

720741



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**PROYECTO PARA LA NEUTRALIZACION DE LA  
AGRESIVIDAD DEL AGUA POTABLE EN EL SUBSISTEMA  
PEÑON DEL SISTEMA HIDRAULICO DEL DISTRITO FEDERAL**

**T E S I S**

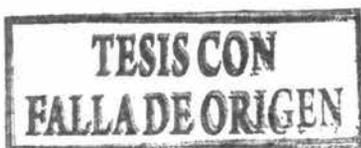
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO**

**P R E S E N T A**

**TERESA SEVILLA OLGUIN**

MEXICO, D. F.

1989





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.

CLAS Tesis  
ADD 1989  
FECHA             
PROC M.F. 271





EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE : PROF. FRANCISCO SERRANO MENESES  
VOCAL : PROF. CARLOS ROMO MEDRANO  
SECRETARIO : PROF. JESUS GONZALEZ PEREZ  
1er. SUPLENTE : PROF. LIN MORENO AÑORVE  
2do. SUPLENTE : PROF. JOSE ALEJANDRO BAEZA REYES

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA : EN LA DIRECCION GENERAL DE  
CONSTRUCCION Y OPERACION  
HIDRAULICA.

ASESOR

Q. CARLOS ROMO MEDRANO

SUPERVISOR TECNICO

I.Q. FCO. SERRANO MENESES

SUSTENTANTE

TERESA SEVILLA OLGUIN

A LA MEMORIA DE MI PADRE

ROMAN SEVILLA ALARCON

CUYO RECUERDO ESTARA SIEMPRE  
ACOMPAÑADO DE MI MAS PROFUNDO CARIÑO

A LA MEMORIA DE MI HERMANA

AURORA SEVILLA OLGUIN

A MI MADRE

SRA. MA. DE LA LUZ OLGUIN M.

POR HABERME IMPULSADO A SEGUIR  
ADELANTE, DARME SU APOYO Y  
COMPRESION

A MIS HERMANOS

GLORIA  
RAMON  
MONICA  
PABLO  
JAVIER  
LOURDES  
LUISA  
RAFAEL  
JAIME  
ARTURO  
SAUL  
RAUL

POR EL APOYO Y ESTIMULO  
QUE SIEMPRE ME BRINDARON

A MIS CUÑADOS

CON ESPECIAL CARIÑO

A MIS SOBRINOS

POR QUE LOGREN LO MEJOR  
EN LA VIDA

A MIS AMIGOS

CON AGRADECIMIENTO Y ESTIMACION  
POR EL APOYO FRANCO E INCONDICIONAL  
QUE SIEMPRE ME HAN BRINDADO

GRACIAS

A TODAS AQUELLAS PERSONAS  
QUE DE ALGUNA FORMA  
CONTRIBUYERON A LA ELABORACION  
DE ESTE TRABAJO

MI AGRADECIMIENTO A LOS MAESTROS

Q. CARLOS ROMO MEDRANO

I.Q. FRANCISCO SERRANO MENESES

POR HABERME BRINDADO  
SU APOYO PARA LA  
REALIZACION DE ESTE TRABAJO

A LA FACULTAD DE QUIMICA

## INDICE

0.- INTRODUCCION.	1
0.1.- ANTECEDENTES.	3
0.2.- DEFINICION DEL PROBLEMA.	7
0.3.- OBJETIVO.	10
0.4.- ALCANCES.	10
1.- MARCO TEORICO.	11
1.1.- AGRESIVIDAD DE LAS AGUAS.	11
1.2.- INDICES DE CORROSION.	12
2.- SELECCION, LOCALIZACION Y DESCRIPCION DE LA ZONA DE MUESTREO.	19
3.- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.	24
3.1.- METODOLOGIA SEGUIDA PARA POZO PEÑON No. 4.	24
3.2.- METODOLOGIA SEGUIDA PARA REBOMBEO PEÑON.	31
4.- EVALUACION Y ANALISIS DE RESULTADOS.	41
4.1.- EVOLUCION HISTORICA.	41
4.2.- RESULTADOS DE PRUEBAS DE TRATABILIDAD EN AGUA - DE POZO PEÑON No. 4.	52
4.3.- RESULTADOS DE PRUEBAS DE TRATABILIDAD EN AGUA - DE REBOMBEO EL PEÑON.	70
4.3.1.- NEUTRALIZACION DE LA AGRESIVIDAD DEL -- AGUA.	71
4.3.2.- DESINFECCION DEL AGUA CON HIPOCLORITO - DE SODIO.	73
4.3.3.- ETAPA DE CLARIFICACION.	74
5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
SIMBOLOGIA	97
BIBLIOGRAFIA	98
APENDICE A: NORMAS NACIONALES E INTERNACIONALES PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE.	100

## TABLAS

- 1.- EVOLUCION HISTORICA DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA EN-  
POZO PEÑON No. 4.
- 2.- EVOLUCION HISTORICA DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA EN-  
REBOMBEO PEÑON.
- 3.- EVOLUCION HISTORICA DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA EN-  
TANQUE PEÑON.
- 4.- COMPORTAMIENTO DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA CON DOSI-  
FICACIONES DE HIDROXIDO DE CALCIO EN AGUA NO CLO-  
RADA DEL POZO PEÑON No. 4.
- 5.- COMPORTAMIENTO DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA CON DOSI-  
FICACIONES DE HIDROXIDO DE CALCIO EN AGUA CLORADA-  
DEL POZO PEÑON No. 4.
- 6.- COMPORTAMIENTO DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA CON DOSI-  
FICACIONES DE HIDROXIDOS DE CALCIO.
- 7,8y9.- COMPORTAMIENTO DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA CON DOSI-  
FICACIONES DE HIPOCLORITO DE SODIO VARIABLE E HI-  
DROXIDO DE CALCIO CONSTANTE.
- 10,11,12 y13.-COMPORTAMIENTO DEL CLORO LIBRE RESIDUAL CON LA  
DOSIFICACION DE HIDROXIDO DE CALCIO.
- 14.- RESUMEN DE RESULTADOS PARA REBOMBEO PEÑON.
- 15.- COMPORTAMIENTO DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA CON DOSI-  
FICACIONES DE HIDROXIDO DE CALCIO EN REBOMBEO PEÑON
- 16.- COMPORTAMIENTO DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA CON DOSI-  
FICACIONES DE HIPOCLORITO DE SODIO.
- 17.- DETERMINACION DE LA DOSIS OPTIMA DE COAGULANTE  $Al_2$   
( $SO_4$ ) $_3$  12  $H_2O$ . PARA LA ETAPA DE CLARIFICACION.

## FIGURAS

- 1.- EVOLUCION HISTORICA DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA POZO PEÑON No.4.
- 2.- EVOLUCION HISTORICA DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA EN-REBOMBEO PEÑON.
- 3.- EVOLUCION HISTORICA DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA ENTANQUE PEÑON.
- 4.- COMPORTAMIENTO DE LOS INDICES DE AGRESIVIDAD DE LA AWWA Y DE RIZNAR CON LA DOSIFICACION DE HIDROXIDO-DE CALCIO EN AGUA NO CLORADA DEL POZO PEÑON No. 4.
- 5.- COMPORTAMIENTO DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA CON DOSIFICACIONES DE HIDROXIDO DE CALCIO EN AGUA CLORADA-DEL POZO PEÑON No.4.
- 6.- COMPORTAMIENTO DE LOS INDICES AWWA Y RIZNAR CON DOSIFICACIONES DE HIDROXIDO DE CALCIO.
- 7.- COMPORTAMIENTO DEL INDICE DE AGRESIVIDAD DE RIZNAR CON DOSIFICACIONES DE HIPOCLORITO DE SODIO VARIABLE E HIDROXIDO DE CALCIO CONSTANTE.
- 8.- COMPORTAMIENTO DEL INDICE DE AGRESIVIDAD DE LA AWWA CON DOSIFICACIONES DE HIPOCLORITO DE SODIO VARIABLE E HIDROXIDO DE CALCIO CONSTANTE.
- 9.- COMPORTAMIENTO DEL CLORO LIBRE RESIDUAL CON DOSIS-DE HIDROXIDO DE CALCIO VARIABLE E HIPOCLORITO DE SODIO CONSTANTE.
- 10.- COMPORTAMIENTO DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA CON DOSIFICACIONES DE HIDROXIDO DE CALCIO EN REBOMBEO PEÑON.
- 11.- RELACION ENTRE LOS INDICES AWWA Y RIZNAR PARA DIFERENTES DOSIS DE HIDROXIDO DE CALCIO.
- 12.- CLORO LIBRE RESIDUAL VS HIDROXIDO DE CALCIO (REBOMBEO PEÑON).
- 13.- POTENCIAL HIDROGENO VS HIDROGENO DE CALCIO (REBOMBEO PEÑON).

- 14.- SOLIDOS DISUELTOS TOTALES VS HIDROXIDO CALCIO (RE--  
BOMBEO PEÑON).
- 15.- DUREZA DE CALCIO VS HIROXIDO DE CALCIO (REBOMBEO --  
PEÑON).
- 16.- TURBIEDAD VS HIDROXIDO DE CALCIO (REBOMBEO PEÑON).
- 17.- COMPORTAMIENTO DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA CON DOSI--  
FICACIONES DE HIPOCLORITO DE SODIO (REBOMBEO PEÑON)
- 18.- COMPORTAMIENTO DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA CON DOSI--  
FICACIONES DE COAGULANTE.
- 19.- DETERMINACION DE LA DOSIS OPTIMA DE COAGULANTE.

FIG. A.-CONTENIDO DE ASBESTOS EN EL SISTEMA HIDRAU--  
LICO DEL D.F.

FIG. B.-DIAGRAMA GENERAL-SUBSISTEMA PEÑON.

FIG. C.-AREA DE INFLUENCIA DE AGUA POTABLE DEL SUB--  
SISTEMA PEÑON.

CUADRO A.-CRITERIOS DE CLASIFICACION DE LA AGRESI--  
VIDAD DEL AGUA.

CUADRO B.-LISTA DE MATERIAL Y REACTIVOS.

## 0.- INTRODUCCION

El objetivo fundamental de este estudio está encaminado a proponer una solución al problema que representa la presencia de fibras de asbesto en el agua potable como consecuencia del desgaste que sufren las tuberías de asbesto-cemento cuando el agua que transporta muestra características de agresividad y diversos factores como velocidad, presión, temperatura y tiempo de contacto que pueden influir en dicho desgaste lo que traería como consecuencia un incremento, en el contenido de fibras representando un riesgo potencial a la salud.

Para cumplir el objetivo del presente estudio se planteó realizar pruebas de tratabilidad a nivel laboratorio para neutralizar la agresividad del agua potable manejada en pozo y en bloque, desarrollando una evaluación periódica de nivel de agresividad del agua en la zona seleccionada, y efectuando corridas de experimentación consistentes en dosificaciones de  $\text{Ca(OH)}_2$ , midiendo los parámetros necesarios para

calcular los índices de agresividad así mismo se propuso un tren de tratamiento para aminorar los efectos adversos en color, turbiedad y cloro libre residual, obteniéndose dosis óptimas de  $\text{Ca (OH)}_2$ ,  $\text{Na ClO}$  y  $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{ H}_2\text{O}$ , de esta forma se espera neutralizar dicha agresividad y salvaguardar la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua.

## 0.1.- ANTECEDENTES

La Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) del Departamento del D.F. es el organismo encargado del suministro y control de agua potable, alojamiento de aguas residuales y tratamiento con fines de potabilización ó reuso en el Sistema Hidráulico del D.F. (S.H.D.F.). Además de la operación mencionada, la DGCOH cuida de suministrar la cantidad de agua que demanda la población, y asegurar que posea una calidad fisicoquímica, y bacteriológica que no represente posibilidad alguna de afectar la salud de los habitantes del D.F., y por ello dentro de su Dirección Técnica, tiene a la Subdirección de Desarrollo que entre otros aspectos se encarga de la investigación y realización de estudios de factibilidad, planeación y definición de proyectos ejecutivos hasta su realización. Ref. 9.

En lo que respecta al abastecimiento y distribución de agua potable, el S.H.D.F., tiene diferentes tipos de instalaciones, dentro de los

cuales, las tuberías de asbesto-cemento juegan un papel importante debido a la cantidad de líneas que de este tipo de material se encuentran funcionando actualmente en la red de distribución, así se tiene que en la red secundaria la cual está formada por tuberías que comprenden diámetros que van de 10 a 40 cm, cuenta con una longitud de 12,000 Km que aproximadamente el 70% es de material asbesto-cemento, por lo que los aspectos que nos ocupa en este estudio es el investigar alguna solución a los efectos que trae la agresividad del agua en las tuberías del material antes mencionado, ya que se cuenta con estudios realizados por diferentes organismos internacionales sobre el impacto ambiental provocado por los asbestos, considerado como un agente altamente tóxico y potencialmente carcinogénico. Refs.12 y 13.

La Environmental Protection Agency (EPA), Agencia para la Protección del Ambiente ha realizado investigaciones sobre la inhalación de fibras de asbesto y establece que es altamente perjudicial porque provoca la enfermedad conocida con el nombre de "ASBESTOSIS", la cual consiste en la cicatrización masiva del tejido pulmonar, esta enfermedad se

encuentra clasificada como riesgo ocupacional en la industria de los asbestos, desafortunadamente el amplio uso de los materiales que contienen asbesto ha propiciado que se haya extendido al público en general, pero un descubrimiento aún mas perturbador es el hecho de que la exposición a los asbestos causa tumores malignos de la pleura y del peritoneo. Tal exposición se considera que normalmente ocurre mediante la inhalación de las fibras de asbestos, sin embargo, a últimas fechas existe una gran preocupación de que estas fibras microscópicas puedan ser absorbidas del agua potable a través del tracto digestivo y que penetren en la corriente sanguínea, por lo que la EPA establece como criterio de calidad en agua potable un contenido máximo permisible de 30,000 fibras de asbesto por litro.

La palabra "asbestos", es un nombre genérico muy amplio el cual se aplica a un gran número de fibras minerales (silicatos) compuestas fundamentalmente de silicio, oxígeno, hidrógeno y algunos iones metálicos (cationes) como el sodio, magnesio, calcio ó hierro. Los asbestos están clasificados en dos grandes grupos, el de las serpentinas (crisotilas) y el de los anfíboles, los pertenecientes al primero son los que

se emplean en mayor cantidad para la manufactura de productos comerciales. La composición química de las diferentes fibras de asbestos, es muy variada y algunas fórmulas típicas se presentan en la tabla I. Todas las especies de asbesto difieren entre si en sus propiedades físicas y químicas, con la excepción de que todas contienen silicio y todas forman fibras cuando el mineral es triturado, estas fibras cristalinas tienen la propiedad de dividirse en forma longitudinal dando origen a otras fibras las cuales tienen una gran resistencia a la tensión además de ser muy flexibles. Una considerable cantidad de estas fibras son de tamaño microscópico y tienen la forma de pequeñas agujas o formas aciculares con filos muy agudos. Ref.17.

TABLA No. I

Fórmulas Típicas para las fibras de asbesto.

- 1.- Serpentina Crisotila (asbesto-  $Mg_3 Si_2 O_5 (OH)_4$   
blanco)
- 2.- Anfíboles Amosita (asbesto-  $(Mg,Fe)_7 Si_8 O_{22} (OH)_2$   
azul
- Crosidolita  $Na_2 (Mg,Fe)_5 Si_8 O_{22} (OH)_2$
- Antofilita  $(Mg,Fe)_7 Si_8 O_{22} (OH)_2$
- Tremolita  $Ca_2 Mg_5 Si_8 O_{22} (OH)_2$
- Actinolita  $Ca_2 (Mg,Fe)_5 Si_8 O_{22} (OH)_2$

## 0.2- DEFINICION DEL PROBLEMA

En el Sistema Hidráulico del Distrito Federal (SHDF) se han localizado zonas en las que de acuerdo a propiedades fisico-químicas del agua le confieren un alto grado de agresividad, lo que trae como consecuencia deterioro, via el fenómeno de corrosión en las tuberías, principalmente las de asbesto-cemento, ocasionando incorporación de fibras de asbesto al agua potable, lo que representa una fuente de peligro potencial para la salud del consumidor.

Ante esta situación la DGCOH realizó un programa de monitoreo para investigar el contenido de fibras de asbesto en diferentes puntos del S.H.D.F, fig. A; y el Laboratorio Central de Control de ésta dependencia en colaboración con el Instituto de Física de la UNAM utilizaron una adecuada técnica analítica por microscopia electrónica de transmisión para la identificación de dichas fibras en el agua potable. De los resultados obtenidos se detectó que el mayor contenido de fibras de asbesto se encuentran localizadas

en zonas con elevado nivel de agresividad y los puntos del S.H.D.F. que reportaron las más altas concentraciones fueron rebomero y tanque "Peñon". ref. 16.

Una respuesta a este problema de la agresividad del agua es la adición de un reactivo químico que la neutralice. Este trabajo contempla la evaluación técnica de este método como una alternativa viable de solución.

# CONTENIDO DE ASBESTOS EN EL SISTEMA HIDRAULICO DEL D.F.

( DETERMINADOS EN 1985 )

TANQUE  
CHALMITA : 0 FIBRAS /l  
TORRE OSCILACION : 0 FIBRAS /l  
CRUCEROS : 1700 FIBRAS/l

----- LIMITE DELEGACIONAL

TANQUE STA.ISABEL: 10,239 FIBRAS/l.  
REBOMBEO STA. ISABEL : 0 FIBRAS/l.  
CRUCEROS : 1,705 FIBRAS/l.

TANQUE EL PEÑON : 101,170 FIBRAS/l.  
REBOMBEO EL PEÑON: 101,170 FIBRAS/l.  
CRUCEROS : 226,854 FIBRAS/l.

TANQUE AGUILAS #2  
FIBRAS /l.  
CRUCERO: FIBRAS/l.

TANQUE CERRO DE LA ESTRELLA (1): 45,000 FIBRAS/l.  
TANQUE CERRO DE LA ESTRELLA (2): 30,702 FIBRAS/l.  
REBOMBEO : 0 FIBRAS/l  
CRUCEROS: 11,509 FIBRAS/l

TANQUE SAN GREGORIO ATLAPULCO: 0 FIBRAS/l  
REBOMBEO SNGREGORIO ATLAPULCO: 0 FIBRAS/l.  
CRUCEROS : 0 FIBRAS/l.

TANQUE DELA LUZ :  
0 FIBRAS /l.  
CRUCEROS: 0 FIBRAS/l.

- 1.- A. OBREGON
- 2.- AZCAPOTZALCO
- 3.- BENITO JUAREZ
- 4.- COYOACAN
- 5.- CUAJIMALPA
- 6.- CUAUHTEMOC
- 7.- G.A. MADERO
- 8.- IZTACALCO
- 9.- IZTAPALAPA
- 10.- M. CONTRERAS
- 11.- MIGUEL HIDALGO
- 12.- MILPA ALTA
- 13.- TLAHUAC
- 14.- TLALPAN
- 15.- V. CARRANZA
- 16.- XOCHIMILCO

\* CRITERIO 30 000 FIBRAS/l.

\* WATER QUALITY CRITERIA FOR ASBESTOS EPA (1979).

Fig. A

### 0.3.- OBJETIVO

Determinar por medio de la experimentación las pruebas de tratabilidad para neutralizar la agresividad del agua potable y de esta forma evitar el desprendimiento de fibras de asbesto; además de preservar las propiedades fisicoquímicas y bacteriológicas que la caracterizan como potable.

### 0.4.- ALCANCES

- 1.- Determinar el cambio en el nivel de agresividad - del agua "in situ" de rebombeo y tanque "Peñon", a través del tiempo.
- 2.- Probar en el laboratorio en forma experimental, la tratabilidad, que teóricamente se suponga adecuada para neutralizar a la agresividad del agua, en el sentido que fluye en el SHDF (pozo, rebombeo).
- 3.- Cuantificar los efectos que provoca dicha tratabilidad en los parámetros F.Q.B., del agua. Si tales parámetros sufren una degradación contraproducente - sugerir medidas experimentales para prevenir o corregir tales efectos adversos.
- 4.- Proponer políticas que sean aplicables a cada punto particular del S.H.D.F.

## 1.- MARCO TEORICO

### 1.1.- AGRESIVIDAD DE LAS AGUAS

La agresividad del agua provoca un tipo de corrosión que consiste en el desgaste de la superficie del material que se encuentra en contacto con ella y los factores que la caracterizan como tal son principalmente: alto contenido en anhídrido carbónico libre (más de 50 ppm), bajo pH, baja alcalinidad y poca dureza. Sin embargo la conductividad eléctrica (relacionada con los sólidos disueltos totales) es importante ya que cuanto mayor es, más fácil son los fenómenos electroquímicos, así también causa problemas contenidos en ión cloruro por encima de 500 ppm; hay otros elementos que pueden intervenir como el oxígeno, ácido sulfhídrico, sales, microorganismos, etc. (ref.15.)

Se encuentran otros agentes que pueden contribuir a la corrosión como temperaturas elevadas, velocidad de circulación (a mayor velocidad mayor posibilidad de acciones mecánicas de erosión). (ref. 3).

Existen diversos materiales alcalinos como el carbonato de calcio, carbonato de sodio, bicarbonato de sodio, hidróxido de sodio e hidróxido de calcio, que se pueden utilizar para la neutralización química de la agresividad del agua. Ref. 7.

## 1.2 INDICES DE CORROSION

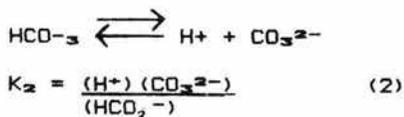
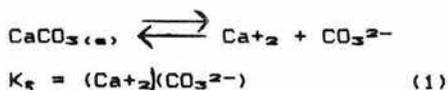
Un índice se define como "un número derivado de una fórmula, para caracterizar un conjunto de datos" y relacionandolo con el fenómeno de corrosión, se desarrollaron varios, para proporcionar una medida cualitativa y/o cuantitativa de la acción corrosiva o incrustante del agua, y tomando en cuenta los siguientes parámetros como potencial de hidrógeno, potencial de hidrógeno de saturación, sólidos disueltos totales, temperatura, alcalinidad total y dureza de calcio expresados como mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , se obtuvieron los siguientes índices:

- a) Índice de Riznar (Ref. 11)  
 $I_R = 2 \text{ pH}_s - \text{pH}$

donde:

$\text{pH}_s$  = potencial hidrógeno de saturación  
 $\text{pH}$  = potencial de hidrógeno

Este índice se derivó de una expresión de productos de solubilidad de carbonato de calcio, referido a la fuerza termodinámica para el equilibrio de precipitación a través de una serie de relaciones químicas. Por lo que el potencial de hidrógeno de saturación se calcula utilizando expresiones de equilibrio para la solución de  $\text{CaCO}_3$  y la segunda hidrólisis del ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ):



Dividiendo la ecuación (1) entre la (2) y reorganizando, se obtiene:

$$(\text{H}^+) = \frac{K_2}{K_s} [(\text{Ca}^{+2})(\text{HCO}_3^-)] \quad (3)$$

Tomando logaritmos negativos, y expresando  $(\text{Ca}^{+2})$  y  $(\text{HCO}_3^-)$  como  $\text{CaCO}_3$  queda:

$$\text{pH}_s = \text{p}[\text{Ca}^{+2}] + \text{p}[\text{HCO}_3^-] + \text{p}[K_2/K_s]$$

$$\text{pH}_s = \text{p Ca} + \text{p Alc.} + C$$

donde:  $\text{p} [ K_2/K_s ] = C$  es una estimación de la - constante de disociación basado en la temperatura y sólidos disueltos totales ó fuerza iónica

$\text{p Ca} = - \log(\text{iones calcio en moles por litro}).$

$\text{p Alc.} = - \log(\text{alcalinidad total en equivalentes de } \text{CaCO}_3 \text{ por litro}).$

En base a unas correlaciones efectuadas y expresando el pCa y pAlc como CaCO<sub>3</sub> en mg/l queda.

$$\begin{aligned} pCa &= 4.9996 - 0.9343 \ln (D) \\ pAlc &= 4.7006 - 0.4345 \ln (A) \\ C &= 2.4566 - 0.0189 T + 0.0363 \ln (SDT) \end{aligned}$$

siendo: pHS = potencial hidrógeno de saturación  
pH = potencial de hidrógeno  
pCa = potencial de dureza de calcio  
pAlc = potencial de la alcalinidad  
C = potencial de temperatura y sólidos -  
disueltos totales.  
T = Temperatura (°C)  
SDT = Sólidos disueltos totales (mg/l).

En el cuadro A se establecen los criterios de clasificación en función del valor del índice.

\*  
b) Índice AWWA

El índice de agresividad I<sub>A</sub> se define en el prefacio del AWWA "Standard for asbestos-cement distribution pipe" (January 30, 1977) con la siguiente ecuación:

$$I_A = pH + \log (AD)$$

donde: pH = potencial de hidrógeno  
A = alcalinidad total expresado en mg/l de -  
CaCO<sub>3</sub>  
D = dureza de calcio expresada en mg/l de -  
CaCO<sub>3</sub>

Los valores se interpretan como:

I<sub>A</sub> < 10 Altamente agresiva  
10 < I<sub>A</sub> < 11.9 Moderadamente agresiva  
I<sub>A</sub> > 12 No agresiva

\* American Water Works Association, Asociación Americana de Obras Hidráulicas.

El índice de agresividad, se determinó asumiendo "factores de corrección" para ajustar la constante del producto de solubilidad de la calcita a una temperatura generalizada así como el contenido de sólidos disueltos totales. A pesar de que el índice de agresividad se usa para tubos de asbesto-cemento, no contiene términos específicos que tomen en cuenta los componentes de este tipo de material, sin embargo el Standard C-400-77 de la AWWA establece los criterios para determinar la calidad del agua que puede ser transportada sin presentar efectos adversos, recomendando los tipos de tubería de asbesto-cemento que pueden ser utilizados.

## OBSERVACIONES GENERALES

Los índices mencionados fueron hechos para describir las condiciones bajo las cuales se deposita una capa de carbonato de calcio en las paredes internas de los tubos. Dicha capa puede proteger al tubo de efectos corrosivos del agua. Sin esta protección, la tubería puede corroerse rápida o lentamente dependiendo de la calidad del agua que transporta.

## LIMITACIONES

- a) La limitación del índice de Riznar es que las expresiones para la constante del producto de solubilidad son sólo estrictamente válidas para sistemas en equilibrio.
- b) El índice de agresividad  $I_a$  presenta desventajas para predecir el depósito protector de  $\text{CaCO}_3$  ya que la precipitación de sólidos de  $\text{CaCO}_3$  no está caracterizada con la constante del producto de solubilidad de la calcita, y la temperatura, sólo toma en cuenta la concentración de iones calcio, pH y alcalinidad debido a que cambian cuando existe una precipitación del carbonato de calcio y si se tiene cantidades apreciables de calcio y alcalinidad en el agua indica que puede preveer una protección contra la corrosión.

El I<sub>a</sub> no incluye ninguna medida que considere las reacciones complejas (tales como las reacciones con aditivos de polifosfatos), tampoco considera la formación de constituyentes de precipitados protectores tales como el ión férrico, Mn, Zn, Si, de los cuales se tiene conocimiento que son agentes inhibidores de la corrosión.

CUADRO A. CRITERIOS DE CLASIFICACION DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA

CRITERIO	FORMULACION MATEMATICA	TIPOS DE CLASIFICACION	
		LIMITES DE CLASE	CARACTER DEL AGUA
A W W A	$I_A = pH + \text{Log}_{10} (A \times D)$ DONDE = $I_A$ = Índice de Agresividad $A$ = Alc. Tot. (mg/l de $\text{CaCO}_3$ ) $D$ = Dureza de Calcio (mg/l de $\text{CaCO}_3$ )	$I_A > 12$ $10.0 < I_A < 11.9$ $I_A < 10.0$	No Agresivo (No-Agr) Moderadamente Agresivo (Mo-Agr) Altamente Agresivo (Alt-Agr)
RIZNAR	$I_R = 2pH_s - pH$ $pH_s = pCa + \text{potc.} + C$ $pCa = 4.9996 - 0.4343 \ln (D)$ $\text{potc.} = 4.7006 - 0.4345 \ln (A)$ $C = 2.4566 - 0.0189 T + 0.0363 \ln (SDT)$ DONDE : $I_R$ = Índice de corrosión $pH_s$ = potencial hidrógeno de saturación $pH$ = potencial de hidrógeno $pCa$ = potencial de dureza de calcio $\text{potc.}$ = potencial de alcalinidad $C$ = potencial de temperatura y sólidos disueltos $T$ = temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) $SDT$ = Sólidos disueltos totales (mg/l)	$4 < I_R < 5$ $5 < I_R < 6$ $6 < I_R < 7$ $7 < I_R < 7.5$ $7.5 < I_R < 9.0$ $9.0 < I_R$	Muy incrustante (Mu-Inc) Moderadamente incrustante (Md-Inc) Poco incrustante y/o corrosivo (Po-I/c) Corrosivo (Corr.) Francamente corrosivo (F-Corr.) Muy corrosivo (Mu-Corr)

## 2.- SELECCION, LOCALIZACION Y DESCRIPCION DE LA ZONA DE MUESTREO.

Se seleccionó como zona de estudio el Subsistema Peñón del Sistema Oriente de agua potable, debido a que fué el lugar que reportó la más alta concentración de fibras de asbesto, en el monitoreo realizado por el Laboratorio Central de Control de la DGCOH en colaboración con el Instituto de Física de la UNAM (1985), (figura A.).

El abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México se realiza a través de seis sistemas: Norte, Sur, Centro, Oriente, Poniente y Lerma.

### A) DESCRIPCION DEL SISTEMA. ORIENTE

Los límites del Sistema Oriente son:

Al Norte colinda con la Delegación Gustavo A. Madero; al Sur con la calzada Taxqueña; al Poniente con la Calzada de la Viga y al Oriente con el límite del Estado de México. Las delegaciones que están comprendidas dentro de este sistema son: Iztapalapa, Iztacalco y Venustiano Carranza.

Captación: Las fuentes de captación son del tipo pozo profundo, el total de pozos perforados y que actualmente están operando es de 41, todos destinados al abastecimiento de agua potable, con un caudal aproximado de 1770 lts/sg.

Regulación: El Sistema Oriente cuenta con 10 tanques de regulación, que manejan parte de los caudales extraídos con una capacidad total de almacenamiento de 52,700 m<sup>3</sup>; el más importante por sus capacidades de almacenamiento es el Peñón con sus 50,000 m<sup>3</sup>, pues almacena el 95% del volumen total, en tanto que el resto de los tanques solamente regulan el 5%.

Plantas de rebombeo: Existen en el Sistema 18 plantas de rebombeo, además se cuenta con la planta Potabilizadora Agrícola Oriental; todas ellas interconectadas entre sí o bien con pozos y tanques.  
Ref. 9.

#### B) SUBSISTEMA PEÑON PERTENECIENTE AL SISTEMA ORIENTE.

Consta de nueve pozos con un gasto total de extracción aproximado de 600 l/s. La conducción se realiza por medio de una tubería de 50.8 (20") y 106.6 (42") cm. de diámetro, con una longitud total de 15.8 Km. La línea de conducción entrega sus aguas a una planta de bombeo localizada al pie del Cerro Peñon,

denominada Peñón Grande, de esta planta se envía un caudal al tanque del Peñón, para su distribución. Cabe indicar que a esta conducción se le une otra de 50.8 (20") cm. de diámetro proveniente de la zona de captación de los pozos de Texcoco. (figuras B y C).

DIAGRAMA GENERAL - SUBSISTEMA PEÑON

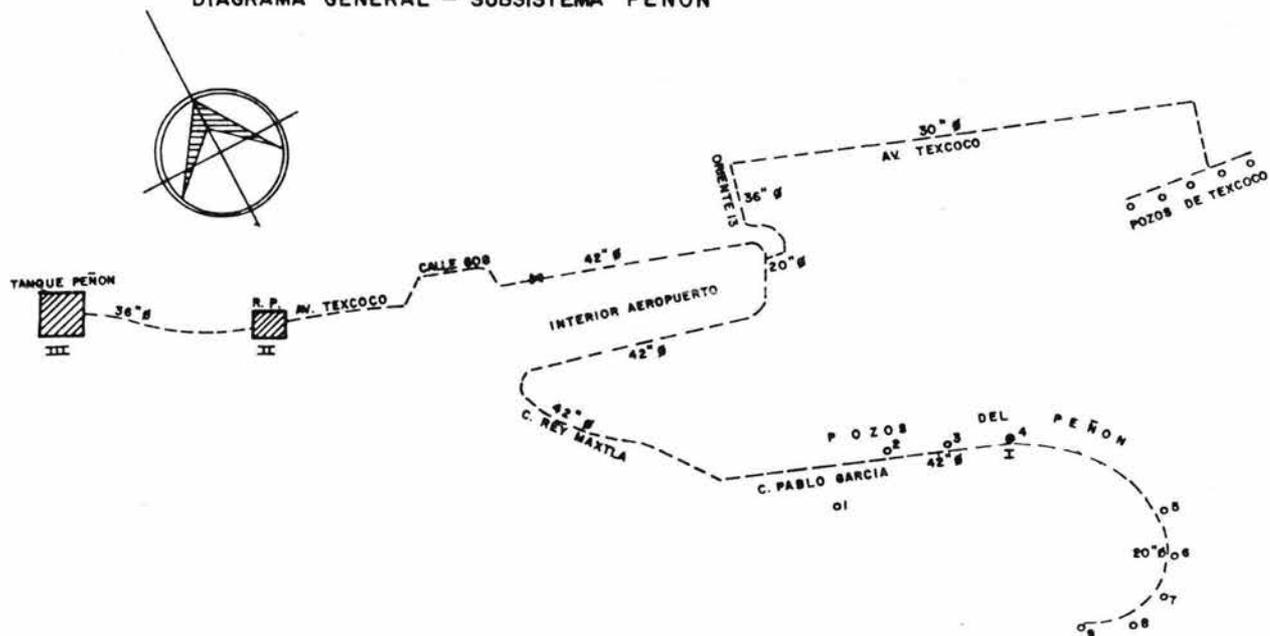


Fig. B Localización de los puntos de muestreo

- I Pozo Peñon No. 4
- II Rebombío Peñon
- III Tanque Peñon

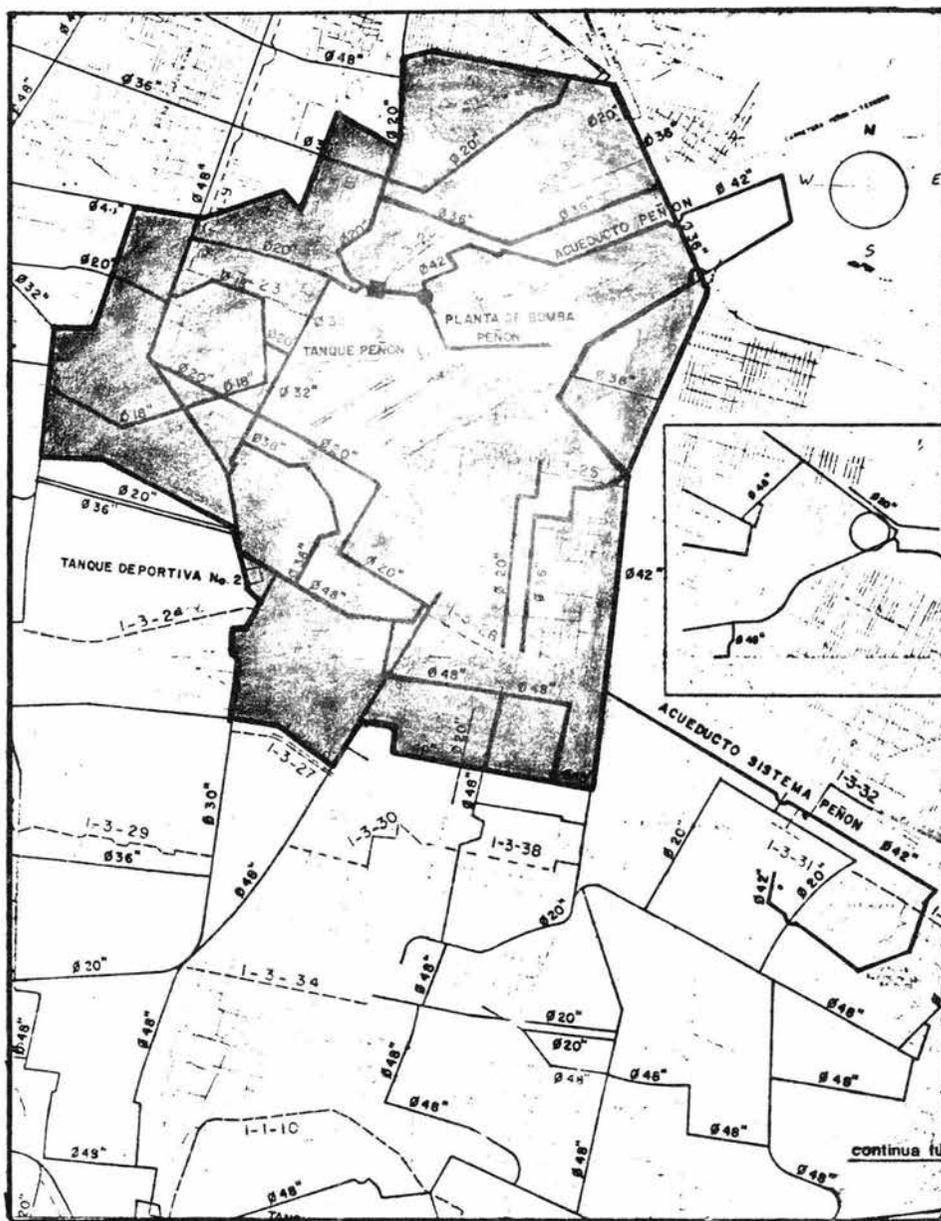


Fig. C AREA DE INFLUENCIA DE AGUA POTABLE DEL SUBSISTEMA PEÑON

- SIMBOLOGIA: ■ Tanque  
● Planta de Bombeo

### 3.- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

La fase experimental de este proyecto se llevó a cabo en dos etapas, en la primera se estudio el comportamiento de la agresividad del agua del pozo Peñón No.4, cuando es sometida a tratamientos neutralizadores y desinfectantes; en la segunda etapa se aplicaron pruebas de tratabilidad en el rebombeo "Peñón" (agua en bloque), para determinar las políticas de operación más eficientes a corto plazo.

#### PRIMERA ETAPA.

##### 3.1- METODOLOGIA SEGUIDA PARA POZO PEÑON No. 4

La caracterización del agua del pozo Peñon No. 4 en cuanto al nivel de agresividad se realizó con la determinación de parámetros medidos en campo y laboratorio los cuales fueron: pH, temp, conductividad eléctrica, alcalinidad total y dureza de calcio, con los valores obtenidos se calcularon la cantidad de sólidos disueltos totales, así como el índice de agresividad de la AWWA ( $I_A$ ) y el de estabilidad de Riznar ( $I_R$ ). Los datos de campo se capturaron en formatos como el que se muestra enseguida.



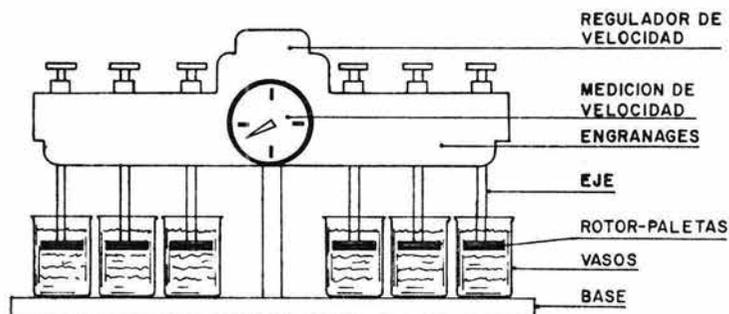
### 3.1.1 Comportamiento de la agresividad del agua en función de las dosificaciones de hidróxido de calcio

- Las pruebas de esta etapa se efectuaron con agua del pozo "Peñon" No.4, a nivel laboratorio utilizando un -- equipo de "Pruebas de Jarras" que consta de:

i) Un agitador mecánico provisto de seis paletas, capaz de operar a velocidades variables (de 0 a 100 revoluciones por minuto).

ii) Vasos de precipitado, de 1000 ml, de cristal refractario.

Lo anterior se muestra en la siguiente figura:



- La técnica utilizada consistió en colocar 1000 ml de agua en los 6 vasos de precipitado y adicionar las diferentes dosificaciones (10,20,30,40,50 ppm, etc.) de

la solución de  $\text{Ca(OH)}_2$  preparado a una concentración de 1000 ppm y por medio de jeringas se agregó a cada muestra, las cuales se sometieron a agitación durante 10 min, una vez practicado esto, se determinaron los parámetros: pH, temperatura, alcalinidad total, dureza de calcio y sólidos disueltos totales.

- Se calcularon los índices  $I_A$  e  $I_R$  para cada una de las muestras y se graficaron en función de la dosificación de hidróxido de calcio. Figura (6).

NOTA: Lo anterior se efectuó con agua antes y después de clorar

Ejemplo de cálculo para los índices:

#### DATOS

$\text{Ca (OH)}_2$  = 5 ppm

pH = 8.28

Conductiv. = 290 ( $\mu$  siemens)

cm

Alc. tot. = 186.40 mg/l  $\text{CaCO}_3$

Dureza de Ca = 12 mg/l  $\text{CaCO}_3$

Sólidos disueltos totales =  $0.67 \text{ Co} = 0.67(290) = 194.3$

T = 23°C

Sustitución:

$$\text{IR} = 2 \text{ pHS} - \text{pH} \quad (1)$$

$$\text{pH}_S = \text{pCa} + \text{pAlc} + C \quad (2)$$

Sust. (2) en (1)

$$I_{\pi} = 2 (pCa + pAlc + C) - pH \quad (3)$$

Si  $pCa = 4.9996 - 0.9343 \ln (D)$  (4)

$$pAlc = 4.7006 - 0.4345 \ln (A) \quad (5)$$

$$C = 2.4566 - 0.0189 T + 0.0363 \ln (SDT) \quad (6)$$

Sust. 4, 5 y 6 en (3)

$$I_{\pi} = 2 [4.9996 - 0.9343 \ln (D) + 4.7006 - 0.4345 \ln (A) + 2.4566 - 0.0189 T + 0.0363 \ln (SDT)] - pH$$

$$I_{\pi} = 24.3136 - 1.8686 \ln (D) - 0.869 \ln (A) - 0.0378 T + 0.0726 \ln (SDT) - pH \quad (7)$$

Sust. los datos del ejemplo en la ecuación (7) se obtiene  $I_{\pi} = 8.85$  con este valor se busca en el cuadro A la clasificación que le corresponde, la cual es francamente corrosiva.

Para el  $I_A = pH + \log (AXD)$

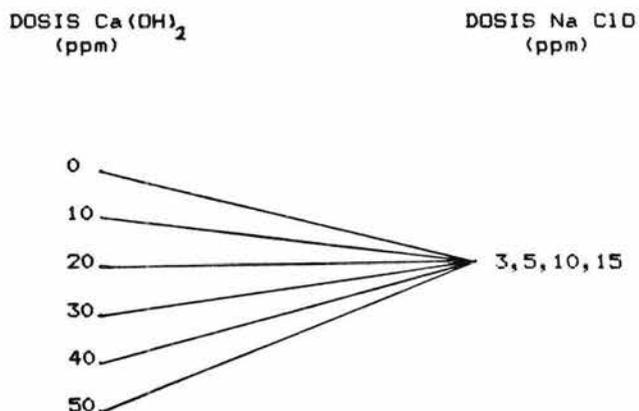
$$I_A = 8.28 + \log (186 \times 12) = 11.63 \text{ moderadamente - agresiva}$$

3.1.2.- Comportamiento de la agresividad del agua con -  
dosificaciones de hipoclorito de sodio variable-  
e hidróxido de calcio constante.

- Se siguió la metodología de 3.1.1, sólo que en -  
este caso se dosificó primeramente el hidróxido-  
de calcio (constante para cada muestra) y poste-  
riormente el hipoclorito de sodio en un interva-  
lo de 0 a 12 ppm. Tablas (7,8 y 9).
- Se sometieron a agitación durante 10 min, deter-  
minando a cada una de las muestras pH, temperatu-  
ra, alcalinidad total, dureza de calcio, sólidos  
disueltos totales y cloro libre residual.
- Se calcularon los índices  $I_A$  e  $I_R$  para cada una-  
de las muestras y se graficaron en función de la  
dosificación de hipoclorito de sodio. Figs (7y8)

3.1.3.- Comportamiento de la concentración de cloro libre residual con la dosificación de hidróxido de calcio.

Se realizaron cuatro corridas de prueba con seis muestras de agua para cada una, se dosificó una cantidad constante de hipoclorito de sodio (3,5, 10 y 15 ppm) y una dosis variable de hidróxido de calcio, como se muestra en el siguiente diagrama:



Estas muestras se sometieron a agitación durante 10 min, determinándose la concentración de cloro libre residual, el cual se gráfico en función de la dosis de hidróxido de calcio. Fig. (9).

### 3.2.- METODOLOGIA SEGUIDA PARA REBOMBEO PEÑON.

#### 3.2.1.- Evolución histórica de la agresividad del - agua en tanque y rebombeo "Peñón".

Con la finalidad de tener una mayor información de la agresividad del agua, se programó un monitoreo semanal en el tanque y rebombeo, para lo cual se siguió la siguiente metodología.

a) Recolección de muestras. En tres recipientes de plástico con tapa, se colectó agua del lugar seleccionado, dejandola fluir un momento antes de la toma.

b) En el mismo lugar de la recolección, se midieron los siguientes parámetros: pH, temperatura, conductividad eléctrica y cloro libre residual.

c) En el laboratorio se determinaron a 2 muestras de cada recipiente de plástico, alcalinidad total y dureza de calcio.

d) Se realizó el cálculo de sólidos disueltos totales; así como de los criterios de clasificación de la agresividad del agua de la AWWA ( $I_A$ ) y de RIZNAR ( $I_R$ ).

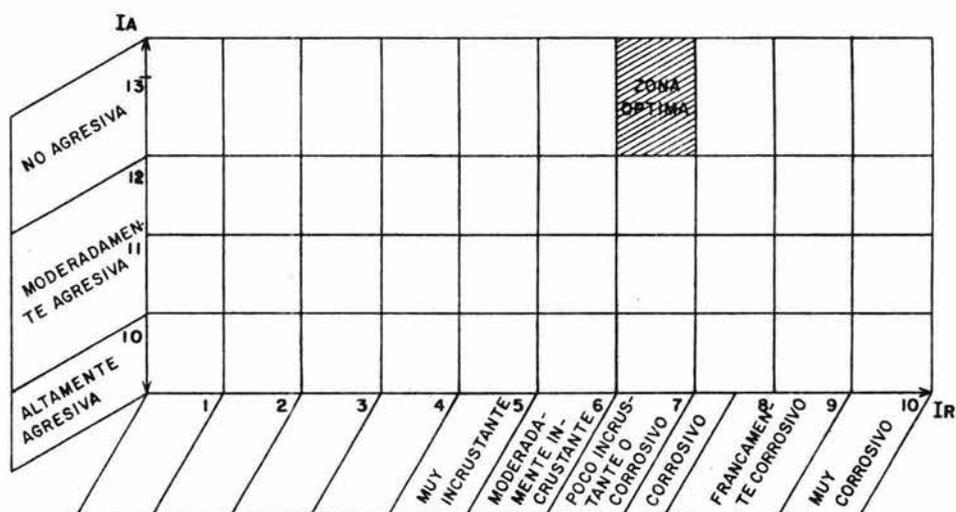
### 3.2.2.- Neutralización de la agresividad del agua.

Para llevarse a cabo esta etapa, se realizó una investigación bibliográfica para elegir el reactivo químico que presentará las mayores ventajas. Se decidió utilizar  $\text{Ca(OH)}_2$ , porque reacciona con el  $\text{CO}_2$  que se encuentra disuelto en el agua propiciando la siguiente reacción:  $\text{CO}_2 + \text{Ca(OH)}_2 \longrightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ; además remueve la dureza del agua, aumenta la alcalinidad, no es tóxico, es fácil de manejar, existente en alta disponibilidad en el mercado y presenta ventajas en su costo.

En base a los valores de los índices AWWA y de Rizar en condiciones iniciales se eligió un rango de dosificación de cal lo suficientemente amplio para inducir a la agresividad del agua a presentar caracteres diversos.

## METODOLOGIA

A doce muestras de agua se les dosificó  $\text{Ca(OH)}_2$  en concentraciones que fueron de 10 a 120 ppm con la finalidad de obtener la dosis óptima donde el agua presente características no agresivas ( $I_A > 12$ ) y poco incrustante y/o corrosiva ( $6 < I_R < 7$ ), como lo muestra la siguiente figura:



Los resultados se presentan en la tabla 16 y figuras 12 y 13

### 3.2.3.- Desinfección del agua.

Con los resultados que se obtuvieron en el punto 3.2.2, se observó una disminución en el cloro libre residual al agregar hidróxido de calcio al agua, lo que nos llevó a realizar corridas de prueba dosificando diferentes concentraciones de hipoclorito de sodio (1,1.5,..., 3.5 ppm) y manteniendo constante la dosis óptima de  $\text{Ca(OH)}_2$ , para buscar la dosis adecuada de  $\text{NaClO}$  que asegure un cloro libre residual de por lo menos 1 ppm, de esta forma se puede asegurar la calidad bacteriológica del agua como lo establece la norma de la Secretaría de Salud. Apéndice A.

Los parámetros medidos son los mencionados en 3.2.2 y los resultados se muestran en la tabla 17, donde se incluye las condiciones experimentales. Se determinó utilizar el  $\text{NaClO}$  por su fácil manejo, alto efecto germicida, alta disponibilidad en el mercado y bajo costo.

En el cuadro B se enlistan los equipos y materiales que se utilizaron para todas las etapas de experimentación de este estudio.

#### 3.2.4.- Proceso de clarifloculación.

Al llevarse a cabo el proceso de neutralización de la agresividad del agua con el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  provoca un aumento en la turbiedad, por lo que fué necesario evaluar un proceso de clarifloculación para abatir dicho efecto.

El reactivo químico que se utilizó para este proceso fué el sulfato de aluminio [ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ] como coagulante y se aplicó a muestras de agua, a las cuales ya se les había practicado previamente las operaciones de neutralización y desinfección, obteniendo con esto la dosis óptima.

El sulfato de aluminio es ampliamente usado en las operaciones de precipitación y la forma como se utiliza consiste en agregar al agua y mezclarse rápidamente para que las reacciones se efectúen completas y uniformes, después se agita lentamente durante 20 minutos para inducir la coagulación de las partículas. La forma como activa el sulfato de aluminio es que se disocia en el agua y neutraliza las cargas eléctricas que tienen las partículas de los sólidos suspendidos formando aglomerados fácilmente sedimentables.

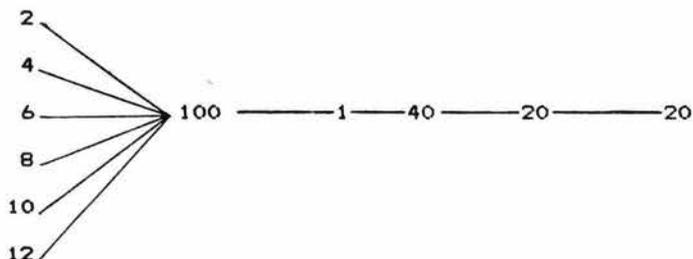
El sulfato de aluminio presenta las siguientes ventajas:

- no es tóxico
- bajo costo y fácil manejo
- alta disponibilidad en el mercado.

La metodología propuesta es la siguiente:

a) Utilizando el equipo para "prueba de jarras", se practicó a 6 muestras de agua una adición de 30 ppm de  $\text{Ca(OH)}_2$  y 1 ppm de  $\text{NaClO}$  y se mantuvo constante, variando solamente la concentración de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  como se muestra en el siguiente diagrama de árbol.

COAGULANTE	MEZCLA RAPIDA		FLOCULACION		SEDIMENTACION	FILTRACION (MATERIAL)
	RPM	min	RPM	min	min	
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ (ppm)						PAPEL WHATMAN N.48



- b) Se determinó color y turbiedad a cada muestra.
- c) La dosis de coagulante que provoque los valores más bajos de color y turbiedad será la óptima.

c) Se derterminaron los siguientes parámetros: pH, temperatura, conductividad eléctrica, cloro libre residual, alcalinidad total, dureza de calcio, color y turbiedad.

d) Se calcularon los sólidos disueltos totales así como el  $I_A$  e  $I_R$ . Los resultados se muestran en las figuras 21 y 22.

El cuadro B contiene la lista de material y reactivos que se utilizaron para llevar a cabo la experimentación antes descrita.

El el siguiente formato se muestra la forma como se capturaron los resultados.



CUADRO B LISTA DE MATERIAL Y REACTIVOS.

PARAMETRO	MATERIAL	REACTIVOS
pH	Potenciómetro	Solución buffer pH = 7
Temperatura	Termómetro	
	1 Vaso de pp de 50 ml	Solución de NaOH
	12 matraces Erlenmeyer	Indicador de aureoidea
	1 bureta de 50 ml.	Solución estándar de EDTA
	1 Soporte Universal.	titulante 0.01M.
Dureza de Calcio	3 Probetas de 100 ml.	
	1 matraz aforado de 1000 ml.	
	1 pinza para bureta.	
	1 pipeta de 5 ml.	
	1 pipeta de 10 ml.	
	1 espátula.	
	1 vaso de pp de 50 ml.	Solución de NaHCO <sub>3</sub> 0.02 N
	1 pinza para bureta	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> o HCl, 0.1 N.
Alcalinidad total	1 Soporte Universal	Solución de tiosulfato de sodio 0.1 N.
	1 potenciómetro	Indicador anaranjado de metilo.
	12 Matraces Erlenmeyer de 250 ml	
	1 Vidrio de reloj	
	2 pipetas volumétricas de 100 ml.	
	1 pipeta volumétrica de 5 ml.	
Cloro libre residual	1 Comparador de cloro LOVIBOND	Hipoclorito de sodio.
	1 Disco comparador de cloro LOVIBOND	Agua destilada.
	2 Tubos cuadrados de vidrio de 10ml c/u	Pastillas DPD No. 1.
Conductividad eléctrica	Conductímetro	Agua destilada.
Turbiedad	Turbidímetro Hach Modelo 2100	Estandares para diferentes rangos de turbiedad.

Ca(OH)<sub>2</sub> Grado reactivo analítico.

A continuación se mencionan los parámetros que se tomaron como base para la evaluación de los índices de agresividad.

PARAMETRO	UTILIDAD
pH	Mide la actividad de los iones hidrógeno en el agua, está relacionado con el contenido de ácidos, bases y sales disueltos.
TEMPERATURA	Medida de la energía interna
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	Mide la capacidad del agua para dejar pasar una corriente eléctrica. Relacionada directamente con la concentración de sólidos disueltos.
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	Mide la concentración de sales disueltos en el agua.
ALCALINIDAD TOTAL	Mide la presencia de bicarbonatos, carbonatos, e hidróxidos.
DUREZA DE CALCIO	Mide el contenido en el agua de compuestos de calcio.

#### 4- EVALUACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

##### 4.1- EVOLUCION HISTORICA

Con la finalidad de tener una mayor información a través del tiempo del cambio en la agresividad del agua con respecto al pozo, tanque y rebombio del Subsistema "Peñón", se realizó un programa de monitoreo semanal excepto para pozo, obteniéndose los siguientes resultados.

- a) Para el pozo "Peñón" No. 4, fué necesario consultar los archivos de la oficina de Inspección de Instalaciones de la DGCOH para recabar información de los parámetros determinados en el período comprendido del 24 de enero de 1983 al 9 de julio de 1986. Los resultados se muestran en la tabla 1 y figura 1. De lo que se deduce en términos promedio lo siguiente:

$I_A = 11.59$  MODERADAMENTE AGRESIVA  
 $I_R = 9.04$  MUY CORROSIVA

- b) Para el rebombio Peñón, en el periodo comprendido del 27 de agosto de 1986 al 25 de febrero de 1987, se obtuvieron los siguientes resultados promedio: (ver tabla 2 y figura 2).

$I_A = 11.81$  MODERADAMENTE AGRESIVA  
 $I_R = 7.66$  FRANCAMENTE CORROSIVA

c) Para el tanque Peñón, en el periodo comprendido del 15 de septiembre de 1986 al 9 de febrero de 1987, los resultados promedio fueron: (ver tabla 3 y figura 3).

$I_A = 11.81$  MODERADAMENTE AGRESIVA

$I_R = 7.66$  FRANCAMENTE CORROSIVA

La información generada a partir de la evolución histórica de la agresividad del agua para el pozo No. 4, rebombear y tanque del Subsistema Peñón, permiten observar el cambio en la agresividad en el mismo lugar, y de un lugar a otro; para rebombear y tanque se obtuvieron los mismos valores promedio para los índices antes mencionados, sin embargo esto no fue así para el pozo, y esto se debe a que en el rebombear se concentra un volumen de agua potable de varias líneas, por lo que se lleva a cabo una dilución y como consecuencia una disminución en la agresividad.

EVOLUCION HISTORICA DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA EN  
POZO PEÑON No. 4

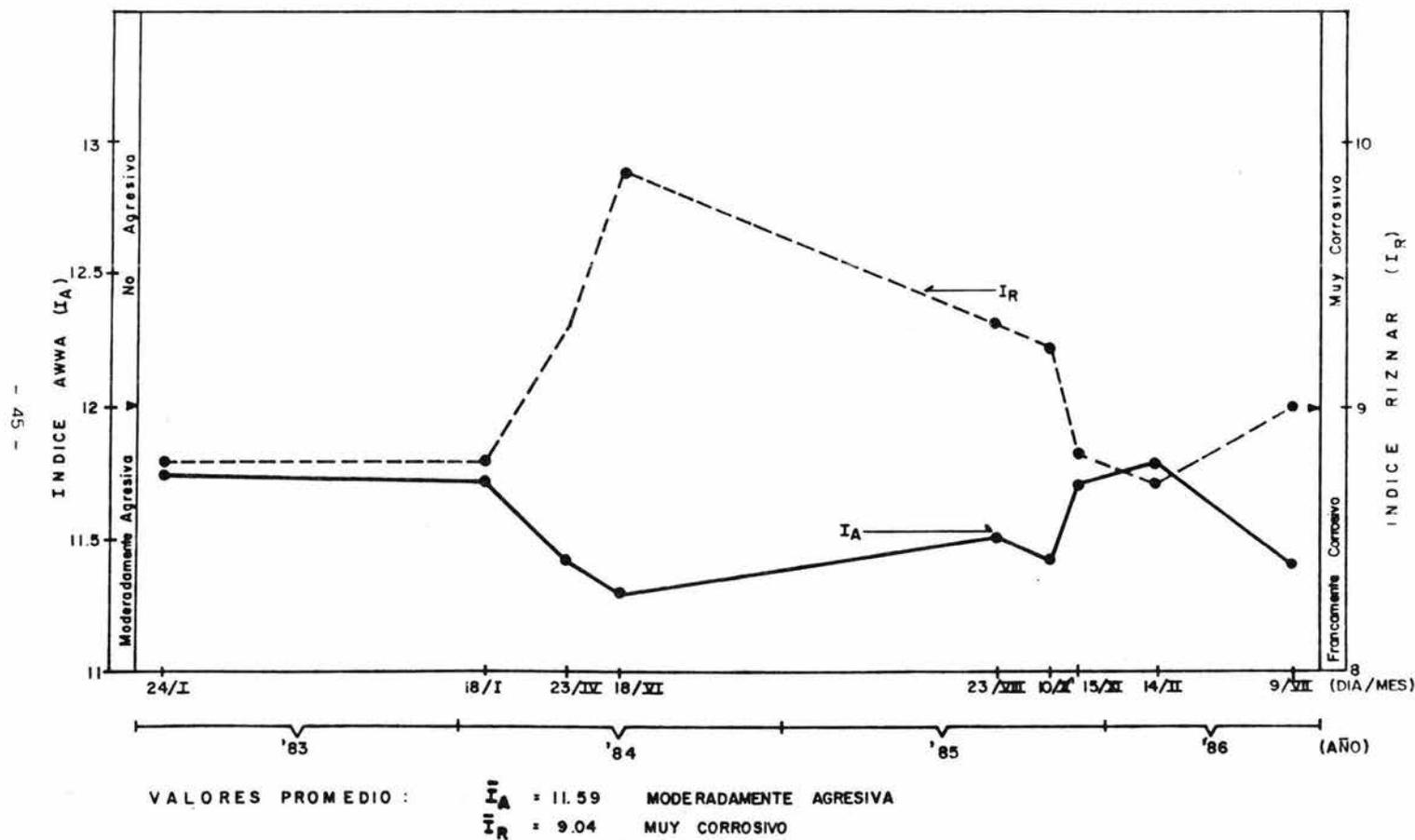
TABLA - 1 EVOLUCION HISTORICA DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA EN POZO PEROM No. 4

FECHA	pH	CONDUCTIVIDAD (u siemens) cm	ALCALINIDAD TOTAL (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	DUREZA DE CALCIO (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	SOLIDOS DISUELTOS TOTALES 0.67 Co(mg/l)	T (°C)	INDICES		RIZNAR VALOR	CLASIFICACION
							AVMA VALOR	CLASIFICACION		
1 24/I/83	8.3	424	164	16.8	284.44	20	11.75	NO-AGR	8.79	F-CORR
2 18/I/84	8.3	380	166	16	254.60	21	11.72	NO-AGR	8.81	F-CORR
3 23/IV/84	8.2	370	169	10	247.30	24	11.43	NO-AGR	9.30	MU-CORR
4 18/VI/84	8.5	385	153	4	257.95	24.5	11.29	NO-AGR	9.89	MU-CORR
5 23/VIII/85	8.35	597	140	174	400	22	11.51	NO-AGR	9.32	MU-CORR
6 10/X/85	8.1	425	173	12	284.75	23	11.42	NO-AGR	9.23	MU-CORR
7 15/XI/85	8.3	410	161	16	274.7	21.9	11.71	NO-AGR	8.84	F-CORR
8 14/II/86	8.35	400	173.5	16	268.0	20.5	11.79	NO-AGR	8.72	F-CORR
9 9/VII/86	8.0	350	161.0	16	234.5	23	11.41	NO-AGR	9.13	MU-CORR

VALORES PROMEDIO :  $\bar{I}_a = 11.59$  Moderadamente Agresiva

$\bar{I}_a = 9.04$  Muy corrosiva

FIG 1 EVOLUCION HISTORICA DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA EN POZO PEÑON No.4



EVOLUCION HISTORICA DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA EN  
REBOMBEO PEÑON

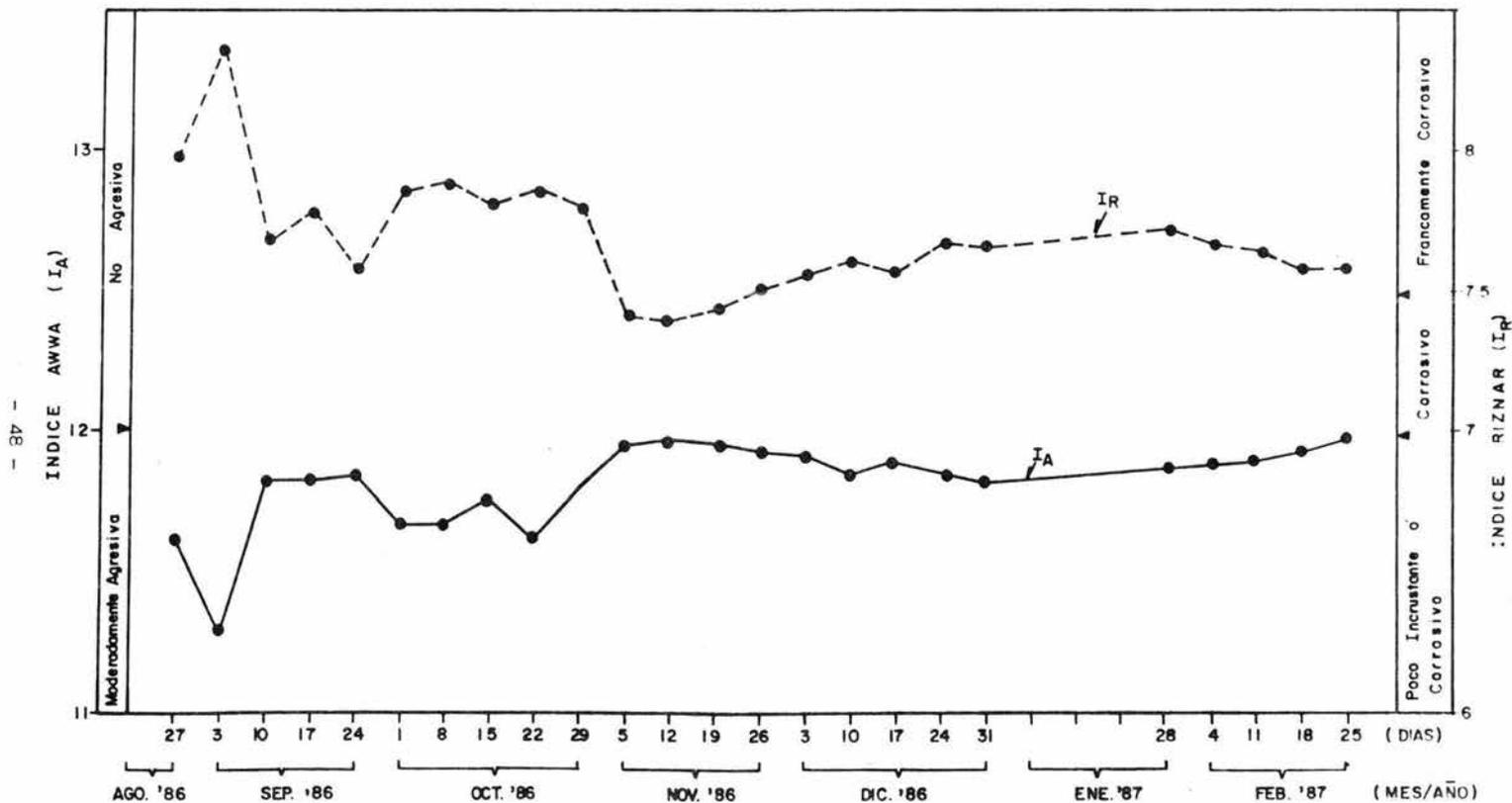
TABLA 2 "EVOLUCION HISTORICA DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA EN REDONDEO PERON"

FECHA	pH	Conductividad (u siemens) ca	(CI) L.R (p.p.m.)	Alcalinidad Total (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dureza de Calcio (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Sólidos Disuel- tos Totales 0.67 Co(mg/l)	T (°C)	I M D I C E S		RIZMAR Valor	Clasificación
								Valor	Clasificación		
27/VIII/86	7.32	739.	1.2	264.5	75.32	495.35	22.5	11.62	NO-AGR	7.97	F-CORR
3/IX /86	7.03	840.	1.5	260.0	67.70	562.8	23	11.28	NO-AGR	8.38	CORR
10/IX /86	7.46	754.	1.4	287.8	80.37	505.4	24.5	11.82	NO-AGR	7.65	F-CORR
17/IX /86	7.42	806.	1.2	323.2	75.92	540.2	21	11.81	NO-AGR	7.78	F-CORR
24/IX /86	7.42	841	1.2	330.27	79.63	563.5	25	11.84	NO-AGR	7.57	F-CORR
1/X /86	7.33	808	1.5	301.95	72.80	541.36	24	11.67	NO-AGR	7.85	F-CORR
08/X /86	7.32	844	2.16	304.69	72.96	565.92	23	11.67	NO-AGR	7.89	F-CORR
15/X /86	7.52	822	1.17	307.44	57.24	550.94	26.3	11.76	NO-AGR	7.80	F-CORR
22/X /86	7.26	874	2.1	338.55	67.48	585.98	24.7	11.62	NO-AGR	7.86	F-CORR
29/X /86	7.43	883	1.5	329	69	592.1	21.4	11.8	NO-AGR	7.8	F-CORR
5/XI /86	7.45	917	1.5	354	90.2	614.39	24	11.95	NO-AGR	7.41	CORR
12/XI /86	7.46	919	1.3	354	90.6	615.73	24	11.97	NO-AGR	7.39	CORR
19/XI /86	7.49	916	1.25	354	82.35	613.72	24.6	11.95	NO-AGR	7.43	CORR
26/XI /86	7.44	894	1	365.8	82.35	598.98	22.9	11.92	NO-AGR	7.51	F-CORR
3/XII /86	7.47	883	1	331.83	82.35	591.61	23.0	11.91	NO-AGR	7.56	F-CORR
10/XII /86	7.42	874	1.4	329.27	80.98	585.58	23.5	11.85	NO-AGR	7.61	F-CORR
17/XII /86	7.45	878	1.3	326.72	84.31	588.26	23.0	11.89	NO-AGR	7.57	F-CORR
24/XII /86	7.46	860	0.8	330.7	74.51	576.2	23	11.85	NO-AGR	7.66	F-CORR
31/XII /86	7.38	879	1.05	334.59	81.7	588.93	23	11.82	NO-AGR	7.65	F-CORR
28/I /87	7.45	837	0.6	329.1	80.39	560.79	20	11.87	NO-AGR	7.72	F-CORR
4/II /87	7.46	863	1.2	318.13	82.35	578.21	21.5	11.88	NO-AGR	7.66	F-CORR
11/II /87	7.48	872	1.0	318.13	80.0	584.24	22	11.89	NO-AGR	7.65	F-CORR
18/II /87	7.5	886	0.8	329.1	82.0	593.62	22	11.93	NO-AGR	7.58	F-CORR
25/II /87	7.58	814	0.8	323.6	75.0	545.38	22	11.97	NO-AGR	7.59	F-CORR

VALORES PROMEDIO :  $\bar{I}_A = 11.81$  Moderadamente Agresiva

$\bar{I}_m = 7.66$  Francamente Corrosiva

FIG.2 EVOLUCION HISTORICA DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA EN REBOMBEO PEÑON



VALORES PROMEDIO :  $\bar{I}_A = 11.81$  MODERADAMENTE AGRESIVA

$\bar{I}_R = 7.66$  FRANCAMENTE CORROSIVO

EVOLUCION HISTORICA DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA EN  
TANQUE PEÑON

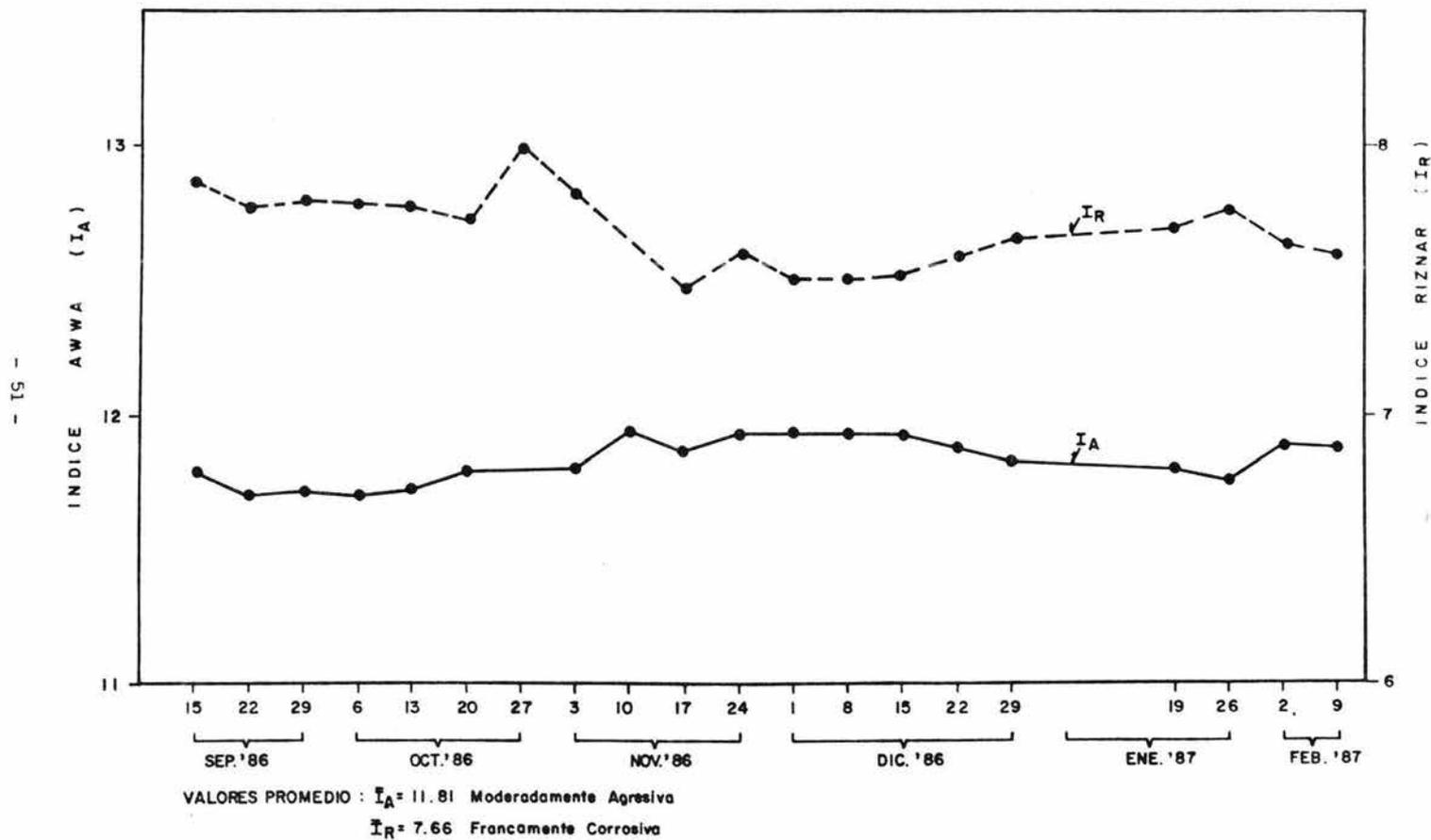
TABLA 3.- "EVOLUCION HISTORICA DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA EN TANQUE PERON

FECHA	pH	Conductividad (u Siemens) cm	(Cl) L.R (p.p.m.)	Alcalinidad Total (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dureza de Calcio (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Sólidos Disuel- tos Totales 0.67 Co (mg/l)	T (°C)	I N D I C E S		R I Z N A R	
								ANNA Valor	Clasificación	Valor	Clasificación
15/IX/86	7.33	807	4.5	336.81	83.89	541.0	18	11.79	NO-AGR	7.85	F-CORR
22/IX/86	7.28	830		395.91	66.70	556.1	25	11.70	NO-AGR	7.70	F-CORR
29/IX/86	7.37	846	0.93	327.57	68.55	567.2	24	11.72	NO-AGR	7.79	F-CORR
06/ X/86	7.36	854	1.66	317.32	69.16	572.2	25	11.70	NO-AGR	7.78	F-CORR
13/ X/86	7.38	916	1.00	308.54	71.37	546.7	24.7	11.72	NO-AGR	7.77	F-CORR
20/ X/86	7.47	898	2.25	333.79	62.75	602.0	25	11.79	NO-AGR	7.72	F-CORR
27/ X/86	7.47	896	2.17	329.4	42.24	600.32	25	11.61	NO-AGR	8.01	F-CORR
3/XI/86	7.43	883	1.5	329	69	592.1	21.4	11.8	NO-AGR	7.8	F-CORR
10/XI/86	7.48	893	1.25	349.87	81.77	598.31	26	11.94	NO-AGR	7.4	CORR
17/XI/86	7.36	926	1.1	354	90.2	620.42	25	11.86	NO-AGR	7.47	CORR
24/XI/86	7.46	899	1.0	354	82.35	602.33	21	11.93	NO-AGR	7.59	F-CORR
1/XII/86	7.45	855	0.85	365.8	82.35	572.85	23	11.93	NO-AGR	7.49	CORR
8/XII/86	7.51	860	0.8	316.51	82.35	576.2	24.5	11.93	NO-AGR	7.5	F-CORR
15/XII/86	7.40	870	1.8	331.83	86.27	582.9	23.4	11.92	NO-AGR	7.52	F-CORR
22/XII/86	7.44	879	0.8	353.78	78.43	588.93	23.5	11.88	NO-AGR	7.58	F-CORR
29/XII/86	7.38	878	1.0	334.58	81.7	588.26	23	11.82	NO-AGR	7.65	F-CORR
19/I /87	7.4	860	1.6	334.6	76.47	576.65	23	11.8	NO-AGR	7.69	F-CORR
26/I /87	7.35	850	1.6	329.1	78.43	569.7	23	11.76	NO-AGR	7.73	F-CORR
2/II /87	7.47	842	1.2	330.4	80.5	564.14	21.5	11.89	NO-AGR	7.64	F-CORR
9/II /87	7.45	867	1.5	334.58	81.5	580.89	23	11.88	NO-AGR	7.58	F-CORR

VALORES PROMEDIO :  $\bar{I}_a = 11.81$  Moderadamente Agresiva

$\bar{I}_a = 7.66$  Francamente Corrosiva

FIG.3 EVOLUCION HISTORICA DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA EN TANQUE PEÑON



RESULTADOS DE PRUEBAS DE TRATABILIDAD EN AGUA DE POZO  
"PEÑON" No. 4

#### 4.2.- RESULTADOS DE PRUEBAS DE TRATABILIDAD EN AGUA DE POZO "PEÑON" No. 4

- a) Se realizaron pruebas de neutralización tanto para agua no clorada y clorada del pozo "Peñon" No. 4, los resultados para agua no clorada se muestran en la tabla 4, se observa que a medida que se incrementa la concentración de cal, los valores de pH aumentan, así como la conductividad, alcalinidad, la dureza de calcio y los sólidos disueltos totales. Todo esto se debe principalmente a la acción del  $\text{Ca(OH)}_2$  con el  $\text{CO}_2$  que se encuentra libre en el agua. En la figura 4 se encuentran graficados los índices  $I_A$  e  $I_R$  VS  $\text{Ca(OH)}_2$  (ppm); el  $I_A$  presenta una tendencia de aumento a medida que se incrementa la concentración de cal y con una dosis de 15 ppm en adelante de  $\text{Ca(OH)}_2$  el agua es no agresiva; sin embargo se busca también que sea poco incrustante y/o corrosiva con el índice de Riznar, por lo tanto la dosis que cumple con estas dos condiciones es la de 50 ppm de  $\text{Ca(OH)}_2$ .
- b) Para agua clorada los resultados están contenidos en la tabla 5 y la tabla 6 es continuación de la 5 ya que se amplió el rango de dosificación de la

cal, y siguiendo con el razonamiento del inciso anterior, se observa que tiene las mismas tendencias y la dosis óptima es de 60 ppm de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  como se muestra en la figura 6.

De todo lo anterior se concluye que la dosis para abatir la agresividad para agua no clorada es menor que para contrarrestar el mismo efecto en el agua clorada. Por lo que conviene primeramente neutralizar la agresividad y después clorar el agua.

	$\text{Ca}(\text{OH})_2$ (ppm)	$I_A$	$I_R$
AGUA CLORADA	60	12.92 (NO-AGR)	6.78 (PO-I/CORR)
AGUA NO CLORADA	50	13.65 (NO-AGR)	6.26 (PO-I/CORR)

c) Para determinar que efectos causa el  $\text{NaClO}$  en la neutralización de la agresividad del agua se realizaron corridas de prueba manteniendo constante dosis de cal para cada una en 30, 40 y 50 ppm; se varío la concentración de  $\text{NaClO}$  de 1 a 12 ppm.

Los resultados se muestran en las tablas 7, 8 y 9 y se observa en las tres pruebas un aumento en el pH y un ligero incremento en la conductividad y

sólidos disueltos totales, la alcalinidad total y dureza de calcio casi permanecen constantes; estos ligeros incrementos se deben a la naturaleza química del  $\text{NaClO}$  que es una base débil y se disocia parcialmente originando poca interacción con los iones que se encuentran en el agua. El  $\text{I}_A$  muestra un ligero aumento y en el  $\text{I}_B$  sus valores oscilan entre 7 y 8; no se determinó la dosis óptima porque no fué la finalidad. Se concluye que el  $\text{NaClO}$  da efectos muy ligeros en la neutralización de la agresividad.

- d) El agua para que sea bacteriológicamente potable debe contener 1 ppm de cloro libre residual que es el cloro libre que queda una vez que ya ha reaccionado todo el  $\text{NaClO}$ , por lo que teniendo como base lo anterior se realizaron pruebas consistentes en incrementar las dosis de cal, al agua, y determinar la concentración del cloro libre residual; se observó un ligero abatimiento de éste, se concluye que este efecto es provocado por la cal. Los resultados se muestran en las tablas 10, 11, 12 y 13 y figura 9.

TABLA 4.- COMPORTAMIENTO DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA CON DOSIFICACION DE HIDROXIDO DE CALCIO EN AGUA NO CLORADA DEL POZO PERON No.4

Dosis de Ca(OH) <sub>2</sub> (p.p.a.)	pH	Conductividad (u siemens) cm	Alcalinidad Total (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dureza de Calcio (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Sólidos Disuel- tos Totales 0.67 Co (mg/l)	I N D I C E S			
						ANMA Valor	Clasificación	RIZMAR Valor	Clasificación
0	7.89	290	184.08	16	194.3	11.36	NO-AGR	9.52	MU-CORR
5	8.28	290	186.40	12	194.3	11.63	NO-AGR	8.85	F-CORR
10	8.40	300	175.44	24	201.0	12.02	NO-AGR	8.18	F-CORR
15	8.63	302	197.37	30	202.34	12.40	NO-AGR	7.65	F-CORR
20	8.74	305	203.93	30	204.35	12.53	NO-AGR	7.51	F-CORR
25	8.79	310	199.56	30	207.7	12.57	NO-AGR	7.48	CORR
50	9.73	305	197.37	42	204.75	13.65	NO-AGR	6.26	PO-INC
75	10.02	308	179.82	28	206.36	13.72	NO-AGR	6.40	PO-INC
100	10.35	312	168.80	40	209.04	14.18	NO-AGR	5.82	Md-INC
125	10.80	314	171.05	34	210.38	14.56	NO-AGR	5.50	Md-INC
150	9.60	310	166.60	64	207.70	13.63	NO-AGR	6.17	PO-INC

ESPECIFICACIONES : T = 23°C

Tiempo de Contacto : 10 min.

Velocidad de Agitación : 100 rpm

FIG. 4 COMPORTAMIENTO DE LOS INDICES DE AGRESIVIDAD DE LA AWWA Y DE RIZNAR CON LA DOSIFICACION DE HIDROXIDO DE CALCIO EN AGUA NO CLORADA DEL POZO PEÑON No. 4

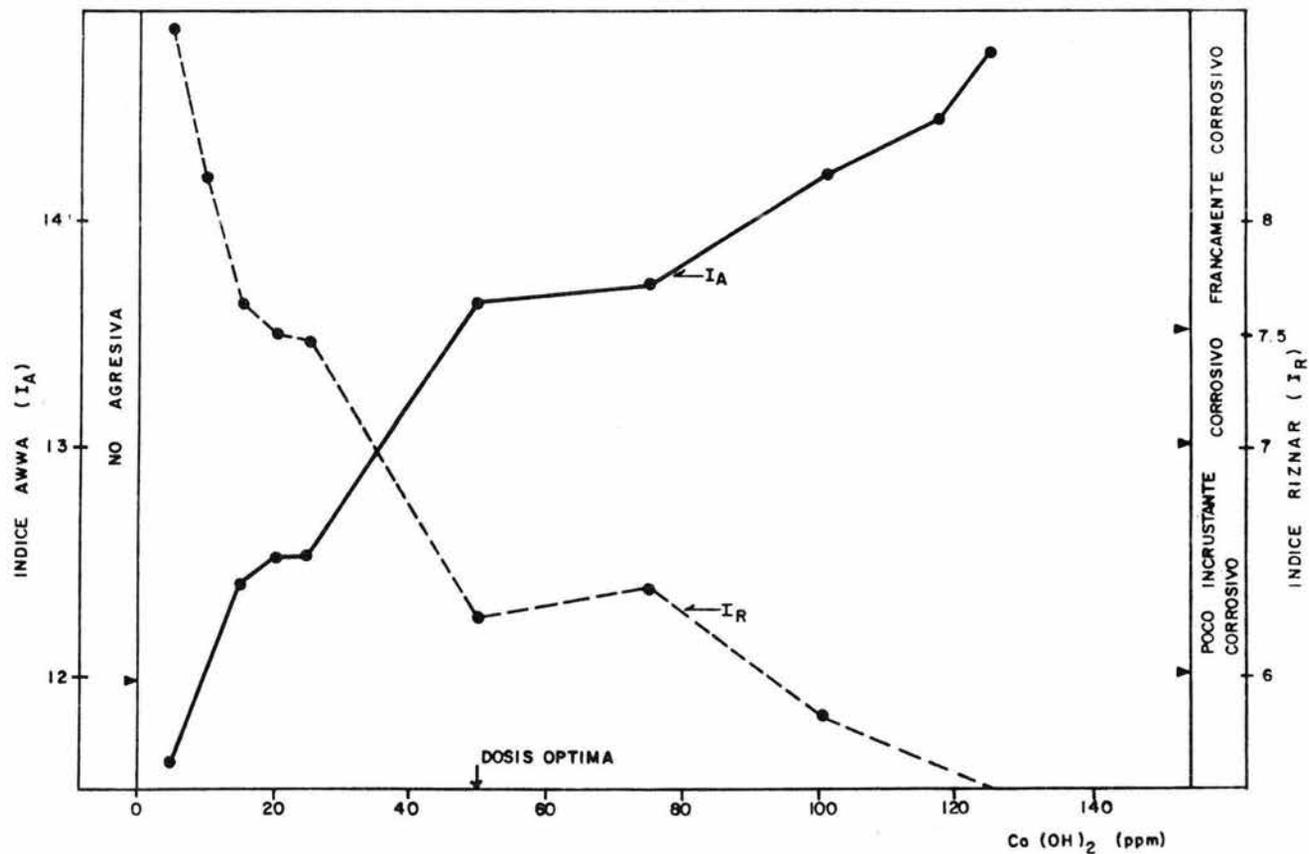


TABLA No. 5 COMPORTAMIENTO DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA CON DOSIFICACION DE HIDROXIDO DE CALCIO EN AGUA CLORADA DEL POZO PERON No.4

Dosis de Ca (OH) (p.p.m.)	pH	Conductividad (µ siemens) ca	Alcalinidad Total (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dureza de Calcio (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	Sólidos Disueltos Totales 0.67 Co (mg/l)	I N D I C E S		RIZNAR	
						ANMA Valor	Clasificación	Valor	Clasificación
5	8.25	280.0	175.44	9.0	187.6	11.45	NO-AGR	9.18	MU-CORR
10	8.32	280.0	175.44	9.0	187.6	11.52	NO-AGR	9.11	MU-CORR
15	8.40	295.0	184.21	6.6	197.65	11.48	NO-AGR	9.26	MU-CORR
20	8.48	300.0	185.96	7.0	201.0	11.59	NO-AGR	9.12	MU-CORR
25	8.60	295.0	188.59	7.0	197.65	11.72	NO-AGR	8.98	F-CORR
30	8.80	305.0	206.14	16.0	204.35	12.32	NO-AGR	7.99	F-CORR
35	8.90	310.0	217.11	10.0	207.7	12.24	NO-AGR	8.26	F-CORR
40	8.90	300.0	219.30	10.0	201.0	12.24	NO-AGR	8.24	F-CORR

ESPECIFICACIONES : T = 23°C

Tiempo de contacto : 10 min.

Velocidad de agitacion : 100 rpm

FIG. 5 COMPORTAMIENTO DE LA AGRESIVIDA DEL AGUA CON DOSIFICACIONES DE HIDROXIDO DE CALCIO EN AGUA CLORADA DEL POZO PEÑON No. 4

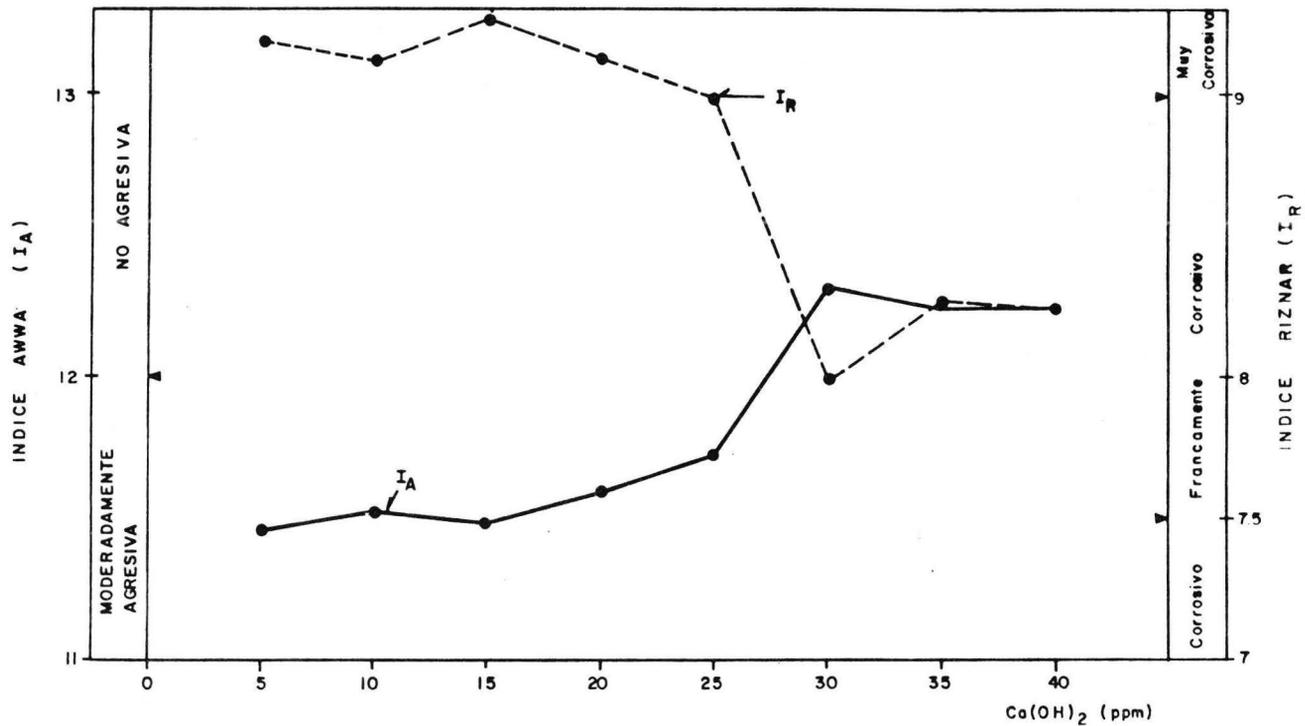


TABLA 6.- COMPORTAMIENTO DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA CON DOSIFICACIONES DE HIDROXIDO DE CALCIO EN AGUA CLORADA

Dosis de Ca (OH) <sub>2</sub> (p.p.m)	pH	Conductividad (u siemens) cm	Alcalinidad Total (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dureza de Calcio (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Sólidos Disuel- tos Totales 0.67 Co (mg/l)	I M D I C E S		RIZNAR	
						AMMA Valor	Clasificación	Valor	Clasificación
10	8.15	300	193.70	23	201.00	11.80	NO-AGR	3.38	F-CORR
20	8.42	305	179.96	29	204.35	12.14	NO-AGR	7.97	F-CORR
30	8.11	295	204.68	36	197.65	11.98	NO-AGR	7.98	F-CORR
40	8.58	300	197.32	44	201.00	12.52	NO-AGR	7.37	CORR
50	8.76	310	208.81	47	207.70	12.75	NO-AGR	7.09	CORR
60	8.80	305	263.73	50	204.35	12.92	NO-AGR	6.78	Pe-1/C

ESPECIFICACION : T = 23°C

Tiempo de contacto : 10 min.

Velocidad agitacion: 100 rpm

FALTA

PAGINA

61

TABLA 7.- COMPORTAMIENTO DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA CON DIFICIACIONES DE HIPOCLORITO DE SODIO VARIABLE E HIDROXIDO DE CALCIO CONSTANTE.

Dosis de Na ClO (p.p.m)	pH	Conductividad (u siemens) cm	(Cl) L.R. (p.p.m)	Alcalinidad Total (mg/1CaCO <sub>3</sub> )	Dureza de Calcio (mg/1CaCO <sub>3</sub> )	Sólidos Disueltos Totales 0.67 Co (mg/l)	I N D I C E S			
							ANMA Valor	Clasificación	RIZMAR Valor	Clasificación
0	7.90	380	0	204.00	28.00	254.60	11.66	NO-AGR	8.47	F-CORR
1	8.22	385	0.1	204.00	29.50	257.95	12.00	NO-AGR	8.10	F-CORR
2	8.20	370	0.2	204.00	30.00	247.90	11.99	NO-AGR	8.11	F-CORR
3	8.30	390	0.3	204.00	31.50	261.30	12.11	NO-AGR	7.97	F-CORR
4	8.31	395	0.45	204.00	32.00	264.65	12.12	NO-AGR	7.95	F-CORR
5	8.35	385	0.67	204.00	32.5	257.95	12.17	NO-AGR	7.89	F-CORR
6	9.08	453	2.7	198.25	44.00	303.51	13.02	NO-AGR	6.93	Po-1/C
8	9.00	521	2.7	195.00	45.00	349.07	12.94	NO-AGR	7.02	CORR
10	9.16	535	4.5	201.50	47.00	358.45	13.14	NO-AGR	6.79	Po-1/C
12	9.03	587	6.3	201.50	44.00	393.29	12.98	NO-AGR	6.99	Po-1/C

- ESPECIFICACIONES:
- a) T = 25°C
  - b) Tiempo de Contacto = 10 min.
  - c) Velocidad de Agitación = 10 rpm.
  - d) Se mantiene la concentración de Ca(OH)<sub>2</sub> en 30 ppm

TABLA B. COMPORTAMIENTO DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA CON DOSIFICACIONES DE HIPOCLORITO DE SODIO VARIABLE E HIDROXIDO DE CALCIO CONSTANTE.

Dosis de Na ClO (p.p.m.)	pH	Conductividad (u siemens) cm	(Cl) L.R. (p.p.m)	Alcalinidad Total (mg/1CaCO <sub>3</sub> )	Dureza de Calcio (mg/1CaCO <sub>3</sub> )	Solidos Disueltos Totales 0.67 Co(mg/l)	I N D I C E S		RIZMAR	
							ANNA Valor	Clasificación	Valor	Clasificación
0	8.58	390	0	217.6	35.3	261.3	12.47	NO-AGR	7.53	F-CORR
1	8.60	395	0.30	217.6	36.0	264.65	12.49	NO-AGR	7.53	F-CORR
2	8.57	395	0.35	217.6	26.8	264.65	12.47	NO-AGR	7.51	F-CORR
3	8.66	400	0.70	217.6	37.4	268.0	12.57	NO-AGR	7.46	CORR
4	8.61	398	0.90	217.6	37.8	266.66	12.53	NO-AGR	7.44	CORR
5	8.75	401	1.5	217.6	38.0	268.67	12.67	NO-AGR	7.30	CORR
6	9.13	532	1.5	201.5	53.0	356.44	13.16	NO-AGR	6.72	Po-I/C
8	9.19	562	3.5	201.5	54.0	376.54	13.23	NO-AGR	6.65	Po-I/C
10	9.13	588	4.95	201.5	54.0	393.96	13.17	NO-AGR	6.71	Po-I/C
12	9.08	603	6.3	204.70	53.5	404.01	13.12	NO-AGR	6.76	Po-I/C

ESPECIFICACIONES:

- a) T = 25°C
- b) Tiempo de Contacto = 10 min
- c) Velocidad de Agitación = 100 rpm
- d) Se mantiene la concentración de Ca(OH)<sub>2</sub> en 40 ppm

TABLA 9.- COMPORTAMIENTO DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA CON DOSIFICACIONES DE HIPOCLORITO DE SODIO VARIABLE E HIDROXIDO DE CALCIO CONSTANTE

Dosis de Na ClO (p.p.m.)	pH	Conductividad (u siemens) cm	(Cl) L.R (p.p.m.)	Alcalinidad Total (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dureza de Calcio (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Solidos Disueltos Totales 0.67 Co(mg/l)	I N D I C E S			
							AMMA Valor Clasificación	RIZMAR Valor clasificación		
0	8.68	395	0.00	204.0	40.10	264.65	12.59	NO-AGR	7.38	CORR
1	8.67	400	0.15	217.6	41.00	268.00	12.62	NO-AGR	7.31	CORR
2	8.68	400	0.30	217.6	41.80	268.00	12.64	NO-AGR	7.29	CORR
3	8.75	410	0.50	217.6	42.00	274.70	12.71	NO-AGR	7.22	CORR
4	8.79	405	0.60	217.6	43.20	271.35	12.76	NO-AGR	7.15	CORR
5	8.93	415	0.75	217.6	43.80	278.05	12.91	NO-AGR	7.00	CORR
6	9.26	530	1.0	211.5	54.00	355.10	13.32	NO-AGR	6.53	Po/I/C
8	9.25	556	2.60	208.0	53.50	372.52	13.30	NO-AGR	6.57	Po/I/C
10	9.22	582	4.40	208.00	53.00	389.94	13.26	NO-AGR	6.61	Po/I/C

ESPECIFICACIONES:

- a) T = 25°C
- b) Tiempo de Contacto = 10 min.
- c) Velocidad de Agitación = 10 rpm
- d) se mantiene la concentración de Ca(OH)<sub>2</sub> en 50 ppm

FIG. 7 COMPORTAMIENTO DEL INDICE DE AGRESIVIDAD DE RIZNAR CON DOSIFICACIONES DE HIPOCLORITO DE SODIO VARIABLE E HIDROXIDO DE CALCIO CONSTANTE

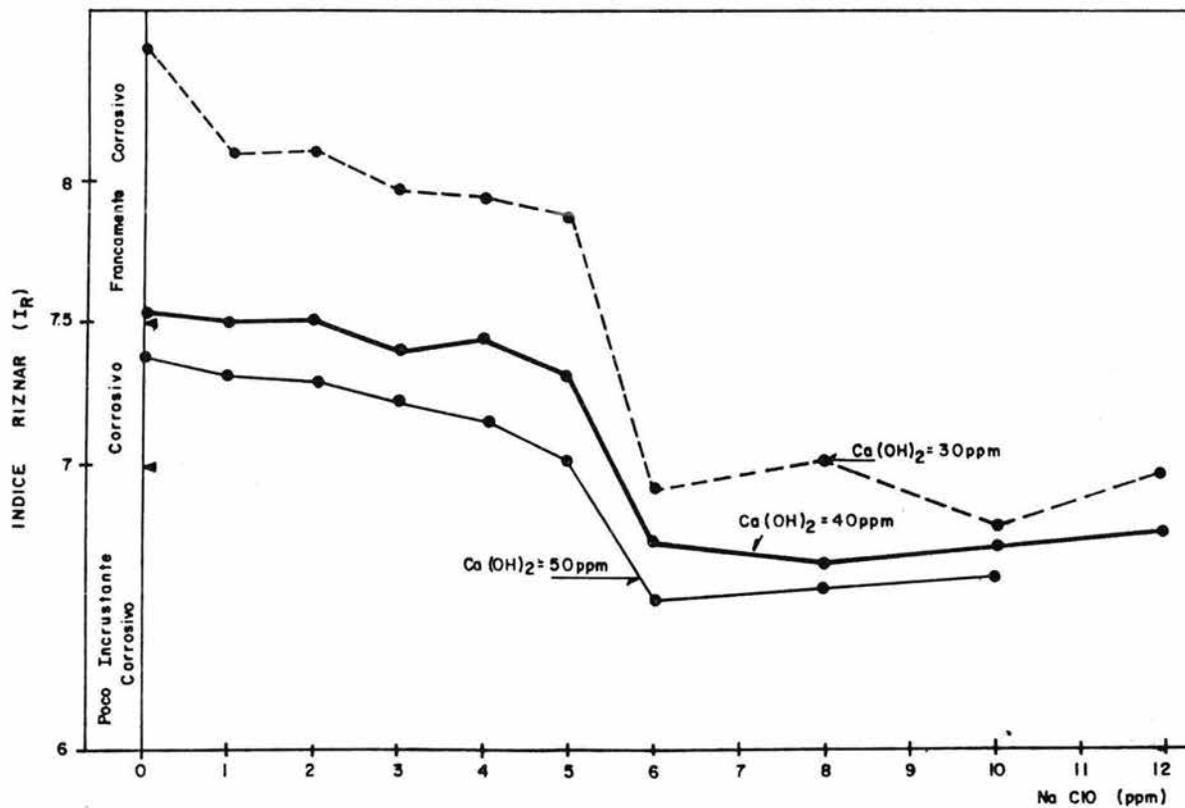
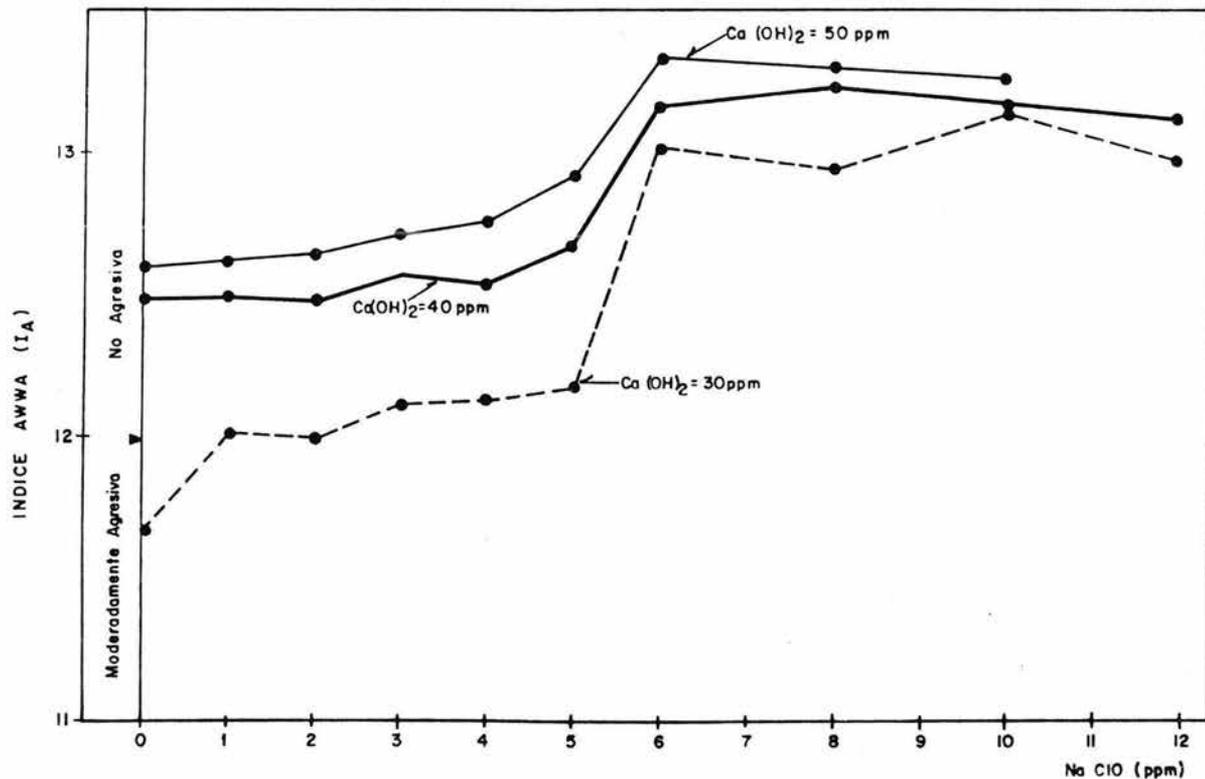


FIG. 8 COMPORTAMIENTO DEL INDICE DE AGRESIVIDAD DE LA AWWA CON DOSIFICACIONES DE HIPOCLORITO DE SODIO VARIABLE E HIDROXIDO DE CALCIO CONSTANTE



COMPORTAMIENTO DEL CLORO LIBRE RESIDUAL CON LA DOSIFICACION DE HIDROXIDO DE CALCIO

TABLA 10

DOSIS Ca(OH) <sub>2</sub> (ppm)	CLORO LIBRE RESIDUAL (ppm)	pH
0	0.42	7.85
10	0.45	8.54
20	0.50	8.81
30	0.60	9.01
40	0.70	9.22
50	0.90	9.28

ESPECIFICACIONES:

- a) T = 23°C
- b) Concentración constante de NaClO : 3 ppm
- c) Tiempo de contacto : 10 min.
- d) Velocidad de agitación : 100 rpm

TABLA 11

DOSIS Ca(OH) <sub>2</sub> (ppm)	CLORO LIBRE RESIDUAL (ppm)	pH
0	0.50	7.92
10	0.80	8.57
20	0.90	8.86
30	0.90	9.04
40	1.00	9.33
50	1.50	9.42

ESPECIFICACIONES:

- a) T = 23°C
- b) Concentración constante de NaClO : 5 ppm
- c) Tiempo de contacto : 10 min.
- d) Velocidad de agitación : 100 rpm

COMPORTAMIENTO DEL CLORO LIBRE RESIDUAL CON LA DOSIFICACION DE HIDROXIDO DE CALCIO.

TABLA 12

DOSIS Ca(OH) <sub>2</sub> (ppm)	CLORO LIBRE RESIDUAL (ppm)	pH
0	5.40	7.87
10	4.95	8.27
20	4.50	8.39
30	4.50	8.62
40	4.05	8.70
50	4.05	8.56

TABLA 13

DOSIS Ca(OH) <sub>2</sub> (ppm)	CLORO LIBRE RESIDUAL (ppm)	pH
0	10.50	7.90
10	9.80	8.43
20	9.50	8.45
30	8.60	8.80
40	8.20	8.89
50	7.80	8.96

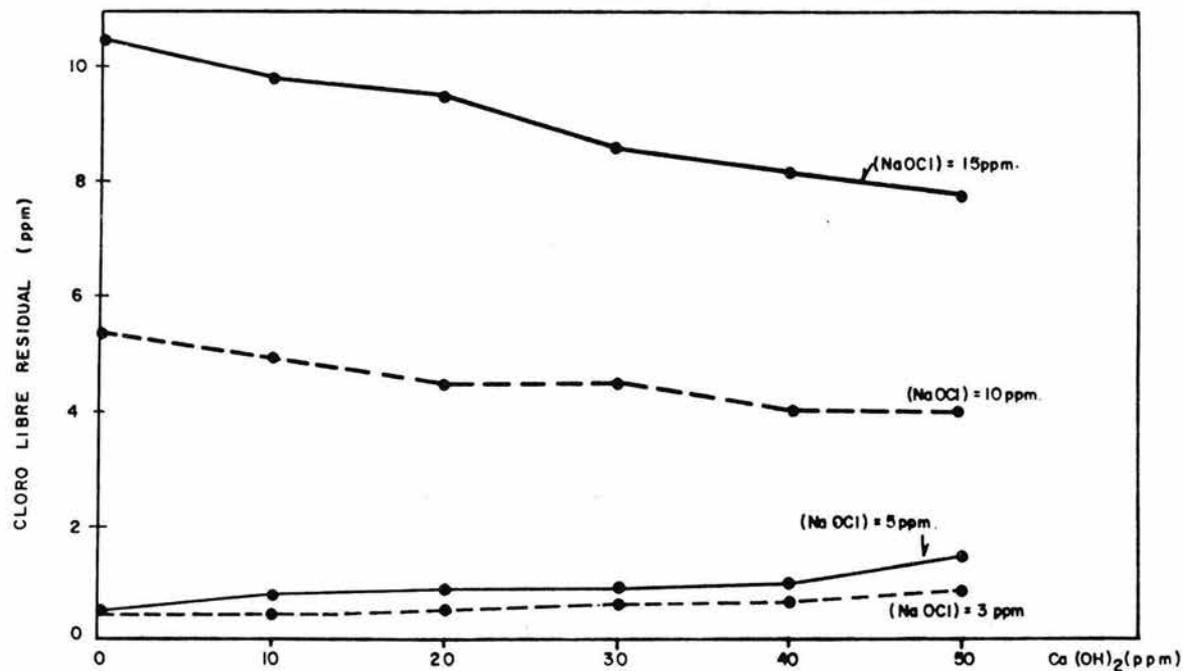
ESPECIFICACIONES :

- A) T = 20°C
- B) Concentración constante de NaClO : 10 ppm
- C) Tiempo de contacto = 10 min.
- D) Velocidad de agitación : 100 rpm

ESPECIFICACIONES :

- A) T = 20°C
- B) Concentración constante de NaClO : 15 ppm
- C) Tiempo de contacto : 10 min.
- D) Velocidad de agitación : 100 rpm

FIG. 9 COMPORTAMIENTO DEL CLORO LIBRE RESIDUAL CON DOSIS DE HIDROXIDO DE CALCIO VARIABLE E HIPOCLORITO DE SODIO CONSTANTE



VALOR OPTIMO DEL CLORO LIBRE RESIDUAL : 1 ppm

RESULTADOS DE PRUEBAS DE TRATABILIDAD EN AGUA DE  
REBOMEO EL PEÑON

#### 4.3- RESULTADOS DE PRUEBAS DE TRATABILIDAD EN AGUA DE -- REBOMBEO EL PEÑÓN. (AGUA CLORADA EN BLOQUE)

##### 4.3.1- NEUTRALIZACION DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA

Los resultados obtenidos en la experimentación realizada en "pruebas de jarras" para neutralizar la agresividad del agua potable con  $\text{Ca(OH)}_2$  en rebombeo "Peñón" se muestran en la tabla 15.

En la figura 10 se encuentran graficados los índices de la AWWA ( $I_A$ ) y el de Riznar ( $I_R$ ) VS  $\text{Ca(OH)}_2$  (ppm); se observa una tendencia de aumento en el  $I_A$  a medida que se incrementa la concentración de cal; sin embargo el  $I_R$  presenta características corrosivas con dosis de 10 ppm de cal, luego de 20 a 80 ppm de cal poco incrustante y/o corrosivo, y de 90 a 120 vuelve a ser corrosiva.

La figura 11 muestra la relación entre los índices AWWA y Riznar para diferentes dosis de hidróxido de calcio, esto se graficó con la finalidad de mostrar objetivamente los puntos que quedan tanto fuera como dentro de la ZONA OPTIMA, por lo que se concluye que con una concentración de 30 ppm de  $\text{Ca(OH)}_2$  es la necesaria para que el agua de rebombeo "Peñón" presente características no agresivas ( $I_A = 12.59$ ) y poco incrustante y/o corrosiva ( $I_R = 6.97$ ).

En la tabla 15 se observa que al aumentar la concentración de  $\text{Ca(OH)}_2$ , hay una disminución en el cloro libre residual, el pH aumenta, se presenta una disminución tanto en sólidos disueltos totales como en dureza de calcio, la turbiedad aumenta. Estos resultados se encuentran graficados en las figuras 12, 13, 14, 15 y 16 respectivamente.

El color y la alcalinidad total casi permanecen constantes.

#### 4.3.2.- DESINFECCION DEL AGUA CON HIPOCLORITO DE SODIO.

Debido a que se presenta una disminución en el cloro libre residual causado por incrementos en las concentraciones de  $\text{Ca(OH)}_2$ , se hizo necesario evaluar el efecto que tiene el  $\text{NaClO}$  en todos y cada uno de los parámetros que están involucrados en los índices de agresividad. Para tal efecto se sometió a experimentación el agua con una dosificación de hipoclorito de sodio de 1 a 3.5 ppm.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 16 y figura 17, de lo que se deduce lo siguiente:

- Conforme se aumenta la dosificación de hipoclorito de sodio al agua, aumenta el pH ligeramente, esto es debido a la disociación que sufre el hipoclorito en el agua provocando la siguiente reacción:  $\text{NaClO} + \text{HOH} \longrightarrow \text{NaOH} + \text{HClO}$  formándose una base fuerte y un ácido débil, por lo que le infiere al medio más alcalinidad.

- La conductividad eléctrica aumenta debido a la edición de iones proporcionados por el hipoclorito; los siguientes parámetros también aumentan en su concentración: sólidos totales, cloro libre residual, alcalinidad total y dureza de calcio.

#### 4.3.3.- ETAPA DE CLARIFICACION

Con el propósito de remover la turbiedad que provoca la dosificación de hidróxido de calcio se realizaron "pruebas de jarras" para determinar la dosis óptima de coagulante ( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ), obteniéndose una turbiedad de 0.6 UTN con una concentración de 8 ppm. Se mantuvieron constantes las dosis de 30 ppm de  $Ca(OH)_2$  y 1 ppm de NaClO.

Los resultados se muestran en la tabla 17 y figuras 18 y 19. Se observó lo siguiente:

i) Las diferentes dosis de coagulante le proporcionan al agua un ligero aumento en la conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, y dureza de calcio; estas dosificaciones de coagulante no influyen en el cloro libre residual, y sí un poco en el pH.

ii) El sulfato de aluminio le proporciona al agua una ligera disminución en su agresividad, esto se traduce para los índices aquí manejados en: el índice de la AWWA  $I_a > 12$  aumenta, clasificándola como no agresiva y en el índice de Riznar la lleva más a la clasificación de poco incrustante ó corrosiva, ( $6 < I_R < 7$ ).

En la tabla 14 se presenta el resumen de resultados.

Los resultados que se obtuvieron en este estudio, contemplan solamente el aspecto fisicoquímico; sin embargo, a pesar de que esto es importante, también lo son las condiciones de operación, como son velocidad, cargas hidrostáticas, turbulencias, etc., que aunados a la agresividad que caracteriza al agua, ocasionan un desgaste y envejecimiento en la tuberías y depósitos o tanques de material asbesto-cemento. Cabe hacer notar que un factor importante es el tiempo de contacto con el material, provocando un reblandecimiento de éste.

TABLA No. 14.- RESUMEN DE RESULTADOS PARA REBOMBE PERON.

	pH	Co (u siemens) cm	Cl RESIDUAL (ppm)	ALCALINIDAD	DUREZA DE CALCIO	SOL. DIS. TOT.	COLOR	TURBIEDAD	I <sub>a</sub>	I <sub>m</sub>
A	7.54	874	1.4	326.72	80	585.58	5	0.75	11.96	7.57
B	8.20	878	0.8	329.1	74	588.26	6	8.5	11.29	6.97
C	8.22	881	1.2	329.1	75	590.27	6	8.74	12.61	6.94
D	8.29	900	0.4	327.5	90	603	5	0.6	12.76	6.72

SIMBOLOGIA:

A: Agua en condiciones iniciales (sin ninguna dosificación de reactivos)

B: Dosis de 30 ppm de  $\text{Ca(OH)}_2$

C: Dosis de 30 ppm de  $\text{Ca(OH)}_2$  + 1 ppm de  $\text{NaClO}$

D: Dosis de 30 ppm de  $\text{Ca(OH)}_2$  + 1 ppm de  $\text{NaClO}$  + 8 ppm de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ .

CORRELACIONES EMPIRICAS

De los resultados reportados para rebombeo "Peñón", se obtuvieron las siguientes correlaciones en función de las dosis de Ca (OH)<sub>2</sub>:

- a) pH = 7.998 + 0.6734x10<sup>-2</sup>[Ca(OH)<sub>2</sub>]
- b) SDT = 604.064 e<sup>-0.115x10<sup>-2</sup>[Ca(OH)<sub>2</sub>]</sup>
- c) D = 88.74 - 0.514 [Ca(OH)<sub>2</sub>]
- d) A = 5.04 [Ca(OH)<sub>2</sub>]<sup>1.018</sup>

Si sustituimos los parámetros anteriores en los índices de la AWWA y de Riznar, quedarán ecuaciones solamente en función de Ca(OH)<sub>2</sub> y de la temperatura.

i) Para I<sub>A</sub> = pH + log<sub>10</sub> (AxD)

$$I_A = 7.998 + 0.6734 \times 10^{-2} [Ca(OH)_2] + \log_{10} (5.04 [Ca(OH)_2]^{1.018} (88.74 - 0.514 [Ca(OH)_2]))$$

ii) Para I<sub>R</sub> = 2 pHs - pH  
I<sub>R</sub> = 2 (pCa + pAlC + C) - pH

$$I_R = 2(4.9996 - 0.4343 \ln(D) + 4.7006 - 0.4345 \ln(A) + 2.4566 - 0.0189T + 0.0363 \ln(SDT)) - pH$$

$$I_R = 2[12.156 - 0.4343 \ln(D) - 0.4345 \ln(A) - 0.0189T + 0.0363 \ln(SDT)] - pH$$

$$I_R = 24.312 - 0.8686 \ln(D) - 0.869 \ln(A) - 0.0378T + 0.0726 \ln(SDT) - pH$$

Sustituyendo las correlaciones empíricas de los parámetros queda:

$$I_R = 24.312 - 0.8686 \ln[88.74 - 0.514 [Ca(OH)_2]] - 0.869 \ln[5.04 [Ca(OH)_2]^{1.018}] - 0.0378T + 0.0726 \ln[604.064 e^{-0.115 \times 10^{-2} [Ca(OH)_2]}] - 7.998 + 0.6734 \times 10^{-2} [Ca(OH)_2]$$

Multiplicando y reorganizando queda:

$$I_R = 24.312 - 3.86 + 0.86861 \ln 0.514 + 0.86861 \ln [\text{Ca}(\text{OH})_2] - 0.8691 \ln 5.04 \\ - 0.8691 \ln [\text{Ca}(\text{OH})_2]^{1.018} - 0.0378T + 0.0726 \ln 604.064 + 0.0726(-0.115 \times 10^{-2} [\text{Ca}(\text{OH})_2] \\ - 7.998 + 0.6734 \times 10^{-2} [\text{Ca}(\text{OH})_2])$$

$$I_R = 10.94 + 0.86861 \ln [\text{Ca}(\text{OH})_2] - 0.8691 \ln [\text{Ca}(\text{OH})_2]^{1.018} - 0.0378T \\ - 8.349 \times 10^{-2} [\text{Ca}(\text{OH})_2] + 0.6734 \times 10^{-2} [\text{Ca}(\text{OH})_2]$$

$$I_R = 10.94 + 0.86861 \ln [\text{Ca}(\text{OH})_2] - 0.8691 \ln [\text{Ca}(\text{OH})_2]^{1.018} - 0.0378T + 6.65051 \times 10^{-3} \\ [\text{Ca}(\text{OH})_2]$$

ECUACION FINAL

$$I_R = 10.94 + 0.8691 \ln \left[ \frac{[\text{Ca}(\text{OH})_2]}{[\text{Ca}(\text{OH})_2]^{1.018}} \right] + 6.65051 \times 10^{-3} [\text{Ca}(\text{OH})_2] - 0.0378T$$

Con esta ecuación empírica se puede realizar una estimación de la agresividad del agua del rebombeo Peñón en función de la concentración de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

TABLA 15.- COMPORTAMIENTO DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA CON DOSIFICACIONES DE HIDROXIDO DE CALCIO EN REBOMBEO PERON.

Dosis de Ca(OH) <sub>2</sub> (p.p.m.)	pH	Conductividad (u siemens) cm	Alcalinidad (CI) L.R. (p.p.m.)	Alcalinidad Total (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dureza de Calcio (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Sólidos Disuel- tos Totales 0.67 Co/(mg/l)	Color (Pt/Co)	Turbiedad (UTN)	I N D I C E S			
									AMMA Valor	Clasificación	RIZNAR Valor	Clasificación
0	7.54	874	1.4	326.72	80	585.6	5	0.75	11.96	NO-AGR	7.57	F-CORR
10	8.05	880	1.2	329.10	78	589.6	5	2.5	12.46	NO-AGR	7.07	CORR
20	8.18	875	1.2	328.9	75	586.25	6	4.5	12.57	NO-AGR	6.98	Po-I/C
30	8.20	878	0.8	328.7	74	588.26	6	8.5	12.59	NO-AGR	6.97	Po-I/C
40	8.26	868	0.8	328.2	71	581.56	6	13	12.63	NO-AGR	6.94	Po-I/C
50	8.33	850	0.8	328.0	68	569.5	6.5	20	12.68	NO-AGR	6.91	Po-I/C
60	8.36	845	0.8	327.95	64	566.15	6.5	25	12.68	NO-AGR	6.93	Po-I/C
70	8.47	841	0.6	327.93	54	563.47	6.5	28	12.72	NO-AGR	6.97	Po-I/C
80	8.56	827	0.6	327.9	48	554.09	7.0	30	12.76	NO-AGR	6.98	Po-I/C
90	8.60	810	0.5	327.5	40	542.7	7.0	33	12.72	NO-AGR	7.10	CORR
100	8.68	800	0.5	327.1	36	536	7.5	37	12.75	NO-AGR	7.11	CORR
110	8.74	788	0.5	326.8	29.6	527.96	7.5	39	12.73	NO-AGR	7.22	CORR
120	8.81	784	0.5	326.2	26	525.28	7.5	41	12.74	NO-AGR	7.26	CORR

ESPECIFICACIONES : T = 22°C

Tiempo de contacto = 10 min

Velocidad de agitación = 100 rpm

La turbiedad se determinó después de 20 min. de sedimentación



FIG. 10 COMPORTAMIENTO DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA CON DOSIFICACIONES DE HIDROXIDO DE CALCIO EN REBOMBEO PEÑON

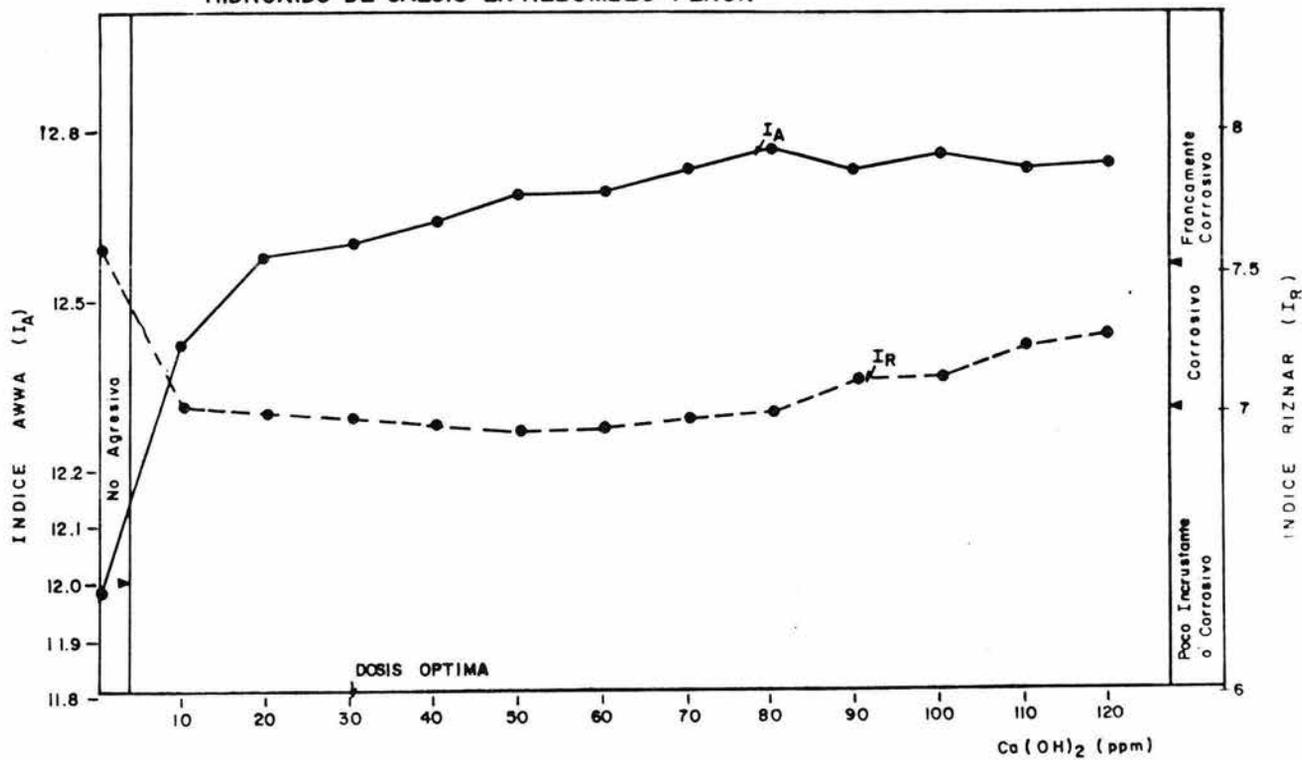
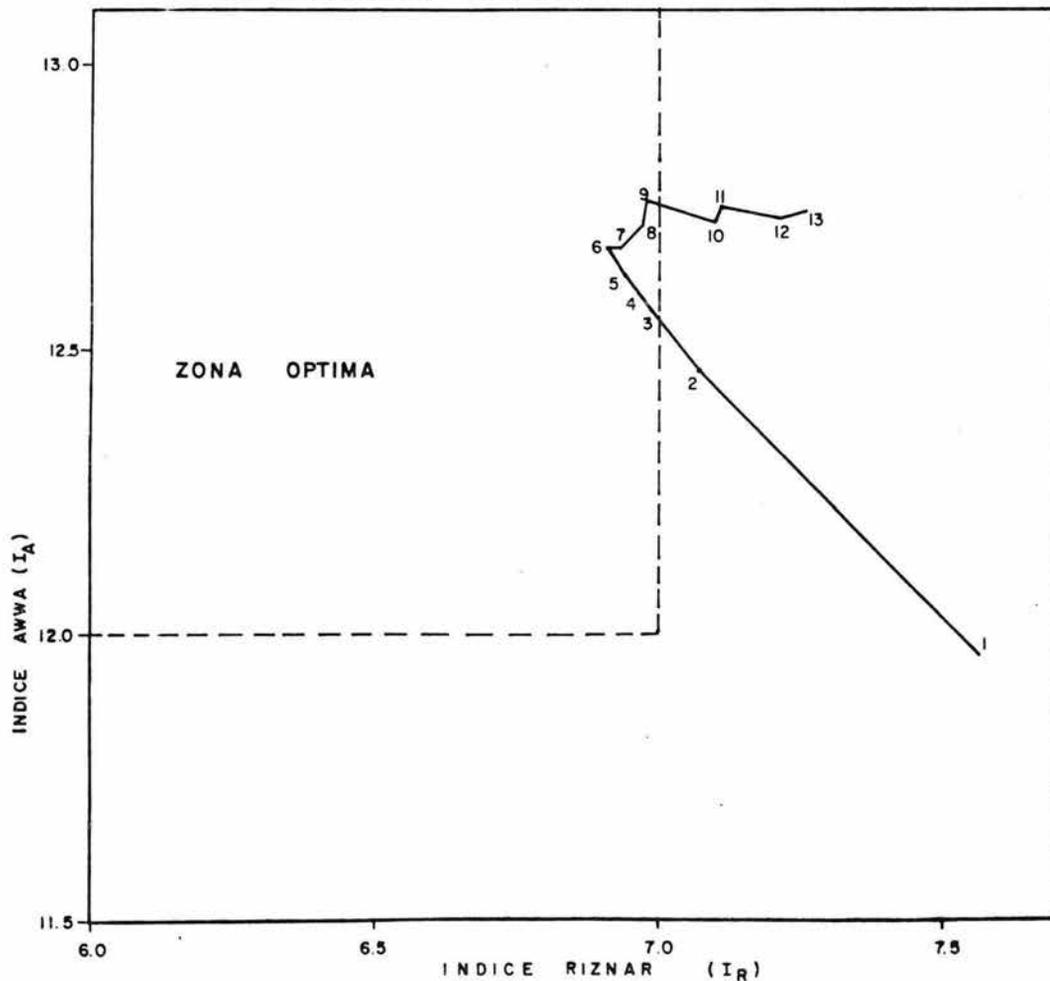
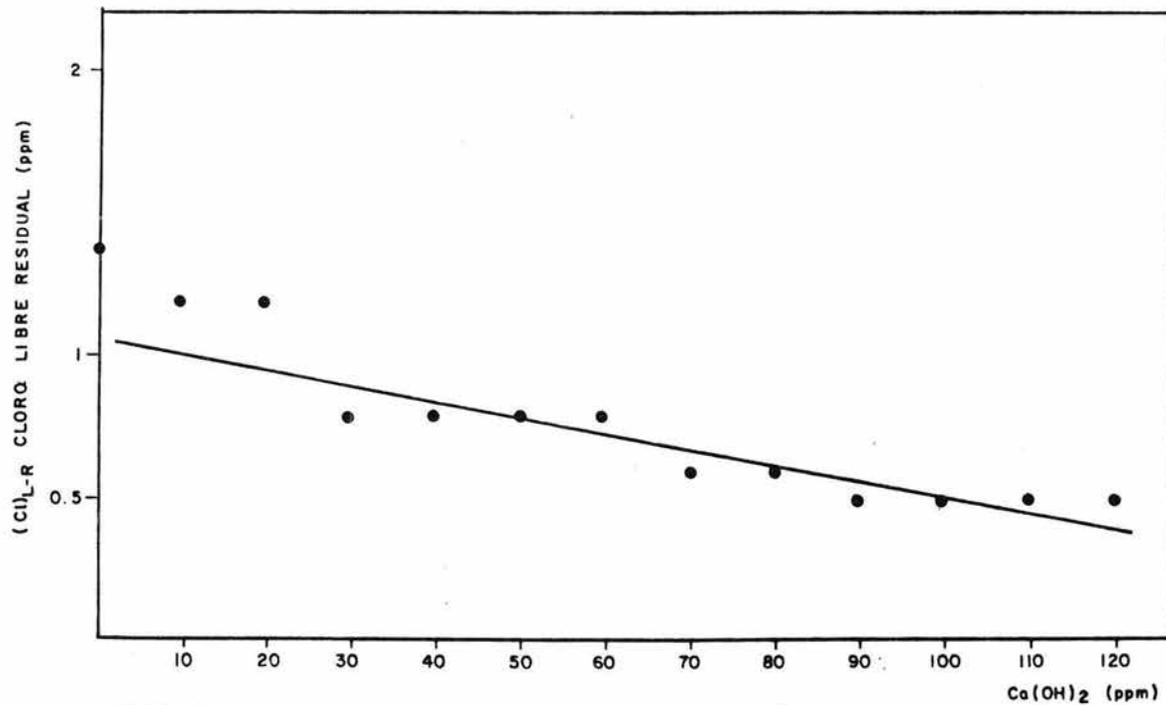


FIG. II RELACION ENTRE LOS INDICES AWWA Y RIZNAR PARA DIFERENTES DOSIS DE HIDROXIDO DE CALCIO



Punto	$Ca(OH)_2$ (PPP)	$I_A$	$I_R$
0	0	11.96	7.56
1	10	12.46	7.07
2	20	12.57	6.98
3	30	12.59	6.97
4	40	12.63	6.94
5	50	12.68	6.91
6	60	12.68	6.93
7	70	12.72	6.97
8	80	12.76	6.98
9	90	12.72	7.10
10	100	12.75	7.11
11	110	12.73	7.22
12	120	12.74	7.26

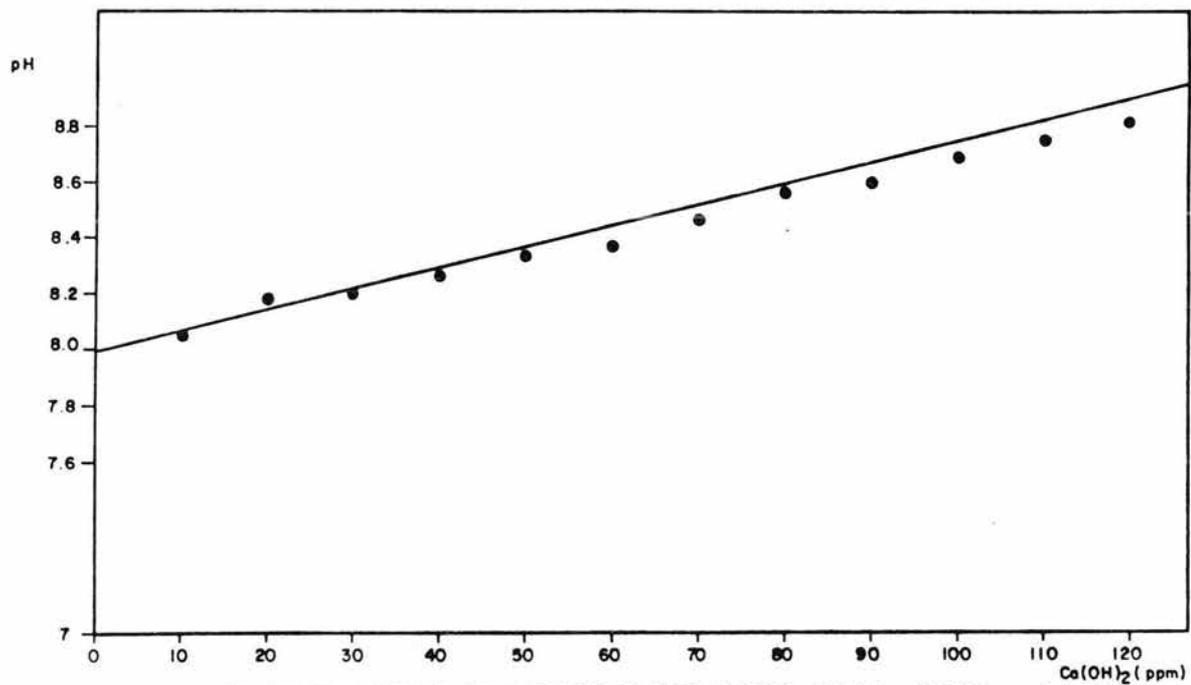
FIG. 12 CLORO LIBRE RESIDUAL VS. HIDROXIDO DE CALCIO  
(Rebombero Peñon)



VALOR OPTIMO DEL CLORO LIBRE RESIDUAL : 1ppm (Norma de la SSA)

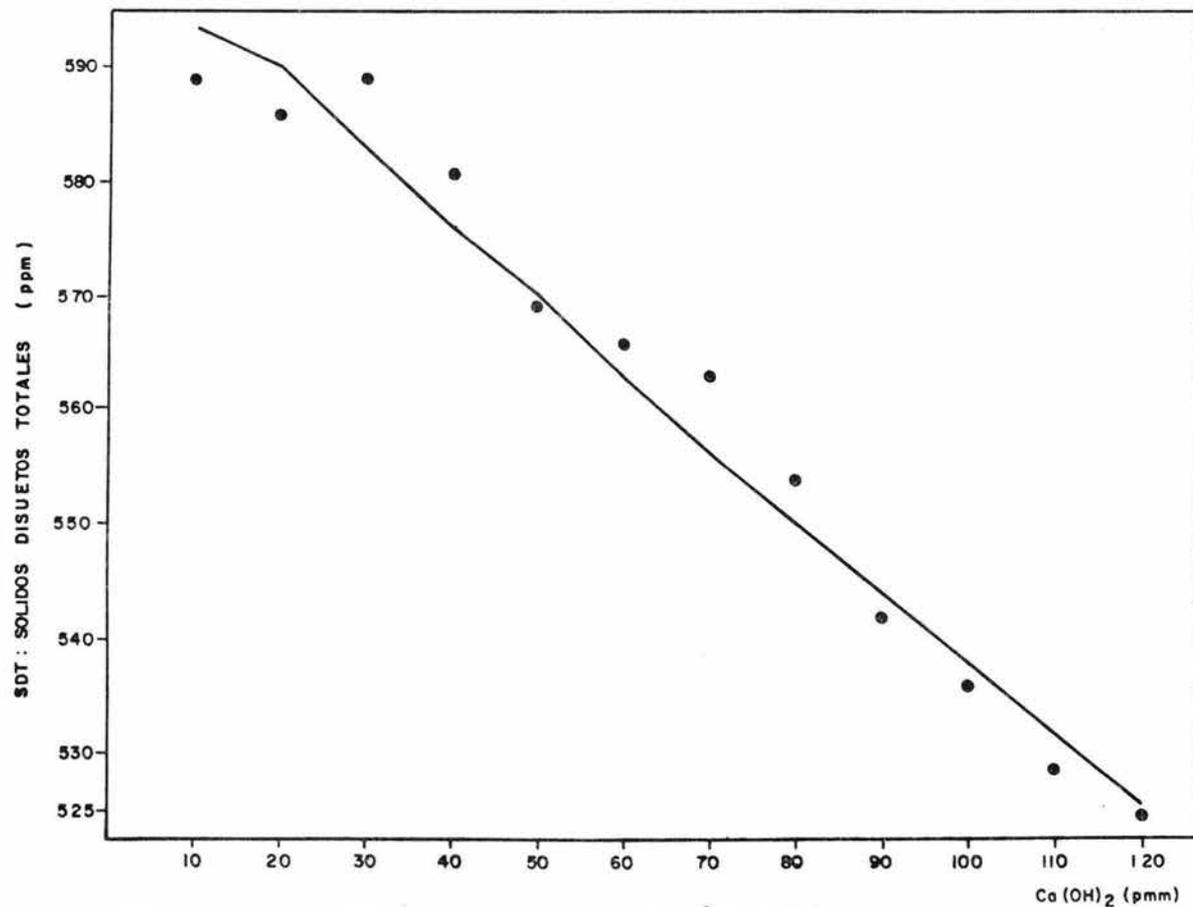
EVALUACION DE CORRELACION:  $(Cl)_{LR} = 1.15152 - 0.643 \times 10^{-2} (Ca(OH)_2)$

FIG. 13 POTENCIAL HIDROGENO VS. HIDROXIDO DE CALCIO  
(Rebombeo Peñon)



LIMITES RECOMENDADOS PARA POTENCIAL DE HIDROGENO EN AGUA POTABLE : DE 6.8 - 8.0 ( Norma de la SSA)  
ECUACION DE CORRELACION :  $\text{pH} = 7.998 + 0.6734 \times 10^{-2} (\text{Ca}(\text{OH})_2)$

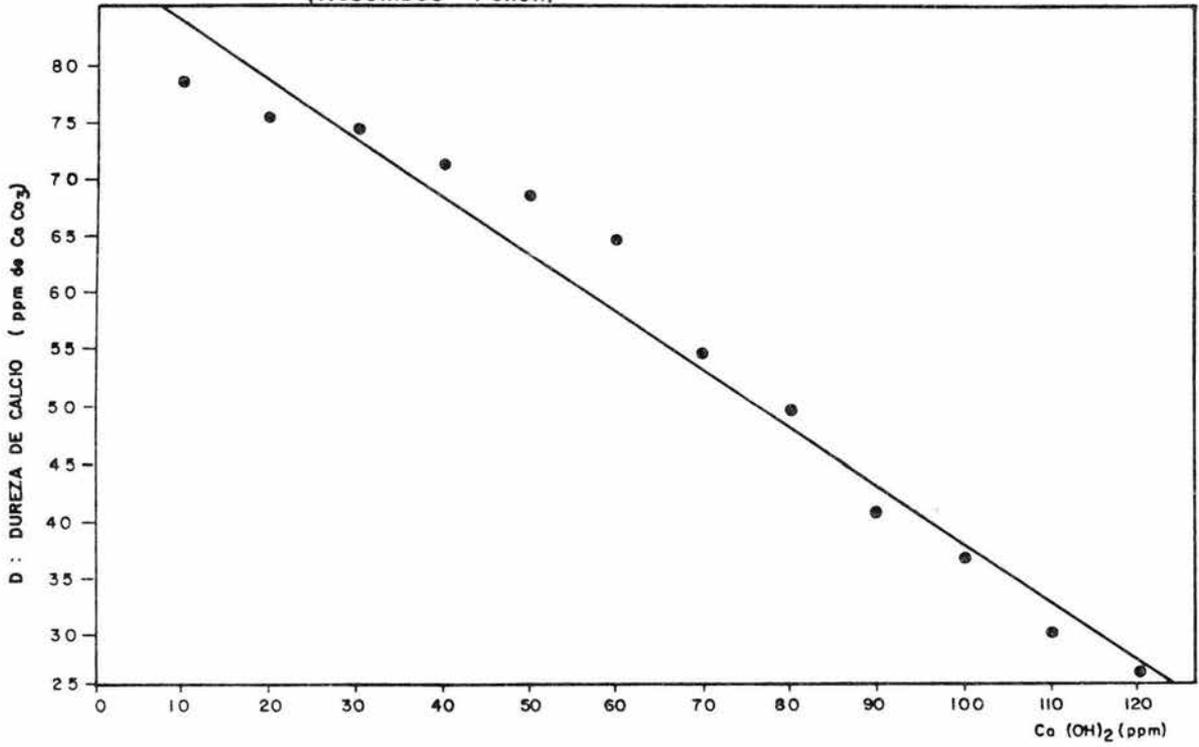
FIG. 14 SOLIDOS DISUELTOS TOTALES VS. HIDROXIDO DE CALCIO  
(Rebombero Peñon)



ECUACION DE CORRELACION :  $SDT = 604.064 e^{-0.115 \times 10^{-2} (Ca (OH)_2)}$

LIMITE RECOMENDADO DE SOLIDOS DISUELTOS TOTALES = 500 ppm ( Norma de la SSA )

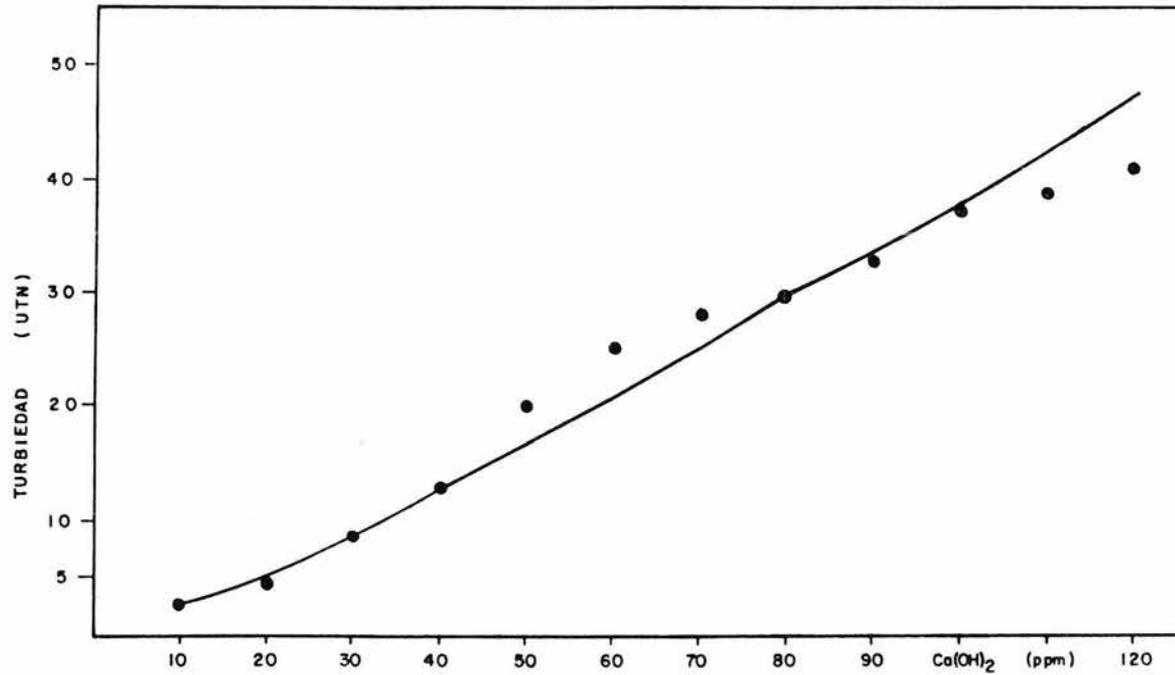
FIG. 15 DUREZA DE CALCIO VS. HIDROXIDO DE CALCIO  
(Rebomero Peñon)



LIMITE RECOMENDADO PARA DUREZA DE CALCIO : 150 ppm ( Norma de la SSA)

ECUACION DE CORRELACION :  $D = 88.74 - 0.514 (Ca(OH)_2)$

FIG.16 TURBIEDAD VS. HIDROXIDO DE CALCIO ( Rebomero Peñon )



TURBIEDAD DETERMINADA DESPUES DE 20 MIN. DE SEDIMENTACION  
LIMITE RECOMENDADO PARA TURBIEDAD : 5 UTN ( Norma de la SSA )  
ECUACION DE CORRELACION :  $TURBIEDAD = 0.1518 (Ca(OH)_2)^{1.20065}$

TABLA 16.- COMPORTAMIENTO DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA CON DOSIFICACIONES DE HIPOCLORITO DE SODIO

Dosis de NaClO (p.p.m.)	pH	Conductividad (u siemens) cm	(CI) L.R. (p.p.m)	Alcalinidad Total (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dureza de Calcio (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Sólidos Disueltos Totales 0.67 Co(mg/l)	Turbiedad (UNT)	I N D I C E S			
								AWWA Valor Clasificacion		RIZMAR Valor Clasificacion	
A	7.5	898	1.4	353.9	82.35	601.66	3	11.96	NO-AGR	7.52	F-CORR
B	8.01	903	0.55	367.75	74.51	605.01	16	12.45	NO-AGR	7.06	CORR
C	1.0	923	2.0	364.98	77.45	618.410	17	12.38	NO-AGR	7.12	CORR
	1.5	929	2.5	364.98	82.35	622.43	13	12.37	NO-AGR	7.10	CORR
	2.0	930	3.0	367.75	86.27	623.1	18	12.43	NO-AGR	7.02	CORR
	2.5	944	3.25	373.28	92.16	632.48	6	12.69	NO-AGR	6.72	Po-1/CORR
	3.0	952	3.75	376.04	98.04	637.84	7	12.74	NO-AGR	6.65	Po-1/CORR
	3.5	958	4.0	376.04	103.92	641.86	7	12.77	NO-AGR	6.59	Po-1/CORR

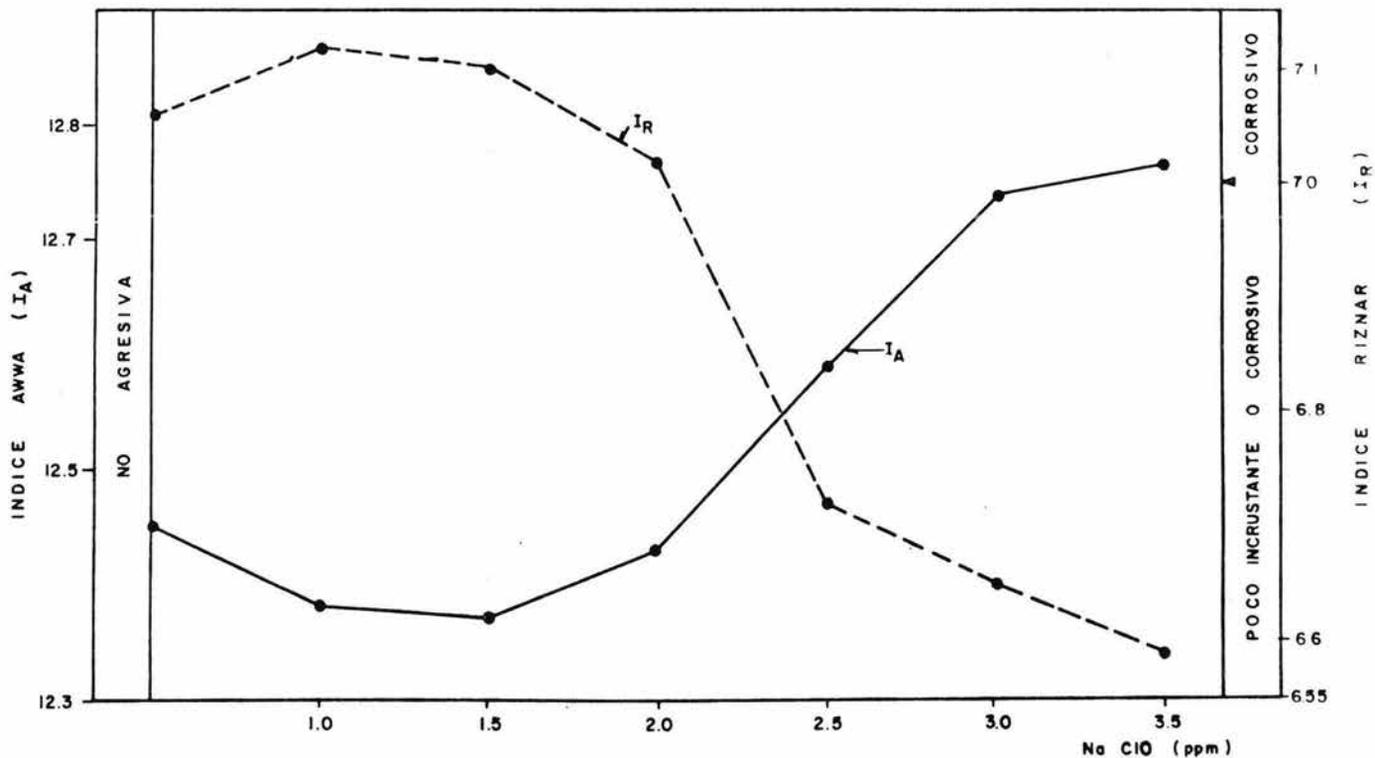
SIMBOLOGIA:

- A: Condiciones Iniciales
- B: Dosis de 20 ppm de Ca(OH)<sub>2</sub>
- C: Se mantiene constante la dosis de 20 ppm de Ca (OH)<sub>2</sub> y se varia la dosis de NaClO

ESPECIFICACIONES: a) T = 21.9°C

- b) Tiempo de contacto: 10 min.
- c) Velocidad de agitación: 100 rpm
- d) La turbiedad se determinó inmediatamente después de la agitación

FIG. 17 COMPORTAMIENTO DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA CON DOSIFICACIONES DE HIPO-CLORITO DE SODIO (Rebombo Peñon)



SE MANTIENE CONSTANTE LA DOSIS DE 20ppm DE  $\text{Ca(OH)}_2$

TABLA 17.- DETERMINACION DE LA DOSIS OPTIMA DE COAGULANTE  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  PARA LA ETAPA DE CLARIFICACION

Dosis de (p.p.m.)	pH	Conductividad (u siemens) cm	(Cl) L.R. (p.p.m)	Alcalinidad Total (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Dureza de Calcio (mg/lCaCO <sub>3</sub> )	Sólidos Disuel- tos Totales 0.67 Co(mg/l)	Color (Pt/Co)	Turbiedad (UTM)	I N D I C E S			
									AMMA Valor Clasificación	RIZNAR Valor Clasificación		
A	7.54	874	1.4	326.72	80	585.58	5	0.75	11.96	MO-AGR	7.57	F-CORR
B	8.20	878	0.8	329.1	74	588.26	6	8.5	12.59	MO-AGR	6.97	Po-1/C
C	8.22	881	1.2	329.1	75	590.27	6	8.74	12.61	MO-AGR	6.94	Po-1/C
D	2	8.28	887	0.4	328	594.29	5	1.3	12.69	MO-AGR	6.95	Po-1/C
	4	8.29	891	0.4	328	596.97	5	1.3	12.72	MO-AGR	6.79	Po-1/C
	6	8.30	897	0.4	327.5	600.99	5	1.1	12.74	MO-AGR	6.77	Po-1/C
	8	8.29	900	0.4	327.5	603	5	0.6	12.76	MO-AGR	6.72	Po-1/C
	10	8.30	902	0.4	326.8	604.34	5	0.8	12.79	MO-AGR	6.67	Po-1/C
	12	8.30	906	0.35	326.8	607.02	5	1.2	12.81	MO-AGR	6.63	Po-1/C

SIMBOLOGIA: A Condiciones iniciales

B Dosis óptima de  $Ca(OH)_2$  (30 ppm)

C Dosis óptima de  $Ca(OH)_2$  + dosis óptima de  $NaClO$  (1ppm)

D Se mantiene constante la dosis de  $Ca(OH)_2$  e  $NaClO$  y se varia la dosis del  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$

ESPECIFICACIONES: a) Mezcla rápida: 1 min. a 100 rpm

b) Floculación: 20 min. a 40 rpm

c) Sedimentación: 20 min.

d) Filtración por gravedad: papel Whatman No. 40

e) T = 22°C

FIG. 18 COMPORTAMIENTO DE LA AGRESIVIDAD DEL AGUA CON DOSIFICACIONES DE COAGULANTE

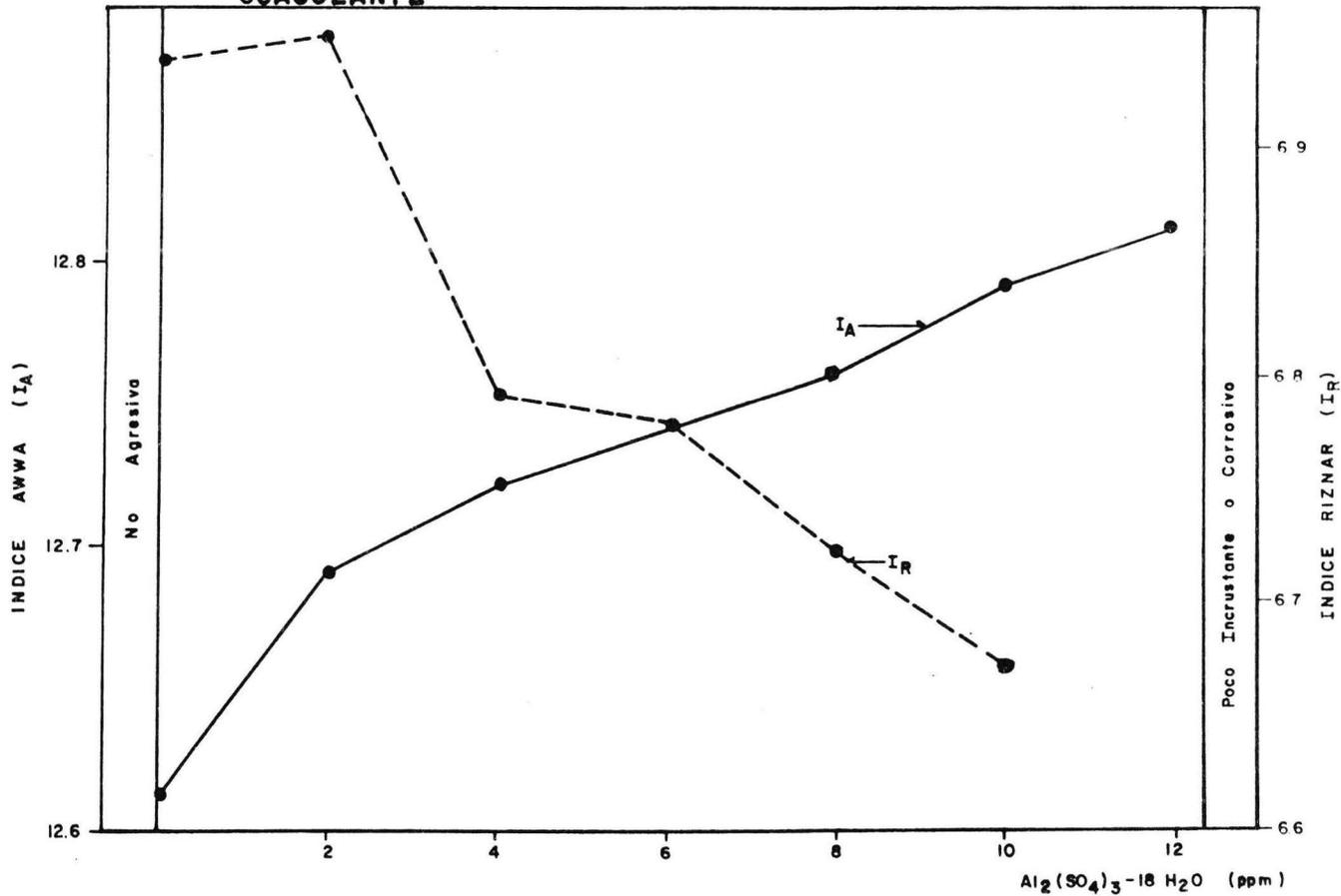
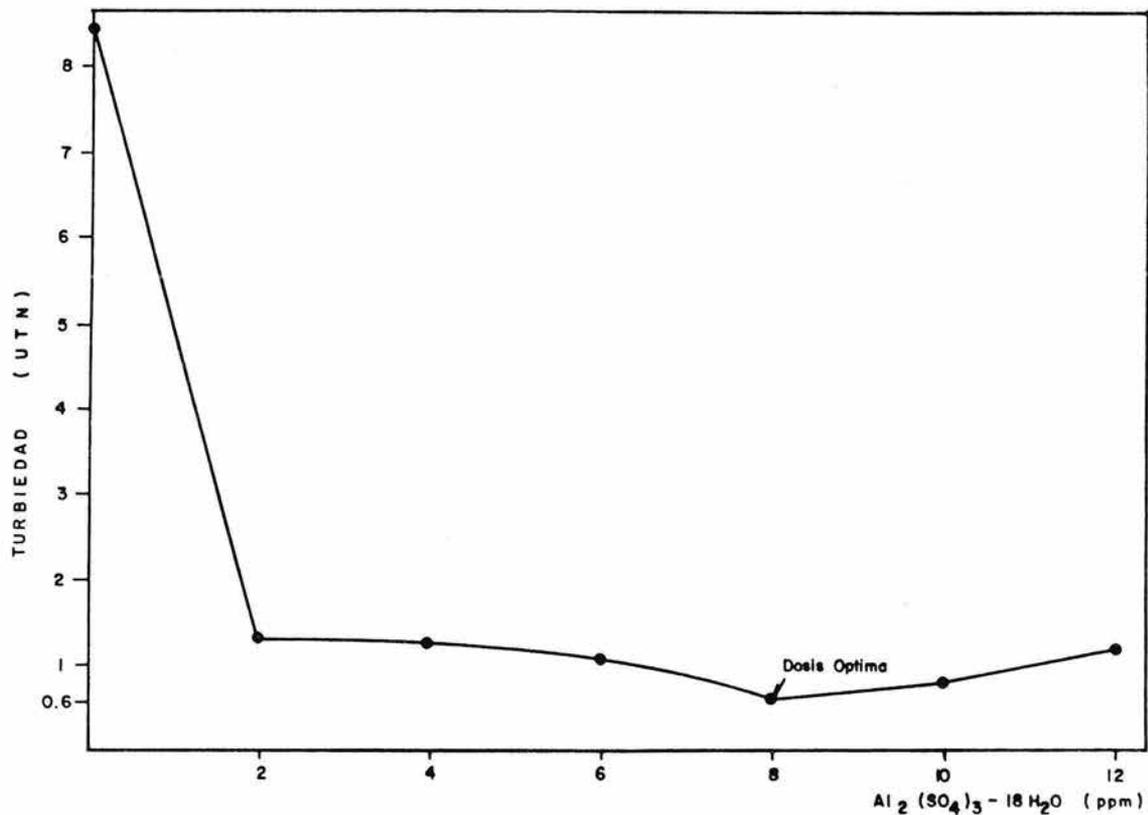


FIG.19 DETERMINACION DE LA DOSIS OPTIMA DE COAGULANTE



LIMITE RECOMENDADO PARA TURBIEDAD : 5 UTN ( Norma de la SSA )

TURBIEDAD DEL AGUA SIN DOSIS DE  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ : 0.75 UTN

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

La metodología desarrollada consistió en un proceso de neutralización de la agresividad y tratamiento químico (mezcla rápida, floculación, sedimentación y filtración), también una desinfección con hipoclorito de sodio, de realizar lo anterior se puede proporcionar un agua no-agresiva, poco incrustante, fisicoquímica y bacteriológicamente potable. Estos resultados obtenidos satisfacen los objetivos y alcances planteados en este estudio.

Los procesos de tratabilidad antes mencionados se podrán aplicar a cada punto del SHDF que así lo requiera, obteniéndose los siguientes beneficios:

### Para el SHDF:

- a) Evitar el deterioro progresivo de los diversos materiales del SHDF, que están en contacto con agua agresiva.
- b) El conocimiento para futuras construcciones del SHDF, de la calidad FQB del agua, que deberá adecuarse para evitar daños en los materiales de dichas construcciones.

### Para la población

a) Si se neutraliza la agresividad al agua, se evitará que se desprendan y/o incrusten agregados de los materiales con los que está en contacto, porque si estos son fibras de asbesto, representan un riesgo potencial a la salud del usuario.

b) Si la agresividad del agua es severa y prolongada, los materiales y equipos con los que ella este en contacto, tendrá una "vida útil" corta, lo cual implica para el usuario un suministro de agua discontinuo, y para el Estado el constante desembolso de capitales para su reparación ó reemplazo.

## RECOMENDACIONES

1.- Realizar periódicamente un programa de monitoreo del nivel de agresividad del agua potable en los diferentes puntos del SHDF, como son: pozos, manantiales, rebombeos, tanques, plantas potabilizadoras, etc., y de los resultados que se obtengan realizar curvas de isoagresividad, de esta forma se tendrá una perspectiva más amplia de la magnitud del problema.

2.- Evaluar las zonas del SHDF que presenten las más altas agresividades así como mala calidad fisicoquímica y bacteriológica para determinar aquellos puntos en los que sea necesario la instalación de una planta de neutralización que opere conjuntamente con procesos de potabilización del agua.

3.- Determinar mediante experimentaciones en "pruebas de jarras" las dosis óptimas de neutralización de la agresividad para agua con índices de la AWWA de 10,10.5,11 y 11.5. Con la finalidad de obtener una ecuación que proporcione información rápida de la concentración que se requiere para abatir dicha agresividad.

4.- Determinar por medio de la experimentación a nivel planta piloto las pruebas de tratabilidad para neutralizar la agresividad del agua y obtener los parámetros básicos de diseño para estaciones de neutralización.

5.- Diseñar y construir 3 equipos hidráulicos para evaluar el desprendimiento de fibras de asbesto con aguas de diferente agresividad, simulando las diferentes condiciones de operación que prevalecen en el sistema de abastecimiento de agua potable, para determinar las correlaciones matemáticas que representen tal fenómeno.

6.- Elaborar acuerdos con los fabricantes para proporcionar un recubrimiento a la pared interior de la tubería de asbesto-cemento para evitar la corrosión del mismo. Si aún con la anterior medida, el desprendimiento de fibras de asbesto continúa en niveles altos, reemplazar la tubería de asbesto-cemento por otra de un material resistente a la agresividad; esta medida deberá realizarse en forma gradual y progresiva para evitar distraer recursos económicos prioritarios a otras actividades del SHDF.

7.- Evaluar en modelos hidráulicos el efecto de potenciadores e inhibidores de la corrosión en tuberías de asbesto-cemento para definir las acciones y medidas tendientes a mitigar o eliminar la incorporación de asbestos al agua potable del D.F.

8.- Efectuar el diagn6stico de la corrosi3n de materiales constitutivos de tuberia de conducci3n de agua potable como son fierro, cobre y fierro galvanizado mediante pruebas de tipo batch con aguas de distinta procedencia, tambi3n evaluar inhibidores de la corrosi3n de estos materiales para definir las acciones de control orientadas a preservar la calidad del agua y proteger la infraestructura del Sistema Hidr3ulico del D.F.

SIMBOLOGIA

ABREVIATURA	DESCRIPCION	UNIDADES
pH	POTENCIAL DE HIDROGENO	(UNIDADES)
T	TEMPERATURA	(°C)
C	CONDOC. ELECTRICA	(u siemens/cm)
SDT	SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	(mg/l)
A	ALCALINIDAD TOTAL	(mg/l)
D	DUREZA DE CALCIO	(mg/l)
TURB.	TURBIEDAD	(UTN)
UTN	UNIDADES NEFELOMETRICAS	
Co	COLOR	(Pt/Co)
ppm	CONCENTRACION EN PARTES POR MILLON	
[Cl] <sub>L.R.</sub>	CLORO LIBRE RESIDUAL	(ppm)
G	GRADIENTE DE VELOCIDAD	RPM
RPM	REVOLUCIONES POR MINUTO	
Ca(OH) <sub>2</sub>	HIDROXIDO DE CALCIO (CAL)	(ppm)
NaClO	HIPOCLORITO DE SODIO	(ppm)
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (8H <sub>2</sub> O)	SULFATO DE ALUMINIO	(ppm)
I <sub>A</sub>	INDICE DE AGRESIVIDAD DE LA AWWA	
I <sub>R</sub>	INDICE DE RIZNAR	
AWWA	AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION	
F.Q.B.	FISICOQUIMICOS Y BACTERIOLOGICOS	
DGCOH	DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION Y OPERACION HIDRAULICA	
SHDF	SISTEMA HIDRAULICO DEL DISTRITO FEDERAL	
EPA	AGENCIA PARA LA PROTECCION DEL AMBIENTE	
CEPIS	CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA	

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

- 1.- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS); Programa Regional de Mejoramiento de Calidad de Agua para Consumo Humano; Ciclo: CB-4 Ciencias Básicas de Tratamiento de Agua.
- 2.- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater American Public Health Association; American Water Works Association; Water Pollution Control Federation. 15a. Ed. Washington, D.C. 1981.
- 3.- Custodio E. y Llamas M., Hidrología Subterránea. Barcelona, España, Ed. Omega, 1976. Vol. 1-2.
- 4.- Kemmer y Mc. Callion, Manual del Agua. McGraw-Hill, México 1982, Traducc. por Espinoza y Medina.
- 5.- Kemmer N. Frank, Chemical Company, Manual del Agua, su Naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones, Ed. McGraw-Hill, México 1979.
- 6.- Hillebor Herman E., Depto. de Sanidad del Estado de Nueva York, Manual de Tratamiento de Aguas Negras, Ed. Limusa, México 1980.
- 7.- American Water Works Association, Inc. Control de Calidad y Tratamiento del Agua, traducc. Federico de Lora, Madrid 1975.
- 8.- DDF-DGCOH, Manual para Muestreo de Agua Potable y Análisis en Campo, México 1980.

- 9.- DDF-DGCOH, Manual de Operación del Sistema de Agua Potable, México, 1982.
- 11.- Millette, Hammonds, Pansing, Hansen y Clarck, (1980), Aggressive Water: Assessing the Extent of the Problem, American Water Works Association.
- 12.- Millette, Clark, Pansing y Twyman., (1980) Concentration and Size of Asbestos in Water Supplies, Enviromental Health Perspectives, Vol. 34 pp. 13-25,1980.
- 13.- Buclow, Millette, McFarver y Symons, (1980), The Behavior of Asbestos-Cement Pipe Under Various Water Quality Condition: A progress Report, Research and Technology, Journal AWWA, pp.91-102.1980.
- 14.- J.Bard Allen, Equilibrio Químico; Ediciones del Castillo, S.A. Madrid, 1970.
- 15.- J. Rodier, Análisis de Aguas, Ed. Omega, México 1981.
- 16.- Instituto de Física-UNAM-DGCOH; Implantación de las técnicas para detección y cuantificación de fibras de asbesto en el agua potable y renovada del D.F., México, 1986.
- 17.- Mora Reyes D.; Identificación de fibras de asbestos en el Sistema Hidráulico del Distrito Federal. (Ponencia).

APENDICE A

NORMAS NACIONALES E INTERNACIONALES PARA LA CALIDAD DEL AGUA EN LA CIUDAD DE MEXICO.

Parámetro	Unidad	Límite recomendado	Límite Máximo	Organismo normativo
1. Requisitos físicos de calidad.-				
Color	UPTCo	20	---	SS
Turbiedad	UTJ	10	---	SS
Sólidos disueltos	mg/l	500	1000	SS
2. Estándares químicos de calidad.-				
Potencial hidrógeno	---	6.8-8.0	---	SS
Alcalinidad total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	---	400	SS
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	---	300	SS
Dureza cálcica (CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	150	---	SS
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	mg/l	---	250	SS
Nitratos (NO <sub>3</sub> )	mg/l	5	---	SS
Nitrógeno amoniacal (N-NH <sub>4</sub> )	mg/l	---	0.5	SS
Nitrógeno proteico	mg/l	0.1	---	SS
Cobre (Cu)	mg/l	---	3.0	SS
Oxígeno consum. en medio ácido	mg/l	3	---	SS
Hierro (Fe)	mg/l	---	---	SS
Manganeso (Mn)	mg/l	---	0.3	SS
Detergentes (SAAM)	mg/l	0.5	---	SS
Cloro residual	mg/l	0.2 (min.)	---	SS
3. Estándares bacteriológicos de calidad.-				
Coliformes totales	Técnica de filtro de membrana	Que no excedan--- del 5 por ciento las muestras con valores superiores a 4 coliformes/100 ml. Ausencia.		USEPA
Coliformes fecales.				
4. Metales pesados.				
Plomo (Pb)	mg/l	0.10	---	SS
Arsénico (As)	mg/l	0.05	---	SS
Cromo (Cr)	mg/l	0.05	---	SS
Cadmio (Cd)	mg/l	0.01	---	SS
Bario (Ba)	mg/l	1.00	---	OMS
Mercurio (Hg)	mg/l	0.001	---	OMS
Boro (B)	mg/l	5.00	---	*

\* Máximo permisible para suministro de agua potable, Dept. of National Health Welfare, Canadá 1969.