que el aparato trabaje dentro de la gama de operación para la que está calculado.

La escala de este instrumento indica que pueden medirse cantidades de 0 a 2,000 vatios cuando está conectado para usarse en 5A. Para este caso en particular, se usaron los transformadores para 1 amperio por lo que el valor de la escala nos indicaba la quinta parte de su valor en condiciones normales de uso.



Wattímetro Goertz.

DESCRIPCION DEL SISTEMA MEDIDOR DE FLUJO DE AGUA.

El aparato fue conectado a la tubería de distribución de agua existente en el laboratorio de Ingeniería Química de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México. (*). La presión en esa toma es de 3.5 kg./cm^2 lo suficientemente grande para satisfacer las necesidades que se requerían.

De la válvula de paso que está junto a la columna de las que soportan la estructura del laboratorio hasta la entrada del aparato se tendió una tubería de 25.4 mm (1") de diámetro interior consistente en: un niple, un codo de 45° , un niple, un codo de 45° , un tramo recto vertical, un codo de 90° , un tramo recto horizontal, un cople, un tramo recto, bridas con placa de orificio, tramo recto, codo de 90° , tramo recto vertical, un accesorio T, un tramo recto horizontal, codo de 90° que finalmente conecta con el aparato mediante su cople respectivo.

La placa de orificio se colocó a 86 cm. del primer codo de 90° y a 63 cm. del haz de tubos o manpara que se colocó en el interior del segundo tramo recto horizontal, antes de la placa de orificio, con el objeto de evitar turbulencias en el flujo de agua que afectaría la lectura en el manómetro de mercurio de placa de orificio. La manpara se construyó con doce tubos de cobre de un diámetro interior de 4.76 mm ($3/16$ ") y una longitud de 88.88 mm. ($3-1/2$ ") colocada a 23 cm. del primer

(*) Se agradecen las facilidades proporcionadas por el Director de la Facultad de Química de la UNAM, así como las que me fueron dispensadas por el Dep. de Pasantes y Exámenes Profesionales y por el personal del laboratorio de Ing. Química y que hicieron posible la realización de este trabajo.

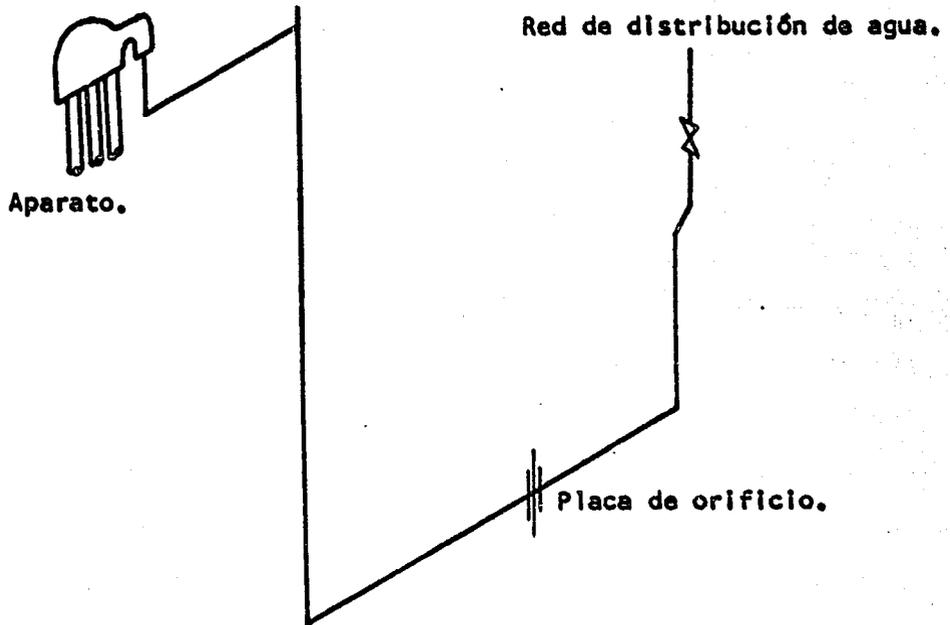


Diagrama de la tubería.

codo de 90° , la placa de orificio a su vez estaba colocada a 18.5 cm. del segundo -
codo de 90° y fue elaborada con una placa de acero inoxidable de un espesor de ---
2.38 mm (3/32") con el orificio al centro de 9.52 mm (3/8") de diámetro y bisel de--
2.38 mm. (3/32). Las tomas de la placa de orificio de diámetro interior de 6.35 -

mm. (1/4") se conectaron mediante mangueras de hule a un tubo en U con mercurio- que hizo las veces de manómetro diferencial. Una placa de orificio deberá estar lo- calizada al menos a 50 veces el diámetro de la tubería en cuestión aguas abajo y 10 ve- ces el diámetro aguas arriba de cualquier accesorio o válvula. Si esto es imposible - un haz de tubos o una manpara enderezadora debe estar insertada antes del orificio, la relación de longitud a el diámetro de los canales en el haz de tubos viene a ser 50 o más.

La calibración de la placa de orificio se realizó de la siguiente mane- ra:

Se insertó un accesorio T a la salida del aparato y después de ella una- válvula de paso con objeto de que el agua pudiera pasar al tanque de almacenamiento o salir hacia afuera. Con la llave de paso cerrada, el agua salía hacia afuera desem- bocando en otro tanque que estaba sobre una báscula. Al abrir la válvula alimenta- dora de agua, el manómetro diferencial indicaba el paso del agua, la cual caía al- tanque colocado sobre la báscula en la que se situaba la pesa del fiel de tal manera- que indicara un mayor peso que el del tanque. Al caer el agua e igualar el peso in- dicado por el fiel, éste se levantaba y en ese preciso momento se accionaba el cro- nómetro; inmediatamente se movía la pesa indicadora en el fiel de la báscula hasta - que indicara 20 kg. más de peso lógicamente el fiel bajaba y al volver a subir para indicar que se había vertido en el tanque 20 kg. de agua o sea 20 litros se volvía a- accionar el cronómetro parándolo. Con esto se lograba conocer el tiempo transcurrido- para alimentar al tanque 20 litros de agua y por tanto dividiendo la cantidad de --

agua entre el tiempo se obtenía el dato del gasto correspondiente. Este dato se relacionó con la diferencia de altura en el manómetro de mercurio.

Los datos obtenidos se reportan en la siguiente tabla:

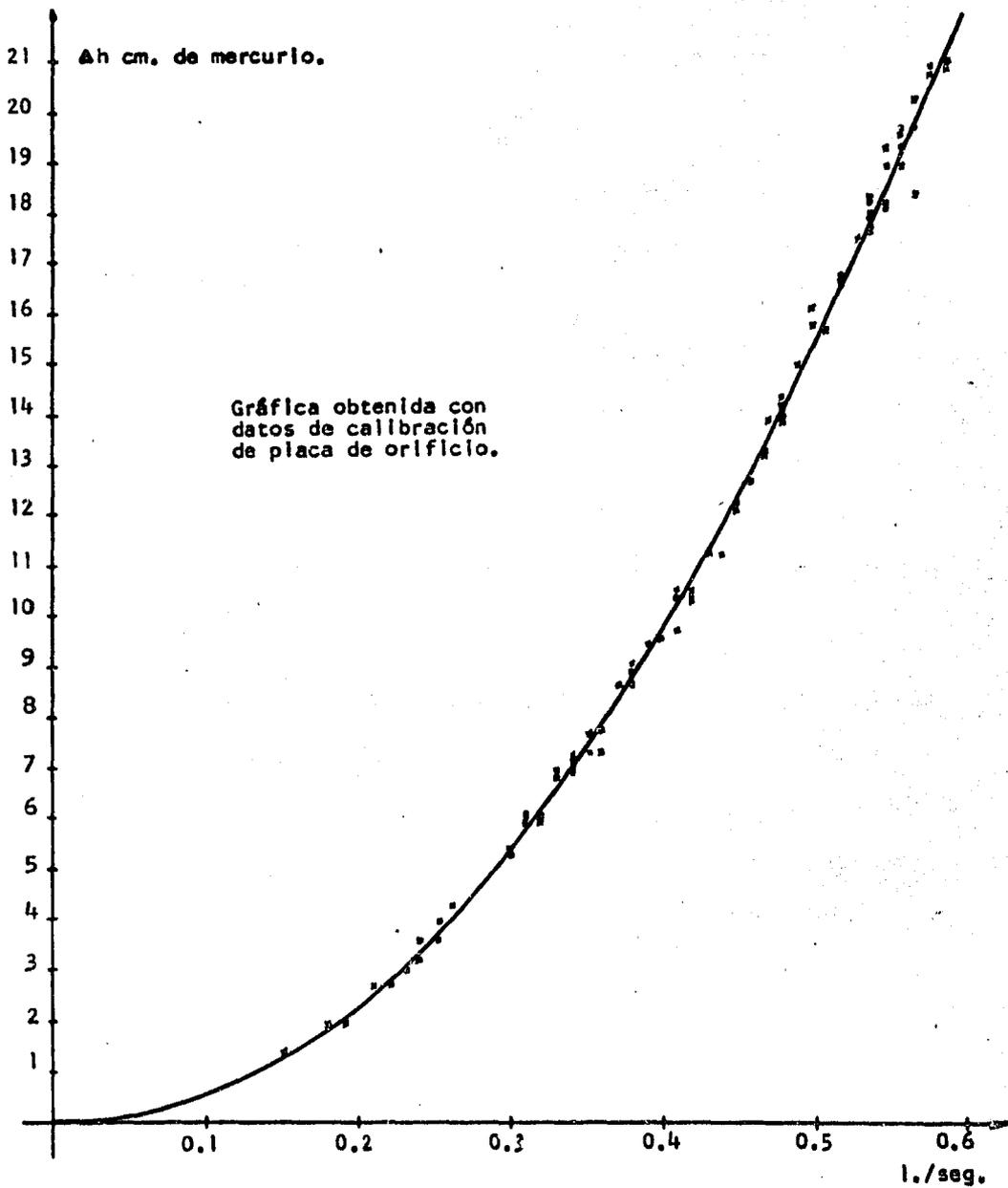
cm. de mercurio Δh	Tiempo en seg. para 20 l.	Gasto l./seg.
40.9-39.5 = 1.4	131.8	0.15
41.1-39.1 = 2.0	104.2	0.19*
41.1-39.1 = 2.0	109.8	0.18
41.5-38.8 = 2.7	92.6	0.21
41.5-38.8 = 2.7	91.4	0.22*
41.5-38.5 = 3.0	88.8	0.23
41.9-38.7 = 3.2	81.4	0.24
41.9-38.3 = 3.6	81.0	0.25
41.9-38.3 = 3.6	83.2	0.24
42.1-38.2 = 3.9	79.2	0.25*
42.3-38.0 = 4.3	76.4	0.26
42.3-37.9 = 4.4	73.6	0.27
42.8-37.5 = 5.3	67.4	0.30*
42.8-37.4 = 5.4	67.0	0.30
43.1-37.2 = 5.9	64.0	0.31
43.1-37.1 = 6.0	63.2	0.32
43.1-37.1 = 6.0	64.2	0.31
43.1-37.0 = 6.1	63.0	0.32

cm. de mercurio Δh	Tiempo en seg. para 20 l.	Gasto l./seg.
43.2-37.1 = 6.1	63.4	0.31
43.5-36.7 = 6.8	60.4	0.33
43.6-36.7 = 6.9	59.4	0.34
43.6-36.7 = 6.9	59.8	0.33*
43.5-36.5 = 7.0	59.0	0.34
43.7-36.5 = 7.2	58.2	0.34
43.8-36.5 = 7.3	57.4	0.35
44.0-36.7 = 7.3	55.0	0.36
44.0-36.3 = 7.7	56.6	0.35
44.0-36.2 = 7.8	56.0	0.36*
44.5-35.8 = 8.7	53.4	0.37
44.6-35.8 = 8.8	53.0	0.38
44.6-35.7 = 8.9	52.8	0.38
44.5-35.5 = 9.0	52.6	0.38*
44.7-35.5 = 9.1	52.4	0.38
44.9-35.4 = 9.7	51.2	0.39*
45.0-35.3 = 9.7	50.2	0.4
45.0-35.2 = 9.8	49	0.41
45.4-34.9 = 10.5	48	0.42
45.4-35.0 = 10.4	47.8	0.42*
45.4-34.9 = 10.5	48.5	0.41

cm. de mercurio Δh	Tiempo en seg. para 20 l.	Gasto l./seg.
45.4-34.8 = 10.6	48	0.42
45.4-34.8 = 10.6	48.2	0.41*
45.8-34.5 = 11.3	45.8	0.44
45.8-34.5 = 11.3	46.5	0.44
45.8-34.3 = 11.5	46.8	0.43*
46.3-34.0 = 12.3	44.6	0.45*
46.3-33.9 = 12.4	44.4	0.45*
46.5-33.7 = 12.8	43.8	0.46
46.7-33.5 = 13.2	43.2	0.46*
46.8-33.5 = 13.3	42.8	0.47*
46.8-33.4 = 13.4	42.8	0.47
47.2-33.2 = 14.0	42.2	0.47
47.2-33.1 = 14.1	41.4	0.48
47.3-33.0 = 14.3	41.6	0.48*
47.3-33.1 = 14.2	41.8	0.48
47.3-32.8 = 14.5	42.0	0.48
47.7-32.6 = 15.1	40.6	0.49*
48.1-32.2 = 15.9	39.2	0.51*
48.3-32.0 = 16.3	39.5	0.50
48.1-32.1 = 16.0	39.5	0.50
48.5-31.8 = 16.7	38.6	0.52*
48.6-31.7 = 16.9	38.4	0.52
49.0-31.4 = 17.6	37.8	0.53

cm. de mercurio Δh	Tiempo en seg. para 20 l.	Gasto l./seg.
49.0-31.3 = 17.7	37.2	0.54
49.0-31.2 = 17.8	37.4	0.54
49.2-31.2 = 18.0	37.4	0.54
49.2-31.1 = 18.1	37.4	0.54
49.3-31.0 = 18.3	36.5	0.55
49.3-30.9 = 18.4	36.8	0.54
49.3-30.9 = 18.4	36.2	0.55
49.4-30.9 = 18.5	36.4	0.57
49.4-30.9 = 18.5	36.6	0.54
49.6-30.5 = 19.1	36.0	0.55
49.6-30.5 = 19.1	35.8	0.56
49.8-30.4 = 19.4	36	0.55
50.0-30.5 = 19.5	35.6	0.56
50.0-30.2 = 19.8	35.5	0.56
50.0-30.1 = 19.9	35.2	0.57*
50.0-30.1 = 19.9	35.5	0.56
50.7-29.7 = 21.0	34.2	0.58
50.3-29.9 = 20.4	34.8	0.57
50.7-29.6 = 21.1	34.6	0.58*
50.7-29.6 = 21.1	33.8	0.59
50.7-29.5 = 21.2	33.8	0.59

*Los datos con asteriscos indican que se repitieron en cuatro ocasiones durante el transcurso de las determinaciones.



DETERMINACION DEL FLUJO DE AIRE.

La determinación del gasto de aire representaba un problema dada la forma del aparato que no se prestaba para efectuarla de una manera fácil y precisa.

Para esta determinación tuvo que fabricarse una camisa de lámina galvanizada en forma de prisma rectangular que cubriera los cinco tubos-electrodos para forzar la entrada del aire por un solo ducto colocado en una de las caras del prisma. El aire posteriormente se repartía por sí solo en cada uno de los cinco espacios formados por los correspondientes electrodos. Este prisma estaba construido de tal manera que la parte superior dejara pasar los cinco tubos por unas prolongaciones que se sellaron lo mejor posible. Por la parte inferior, la tapa no soldada a las caras del prisma, se encontraba aprisionada entre los cinco tubos, y la pieza 11*, tenía además cejas correspondientes, donde descansaban las caras del prisma y se procuró sellar esta unión lo mejor posible.

El dispositivo usado para determinar el gasto es un medidor de velocidades de aire cuyo nombre comercial es el de "The Anor Velometer" fabricado por la Compañía Estadounidense The Anor Instrument Company. Consta principalmente de una cámara o tunel para aire calibrado y construido cuidadosamente con el objeto de que sea hermético a la presión y provea una adecuada distribución en la escala; dentro del medidor del aire impele una veleta de aluminio de tal manera que deflexiona el indicador en la escala.

El sistema con las toberas u orificios está calibrado en términos de unidades de velocidad, por consiguiente cada tobera está calibrada para cada escala

en el Instrumento y dichas escalas son graduadas individualmente.

En la determinación del gasto se usó la tobera No. 2225. El tubo de entrada en la camisa es de un diámetro interno de 7.93 mm. (5/16").

Se aplica la fórmula:

$$Q = FAV$$

Q = Gasto de aire en pies cúbicos por minuto.

F = Factor de aplicación dado por el fabricante con relación a las características del punto donde se realizó la lectura.

A = Area del ducto de flujo en pies cuadrados.

V = Promedio de velocidad de la lectura obtenida en el aparato en pies por minuto.

En este caso,

$$F = 1$$

$$A = 3.1416 \left(\frac{D}{2} \right)^2$$

$$D = 5/16" = 0.026 \text{ pies}$$

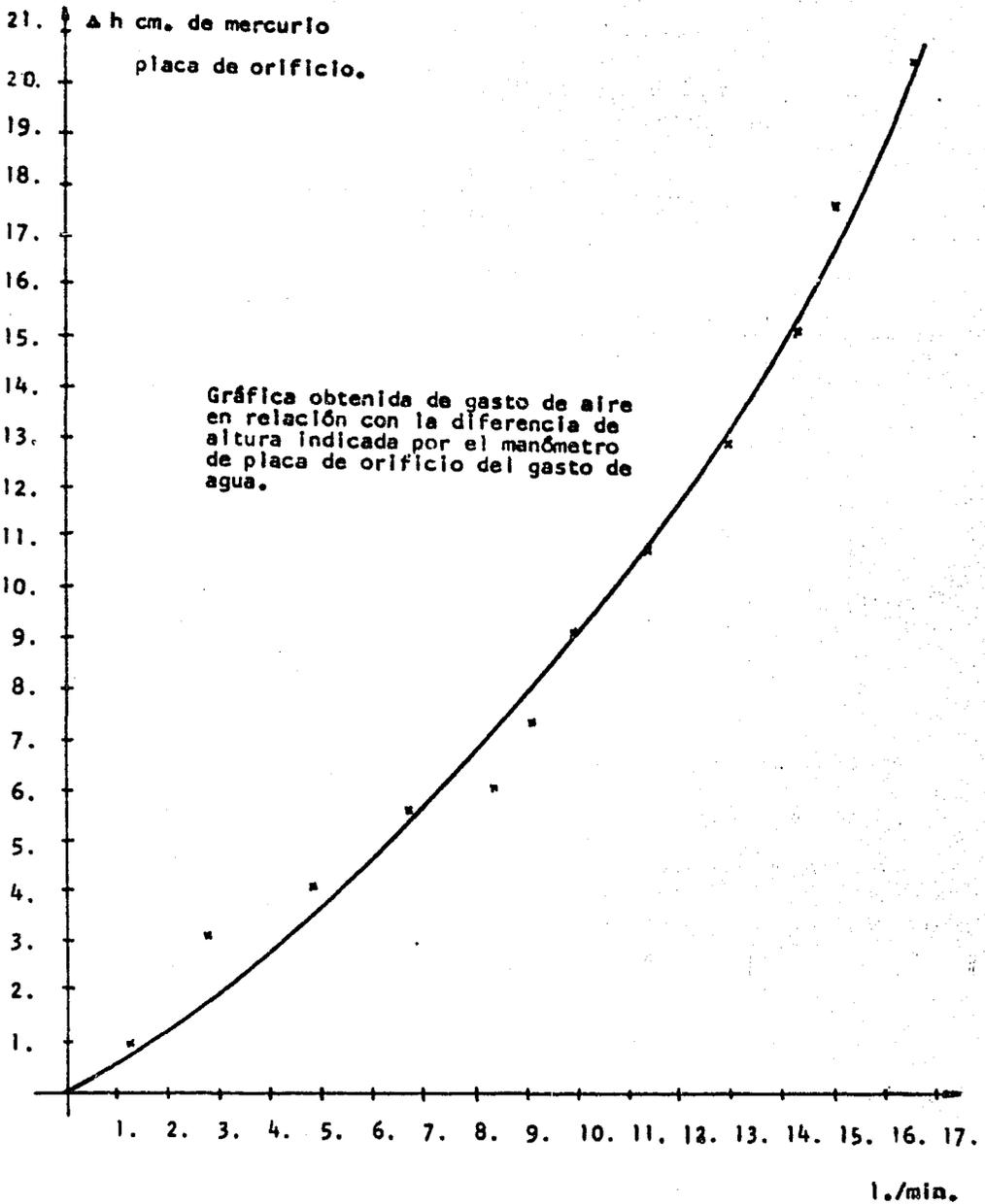
$$A = 0.000532 \text{ pies}^2.$$

Tabla de resultados obtenidos:

Δh manómetro placa de orificio cm. de mercurio	Velocidad, lectura en el aparato pies/mint.	Gasto de aire calculado l./mint.
1	80	1.2
1.9	120	1.8
3.1	180	2.7
4.1	319	4.8
5.5	445	6.7
6.0	550	8.3
7.3	600	9.0
9.0	650	9.7
10.8	750	11.3
12.9	860	12.9
15.2	950	14.3
17.7	1,000	15.0
20.6	1,100	16.6

DETERMINACION DE LA HUMEDAD DEL AIRE.

Para esta determinación se usó un psicrómetro marca Friez. Consta - de dos termómetros uno de bulbo seco y otro de bulbo húmedo; este último tiene adhe- rido al bulbo una cubierta de tela que se humedece al efectuar la determinación. Am- bos termómetros están colocados sobre una lámina de 4x10cm. que les sirven de sopor- te el cual se hace girar (todo el conjunto) en cada determinación mediante una cade- na de aproximadamente 15 cm. hasta que la temperatura del termómetro de bulbo hú



medo se mantenga constante. Con las temperaturas antes citadas se localiza en la gráfica psicrométrica, elaborada para una presión atmosférica de 586.4 mm. de mercurio útil para usarse en la ciudad de México, el por ciento de humedad relativa.

ANALISIS PERIODICO DEL AGUA QUE SE OZONIZO.

Después de cada quince días se analizaba el agua y en cada caso en particular se reporta bajo que análisis corresponde el agua usada en los experimentos que se efectuaron. (14)

En cada análisis se determinó:

Alcalinidad M y F.

Oxígeno consumido (materia orgánica).

Ca y Mg.

Mg.

En cuanto a la determinación de la materia orgánica ésta se efectuó además en la mayoría de los experimentos realizados con el agua sin ozonizar y después de 24 horas en el agua ozonizada con el objeto de ver qué efecto tiene el ozono sobre la materia orgánica que contuviera el agua y con ello ver si hubo algún gasto de ozono en la oxidación de la materia orgánica.

Las determinaciones simultáneas que se efectuaron fueron las siguientes:

1.- Se determinaba la humedad del medio ambiente.

- 2.- Se abría la válvula de paso del agua anotándose la diferencia de altura indicada por el manómetro diferencial de placa de orificio.
- 3.- Se conectaba el circuito eléctrico a la corriente y se registraba el máximo de corriente eléctrica consumida así como el promedio.
- 4.- Se tomaba una muestra del agua que se iba a ozonizar para determinarle la cantidad de materia orgánica contenida.
- 5.- Se tomaban seis muestras del agua ozonizada, una de ellas se reservaba para determinarle la cantidad de materia orgánica contenida, con las otras cinco muestras de 100 ml., en cada una de ellas se determinó la cantidad de ozono inmediata---mente después de haber tomado la muestra y haber dejado transcurrir 5, 10, 15 y 20 minutos.

En el caso de la determinación inmediata, el recipiente en que se tomó la muestra (un Erlenmayer de 300 ml). contenía de antemano los cinco ml. del ---reactivo de sulfato manganoso y tomando en cuenta esta cantidad de reactivo se aforaba posteriormente a una cantidad total de 105 ml. con agua ozonizada. En los otros---cuatro casos se tomaba la muestra de 100 ml. y la solución de sal manganosa se añada hasta que transcurriera el tiempo en que se iba a realizar la determinación; despues se adicionaban los cinco ml. de reactivo de o-toluidina e inmediatamente se colocaba en el comparador colorimétrico anotando las ppm. de cloro.

Las operaciones anteriores se repitieron a diferentes gastos de agua indicados por el manómetro diferencial.

- 6.- Antes de cada serie de determinaciones se corrió un testigo con objeto de saber si el agua antes de ozonizarse contenía alguna sustancia que desarrolle color.
- 7.- Se hicieron determinaciones con el conmutador en 9,000 voltios pero los resultados de la cantidad de ozono fueron iguales o inferiores a 0.06 p.p.m. por lo que se usó en todas las determinaciones reportadas a continuación el mayor potencial que se podía aplicar con el autotransformador, o sea, con el conmutador en ---- 10,000 voltios correspondiendo realmente a un potencial de 14,400 voltios.

La tabla siguiente es una serie de 52 determinaciones considerando los datos presentados como los más representativos.

Humedad relativa. %	Diferencia de alturas cm. de Hg.	Gasto de agua. l./seg.	Energía consumida. Max. Prom. Vatios		p.p.m. de ozono, en el agua.	Tiempo* minutos.	Materia orgánica	
							antes de O ₃ p.p.m. O ₂	después de O ₃ p.p.m. O ₂
42	1.2	0.14	78	61	0.13	inmediata	7.1	7.1 *
					0.06	5		
					0.06	10		
					menos 0.06	15		
					menos de 0.06	20		
45	1.2	0.14	80	74	0.26	inmediata.	6.8	6.8 (*)
50	1.2	0.14	84	72	0.2	inmediata.	7.1	6.4 *
					0.13	5		
					0.13	12		
					0.13	20		
45.5	1.3	0.147	80	70	0.26	inmediata.	---	---
					0.23	5		
					0.16	10		
					menos de 0.6 casi	15		
					sin color.			

* Tiempo a partir de tomada la muestra y que se hizo la determinación de la cantidad de ozono.

Humedad relativa. %	Diferencia de alturas. cm. de Hg	Gasto de agua. l./seg.	Energía consumida		p.p.m. de ozono en el agua	Tiempo* minutos	Materia orgánica	
			Max.	Prom.			antes de O ₃ p.p.m. O ₂	después de O ₃ p.p.m. O ₂
20	1.4	0.15	150	140	0.2	inmediata.	7	6.2 *
					0.2	5		
					0.13	10		
					0.13	17		
					0.13	25		
25	1.4	0.15	160	150	0.26	inmediata	7	6.2 *
					0.2	5		
					0.2	10		
					entre 0.2-0.13	15		
					" " "	20		
55	1.4	0.15	60	50	menos de 0.6	inmediata.	6.2	6.2 (*)
					coloración --	5		
					muy débil.	10		
					" "	15		
					casi sin -	20		
color.								
15	1.5	0.157	98	80	0.4	inmediata.	0.2	0.2 (-)

Humedad relativa. %	Diferencia de alturas. cm. de Hg.	Gasto de agua. l./seg	Energía consumida		p.p.m. de ozono en el agua.	Tiempo minutos.	Materia orgánica	
			Max.	Prom.			antes de O ₃ p.p.m. O ₂	después de O ₃ p.p.m. O ₂
15	1.5	0.157	98	80	entre 0.26-04.	5		
					" " "	10		
					0.26	15		
					"	20		
40	1.5	0.157	84	70	0.2	inmediata.	3.85	3.14 (-)
					0.2	5		
					0.2	10		
					0.13	15		
43	1.5	0.157	74	60	0.2	inmediata.	-----	-----
49	2.1	0.187	60	58	0.06	inmediata.		
					"	5		
					menos de 0.06	10		
					casi sin color.	15		
15	2.6	0.213	80	76	0.26	inmediata.		
					0.13	5		
					menos de 0.06	10		
					" " "	15		

Humedad relativa. %	Diferencia de alturas. cm. de Hg.	Gasto de Agua l./seg.	Energía consumida. Max. Prom. Wattios.		p.p.m. de ozono en el agua.	Tiempo minutos	Materia orgánica	
							antes de O ₃ p.p.m. O ₂	después de O ₃ p.p.m. O ₂
15	2.6	0.213	80	76	casi sin color	20		
30	3	0.225	90	80	0.13	inmediata.	3.25	3.14 (-)
					0.13	5		
					0.13	10		
					entre 0.13-0.06	15		
					" " "	20		
70	3.3	0.237	110	100	menos de 0.06	inmediata.	7	7 *
60	3.5	0.243	120	60	menos de 0.06	inmediata.	6.2	6.2 (*)

A partir de un gasto de 0.243 l./seg. se obtenían coloraciones muy débiles y algunas veces casi imperceptibles. En alguna ocasión en que la humedad del aire era baja la concentración de ozono aumentaba pero nunca se logró obtener valores arriba de 0.13 p.p.m. de ozono.

* Análisis No. 1 del agua que se ozonizó.

Alcalinidad.

$$M = 17.1 \text{ p.p.m. } \text{HCO}_3^-$$

$$F = 1.8 \text{ p.p.m. } \text{H}_2\text{CO}_3$$

$$\text{Ca y Mg} = 112.4 \text{ p.p.m.}$$

$$\text{Mg} = 29 \text{ p.p.m.}$$

$$\text{Materia orgánica} = 7.5 \text{ p.p.m. como } \text{O}_2$$

(*) Análisis No. 2.

Alcalinidad.

$$M = 15 \text{ p.p.m. } \text{HCO}_3^-$$

$$F = 2 \text{ p.p.m. } \text{H}_2\text{CO}_3$$

$$\text{Ca y Mg} = 90 \text{ p.p.m.}$$

$$\text{Mg} = 20.1 \text{ p.p.m.}$$

$$\text{Materia orgánica} = 6.4 \text{ p.p.m. como } \text{O}_2$$

(-) Análisis No. 3.

Alcalinidad.

$$M = 18.5 \text{ p.p.m. } \text{HCO}_3^-$$

$$F = 3 \text{ p.p.m. } \text{H}_2\text{CO}_3$$

$$\text{Ca y Mg} = 101 \text{ p.p.m.}$$

$$\text{Mg} = 24.7 \text{ p.p.m.}$$

$$\text{Materia orgánica} = 4 \text{ p.p.m. como } \text{O}_2$$

CAPITULO IV

CONSIDERACIONES ECONOMICAS.

Antes de abordar el estudio económico indispensable en todos los diseños de equipo para los procesos de Ingeniería Química conviene señalar la interconexión entre los datos técnicos resultantes del estudio del proceso con las posibilidades económicas de llevarlo a la práctica.

De los datos recopilados puede observarse la influencia de una gran cantidad de factores, lo que implica la necesidad de atender a cada uno de ellos y solamente se puede concretar el esfuerzo a señalar que de acuerdo con el gran número de observaciones realizadas, las condiciones del aire tienen una influencia preponderante en relación con el rendimiento en la ozonización, principalmente la humedad por lo que la inversión necesariamente tendría que ampliarse para proporcionar al proceso un aire en condiciones ideales. Así mismo este estudio se basa simplemente en la suposición de que existe la condición más favorable por cuanto a época del año y hora del día en que se realizan las experiencias y sobre esa base se hará el estudio económico, ya que de no considerarlo así, las condiciones desfavorables del aire perjudicarían la costeabilidad de un intento de esta naturaleza.

Para la estimación de costos se tomaron como base los lineamientos que

para el mismo objetivo se siguen en las plantas de procesos industriales. Desde luego que con sus salvedades, ya que no se trata propiamente de una planta sino de un equipo que pudiera ser utilizado formando parte del proceso de una pequeña industria.

1.- INVERSION COSTO DEL EQUIPO INSTALADO.

Aparato propiamente dicho según el esquema 1 con su tanque de almacenamiento de agua ozonizada-----	\$ 2,000.00
Tubería e instalación -----	\$ 350.00
Rotámetro medidor de flujo de agua de una ganxa de 0-15 1./mir.-----	\$ 1,150.00
Motobomba centrífuga de 1/4 de H.P.*-----	\$ 650.00
Elemento térmico de protección del motor eléctrico-----	\$ 120.00
Tanque de almacenamiento de agua por tratar.-----	\$ 500.00
Transformador de 15,000 voltios A.C, monofásico-----	\$ 350.00
Sistema eléctrico de protección para el transformador e instalación eléctrica en general-----	\$ 250.00
Imprevistos-----	\$ 1,000.00
Total.-----	\$ 6,370.00

Los precios anteriores provienen de cotizaciones directas de casas comerciales.

*En el caso de que no se disponga de una toma que proporcione la presión suficiente.

2.- COSTO DE OPERACION ANUAL.

DEPRECIACION.

En la industria Americana los valores de depreciación de las diferentes partes del equipo es el siguiente:

Bombas 10-20 años.

Medidores 25-30 años.

Instalaciones eléctricas 20 años.

Tomando un promedio y como base el mínimo de tiempo se estima una duración del equipo de 17 años. (16)

Por otro lado la estimación que se hace sobre este aspecto en la determinación de costos en una planta ozonizadora en operación en los Estados Unidos es de 25 años. (17)

Los valores anteriores nos dan una idea del orden por donde andan las estimaciones a este respecto.

En nuestro caso en particular por la clase de equipo de que se trata se considerará el mínimo de tiempo permitido por las leyes Mexicanas que es el de 10 años, el año sería de 10% sobre el costo del equipo instalado.

$$\$ 6,370.00 \times 0.1 = \$ 637.00 / \text{año.}$$

MANTENIMIENTO.-

Por la experiencia en una planta de ozonización se llegó a la conclusión que el mantenimiento representa el 3.5% anual sobre el costo del equipo instalado. (17)

No obstante el valor anterior en nuestro caso consideraremos para dar un amplio margen a eventualidades el 8% sobre el costo de equipo instalado.

$$\$ 6,370.00 \times 0.08 = \$ 509.60$$

SEGUROS Y OTROS.

En este renglón se considera las posibles fallas humanas en la operación del equipo. Se considera un valor aceptable el del 2% anual sobre el costo del equipo instalado.

$$\$ 6,370.00 \times 0.02 = \$ 127.40/\text{año.}$$

MANO DE OBRA.

Un operario especializado es mas que suficiente para el manejo de este aparato y en condiciones óptimas de operación le sobraría tiempo para ocuparlo en otras maniobras. Considerando un sueldo para los 365 días del año que incluya prestaciones, seguros, gratificaciones, etc., se estima de \$ 50.00 diarios, en un año sería de:

$$\$ 50.00 \times 365 = \$ 18,250.00$$

ENERGIA ELECTRICA.

Se consideran 300 días de operación al año en un sólo turno de ocho- horas diarias de trabajo o sea 2,400 horas de trabajo al año.

El transformador en condiciones óptimas de trabajo consume 80 vatios o sea 0.08 kilo-vatios, 1 kilovatio-hora cuesta \$ 0.40.

Costo de la energía eléctrica consumida por el autotransformador del -- aparato:

$$2,400 \text{ hs.} \times \$0.4 \times 0.08 = \$ 76.80$$

Si se usa una bomba de $\frac{1}{4}$ de H.P. se tiene:

$$1 \text{ H.P.} = 0.746 \text{ kilovatios.}$$

$$\frac{0.764}{4} \times 2,400 \times 0.4 = \$ 183.36/\text{año.}$$

Costo de la energía consumida por el transformador. ----	\$ 76.80
" " " " " " la bomba -----	<u>183.36</u>
Costo total de la energía eléctrica consumida.-----	\$ 260.16

MATERIA PRIMA.

En este caso la materia prima es la misma agua. El gasto en condi- ciones óptimas de experimentación corresponde a 0.157 l./seg. En un año de 300 -- días de operación:

$$0.157 \times 3,600 \times 2,400 = 1,356,480 \text{ l./año.}$$

El metro cúbico de aprovisionamiento municipal de acuerdo al consu-

mo en este caso cuesta \$ 0.40.

$$1,356,48 \text{ m}^3 \times \$0.4 = \$ 542.59/\text{año}.$$

DEPRECIACION----- \$ 637.00

MANTENIMIENTO----- \$ 509.60

SEGUROS Y OTROS ----- \$ 127.40

MANO DE OBRA----- \$18,250.00

ENERGIA ELECTRICA,----- \$ 260.16

MATERIA PRIMA----- \$ 542.59

COSTO DE OPERACION ANUAL.----- \$20,326.75

COSTO UNITARIO DE PRODUCCION.

$$\frac{\$ 20,326.75}{1,356.48} = \$ 14.98 / \text{m}^3.$$

Si la negociación de que se trate necesita para adquirir este aparato un préstamo se tendría que cargarle como un costo adicional de producción el interés del capital prestado, siendo este del 12% anual que es el permitido en México en préstamos bancarios.

$$\$ 6,370.00 \times 0.12 = \$ 764.00$$

En este caso el costo unitario de producción sería el siguiente:

$$\$ 20,326.75 + 764.40 = \$ 21,091.15$$

COSTO UNITARIO DE PRODUCCION.

$$\frac{\$ 21,091.15}{1,357.48} = \$ 15.54$$

CAPITULO V

CONCLUSIONES

Durante la operación del aparato se observó que:

- 1.- El calentamiento del dieléctrico de vidrio no era muy notable.
- 2.- En algunas ocasiones el agua invadió por los orificios de succión el espacio donde se produce la descarga eléctrica al cerrar la válvula de agua. Si esto sucediera en operación con el circuito eléctrico conectado, provocaría un serio percance pues podría romperse el dieléctrico y suscitar un corto circuito.
- 3.- Los tubos-electrodos presentaron después de un corto tiempo muestra de oxidación reduciendo el área útil lo que indica que el material de que están contruídos -- (latón) deberá ser sustituido por otro que sufra menos oxidación. En los ozonizadores de plantas de tratamiento se usa acero inoxidable pero aún este material sufre oxidación.
- 4.- Por el sitio en que están colocados los electrodos de polo vivo (papel de estaño) y sin su debida camisa de protección, se hacen sumamente peligrosos.
- 5.- Para limpiar de óxido los tubos-electrodos hay que quitar la pieza 1* (esq.1) lo que representa el riesgo de que en cualquier descuido se rompan los tubos de vidrio al desenroscar las tuercas respectivas.

Las conclusiones derivadas de la determinación del ozono disuelto en agua son las siguientes:

1.- La humedad del aire ejerce una influencia determinante sobre la obtención de ozono, por consiguiente es necesario el controlar sus condiciones sin lo cual este aparato no podrá utilizarse de una manera segura y eficiente.

2.- Las condiciones más favorables de operación fueron:

Gasto de agua 0.157 l./seg.

Humedad relativa del aire 15%.

Energía eléctrica empleada.- C. A. monofásica,
60 ciclos, 120 voltios.

Potencial aplicado a los electrodos 14,400 voltios.

Consumo de energía eléctrica 80 vatios.

Ozono disuelto en agua 0.4 p.p.m.

Costo por metro cúbico de agua ozonizada:

Cuando se dispone de capital.- \$14.98/m³.

En el caso de necesitar un préstamo para la adquisición del --
aparato.- \$ 15.54/m³.

3.- Aún cuando el diseño de este aparato no es útil para usarse en forma inmediata en la grande industria, sí puede servir de base para investigaciones posteriores ya que logrando controlar la humedad del aire y de este modo producir una cantidad constante de ozono puede evaluarse la dependencia que presenta el gas solubilizado en el agua con respecto a la turbulencia, burbujeo, pro

fundidad del vaso de contacto, etc., conocimientos que ayudarían al diseño más eficiente que aprovechara todo el ozono producido disolviéndolo en el agua.

- 4.- El costo en plantas de tratamiento que utilizan la ozonización resulta en una de ellas de \$ 8.03 dólares por un millón de galones de agua o sea \$ 0.0265-M.N. por metro cúbico aplicando como promedio al agua 1.63 p.p.m. de ozono.

Tomando como base estos datos la conclusión lógica que aparece a la vista es que el aparato no es económico y por lo tanto irrealizable su industrialización.

- 5.- No obstante existen industrias que venden agua purificada en garrafones de 20-litros a un costo para el público de \$ 1.90 lo que resulta a razón de \$950.00 el metro cúbico. Si una pequeña industria necesitara satisfacer su consumo de agua comprando garrafones, podría serle conveniente la adquisición de un aparato de esta naturaleza que compite ventajosamente bajo este punto de vista, siempre y cuando los defectos técnicos indicados se solucionen satisfactoriamente.

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- Calvet Enrique Dr.
Química General Aplicada con Prácticas de Laboratorio
Tomo III Combinaciones de los cuerpos simples.
Salvat Editores, S. A. 1956
Pág. 159.
- 2.- Guinvarc'h Pierre.
Water Department, City of Paris, Paris, France.
Three Years of Ozone Sterilization of Water in Paris.
Ozone Chemistry and Technology.
Advances in Chemistry Series 21.
Published March 1959.
American Chemical Society.
Pag. 416.
- 3.- Fetner R. H. and Ingols R. S.
Engineering Experiment Station, Georgia Institute of
Technology Atlanta, Ga.
Bactericidal Activity of Ozone and Chlorine Against
Escherichia Coli at 1° C.
Ozone Chemistry and Technology.
Advances en Chemistry Series 21.
Published March 1959.
American Chemical Society.
Pag. 370
- 4.- Partington J.R.M.B., E., D. Sc.
Tratado de Química Inorgánica
la edición en Español.
Editorial Porrua.
México, D. F. 1952
Pág. 146, 66.
- 5.- Briner E.
University of Geneva, Genova, Switzerland.
Photochemical Production of Ozone.
Ozone Chemistry and Technology.
Advances in Chemistry series 21.
Published March 1959.

American Chemical Society.
Pag. 1.

6.- Stumm Werner

University of Harvard, Cambridge, Massachusetts.
Ozone as a Disinfectant for Water and Sewage.
Journal of the Boston Society of Civil Engineers.
January 1958.
Vol. 45 Núm. 1
Pag. 68-79

7.- Galán Sánchez Román.

Curso de Química.
Tercera Edición.
Cultural, S. A.
La Habana, Cuba 1951
Pag. 97

8.- Sidney W. Benson and Axworthy Arthur E., Jr

Department of Chemistry, University of Southern, Calif.,
Los Angeles 7, Cal.
Implications of Data on the Gas Phase Descomposition of
Ozone.
Ozone Chemistry and Technology.
Advances in Chemistry Series 21.
Published March 1959.
American Chemical Society.
Pag. 398

9.- Sachio Fuji and Takenura Naoshi.

Electrotechnical Laboratory,
Ministry of International Trade and Industry, Tokio, Japan.
Electrical Characteristics of the Ozonizer.
Ozone Chemistry and Technology.
Advances in Chemistry Series 21.
Published March 1959.
American Chemical Society
Pag. 334.

10.- Krik-Othmer.

Encyclopedia of Chemical Technology.
The Interscience Encyclopedia Inc.
New York.
Vol. 9 Pág. 735- 753

- 11.- Manley T. C.
The Welsbach Corporation.
The determination of Dissolved Ozone in Water.
Ozone Processes Division.
Research Department Report.
Pag. 10.
- 12.- American Public Health Association.
Standard Methods for the Examination of Water Sewage and
Industrial Wastes. (1955)
Pág. 70
- 13.- Brown Granger George and Associates.
Unit Operations.
John Wiley & Sons, Inc. New York 1953.
Pág. 157.
- 14.- Hope H. Pablo Ing. Quim.
Análisis de aguas. (apuntes)
Universidad Nacional Autónoma de México (1964)
- 15.- Chilton Cecil H.
Cost Engineering in the Process Industries.
McGraw-Hill Book Company, Inc. 1960.
- 16.- Perry John H.
Manual del Ingeniero Químico.
Traducción al Español de la 3a. Edición en Inglés
UTEHA, S. A.
México, D. F., 1959
Pág. 2,898
- 17.- Bean E. L.
Treatment Section, Philadelphia Water Department, Phila--
delphia, Pa.
Ozone Production and Costs.
Ozone Chemistry and Technology
Advances in Chemistry Series 21.
Published March 1959.
American Chemical Society.
Pag. 440.

**Esta tesis se imprimió en Octubre de 1968
empleando el sistema de reproducción
Xerox-Offset en los talleres de
Impresos Offsali-G, S. de R. L.
Mier y Pesado 529 Col. del Valle
México 12. D. F. Td. 25-21-06**