



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

**OPTIMIZACION DE UN SISTEMA DE DESMINERALIZACION  
DE AGUA DE POZO PARA GENERACION DE  
VAPOR EN CALDERA**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO QUIMICO**  
P R E S E N T A :  
**MAURICIO AGUILAR ORTEGA**

Asesor: I.Q. ARIEL BAUTISTA SALGADO

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2002

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
 UNIDAD DE ADMINISTRACION ESCOLAR  
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

SUPERIOR



Departamento de  
Exámenes Profesionales

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
 P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
 Jefe del Departamento de Exámenes  
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Optimización de un sistema de desmineralización de Agua de pozo  
para generación de vapor en caldera.

que presenta el pasante: Mauricio Aguilar Ortega.  
 con número de cuenta: 9456469-7 para obtener el título de :  
INGENIERO QUIMICO.

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 7 de noviembre de 2001.

PRESIDENTE	<u>I.Q.M. Rafael Sampere Morales.</u>	
VOCAL	<u>Dr. Adolfo Obaya Valdivia.</u>	
SECRETARIO	<u>I.Q. Ariel Bautista Salgado.</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>I.Q. Graciela Delgadillo García.</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>I.Q. Miriam Rivas Salgado.</u>	

## Dedicatorias

A mis padres Silvia y Guadalupe por la grandeza de su confianza, por el apoyo que me dieron y por la esperanza de que algún día llegara este momento.

Gracias Padres míos.

A mi esposa Daisy y a mi hijo Mauricio por ser la motivación mas grande de mi vida.

Gracias por estar a mi lado, los quiero mucho.

A mis hermanos Nely, Lorena, Elvis, Norma y Silvia por haber creído en mi y por el apoyo que alguna forma algún día me dieron.

Gracias hermanos.

A Raúl Landazuri Torres por todo el apoyo que me has brindado.

Gracias por ser un amigo de verdad y además una buena persona.

## **Agradecimientos**

**A la U.N.A.M.  
Por darme la oportunidad de crecer  
para ser en el mañana mejor.**

**A la F.E.S.C. por ser el lugar donde  
aprendí el significado de estudiar para  
tener un concepto mas real de la vida.**

**A mi Asesor I. Q. Ariel Bautista Salgado  
por el apoyo y la espera que ha tenido  
para la realización de este trabajo.**

# INDICE

	PAGINA
OBJETIVO	1
INTRODUCCION	2
ANTECEDENTES	3
- COMPOSICION E IMPUREZAS DEL AGUA DE POZO	3 a 15
- METODOS DE PURIFICACION DEL AGUA DE POZO	15
I) FILTRACION	15
II) MATERIALES USADOS COMO MEDIOS FILTRANTES	15 a 16
III) TIPOS DE FILTRACION	16
a) FILTROS POR GRAVEDAD	16
b) FILTROS A PRESION	16
- INTERCAMBIO IONICO	17
I) INTERCAMBIO DE CATIONES	17
II) INTERCAMBIO DE ANIONES	18
III) CICLOS DE INTERCAMBIO IONICO	18 a 19
CARACTERISTICAS DEL AGUA DE POZO	22 a 24
BASES DE DISEÑO	24
- GENERALIDADES Y BASES DE DISEÑO	24
I) ANALISIS DE LA CARACTERIZACION DEL AGUA DE POZO	24
II) FUNCION DEL SISTEMA DE DESMINERALIZACION	24
III) TIPO DE PROCESO	24
IV) CAPACIDAD, RENDIMIENTO Y FLEXIBILIDAD	24
a) FACTOR DE SERVICIO	24
b) CAPACIDAD Y RENDIMIENTO	24 a 25
c) FLEXIBILIDAD	25
V) ESPECIFICACION DE LAS ALIMENTACIONES A PROCESO	25
VI) ESPECIFICACION DE LOS PRODUCTOS	26
VII) CONDICION DE LA ALIMENTACION EN LOS LIMITES DE BATERIA	26
VIII) CONDICION DE LOS PRODUCTOS EN LOS LIMITES DE BATERIA	26
IX) CANALIZACION DEL AGUA PRODUCTO DE LA DILUCION DE LOS REGENERANTES, LAVADOS Y ENJUAGUES	26
2.- INSTALACIONES REQUERIDAS PARA ALMACENAMIENTO	26
I) AGUA DE POZO DE ALIMENTACION AL SISTEMA	26 a 27
II) AGUA DESMINERALIZADA COMO PRODUCTO	27
3.- INSUMOS	27
4.- SERVICIOS AUXILIARES	28
I) AGUA DE DILUCION DE REGENERANTES QUIMICOS	28
II) AIRE DE INSTRUMENTOS	28
III) VAPOR	28
IV) ENERGIA ELECTRICA	28
5.- BASES DE DISEÑO ELECTRICO	28 a 29
6.- BASES DE DISEÑO DE EQUIPO MECANICO	29 a 31
7.- BASES DE DISEÑO CIVIL	32
8.- BASES DE DISEÑO PARA INSTRUMENTOS	32 a 33
9.- CRITERIOS DE DISEÑO	34
1.- CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO DE EQUIPO	34 a 35
2.- INGENIERIA BASICA DEL PROCESO	36
1.- DESCRIPCION DEL PROCESO	36
I) FILTRACION	36
II) ELIMINACION DE SALES DE LA UNIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO	36
III) DESCARBONATACION	36
IV) ELIMINACION DE SALES DE LA UNIDAD DE INTERCAMBIO ANIONICO	36 a 37
V) REGENERACION DE LA UNIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO	37
VI) REGENERACION DE LA UNIDAD DE INTERCAMBIO ANIONICO	37
3.- DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO	38 a 39
9.- DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTOS	40 a 41
10.- DESCRIPCION OPERATIVA	42 a 43
11.- PROCEDIMIENTO Y PRUEBAS DE OPTIMIZACION	43 a 45

TEMAS CON  
FALLA DE ORIGEN

RESULTADOS DE LA OPTIMIZACION DEL DESMINERALIZADOR DE AGUA DE POZO ISEP-AGUA	46 a 48
INDICE	49
I) BASES DE CALCULO	50 a 53
II) CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DE REGENERANTES QUIMICOS Y RESINAS	54 a 57
III) HOJAS DE DATOS DE EQUIPO DE PROCESO	58 a 64
IV) TABLAS Y GRAFICAS DE OPERACION	65 a 99
V) FORMATOS DE REGISTRO	100 a 102
VI) GEOGRAFIA	103

# **OPTIMIZACION DE UN SISTEMA DE DESMINERALIZACIÓN DE AGUA DE POZO PARA GENERACIÓN DE VAPOR EN CALDERA**

## **1- OBJETIVOS**

### **1.1.-OBJETIVO GENERAL**

Optimizar la operación del sistema de flujo continuo de desmineralización de agua de pozo, basado en el proceso de intercambio iónico.

Identificar las condiciones óptimas de operación y actualizar el sistema de operación automático para disminuir a niveles óptimos, el uso de resina, el consumo de regenerantes químicos (HCl y NaOH) y el flujo de agua de lavados, enjuagues y dilución de los lechos empacados de resina, hasta llegar a valores mínimos y óptimos para obtener agua con las siguientes especificaciones para la generación de vapor.

- Conductividad: 15 – 20 Microsiemens / cm<sup>2</sup>
- PH: 8.5 – 9.0
- Sílice: 0.3 ppm máximo
- Dureza: 0 ppm
- Alcalinidad: 250 ppm

## 2.- INTRODUCCIÓN

El agua para generación de vapor en la caldera de la planta de procesamiento de maíz de Arancia Corn Products S.A. de C. V. proveniente de pozos subterráneos requiere ser tratada bajo el proceso de intercambio iónico para desmineralización casi completa por lo cual se requieren saber las características fisicoquímicas del agua, tomando como base los conceptos generales de impurezas en el agua de los mantos freáticos.

La presencia de sólidos suspendidos (materia orgánica) y sólidos disueltos (Sales, materia soluble y elementos transitorios), son siempre la causa de que al agua proveniente de pozos sea tratada para poder usarla en la generación de vapor.

Los sólidos disueltos de origen mineral basan su nivel de concentración en el agua de pozo mediante el valor de conductividad generado por su presencia, mientras los elementos transitorios su concentración esta basada en la dependencia de su relación con las reacciones continuas en el medio acuático. Como pretratamiento para desmineralizar el agua, está se filtra a presión con antracita para eliminar la turbiedad, retener a los sólidos suspendidos y desodorizarla. También se utiliza una filtración en filtros cartucho con malla adecuada para asegurarse de retener a la mayor cantidad de sólidos suspendidos.

A sabiendas de que existen varios métodos y tecnologías para el tratamiento de aguas se opta por usar el intercambio iónico del ciclo del hidrógeno en la unidad catiónica para eliminar cationes indeseables y el ciclo de sodio con la forma OH en la unidad aniónica para eliminar los aniones indeseables.

El equipo utilizado es de flujo continuo que consta de dos unidades de intercambio iónico, la unidad catiónica y la unidad aniónica respectivamente, cada unidad esta formada de una válvula rotatoria, distribuidora y recolectora de flujo dispuesta y arreglada sobre un carrusel giratorio que soporta celdas de intercambio iónico.

Se analiza el impacto que causa variar la sincronía entre las dos velocidades de rotación de las dos unidades y las ventajas que esta tecnología representa contra las demás.

En la parte de diseño del sistema se revisan los antecedentes del tratamiento del agua a generación de vapor en los equipos de suavización y desmineralización convencionales.

Finalmente con la caracterización fisicoquímica del agua de pozo proveniente de mantos freáticos y una capacidad del sistema de 100 m<sup>3</sup>/hr. que garantiza la capacidad máxima del generador de vapor y consumidores varios, se procede a entender la operación del sistema con el único fin de crear y planear la optimización del mismo que parte de la definición de la Ingeniería Básica y Filosofía de operación hasta llegar a la disminución de los consumos de regenerantes químicos, el flujo de agua de lavados, dilución y enjuague de los lechos empacados de resina, junto con el óptimo aprovechamiento de la resina de intercambio iónico.

### 3.-ANTECEDENTES

#### 3.1 COMPOSICION E IMPUREZAS DEL AGUA DE POZO

##### IMPUREZAS DEL AGUA

Los contaminantes en las fuentes acuíferas están relacionados con la lluvia, la naturaleza geológica de la cuenca colectora del manto acuífero y de las actividades de la población humana.

Los contaminantes mas comunes en los mantos freáticos son la materia disuelta y la materia insoluble, en los primeros se incluyen los gases disueltos de los ciclos biológicos que afectan la calidad del agua.

##### MATERIA DISUELTA

La materia disuelta se divide en cinco categorías, las cuatro primeras se basan en sus niveles de concentración, mientras que la última considera a los materiales que por lo general son transitorios debido a las reacciones continuas en el entorno acuático que cambia sus concentraciones.

Entre los materiales transitorios está el cambio en el contenido de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> con la luz solar, el equilibrio entre NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y NO<sub>3</sub>, como parte del ciclo del nitrógeno, los procesos en los que la naturaleza recicla a la materia a través de los organismos vivos, los cuales modifican al ambiente y dejan registros en las rocas, como los farolones de yeso de Dover y los atolones de coral del pacífico los cuales están formados por CaCO<sub>3</sub> y así como muchos otros ciclos naturales que han estado ocurriendo durante las incontables eras geológicas para producir depósitos de azufre, hierro, manganeso, sílice y fosfato.

TABLA.1 MATERIALES SOLUBLES EN LOS SUMINISTROS ACUIFEROS.

CLASE 1 Componentes primarios - generalmente en mas de 5mg/lt	Bicarbonato	Magnesio	Sodio
	Calcio	Materia orgánica	Sulfato
	Cloruro	Sílice	Sólidos Totales
CLASE 2 Componentes secundarios generalmente en mas de 0.1mg/lt	Amoniaco	Hierro	Potasio
	Borato	Nitrato	Estroncio
	Fluoruro		
CLASE 3 Componentes terciarios-generalmente en mas de 0.01mg/lt	Aluminio	Cobre	Fosfato
	Arsénico	Plomo	Zinc
	Bario	Litio	
	Bromuro	Manganeso	
CLASE 4 Componentes a nivel de trazas-generalmente en menos de 0.01mg/lt.	Antimonio	Cobalto	Estaño
	Cadmio	Mercurio	Titanio
	Cromo	Níquel	
CLASE 5 Componentes transitorios	Acidez alcalinidad		
	Ciclos biológicos		
	Componentes del ciclo del carbono (orgánicos / tejidos)		
	Ciclo del oxígeno		

Componentes del ciclo del nitrógeno (Aminoácidos)  
Componentes del ciclo del azufre (orgánicos)  
Reacciones Redox  
Materiales oxidantes del ambiente natural  
Residuos del tratamiento de metales  
Materiales reductores del ambiente natural  
Sustancias orgánicas  
Radionuclidos

## COMPONENTES PRIMARIOS

### BICARBONATO

El ion Bicarbonato ( $\text{HCO}_3$ ) es el componente alcalino principal en casi todas las fuentes de agua. Por lo general se encuentra en el rango de 5- 500 mg/lit por encima de la alcalinidad de la fuente de agua municipal. Mucho de esto se debe a la alcalinidad de los detergentes industriales y domésticos. Debe tomarse en cuenta que la alcalinidad en el carbonato de calcio rara vez sobrepasa los 300 mg/lit.

Esta alcalinidad es no deseada en los sistemas de generación de vapor y en las torres de enfriamiento, pero si lo es en la industria de las bebidas para neutralizar la acidez de los sabores de las frutas y en la industria textil donde interfiere en los colorantes ácidos..

### CALCIO

El calcio es el componente principal de la dureza del agua y generalmente se encuentra en el rango 5-500 mg/lit como  $\text{CaCO}_3$ , (2-200 mg/lit como Ca). Esta presente en muchos minerales sobre todo en la piedra caliza y el yeso. Con frecuencia los depósitos de piedra caliza son el residuo de fósiles de pequeños organismos acuáticos lo que constituye un ciclo de incorporación y desincorporación del ambiente acuático.

El calcio eliminado del agua durante las operaciones de ablandamiento regresa al medio ambiente con frecuencia a la cuenca colectora mediante un precipitado o una salina que es el resultado de la reacción de ablandamiento.

El calcio es uno de los factores importantes para la determinación del índice de estabilidad. Es necesario reducirlo en el agua que se usa para los sistemas de enfriamiento y en la mayoría de los casos se debe eliminar del agua que se utiliza como reposición a calderas en la generación de vapor ya que ocasiona incrustaciones en las paredes de los equipos de intercambio de calor.

La dureza del calcio puede reducirse hasta un nivel de 35 mg/lit como  $\text{CaCO}_3$  mediante el ablandamiento en frío con cal sodada, y hasta menos de 25 mg/lit mediante el mismo ablandamiento en caliente, se reduce a menos de 1 mg/lit mediante los métodos de intercambio catiónico.

## CLORURO

El ión Cloruro es muy soluble en agua y es común encontrarlo en las fuentes de agua dulce entre 10 y 100 mg/lit, y en agua de mar se encuentra en mas de 30,000 mg/lit como NaCl y ciertos pozos subterráneos, pueden estar saturados, con un 25% de NaCl.

## MAGNESIO

La dureza de magnesio de un agua es aproximadamente una tercera parte de su dureza total, siendo las dos terceras partes restantes dureza de calcio. El magnesio varia en forma típica entre 10-50 mg/lit. (Aproximadamente 40-200 mg/lit como CaCO<sub>3</sub>). Pero en el agua de mar la concentración de Magnesio es aproximadamente 5 veces la del calcio en base equivalente.

El Magnesio puede eliminarse con cal hasta un residuo de 30-50 mg/lit como CaCO<sub>3</sub> en frío y 1-2 mg/lit como CaCO<sub>3</sub> en caliente, también se reduce por intercambio iónico hasta un 1 mg/lit como CaCO<sub>3</sub>.

## MATERIA ORGÁNICA

Puesto que el material orgánico constituye una parte significativa del suelo, donde es utilizado por los organismos acuáticos para construir sus cuerpos y producir sus alimentos, lo que hace nula la posibilidad de no encontrar material orgánico en el agua, por lo que es cotidiano observar que muchas aguas tienen un color amarillento, o color té debido a la descomposición vegetal arrastrada por la corriente a su paso. Estos materiales se clasifican como sustancias humicas, categorizadas como ácido humico un compuesto soluble en agua, de alto peso molecular, mucha de esta materia esta presente en forma coloidal.

## SODIO

El sodio es muy soluble en agua y siempre se le encuentra asociado con los cloruros, se le encuentra en el agua dulce en una concentración de 100 mg/lit (20-200 mg/lit como CaCO<sub>3</sub>).

El único proceso químico para la eliminación de Sodio es el intercambio catiónico en el ciclo de hidrogeno. La evaporación y la osmosis inversa también reducen al sodio, produciendo una corriente baja en Sodio y una salina de desecho con una concentración elevada de el.

## SÍLICE

La sílice esta presente en todos los minerales y se encuentra en el agua dulce en un rango de 1-100 mg/lit, se le considera coloidal debido a que su reacción con adsorbentes como MgO y Fe(OH)<sub>3</sub>, muestra características similares a los de los coloides típicos.

Los procesos para eliminar sílice son: adsorción sobre precipitados de Magnesio, durante el proceso de ablandamiento con cal, adsorción sobre hidróxido férrico en los procesos de coagulación utilizando sales de hierro; e intercambio aniónico en los procesos de desmineralización.

## SULFATO

El sulfato se disuelve en agua a partir de ciertos minerales, especialmente yeso o aparece de la oxidación de los minerales sulfurados, su rango típico esta definido entre 5-200 mg/lit y el limite superior sugerido en el agua potable es de 250 mg/lit, basado en el sabor y en su efecto catártico potencial.

Los niveles altos de sulfato pueden reducirse mediante tratamiento masivo con cal, cal-aluminato y también se puede reducir por intercambio aniónico

### SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

Es la suma de todos los materiales disueltos en agua, tiene muchas fuentes minerales, el rango usual es de 25 – 5000 mg/lt y el límite superior sugerido en las actividades domesticas es de 500 mg/lt.

Los problemas ocasionados por la presencia de los componentes primaros antes descritos en el agua de pozo con fines para servicios, agua para proceso y agua para generación de vapor en la industria, son la incrustación de equipos como calderas, cambiadores de calor, bombas, torres de enfriamiento y demás equipos de proceso incluyendo a tuberías y accesorios.

Los problemas por incrustación tienen que ver con el alto contenido de Bicarbonatos, Calcio, cloruros, Magnesio, Materia orgánica, Sodio, Sílice, sulfatos y sólidos disueltos totales, las sales además de generar incrustación ocasionan mucho arrastre de agua en el vapor que sale del domo de las calderas por el elevado grado de espúmeo al incrementarse el contenido de sólidos disueltos.

El taponamiento de los fluxes de tubos en el fondo del horno de una caldera es otro de los problemas ocasionados por el alto contenido de sólidos disueltos y sólidos suspendidos en el agua para generación de vapor.

Los bicarbonatos ( $\text{HCO}_3$ ), carbonatos ( $\text{CO}_3$ ) e hidratos ( $\text{OH}$ ) ocasionan espúmeo y arrastre de sólidos en el vapor, además fragilizan el acero de las calderas y junto con el  $\text{CO}_2$  generado incrementan la corrosión.

El calcio y el magnesio son la fuente principal de incrustación en los equipos de transmisión de calor como los fluxes de tubos en las calderas.

La presencia de los cloruros ocasiona corrosión en los internos metálicos de las calderas.

La Sílice ( $\text{SiO}_2$ ) ocasiona incrustaciones en las calderas y en los sistemas de agua de enfriamiento, además de que su vaporización ocasiona depósitos insolubles en los alabes de las turbinas cuando el vapor donde va contenida se utiliza como medio motriz.

El sulfato aumenta el contenido de sólidos en el agua, por si solo no es significativo, pero combinado con el calcio produce incrustaciones de sulfato de calcio.

Los problemas al usar agua sin desmineralizar son muy graves tales que llevan a elevar los costos de tratamiento de las calderas, reducen sus eficiencias al purgar y reponer mayor cantidad de agua, aumentan el consumo de gas (Combustible), generan mantenimientos frecuentes y finalmente reducen la eficiencia térmica y tiempo de vida media de los equipos de proceso.

## COMPONENTES SECUNDARIOS

Estos componentes se encuentran en concentraciones superiores a 0.1 mg/lit y ocasionalmente se encuentran en el rango de 1-10 mg/lit.

### AMONIACO (NH<sub>3</sub>)

Generalmente expresado como Nitrógeno

El amoniaco es extremadamente soluble en agua y reacciona con ella para formar NH<sub>4</sub>OH a un PH alto y en la mayor parte de las fuentes de agua el amoniaco está completamente ionizado.



El amoniaco es uno de los componentes transitorios del agua pues es parte del ciclo del Nitrógeno y se ve influido por la actividad biológica, los rangos típicos de concentración en la mayor parte de las fuentes superficiales es de 0.1 a 1 mg/lit, expresado como N, no esta generalmente presente en las aguas de pozo ya que las bacterias lo han convertido generalmente en nitrato.

El amoniaco puede eliminarse mediante desgasificación, mediante intercambio catiónico en el ciclo del hidrogeno y por adsorción mediante algunas arcillas como la clinoptilolita.

### BORATO (B(OH)<sub>4</sub>)

La mayor parte del Boro que hay en el mundo se encuentra en el agua de mar en una concentración de 5 mg/lit. Las fuentes del Boro es resultado de regiones en donde los mares interiores se han evaporado a sequedad especialmente en las áreas volcánicas, por lo que el Boro esta presente en las fuentes de agua dulce de estas mismas áreas volcánicas. Se encuentra presente en el agua como ácido bórico no ionizado B(OH)<sub>3</sub> a pH alto (arriba de 10), La mayor parte esta presente como anión borato B(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup>, su concentración no esta limitada en las aguas municipales, pero puede ser dañino en la cosecha de cítricos, si esta presente en el agua de riego.

El Borato puede eliminarse por intercambio aniónico y por adsorción.

### FLUORURO ( F<sup>-</sup> )

El Fluor es un componente común de muchos minerales incluyendo la acatita y la mica. En la practica es común agregar fluoruro a las aguas municipales para disminuir el desarrollo de las caries dentales.

La forma de eliminar las posibles y altas concentraciones de Fluoruro del agua es mediante el proceso de intercambio aniónico y con adsorción sobre fosfato de calcio e hidróxido de magnesio.

### HIERRO (Fe +2 y Fe +3)

Se encuentra en la mayor parte de las rocas ígneas y en los minerales arcillosos. En ausencia de oxigeno el Hierro es bastante soluble en estado reducido (Como se ve en el análisis de pozos que contienen hierro), Cuando se oxida en un rango de PH de 7-8.5 el Hierro es casi completamente insoluble, y su concentración se puede reducir con facilidad a menos de 0.3 mg/lit, lo máximo fijado para los estándares de agua potable. El Hierro es

completamente insoluble en estado oxidado por lo que el hierro coloidal se coagula y se filtra.

#### **NITRATO (NO<sub>3</sub> +)**

El Nitrato como el Amoniacó entra al agua vía el ciclo del nitrógeno, mas que a través de los minerales disueltos, su concentración esta limitada en los estándares de agua potable a 45 mg/lit por razones fisiológicas y el único proceso químico que elimina al nitrato es por intercambio aniónico, el nitrato puede convertirse a nitrógeno en sistema biológico, mediante la acción de bacterias nitrificantes. El contenido de nitrato en las aguas de pozos suele ser mas alto que en las aguas superficiales.

#### **POTASIO (K +)**

El potasio esta relacionado estrechamente con el sodio, tanto que rara vez se utiliza como un componente por separado en los análisis de agua, su ocurrencia es menor en la naturaleza y por lo tanto se le encuentra en cantidades mas pequeñas que el sodio y puede eliminarse por intercambio catiónico, o mediante procesos físicos como la evaporación y la ósmosis inversa.

#### **ESTRONCIO (Sr +2)**

El estroncio pertenece a la misma familia que el calcio y el magnesio, aunque su solubilidad en presencia de bicarbonato es significativa (aproximadamente la mitad de la del calcio), su abundancia suele estar restringida a las formaciones geológicas en donde aparecen minerales de plomo, de forma que su concentración en el agua es por lo general muy baja.

Los problemas de los componentes secundarios no son muy significativos para el agua de pozo de Arancia Corn Products ya que su concentración en esta agua es casi nula.

Pero si su presencia fuera notoria los problemas ocasionados serían los siguientes

El Amoniacó produce corrosión en las aleaciones de cobre y zinc por la formación de un compuesto de ión soluble.

El fluoruro además de existir en muy bajas concentraciones no es significativo industrialmente.

El Hierro colorea el agua al precipitarse produce incrustaciones en las líneas de agua.

El Nitrato aumenta los sólidos contenidos en el agua pero no es muy significativo industrialmente.

El Potasio existe en muy bajas cantidades y no es significativo industrialmente.

La concentración del Estroncio en el agua de pozo es nula y su contenido esta restringido.

## COMPONENTES TERCIARIOS

De este grupo por lo general se encuentran en concentraciones superiores a 0.01 mg/lit

### ALUMINIO (AL +3)

Aunque el Aluminio constituye un alto porcentaje de la corteza terrestre, como componente común de una amplia variedad de minerales y arcillas, su solubilidad en el agua es tan baja que rara vez constituye un problema en aguas municipales e industriales.

### ARSENICO (As)

La solubilidad del arsénico en el agua es tan baja que su presencia es un indicador que hay operaciones en minas o de tipo metalúrgico en el lecho de los ríos, o bien hay áreas agrícolas donde se están utilizando materiales con arsénico como venenos industriales.

### BARIO (Ba +2)

En las aguas naturales que contienen bicarbonato y sulfato, la solubilidad del bario está por debajo de 0.1mg/lit y rara vez se encuentra en concentraciones mayores de 0.05 mg/lit.

### BROMURO (Br -)

El Bromo se encuentra en el agua de mar en aproximadamente 65 mg/lit como ión bromuro, algunas aguas congénitas producidas junto con el petróleo, contienen varios cientos de mg/lit y son la fuente de bromo comercial. Una cantidad superior a 0.05 mg/lit en el agua dulce puede indicar la presencia de desechos industriales, posiblemente del uso de compuestos órgano-bromados como biocidas y pesticidas.

### COBRE (Cu +2)

El cobre puede estar presente en el agua por el contacto de esta con minerales que contienen cobre o con desechos minerales en la producción de cobre. Sin embargo es más probable que el cobre que se encuentre en el agua dulce sea producto de la corrosión de las tuberías que contienen cobre o de amalgamas de cobre, y de las uniones de este tipo, o puede haberse agregado deliberadamente a un depósito de agua para el control de algas, como sulfato de cobre acompañado con materiales quelantes para evitar que el sulfato de cobre precipite.

### PLOMO (Pb +2)

La presencia de plomo en el agua dulce generalmente indica la contaminación con desechos metalúrgicos o con venenos industriales que contienen plomo, como el arsenato de plomo, sin embargo el plomo puede aparecer en el agua como resultado de la corrosión de amalgamas que contienen plomo, como las soldaduras.

### LITIO (Li +)

Este elemento alcalino es raro en la naturaleza y pocas veces se analiza en el agua. No existen registros de casos en los que se registren que este material sea perjudicial, ya sea en las fuentes de agua industriales y municipales.

### MANGANESO (Mn +2)

El Manganeseo esta presente en muchos suelos, sedimentos y además en las rocas metamórficas, en el agua libre de oxigeno se disuelve fácilmente en estado manganoso (Mn +2) y puede encontrarse en las aguas de pozos profundos en concentraciones tan elevadas como 2-3 mg/lit. También se encuentra junto con el Hierro en el desagüe ácido de las minas. Con frecuencia en las aguas de desecho de las operaciones metalúrgicas y mineras contienen manganeseo.

Es un material difícil de tratar debido a la gran cantidad de complejos que puede formar, según el estado de oxidación, pH, equilibrio entre Bicarbonato y carbonato - OH y la presencia de otros materiales, en particular el hierro.

Esta limitado por las leyes para agua potable a una cantidad de 0.05 mg/lit, debido a que las concentraciones mas elevadas pueden causar depósitos de manganeseo y teñido de las uniones de plomería y de la ropa. Sin embargo concentraciones aún más bajas que esta pueden causar efectos similares, al acumularse en los sistemas de distribución en forma de depósito, que se liberara posteriormente en concentraciones mas elevadas si el ambiente se modifica, por ejemplo, cambiando el pH, el contenido de CO<sub>2</sub>, el potencial de oxidación o la alcalinidad.

Concentraciones arriba de 0.01 mg/lit son inadecuadas al igual que el hierro en la industria textil o para el blanqueado de pulpa ya que pueden manchar los acabados de los productos.

Es muy insoluble en estado oxidado y puede reducirse su concentración aun en estado de coagulación con alumbre y supercloración con una filtración adecuada incluso a un PH tan bajo como 6.5. Pero el método convencional de eliminación de manganeseo es la oxidación a pH entre 9-9.5 con la retención en tanque por espacio de media hora antes de la filtración, precipitandolo mediante la adición continua de permanganato de potasio, antes de usar una forma de Manganeseo de Zeolita.

Los materiales orgánicos quelatan al Manganeseo al igual que lo hacen con el Hierro, de forma que la destrucción de la materia orgánica es una forma de eliminación de manganeseo.

Debido a que el manganeseo se acumula en los sedimentos, es común encontrar niveles altos de manganeseo en las aguas profundas, mientras que puede no evidenciarse en las superficiales. Esto debe analizarse para diseñar la estructura apropiada para la toma de agua de una planta.

### FOSFATO (PO<sub>4</sub> -3)

El fósforo se encuentra en muchos de los minerales comunes, como la apatita, en forma de fosfato.

Puesto que los compuestos fosfatados se emplean como fertilizantes y detergentes, es común encontrarlos en lodos de desechos agrícolas. En las aguas de desechos municipales, se encuentran en concentraciones muy elevadas en el rango de 15-20 mg/lit como PO<sub>4</sub>. Puesto que por lo general se

acusa al fosfato de ser la causa principal del crecimiento excesivo de algas, lo cual lleva a la eutroficación de lagos y corrientes.

EL fosfato esta presente en el agua como  $HPO_4-2$  y  $H_2PO_4-$  y al aumentar el PH en la forma de  $PO_4-3$ .

El fosfato puede reducirse a niveles muy bajos dándole un tratamiento con alumbre, aluminato de sodio o cloruro férrico. Formando fosfato de aluminio y fosfato férrico insolubles. Puede precipitarse con cal a un PH encima de 10, produciendo residuos de menos de 2-3 mg/lit en la forma de hidroxiapatita. En un sistema de proceso en caliente los residuos serán de menos de 0,5 mg/lit. Estos precipitados de fosfatos son coloidales y se requieren de sistemas de filtración para lograr los bajos niveles indicados.

#### ZINC (Zn +2)

El Zinc es un metal del grupo IIB y se comporta de forma similar al calcio en solución aunque con una solubilidad generalmente menor en las aguas naturales con un PH neutro y que tengan alcalinidad de Bicarbonato. Rara vez se encuentra al Zinc por encima de 1 mg/lit, se le encuentra en concentraciones de 0.05 mg/lit. Debido a que produce un sabor astrigente, su concentración en los suministros de agua esta limitada a 5 mg/lit como máximo. El Zinc puede eliminarse mediante el ablandamiento con cal hasta concentraciones de 0.1mg/lit. También puede eliminarse mediante intercambio catiónico en el ciclo del sodio o del hidrogeno.

La mayoría de los componentes terciarios tienen una existencia en las aguas de pozo y en especial en Arancia Corn Products nula y la presencia de algunos de ellos se deberá a la contaminación de los mantos freáticos, lo cual aun no se ha detectado.

#### COMPONENTES A NIVEL DE TRAZAS

Los materiales de este grupo por lo general se encuentran por debajo de 0.01 mg/lit.

Tabla 2 Componentes a nivel de trazas.

COMPONENTE	PROCEDENCIA	PROPIEDADES
Antimonio (Sb)	Lixiviación de las escorias metalúrgicas: óxidos hidratados insolubles.	Insolubles en sistemas acuosos que contengan $HCO_3/CO_3/OH$
Cadmio (Cd)	Desecho del metalizado electrolítico, solubilidad limitada como Cadmio 2+, restringido en el agua potable a 0.01 mg/Lt.	Se comporta como Cu y el Zinc, Puede precipitarse como carbonato o eliminarse mediante intercambio catiónico.
Cromo (Cr)	Desechos del metalizado electrolítico en el agua de las torres de enfriamiento. Soluble como $CrO_4-2(Cr+6)$ ,	Como $CrO_4+2$ , agente oxidante Puede reducirse con $SO_2$ hasta $Cr+3$ o eliminarse mediante intercambio aniónico

	insoluble como Cr+3. Restringido en el agua potable a un máximo de 0.05 mg/lit como Cr.	como Cr+3, Oxido hidratado coloidal a PH neutro y filtrable.
Cobalto (Co)	Presente en los desechos de los minerales que contienen cobre y Niquel, desperdicios cerámicos.	Se comporta como el Hierro.
Cianuro CN	Desechos de la industria del metalizado electrolítico, plantas de coque altos hornos, refineries de petróleo. Restringido en el agua potable a un máximo de 0.2 mg/lit.	Se comporta como el Cl-NO3-, muy soluble, puede oxidarse con Cl2 hasta CON y N2+CO2. Se reduce mediante la digestión de lodos activados. Elimenable mediante intercambio aniónico. Forma complejos con Cd y Fe.
Mercurio (Hg)	Desechos de la producción electrolítica de NaOH. Lixiviación de las cenizas de carbón. Restringido en el agua potable a 0.002 mg/lit.	Puede metilarse mediante la actividad bacteriana y utilizarse en el ciclo de alimentación acuática. Eliminando y cerrando ciclos en la planta o reduciéndolo y filtrándolo.
Niquel (Ni)	Desechos del metalizado electrolítico, polvo o escoria de los hornos eléctricos, desperdicios minerales.	El Ni+2 se comporta como el Fe+2. Rara vez se encuentra como Ni+3. Precipita como hidróxido y carbonato básico. Los precipitados de Sulfuro son insolubles, se puede eliminar mediante intercambio cationico.
Estaño (Sn)	Desperdicios del plateado con estaño.	Se convierte en óxido hidratado coloidal en un entorno HCO3/CO3.
Titanio (Ti)	Se origina en las formaciones de pozos.	TiO2 Coloidal. Se elimina mediante filtración.

La existencia de trazas en las agua de pozo son nulas.

#### COMPONENTES TRANSITORIOS

En esta clase se incluyen a los componentes que cambian de concentración o actividad no mediante la dilución, disolución o precipitación, Sino más bien por cambios en el ambiente acuático, que perturban el equilibrio. Estos cambios pueden ocurrir por la actividad biológica, potencial de oxidación - reducción, o por la descomposición radiactiva.

La existencia de componentes transitorios en el agua de pozo proveniente de los mantos freáticos como la de Arancia Corn Products es nula para el caso de los originados por la descomposición radiactiva.

#### COMPONENTES DEL CICLO DEL CARBONO

El Carbono es uno de los elementos principales de la materia viva, como se muestra en la fórmula general para la biomasa.

El Metano, un componente principal del gas natural se produce mediante la descomposición anaeróbica de los compuestos químicos orgánicos y se desprende en virtud de la descomposición anaeróbica de los sedimentos orgánicos de los gases de los pantanos, y la concentración puede volverse tan elevada que el gas de los pantanos se incendie. Es más común encontrar metano en las aguas de pozo en áreas donde se produce gas natural que en las aguas superficiales.

Su existencia en el agua de pozo de los mantos freáticos como la de Arancia Corn Products es nula.

#### COMPONENTES DEL CICLO DEL OXIGENO

El gas más común que contiene carbono es el dióxido de carbono de las aguas superficiales se ve muy afectado por la existencia simbiótica de las bacterias y las algas.

Durante el período de luz solar brillante, las reacciones fotosintéticas proceden con rapidez de manera, que el agua puede llegarse a saturar con oxígeno más allá de la capacidad bacteriana para utilizarlo. Si las algas requieren más dióxido de carbono que el que se tiene a partir de la respiración bacteriana para utilizarlo, estas asimilan el dióxido de carbono de la alcalinidad de bicarbonato, produciendo trazas de alcalinidad carbonato. Por esta razón el dióxido de carbono y el oxígeno se encuentran en la mayor parte de las aguas superficiales, que se ven afectadas por la luz solar y por los procesos fotosintéticos.

Las aguas de pozos profundos contienen con frecuencia más de 25 mg/lit de CO<sub>2</sub> y pueden estar saturadas con este gas a la presión hidrostática y temperatura del nivel del agua. Una caída en la presión cuando el agua fluye a través de las paredes del pozo puede causar desprendimiento del CO<sub>2</sub> de la solución, destruyendo el equilibrio y depositando CaCO<sub>3</sub> como incrustación.

La solubilidad teórica del oxígeno expuesto a la atmósfera depende de la temperatura. Una concentración de oxígeno en exceso se debe a la fotosíntesis, y una deficiencia suele estar causada por la actividad bacteriana o por agentes reductores.

Su existencia en el agua de pozo en Arancia Corn Products como en el agua proveniente de cualquier manto freático produce alcalinidad que ocasiona espumeo y arrastre de sólidos en el vapor además fragiliza al acero de la caldera y produce corrosión.

## COMPONENTES DEL CICLO DEL AZUFRE

Debido a que el azufre se encuentra en la misma familia del oxígeno, hay muchos compuestos en los cuales el azufre reemplaza al oxígeno, en un compuesto con propiedades similares. Por ejemplo el etanol ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ) y el étil mercaptano ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{SH}$ ), son compuestos análogos con únicamente un intercambio entre el oxígeno y el azufre.

Ciertas bacterias pueden metabolizar al átomo de azufre para formar sulfuro de hidrógeno, al igual que las algas y otras plantas pueden metabolizar al oxígeno (Dióxido) y agua, en la fotosíntesis, para dar lugar a oxígeno libre y carbohidratos. El subproducto del proceso bacteriano de la ruptura  $\text{H}_2\text{S}$  es el azufre libre.

Las ecuaciones químicas son las siguientes:



El sulfuro de hidrógeno que se encuentra presente en algunas aguas de pozo profundo y algunas aguas superficiales estancadas, generalmente es producto de la descomposición anaeróbica de los compuestos orgánicos que contienen azufre o mediante las bacterias reductoras del sulfato, que son capaces de convertir el sulfato en sulfuro.

Los componentes del ciclo del azufre causan malos olores en el agua de alimentación a las calderas y corrosión pero su existencia en el agua de pozo de Arancia Corn Products es nula.

## POTENCIAL DE OXIDO - REDUCCION

Algunos materiales en el agua son transitorios debido a que tienden a oxidar o a reducir a otros materiales, ya sea mediante la actividad biológica.

Los únicos materiales oxidantes significativos que se encuentran en el ambiente natural y que no necesitan de la ruta biológica son el oxígeno, que se encuentra sobre todo en las fuentes superficiales, y el azufre que se haya en las aguas subterráneas en contacto con azufre nativo.

La existencia de materiales oxidantes en el agua de pozo de Arancia Corn Products solo es posible para el caso del oxígeno el cual es eliminado en un deaerador a temperatura cercana a la de ebullición de agua y a cruce con una corriente de aire.

## RADIONUCLIDOS

El agua por si misma no es radiactiva pero puede contener elementos que lo sea y lleguen al agua como desperdicios de plantas nucleares, lluvia contaminada por las explosiones nucleares, o como subproducto del proceso metalúrgico de materiales radiactivos. En casos excepcionales las aguas de pozo pueden contener radionúclidos, elementos radiactivos comunes.

Como observación se pueden tener concentraciones de estos materiales del orden de 0.001 mg/lit en el agua, que pueden ser extremadamente peligrosas.

Su existencia en el agua de pozo es totalmente nula y su existencia es producto de la contaminación de los mantos freáticos ocasionada por las actividades radiactivas del hombre.

## 3.2 METODOS DE PURIFICACIÓN DEL AGUA

### I) FILTRACION

La filtración es el sistema mas simple para eliminar materia en suspensión en el agua, mediante mecanismos que atrapen el paso de los sólidos y permita el paso del agua.

El filtro convencional moderno para las industrias de proceso es un tanque cilíndrico vertical de acero que contiene una cama de partículas finas que contienen al medio filtrante.

Este material está asentado sobre otro de la misma clase, pero cuyo tamaño de partícula es mayor.

Los filtros están equipados con sistemas capaces de controlar la entrada y la salida del agua. Este tipo de equipo opera entre los límites de flujo aproximado de 2.5 a 3.0 galones por pie<sup>2</sup> de área de sección recta transversal.

La frecuencia y duración del retrolavado depende de la cantidad de sólidos eliminados, del tipo del material filtrante y de la temperatura. El tiempo requerido es generalmente de 10 a 20 minutos y depende generalmente del nivel de lecho filtrante en el tanque. El retrolavado se efectúa cuando se ha sobrepasado la pérdida de presión de diseño en el tanque.

### II) MATERIALES USADOS COMO MEDIOS FILTRANTES

Los materiales mas usados como medio filtrante son la arena y la antracita. La ventaja de la antracita es su menor peso, siendo las condiciones de retrolavado menos difíciles que para la arena.

La arena no debe usarse a temperaturas altas y PH elevado ya que en esas condiciones tiende a disolverse. La sílice emigra junto con el agua hacia la caldera.

Los resultados en el uso de ambos tipos de materiales son similares cuando se ha hecho un diseño correcto y la selección depende del costo, espacio, disponibilidad etc.

Para la operación de retrolavado no es recomendable usar agua cruda, pues para obtener una mayor limpieza es necesario usar agua desmineralizada.

Frecuentemente los sólidos que trae el agua son tan finos que llegan a pasar el medio filtrante ocasionando un efluente turbio a la salida del filtro. En estos casos, se usa un sistema de coagulación para aglomerar esas partículas finas en otras de mayor diámetro que pueden ser retenidas por el medio filtrante.

La aplicación de un polielectrolito a la cama de arena o antracita también ayuda a que las partículas finas sean atraídas y retenidas.

En ocasiones los coagulantes son aplicados antes de la entrada del filtro, sin embargo, cuando los sólidos suspendidos rebasan las 500 ppm. Los

retrolavados se vuelven mas frecuentes haciéndose la operación antieconómica.

### III) TIPOS DE FILTRACION

Para llevar a cabo la operación de filtración suelen usarse dos tipos de filtros.

#### a) FILTROS POR GRAVEDAD

Estos filtros son recipientes abiertos a la atmósfera, contruidos generalmente de concreto armado y sus dimensiones varían según su capacidad.

En estos tipos de filtros hay perdida de presión en la línea de alimentación y en el lecho mismo por lo que es necesario instalar una bomba a la salida del mismo cuando el agua filtrada es requerida en un servicio continuo de suavización.

Estos filtros son de gran tamaño, pero no obstante son de fácil inspección.

#### b) FILTROS A PRESION

Los filtros a presión son recipientes cerrados contruidos de lamina de acero y cuyas ventajas principales son:

-Poco espacio por unidad

-Pueden ser instalados en línea a presión con la pérdida muy mínima de la misma, debida al agotamiento y ensuciamiento del mismo lecho filtrante, indicando la necesidad de retrolavado. Eliminan la instalacion de una bomba a la salida del efluente.

Por ser recipientes cerrados hay la necesidad de destaparlos.

En la operación de filtración, a medida que el agua atraviesa la cama del filtro en dirección descendente, la materia e impurezas se van acumulando y van siendo retenidas por el medio filtrante. Como consecuencia de la acumulación de esta materia, el medio filtrante se va tapando, lo cual se refleja en la caída de presión del sistema.

Si después de haber alcanzado la saturación, se sigue filtrando, se corre el riesgo de que el material filtrante se agriete, formando canales por los cuales pasa libremente el agua y la turbiedad que ya ha sido depositada.

En la operación de retrolavado se alimenta el agua por la parte inferior del filtro, con la finalidad de expandir el lecho de 30 al 50% de su volumen. Durante la operación, se suelta el material acumulado en el medio filtrante y se arrastra hacia el drenaje. La operación anterior se puede mejorar por lavadores de superficie, fijos o con movimiento circular dentro del filtro, lo cual aumenta el roce entre las partículas y ayuda a desprender la costra que se haya adherido a las mismas.

La operación de retrolavado se suspende cuando el agua de salida hacia el drenaje no acuse turbiedad.

Una vez concluido el retrolavado, se suspende el agua de alimentación por la parte inferior, con lo cual el medio filtrante se reacomoda y se reclasifica. Las partículas grandes se asentarán primero debido a su mayor peso, acomodándose las demás, según su peso y su tamaño.

### 3.3 INTERCAMBIO IONICO

El intercambio iónico es un proceso químico que remueve de una agua cruda los iones indeseables transfiriéndolos a un material sólido, llamado intercambiador iónico, el cual los acepta cediendo un numero equivalente de especies deseables que se encuentran almacenadas en el esqueleto del intercambiador de iones que tiene una capacidad limitada para almacenar iones indeseables en su esqueleto, llamada capacidad de intercambio.

Los intercambiadores iónicos que se emplean en el acondicionamiento del agua son estructuras en forma de esqueleto que poseen muchos sitios para intercambio iónico, el esqueleto de plástico insoluble es de enorme tamaño cargado eléctricamente para retener iones de carga opuesta: Los intercambiadores cargados negativamente, son intercambiadores de cationes tomando iones positivos, los intercambiadores cargados positivamente son intercambiadores de aniones, que en consecuencia toman iones negativos. La estructura del plástico es porosa y permeable, de modo que la partícula de intercambio iónico entera participa en el proceso.

Los intercambiadores típicos tienen forma de granos de un tamaño de 20 a 40 mallas (0.8 A 0.4mm), los granos de intercambio iónico pueden considerarse como soluciones sólidas, donde el intercambiador de cationes típico tiene una normalidad aproximada de 2.0 eq/lit, mientras que un intercambiador de aniones de base fuerte tiene una normalidad de alrededor de 1.3 eq/lit.

La mayor parte de los intercambiadores iónicos comerciales son de materiales plásticos sintéticos, como copolímeros de estireno y divinilbenceno. Los intercambiadores iónicos para el tratamiento de agua son insolubles, y su vida útil esperada es de 5 a 10 años

#### i) INTERCAMBIADORES DE CATIONES.

Para producir intercambiadores de cationes a partir de materiales resinosos se trata el plástico con ácido sulfúrico, y grupos sulfónicos se unen a cada núcleo en el esqueleto para dar un ciclo de intercambio a partir de la creación de un electrolito fuerte en agua, como lo demuestra la siguiente reacción:



Donde R representa a la estructura de la resina

Otra forma de producir un intercambiador, es la arenisca verde procesada, la zeolita original que aun se emplea con éxito para la remoción del hierro y el manganeso del agua y que solo puede operar en el ciclo del sodio dentro de un intervalo limitado de PH.

Y otra forma cuya importancia va en aumento es a partir de aquella resina que tiene a un grupo carboxilo como grupo de intercambio, en el que ión intercambiable es el ión hidrogeno, convirtiéndose en un intercambiador de ácido débil que intercambia el ión hidrogeno, siendo muy selectivo para cationes divalentes.

## II) INTERCAMBIADORES DE ANIONES

Los intercambiadores de aniones también se pueden producir a partir de materiales resinosos y plásticos, incluyendo al mismo copolímero estireno-divinilbenceno usado para intercambiadores de cationes, aquí también los hay, intercambiadores de base fuerte e intercambiadores de base débil,

El grupo funcional de un intercambiador de aniones es una amina, el equivalente orgánico del amoniaco. Los intercambiadores de base débil contienen un grupo de aminas secundarias y terciarias, RR-NH o RR-N-R", que puede absorber ácidos fuertes. Los intercambiadores de base fuerte contienen una amina cuaternaria R"-N+.Cl-, que puede intercambiar aniones. En este tipo de intercambiador la resina orgánica mas común tiene la formula Rn (CH3)3 Cl.

Los intercambiadores de base fuerte son verdaderos materiales para intercambio iónico y algunas reacciones típicas.

## III) CICLOS DE INTERCAMBIO IONICO

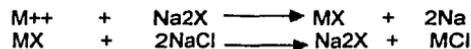
Como el proceso de intercambio iónico se caracteriza por ceder y aceptar iones, también se le conoce como ciclo de intercambio iónico de los cuales podemos clasificar a los siguientes:

Ciclo del Hidrogeno



Donde X es el cuerpo de la resina que incluye al grupo activo (sulfónico).

Ciclo del sodio



No obstante un ejemplo que ilustra la propiedad de un intercambiador iónico es la selectividad que tienen sobre los iones de intercambio. Como en el caso del intercambiador catiónico y el aniónico esta propiedad se representa en la siguiente tabla.

TABLA 3 ORDEN DE SELECTIVIDAD DE IONES EN AGUA POR DEBAJO DE 1000 mg/lit std.

CATIONES	ANIONES
Fe+3	CrO4-2
Al 3+	SO4-2
Pb+2	HPO4-2
Ba+2	CNS-
Sr+2	CON-
Cd+2	NO3-
Fe+2	NO2-
MN+2	Cl-
Ca+2	CN-
Mg+2	HCO3-

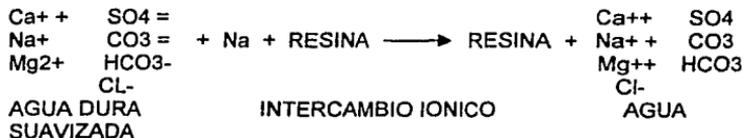
K+1	HSiO3
NH4+	OH-
Na+	F-
H+	
Li+	

NOTA: La selectividad cambia a concentraciones mas altas a las señaladas y con el tipo de intercambiador.

#### IV) SUAVIZACION

La suavización es una operación de ablandamiento de agua basada en el proceso de intercambio ionico, su objetivo principal es el de eliminar del agua cruda a los iones de Calcio y Magnesio, los cuales son transferidos del agua a un material sólido resinoso, el cual los acepta cediendo un número equivalente de iones deseables, que se encuentran almacenados en el esqueleto de la resina. En esta operación cuando la resina a agotado su capacidad de intercambio se regenera lavandola con una solución fuertemente regeneradora y además contiene a la especie deseable, la cual va sustituir nuevamente a los iones indeseables acumulados en el esqueleto de la resina, dejándola a está en condiciones de servicio. Esta operación es un proceso químico ciclico y completo incluye: Retrolavado, regeneración, enjuague y servicio.

El intercambio de iones durante el servicio puede representarse de la siguiente forma:



El intercambio de iones durante la regeneración puede representarse de la siguiente manera:



#### V) DESMINERALIZACION

La desmineralización del agua es fundamentalmente un proceso de intercambio ionico de dos etapas.

##### INTERCAMBIO CATIONICO

En la primera etapa un intercambiador cationico en el estado ácido (Hidrogeno), intercambia sus iones H+ por cationes metálicos (Ca++, Mg++ y Na+) presentes en el agua. Los aniones del agua no son afectados y pasan a través del intercambiador cationico.

El efluente de la unidad cationica, contiene ácidos, cuyo tipo y cantidad depende de los aniones presentes. Los ácidos fuertes, HCl, H2SO4 y HNO3,

son formados por el hidrogeno intercambiado y por los aniones  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{NO}_3^-$  presentes en el agua. A este conjunto se le denomina Acidez Mineral Libre (AML).

Los ácidos débiles (ligeramente ionizados) se forman a partir de la alcalinidad y la sílice del agua.  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{CO}_3^{2-}$ , estarán bajo la forma ácido carbónico,  $\text{H}_2\text{CO}_3$  el cual se descompone para dar  $\text{H}_2\text{SiO}_3$ .

#### INTERCAMBIADOR ANIONICO

En la segunda etapa del proceso, un intercambiador aniónico en estado alcalino, remueve los aniones presentes en la forma de los ácidos respectivos. Tomando en cuenta que hay dos tipos de intercambiadores aniónicos, débilmente básicos y fuertemente básicos.

Los intercambiadores aniónicos débilmente básicos pueden remover

Solamente a los ácidos fuertes. Se acepta que los mismos pueden absorber a la molécula ácida completa (Por ejemplo  $\text{HCl}$ ).

Los intercambiadores aniónicos fuertemente básicos pueden remover ácidos fuertes y débiles. Los ácidos silícico y carbónico son ácidos débiles, por lo tanto suelen pueden ser removidos por los intercambiadores fuertemente básicos, los cuales liberan los iones  $\text{OH}^-$  en intercambio por los aniones removidos. Los iones  $\text{OH}^-$  son neutralizados por el  $\text{H}^+$  para formar agua.

#### SISTEMAS DE MAS DE 2 ETAPAS

Los sistemas de tres o cuatro etapas, representan variaciones de los procesos anteriormente descritos. Dichos sistemas de etapas múltiples se usan con algunos de los siguientes propósitos:

— Cuando se necesita un efluente de muy alta calidad mayor al que se puede obtener en un proceso de dos etapas. En este caso un desmineralizador se usa para pulir a un efluente del que lo precede.

— Cuando se pueden obtener ventajas económicas de operación, con algunos tipos de agua, la economía de la operación permiten compensar el costo de la instalación.

En la practica la remoción de cationes metálicos nunca se completa, ya que un pequeño porcentaje permanece en el efluente del intercambiador cationico, conocido como fuga de cationes. Un intercambiador aniónico no puede remover cationes por lo tanto, los cationes que quedan en el agua después de la etapa de intercambio cationico aparecerán en el efluente de la unidad aniónica.

El  $\text{CO}_2$  formado en la etapa de intercambio cationico puede ser removido por un desgasificador o por un intercambiador aniónico fuertemente básico. El costo de la remoción de  $\text{CO}_2$  es menor cuando se utiliza un desgasificador. En ocasiones cuando las condiciones económicas lo justifican, puede usarse un desgasificador de tiro forzado o al vacío. En general solo se utilizan desgasificadores al vacío cuando se desea remover otros gases, por ejemplo al oxígeno además del  $\text{CO}_2$ .

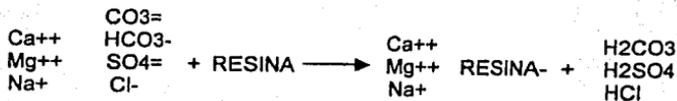
El proceso de desmineralización generalmente esta compuesto de los siguientes tres ciclos:

- a) Ciclo ácido
- b) Descarbonatación

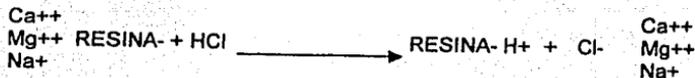
c) Ciclo básico

a) Ciclo ácido

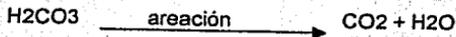
Operación



Regeneración

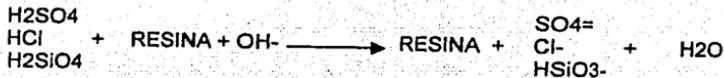


b) Descarbonatación



c) Ciclo básico

Operación



#### 4.0.- CARACTERISTICAS DEL AGUA DE POZO

Las características del agua de pozo de la planta son las representadas en las siguientes tablas:

Tabla 4.1a.- Análisis fisicoquímicos

Determinación	Resultados	Limite máximo permisible
	Agua de pozo	NOM-127-SSA1-1994
Color Pt / Co (unidades) NMX-AA-45-81	10	20
Turbiedad (NTU) (unidades nefelométricas de turbiedad) La Mothe Chemical Pág. 652.	16 NTU	5
Cianuros (CN) (mg/Lt) NMX-AA-58-1982..	< 0.026	0.07
Cloruros (Cl-) (mg/Lt) NMX-AA-73-1981	355.55	250
Dureza total como (CaCO <sub>3</sub> ) (mg/Lt) NMX-AA-34-1981.	380	1000
HCO <sub>3</sub> (mg/lit)	510	NE
Nitrógeno amoniacal (N) (mg/Lt) NMX-AA-26-81.	0.21	0.11
Nitritos (mg/Lt) (NO <sub>2</sub> ) NMX-AA-99-87	<0.003	0.05
Nitratos (NO <sub>3</sub> ) (mg/Lt) NMX-79-1986	0.52	10
Sustancias activas al azul de metileno (DBSS) (mg/Lt) NMX-AA-39-1981.	<0.05	0.5
Fluoruros (F-) (mg/Lt) NMX-AA-77-1982.	0.64	1.5
Fenoles (mg/lit) NMX-AA-50-1981	0.02	0.001
Cloro libre (Como Cl) (mg/Lt)	<0.3	0.2 a 1.5
Potencial de Hidrógeno a 25 °C (unidades de pH).	7.4	6.5 a 8.5
	8.0	400
Sílice ppm.	90	100
Magnesio como (CaCO <sub>3</sub> ) (mg/Lt)	110	NE
Conductividad (Ms)	2500	NE
Sólidos disueltos totales	1554	1000

Tabla 4.1b.- Análisis por espectrofotometría de absorción y emisión

Determinación	Resultados	Limite máximo permisible	Limite de detección
	Agua de pozos en cisterna	NOM-127-SSA1-1994	
Aluminio (Al) (mg/Lt)	No se detecta	0.20	0.02
Arsénico (As) (mg/Lt)	No se detecta	0.05	0.0002
Bario (Ba) (mg/Lt)	No se detecta	0.7	0.85

Cadmio (Cd) (mg/Lt)	No se detecta	0.005	0.003
Cobre (Cu) (mg/Lt)	0.0237	2.0	-----
Cromo total (Cr) (mg/Lt)	No se detecta	0.05	0.009
Hierro ( Fe) (mg/Lt)	0.485	0.3	-----
Manganeso (Mn) (mg/Lt)	No se detecta	0.001	0.0003
Mercurio (Hg) (mg/Lt)	No se detecta	0.001	0.0003
Plomo (Pb) (mg/Lt)	No se detecta	0.025	0.0041
Sodio (Na) (mg/Lt)	349	200	-----
Zinc (Zn) (mg/Lt)	No se detecta	5.00	0.002

#### 4.1c.-ANÁLISIS POR CROMATOGRAFÍA DE GASES

Tabla 4.1c.1.- Análisis por cromatografía de gases empleando detector de captura de electrones para la detección de pesticidas.

Determinación	Resultados (mg/Lt)	Límite máximo permisible NOM-127-SSA1-1994
Aldrín y Dieldrín (separados o combinados)	No se detecta	0.03
Clordano (total isómeros)	No se detecta	0.30
DDT (Diclofenil tricloro etano)	No se detecta	1.00
Gamma-HCH (Lindano)	No se detecta	2.00
Hexaclorobenceno	No se detecta	0.01
Heptacloro y epóxido de heptacloro	No se detecta	0.03
Metóxido (1,1,1-Tricloro,2,2 bis(p-metoxi-fenil etano)	No se detecta	20
2,4 D (Acido 2,4-diclorofenoxiacético)	No se detecta	50

Tabla 4.1c.2.- Análisis por cromatografía de gases empleando detector de captura de electrones para la detección de Trihalometanos.

Determinación	Resultados	Límite máximo permisible
Cloroformo como trihalometanos totales	No se detecta	0.2

Tabla 4.1d.- Análisis Microbiológicos

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	Límite máximo permisible NOM-127-SSA1-1994
NMP/100 ml de coliformes Totales NOM-112-SSA1-1994	<2	2

NMP/100 ml de coliformes Fecales NOM-AA-42-1987	No detectable	No detectable
---	---------------	---------------

## 5.0.- BASES DE DISEÑO

### 5.1.- GENERALIDADES Y BASES DE DISEÑO

#### I) ANÁLISIS DE LA CARACTERIZACION DEL AGUA DE POZO

El agua de pozo de Arancia Corn Products esta compuesta en su mayoría por los componentes primarios como Calcio, Magnesio, Bicarbonatos, Sodio, Silíce, Sulfatos y Cloruros.

La presencia de los componentes Secundarios, Terciarios y a nivel de Trazas es baja de tal forma no se necesita tratamiento adicional para su control en la alimentación al sistema de desmineralización.

La alcalinidad debida al CO2 es la única presencia de los componentes transitorios en el agua de pozo de Arancia Corn Products.

#### II) FUNCION DEL SISTEMA DE DESMINERALIZACION

El sistema de desmineralización reduce el contenido de sales del agua de pozo a niveles mínimos.

El contenido de calcio, magnesio, sodio y silíce en el agua como producto de la desmineralización, llega a valores muy bajos de tal forma que su uso en la alimentación a la caldera para la generación de vapor, reduce el consumo de químicos para su tratamiento al disminuir el nivel de espúmeo y la incrustación en el domo alargando a su tiempo de vida media.

#### III) TIPO DE PROCESO

El proceso de desmineralización del agua de pozo se basa en el fenómeno químico de intercambio iónico.

El medio donde se lleva a cabo el fenómeno de intercambio iónico son las celdas empacadas de resina dispuestas en los carruseles de intercambio catiónico y aniónico respectivamente.

#### IV) CAPACIDAD, RENDIMIENTO Y FLEXIBILIDAD.

##### a) FACTOR DE SERVICIO

La unidad opera con un factor de servicio de 1.0 ya que trabaja los 365 días del año.

##### b) CAPACIDAD Y RENDIMIENTO

El proceso de desmineralización esta diseñado para procesar 100 m<sup>3</sup> / hr de agua de pozo, como capacidad máxima de diseño.

La capacidad normal de operación es de 40 m<sup>3</sup>. La capacidad mínima de operación del equipo es de 35 m<sup>3</sup>/Hr.

El agua desmineralizada obtenida como producto tiene como destino principal usarse en la caldera para la generación de vapor.

Una cantidad mínima que depende del flujo de alimentación de agua a desmineralizar se usa para enjuague y dilución del regenerante de la resina de las dos unidades de intercambio.

### C) FLEXIBILIDAD

La unidad no podrá seguir operando a falla de energía eléctrica ni a deterioro de la resina, falta de regenerante ó variación en la sincronía de rotación de los carruseles con respecto a las válvulas rotatorias que distribuyen y recolectan el flujo, a la sobrepresión en el sistema ó falla en el suministro de vapor.

### V) ESPECIFICACIÓN DE LAS ALIMENTACIONES A PROCESO

Tabla 5.1.a Agua de cisterna para alimentación al desmineralizador

Determinación	Resultados	Limite máximo permisible Nom -127-SSA1-1994
	Muestra agua de cisterna	
Sabor	Insípido	Insípido
Color Pt / Co (Unidades)	Menos de 5	20
Cloro residual (Cl)(mg/lit)	3	0.2 – 1.5
Olor	Inodoro	Inodoro
Turbiedad (FTU)(Unidades totales de formacina)	16	5
Arsénico (As) (mg/lit)	Menos de 0.01	0.05
Cianuros	Menos de 0.05	0.07
Cloruros (Cl-) (mg/lit)	370	250
Dureza total (como CaCO <sub>3</sub> )	338.34	1000
HCO <sub>3</sub> (mg/lit)	500	NE
Sólidos disueltos totales (mg/lit)	1500	1000
Nitrógeno amoniacal (mg/lit)	Menos de 0.5	0.5
Nitritos (mg/lit)	0.001	0.05
Nitratos (mg/lit)	Menos de 1.0	10
Sustancias activas al azul de metileno	0.02	0.5
Fluoruros (F-) (mg/lit)	0.374	1.5
Fenoles (mg/lit)	0.001	0.4
Potencial de hidrógeno a 25°C	6.9	7.0
Sulfatos (como SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )(mg/lit)	31.26	400
Conductividad (microsiemens)	2300	2500
Silice (mg/lit)	90	100
Magnesio como CaCO <sub>3</sub> (mg/lit)	178	NE
Sodio (mg/Lt)	230	NE

#### VI) ESPECIFICACION DE LOS PRODUCTOS

El agua desmineralizada obtenida como producto para generación de vapor en la caldera deberá contar con las siguientes especificaciones como mínimo:

Conductividad:	15 – 20 Ms/cm <sup>2</sup>
PH:	8.5 – 9.0
Sílice:	0.3 ppm máximo
Dureza	0 ppm
Alcalinidad	250 ppm

#### VII) CONDICION DE LA ALIMENTACIÓN EN LOS LIMITES DE BATERIA

El agua de alimentación al proceso de desmineralización, tiene las siguientes condiciones:

Temperatura	25°c
Presión	6 Kg / cm <sup>2</sup>

#### VIII) CONDICION DE LOS PRODUCTOS EN LOS LIMITES DE BATERIA

El agua desmineralizada obtenida como producto para alimentación a la caldera tiene las siguientes condiciones:

Temperatura	40°c
Presión	6 Kg / cm <sup>2</sup>

#### IX) CANALIZACIÓN DEL AGUA PRODUCTO DE LA DILUCIÓN DE LOS REGENERANTES, LAVADOS Y ENJUAGUES.

El flujo de agua de dilución de los regenerantes químicos, lavados y enjuagues de la resina se canaliza en una sola línea, tal como lo representa el diagrama de flujo de proceso y el diagrama de tuberías e instrumentación. La canalización de esta agua proveniente de la dilución, lavado y enjuague de las celdas de intercambio del carrusel de intercambio cationico y del carrusel de intercambio aniónico tiene como destino inmediato el cabezal de recolección de efluentes de proceso, el cual los conduce a los tanques de neutralización de efluentes de la planta, donde son estabilizados en pH, temperatura y composición, junto con los demás efluentes de proceso provenientes de toda la planta de producción.

### 5.2 INSTALACIONES REQUERIDAS PARA ALMACENAMIENTO

#### I) AGUA DE POZO ALIMENTACIÓN AL SISTEMA

El agua de pozo es canalizado a la cisterna principal de la planta, la cual tiene una capacidad de 230.4 m<sup>3</sup>, construida de concreto reforzado con las siguientes dimensiones:

Altura: 4.0m

Base rectangular: 9.0m\*6.4m

El balance de agua en el sistema se hace en el tanque TA -107 con las siguientes dimensiones y condiciones de operación.

- Capacidad de diseño = 10.4 m3
- Capacidad de operación = 8.3 m3
- Fluido = Agua de pozo
- Gravedad específica del fluido = 1
- Presión de operación = Atmosférica
- Temperatura de operación = 20 °C
- Diametro = 2.3 metros
- Altura = 2.4 metros
- Material = A-240-T 316 (A)

**II) AGUA DESMINERALIZADA COMO PRODUCTO**

El agua obtenida del proceso de desmineralización se almacena en el tanque TA-124 con las siguientes dimensiones y condiciones de operación.

- Capacidad de diseño = 10.4 m3
- Capacidad de operación = 8.3 m3
- Fluido = Agua de pozo
- Gravedad específica del fluido = 1
- Presión de operación: Atmosférica
- Temperatura de operación = 40 °C
- Diámetro = 2.3 metros
- Altura = 2.4 metros
- Material = A -240-T 316

**5.3 INSUMOS**

**Tabla 5.1.a Insumos usados en el sistema de desmineralización de esta planta**

Corrientes de alimentación	Flujo	Psig	Temperatura (°C)	Comentarios
30 % HCl (kg/hr)	126	20	25	
50% NaOH (kg/hr)	231	30	60	
Vapor / Agua caliente (kg/hr)	431	140	La del vapor a 140 psig	Agua de dilución Anion.
Membranas de aire	Nomina 	120	Ambiente	También puede usarse nitrógeno
Aire de instrumentos	Nomina 	120	Ambiente	Filtrado
<b>Resina</b>	<b>Por celda</b>	<b>Por Isep</b>	<b>Capacidad</b>	
Resina cationica ácido fuerte	283 lt	8.5 m3	2 equivalente / lt de resina	
Resina aniónica base débil	283 lt	8.5 m3	1.2 equivalente / lt de resina	

## 5.4.- SERVICIOS AUXILIARES

### I) AGUA DE DILUCIÓN DE REGENERANTES QUÍMICOS

El agua de dilución de los regenerantes químicos es un porcentaje mínimo del flujo de agua que sale como producto, y depende del flujo de agua de alimentación al sistema, y del flujo de regenerante, bajo las siguientes consideraciones:

El flujo de agua para la dilución del ácido clorhídrico del 33% al 4% es a temperatura ambiente y se alimenta en línea tal como lo representa el diagrama de flujo de proceso del sistema.

El flujo de agua para la dilución del hidróxido de sodio del 50% al 4% es a temperatura de 60 °C, utilizando un sistema de calentamiento en línea con vapor de 140 psig.

La alimentación de esta agua de dilución también se realiza en línea tal como lo representa el diagrama de flujo de proceso del sistema.

### II) AIRE DE INSTRUMENTOS

El aire de instrumentos suministrado para el control del sistema es proporcionado al sistema por un compresor recíprocante de dos etapas, simple efecto de enfriamiento de 100 psig a 125 psig con una humedad y punto de rocío para -40°F tal como lo marca la ISA para aire de instrumentos.

### III) VAPOR

El vapor para calentar la Sosa diluida al 4% hasta 60 °C es suministrado por la caldera a 11 Kg/cm<sup>2</sup>.

### IV) ENERGIA ELECTRICA

La energía eléctrica en el sistema de desmineralización es suministrada desde los centros de control de motores, de la siguiente forma:

- Motores de bombas 440 V/3F/60 Hz, menores a 200 HP.
- Motores de válvulas rotatorias 440V/3F/60 Hz
- Motores de carruseles giratorios 440V/3F/60 Hz

## 5.5.- BASES DE DISEÑO ELECTRICO

### FUERZA

Alimentación para maquinas eléctricas arriba de 1 HP a 440 volts para uso interperie hasta motores menores de 200 HP.

Alimentación para maquinas eléctricas menores de 1 HP a 127 volts para uso interperie.

Voltaje regulado a 127 volts para instrumentos de medición para uso interperie

Voltaje a 220 volts para lámparas de iluminación de áreas para uso interperie.

## **MOTORES**

Motores de inducción tipo jaula de ardilla, 4 polos, totalmente cerrados con ventilación, alta eficiencia, aislamiento F, elevación tipo B para uso en áreas no clasificadas clase I división 2, clase II división 1.

## **CENTROS DE CONTROL DE MOTORES**

Centros de control de motores en gabinete NEMA 12 sin copete, con arrancador, contactor, interruptor termo magnético, relevador de sobrecarga y motor logic bimetalico de temperatura compensada, incluyendo elementos térmicos para factor de servicio unitario.

## **SISTEMA DE TIERRAS**

Sistema de tierras en malla de cable desnudo calibre 2/0 AWG directamente enterrado a una profundidad de 40 a 70 cm y conectado a electrodos de varilla de 3 metros de longitud con 16 mm de diámetro, resistencia a tierra de 5 OMHS.

## **5.6.- BASES DE DISEÑO DE EQUIPO MECANICO**

### **TANQUES**

Tanques atmosféricos de acero soldados bajo la norma API 650 Apéndice A.  
Tanques pequeños de acero soldados bajo la norma API 12F, octava edición 1982.

### **BOMBAS**

Bombas centrífugas, con sellos de alta eficiencia, metálicas para servicio de agua y no metálicas para servicio de ácido y sosa, plan de sellos ANSI 7111 (API II), coples flexibles a 1800 rpm.

### **VENTILADORES**

Ventilador centrífugo a 1800 rpm

### **COMPRESOR**

Compresor para descargar de 100 a 125 psig, tipo tornillo lubricado, libre de polvo y con una humedad para un punto de rocío a  $-40^{\circ}\text{F}$ , de acuerdo a las normas ISA para aire de instrumentos.

La secadora de aire debe ser del tipo adsorción – desorción en base sílica o alúmina de la misma marca del compresor, acompañada de sus prefiltros y postfiltros correspondientes.

Tanque para comprimido con sus accesorios correspondientes.

Planos certificados ante la STPS (Secretaría del Trabajo y Previsión Social) para los recipientes a presión.

### **MEZCLADORES ESTATICOS EN LINEA**

Mezcladores en línea para homogenización total marca Chemineer de flujo tipo helicoidal dividido, mezclado radial para eliminar gradientes de temperatura, gradientes de velocidad y caídas de presión.

El equipo esta basado bajo el código de construcción ASME para aplicación de vapor de baja presión.

## CALENTADORES EN LINEA

Estos calentadores están diseñados del tipo haz de tubos de un solo paso con canalización de flujo tipo helicoidal para aumentar la conducción del calor y los coeficientes de transferencia de calor al disminuir el nivel de ensuciamiento dentro de los tubos.

El equipo está diseñado bajo el código de construcción ASME / TEMA estándar en acero inoxidable 316SS.

## TUBERÍAS

Códigos ANSI B31.3 B31.6. API 5L Y 5LX

## CARRUSELES DE INTERCAMBIO IÓNICO

Cada carrusel contiene una válvula de distribución, una tornamesa que rota y sobre la cual se encuentran montadas 30 celdas para contener un volumen de 8495 lt de resina.

La válvula se conecta a las celdas por medio de tubería flexible.

El punto central es la válvula de distribución que tiene como componentes primarios una cabeza estacionaria y una cabeza rotatoria. El fluido de proceso se alimenta por los puertos de entrada que se encuentran sobre la cabeza estacionaria, de ahí pasa a través de esta cabeza y entra a los puertos de la cabeza rotatoria que conectan a las celdas de intercambio iónico.

La tornamesa rota a igual velocidad que la cabeza rotatoria de la válvula de distribución, controlada está velocidad mediante sincronización electrónica.

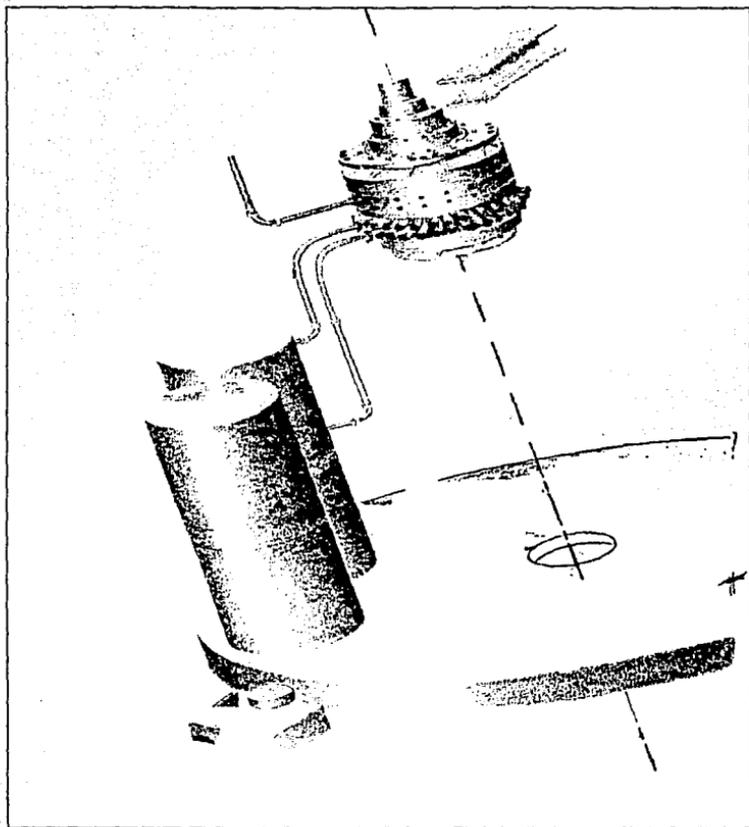


Figura representativa del ISEP-H2O en donde podemos observar las celdas montadas sobre la tornamesa, la conexión de las celdas a la cabeza rotatoria de la válvula de distribución mediante mangueras flexibles y la conexión de las líneas de alimentación con la cabeza estacionaria.

## 5.7.- BASES DE DISEÑO CIVIL

### REGULACIONES POR VIENTO Y SISMO

Se acepta el manual de diseño de obras civiles de la C.F.E. (Comisión Federal de Electricidad).

Se considera el reglamento de construcciones para el Distrito Federal y sus normas técnicas que incluyen:

N.T.C. Para el diseño de estructuras de concreto

N.T.C. Para el diseño de estructuras de acero

N.T.C. Para el diseño de mampostería

N.T.C. Para el diseño por sismo

N.T.C. Para el diseño por viento

N.T.C. Para el diseño de cimentaciones

### LOCALIZACION DE LA PLANTA

El predio donde se localiza el sistema de desmineralización es en el municipio de Tlalnepantla, a una altitud sobre el nivel de mar de 2250 metros, presión barométrica de 585 mm Hg, velocidad regional de los vientos de 100 Km/hr con dirección predominante del Suroeste al Noroeste del valle de México.

El tipo estratos de compacidad media a baja hasta 3.5 metros de profundidad con resistencia de 11 toneladas por metro cuadrado a 1.5 metros de profundidad, a partir de los 3.5 metros de profundidad con espesores de alrededor, donde se encuentran limos y arenas, posteriormente hasta 8 metros de profundidad se encuentran depósitos de origen lacustre y arcillas compresibles, después bajo estas arcillas se encuentran los estratos de mediana a alta compacidad hasta los 14 metros de profundidad.

Finalmente se encuentran los depósitos de alta resistencia y baja compresibilidad de 275 toneladas por metro cuadrado.

Se estima que el nivel freático se encuentra mas allá de los 30 metros de profundidad.

La temperatura promedio del bulbo seco en verano es de 83 °C, con mínimas y máximas respectivamente.

La temperatura promedio de bulbo seco en invierno es de 12 °C , con mínimas y máximas respectivamente.

La temperatura promedio del bulbo húmedo en verano es de 17.2 °C, con mínimas y máximas respectivamente.

La temperatura promedio de bulbo húmedo en invierno es de 8.1 °C , con mínimas y máximas respectivamente.

La temperatura de bulbo húmedo para diseño es 16.2 °C

## 5.8.- BASES DE DISEÑO PARA INSTRUMENTOS

### SISTEMA DE CONTROL

Se requiere realizar un sistema de control de la planta a través de un PLC Allen – Bradley del tipo control logix, serie 1550 comunicando a los instrumentos de campo mediante el protocolo field bus.

Este PLC requerirá como estación de interfase una PC con capacidad adecuada en el área de operación, adicionalmente se requiere la comunicación

para monitoreo remoto vía ethernet conectado a la PC de superintendencia de instrumentación.

## **INSTRUMENTOS**

### **TRANSMISORES DE CAMPO**

Transmisores de presión marca Fisher Rosemount o Foxboro, con sistema de salidas de 4 a 20 mili ampers, electrónica digital basada en protocolo Hart, con hoja de calibración e indicador LCD.

Transmisores de temperatura, marca Fisher Rosemount o Foxboro, con sistema de salidas de 4 a 20 mili ampers, electrónica digital basada en protocolo Hart, con hoja de calibración e indicador LCD.

Transmisores de flujo, marca Fisher Rosemount o Foxboro, con sistema de salidas de 4 a 20 mili ampers, electrónica digital basada en protocolo Hart, con hoja de calibración e indicador LCD.

Todos los transmisores de campo deberán ser del tipo inteligente con comunicación field bus, preferentemente de la marca, Rosemount o Foxboro.

### **Válvulas de control**

Marca Fisher Rosemount o Foxboro, con sistema de salidas de 4 a 20 mili ampers, basado en protocolo Hart con filtro regulador de aire y tipo posicionador fieldbus.

Todas las válvulas de control deberán ser diseñadas para operar en un rango de apertura entre 50% y 60% y con actuador a 60 psig operada con posicionador tipo inteligente con protocolo field bus equipado con sistema de autodiagnostico avanzado.

Se deberá entregar el software correspondiente para monitoreo y mantenimiento. Las marcas comunmente usadas son: Fisher y Valtek.

### **Válvulas on-off**

Las válvulas on-off serán de 127 VCA, corriente inducida por solenoide, este tipo de válvulas deberá suministrarse preferentemente con actuador cargado con resorte diseñado para operar con aire a 60 psig. Deberá contar con válvula solenoide de 3 vias, marca Asco, modelo 8314G35 a 110 - 127 VCA, e indicación local con interruptor de posición abierto-cerrado SPDT y en caja a prueba de explosión.

## **6.0 CRITERIOS DE DISEÑO**

### **6.1 CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO DE EQUIPO**

#### **RECIPIENTES**

##### **CISTERNA**

La cisterna almacena el agua proveniente de los pozos donde se extrae el agua y da un tiempo de residencia de 2.3 horas tomando como base que una de sus funciones principales es proporcionar los 100 m<sup>3</sup> de agua de alimentación a la caldera.

##### **FILTROS DE ANTRACITA**

Los 100 M<sup>3</sup>/Hr de agua provenientes de la cisterna contienen sólidos suspendidos, que son retenidos en los filtros de F-102A y F-102B por medio de un lecho de antracita contenidos en cada uno de ellos.

Los filtros dan al sistema agua libre de sólidos y disminuyen problemas de ensuciamiento de los lechos de resina en las celdas de intercambio iónico.

##### **TANQUE DE BALANCE**

El balance del agua de alimentación se realiza en el tanque TA-107 con 0.1 horas de tiempo de residencia, con un 80% de capacidad.

##### **DESCARBONATADORA**

El contenido de carbonatos en el agua de pozo se reduce hasta el 5% en relación a las 350 ppm de dureza contenida en la corriente de alimentación de la unidad descarbonatadora DC-104.

La disminución de carbonatos se realiza mediante desorción en una torre empacada con esferas plásticas ranuradas, que forman un lecho empacado para proporcionar suficiente área de transferencia por unidad de volumen.

En el fondo de la descarbonatadora se encuentra integrado un tanque de balance para dar 5 minutos de tiempo de residencia, suficiente para el bombeo del agua descarbonatada.

##### **RECIPIENTES QUIMICOS**

Los tanques de almacenamiento de químicos TA-114 Y TA-117 utilizados en la regeneración de los lechos de resina, están diseñados para 10 minutos de tiempo de residencia.

##### **TANQUE DE BALANCE DE AGUA CALIENTE PARA DILUCION DEL REGENERANTE ANIONICO.**

Este tanque TA-106 está diseñado para dar 5 minutos de tiempo de residencia al bombeo de agua caliente a la unidad de intercambio anionico mediante la bomba B-126.

##### **TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA TRATADA**

El agua tratada se almacena con ½ hora de tiempo de residencia en el tanque TA-124 para distribuirla a consumidores varios.

## **MEZCLADORES EN LINEA**

La regeneración de los lechos de resina de las celdas del carrusel de intercambio catiónico se realiza con HCl diluido del 33% en concentración al 4%.

La regeneración de los lechos de resina de las celdas del carrusel de intercambio aniónico se realiza con hidróxido de sodio diluido del 50% al 4%.

La dilución de los químicos se llevan a cabo en los mezcladores estáticos en línea del tipo helicoidal M-111 y M-112 donde se provee un mezclado uniforme para las corrientes de químicos que se unen con las corrientes de agua de dilución y enjuague bajo régimen turbulento, eliminando, gradientes de temperatura y velocidad que por su diseño nos dan caídas muy bajas de presión.

## **CALENTADORES EN LINEA**

La corriente de enjuague de los lechos de resina de las celdas del carrusel de intercambio aniónico que posteriormente es la corriente de dilución del regenerante aniónico al igual que la corriente del mismo regenerante ya diluido al 4%, son calentadas en línea en los calentadores CA-111 y CA-112 con vapor de 10 Kg/cm<sup>2</sup> hasta 60°C para poder regenerar los lechos de resina de intercambio aniónico saturados de sílice y demás aniones como los carbonatos. Estos calentadores por su diseño poseen coeficientes de transferencia de calor elevados que los hacen suficientes para este servicio.

## **BOMBAS**

Todas las bombas están diseñadas para operar a 7 kg/cm<sup>2</sup> de presión como máximo y accionadas con motor eléctrico con un 20% de sobrediseño para soportar las variaciones de carga hacia arriba.

## **COMPRESOR**

El compresor proveerá el aire requerido y especificado por la normatividad ISA para aire de instrumentos y esta disponible a 8.3 kg/cm<sup>2</sup> libre de humedad y polvo.

Además el compresor esta diseñado con 20% en su capacidad.

## **CARRUSELES DE INTERCAMBIO IONICO**

Las unidades de intercambio ionico compuesta por tornamesas giratorias sobre los cuales se encuentran montadas las celdas empacadas tienen motores que giran a velocidades sincronizadas con los motores de cada una de sus válvulas de distribución respectivamente.

La relación de sincronismo entre el motor de la válvula con respecto al motor de la tornamesa es de 2.2 a 1.1

Estas relaciones de sincronismo se mantienen siempre constantes

La relación entre las velocidades de rotación entre las dos unidades de intercambio ionico depende de la cantidad de agua que puede ser tratada por un volumen fijo de resina y por la capacidad de esta.

Las celdas de intercambio ionico contienen por unidad 283.16 lt de resina

## 7.0 INGENIERIA BASICA DEL PROCESO

### 7.1 DESCRIPCION DEL PROCESO

#### I) FILTRACION

El agua de pozo almacenada en la cisterna principal de la planta, es bombeada a temperatura ambiente al sistema de desmineralización en donde primeramente tiene que ser filtrada con antracita para eliminarle los sólidos suspendidos y al mismo tiempo desodorizarla.

No obstante de esta primera filtración el agua debe ser filtrada a través de mallas para eliminar a los sólidos suspendidos remanentes, acondicionandola previamente para el proceso de eliminación de sales.

#### II) ELIMINACION DE SALES EN LA UNIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

El agua de pozo proveniente de la filtración se introduce en los puertos de entrada del carrusel giratorio de intercambio cationico, donde las celdas dispuestas y llenas de resina del tipo ácido fuerte ya regenerada, eliminan los cationes  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Ca}^{2+}$ , disueltos en el agua.

La cuantificación de la cantidad de cationes eliminados en esta unidad, es mediante la medición de la conductividad del agua alimentada y del agua que abandona este proceso.

En este punto la capacidad de intercambio de la resina esta limitada de tal manera que su agotamiento y regeneración por diseño del proceso es continuo y depende de los minutos por revolución del carrusel que rota en sincronía con su válvula de distribución, además existe la dependencia del flujo de alimentación al sistema y de la cantidad de regenerante.

#### III) DESCARBONATACION

El efluente de la unidad de intercambio cationico trae consigo sílice, y carbonatos, los carbonatos son eliminados al incorporarlos como gases a una corriente de aire previamente filtrado, que fluye a contracorriente, mediante un ventilador de tiro forzado; que se encuentra situado en un costado del tanque.

Aquí el tanque dispuesto para eso, esta provisto de una chimenea por donde saldrá el aire y los carbonatos liberados en forma de  $\text{CO}_2$ .

#### IV) ELIMINACION DE SALES EN LA UNIDAD DE INTERCAMBIO ANIONICO.

Los carbonatos no eliminados en el descarbonador, además de la Sílice son removidos del efluente en la unidad de intercambio aniónico, donde la resina tipo base fuerte, eliminara del agua a la sílice y los carbonatos remanentes.

El agotamiento y regeneración de la resina dispuesta en las celdas de intercambio aniónico es igual que en la unidad de intercambio cationico.

El efluente obtenido es nuevamente alimentado a celdas con resina regenerada en la unidad de intercambio cationico, repitiendo el ciclo de pasar por el descarbonatador y la resina de intercambio aniónico, hasta obtener el agua producto.

#### V) REGENERACION DE LA UNIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

El HCl al 33% es dosificado al sistema del tanque de balance para diluirlo en línea hasta el 4%, a temperatura ambiente usando para ello una cantidad del flujo de agua desmineralizada de la que sale como producto.

El agua que ha sido utilizada con anterioridad para enjuagar los remanentes de ácido y sales de la resina, se aprovecha para diluir el ácido clorhídrico de regeneración.

El efluente del enjuague y regeneración abandona el sistema con un pH de 2 en promedio.

#### VI) REGENERACION DE LA UNIDAD DE INTERCAMBIO ANIONICO

La sosa al 50% es dosificada al sistema desde el tanque de balance para diluirla en línea, hasta el 4% y calentarla también en línea con vapor de 140 libras / pulgadas cuadradas hasta una temperatura de 60 °C, que se suficiente para que la sílice quede retenida en los de los lechos de resina aniónica.

El agua de dilución del regenerante aniónico es también una cantidad del agua desmineralizada que sale como producto.

Esta agua a 60°C antes de diluir a la sosa enjuaga a la resina de los remanentes de sosa después de que esta ya ha sido regenerada.

El agua de enjuague diluye a la sosa y regenera de forma directa a la resina al final abandona el proceso por el cabezal de efluentes con un pH de entre 12 y 13.

## 8.- DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO



## 9.- DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTOS



## 10.0.- DESCRIPCIÓN OPERATIVA

El sistema opera de forma continua, manual y automática, donde el agua de pozo se almacena a nivel constante en la cisterna principal de la planta, donde se bombea a 6 kg/cm<sup>2</sup> de presión a través de las bombas B-101 A / B que operan de forma alternada, hacia los filtros de carbón activado, arreglados en paralelo con lechos previamente retrolavados y expandidos.

El filtrado con la presión remanente de 3.0 se conduce al tanque de balance 107, donde a control de nivel se bombea a 6.0 Kg/cm<sup>2</sup> de presión a través de la bomba B-108 que alimenta a flujo constante al carrusel de intercambio catiónico primer paso, el cual gira a 315 minutos por revolución con una relación en la velocidad de sincronismo de 1.4 a la velocidad de giro de 189 minutos por revolución del carrusel aniónico.

El efluente que se obtiene en este paso se introduce a la torre descarbonatadora DC-104 a control de nivel, donde a contracorriente con aire que se introduce por el accionamiento del ventilador que se encuentra en el costado y por encima del nivel del agua de la torre, arrastra los gases carbónicos fluidizados en la corriente de agua.

La corriente descarbonatada se bombea a través de la bomba B-106 hacia el carrusel aniónico primer paso, donde saldrá y volverá a regresar pasando antes también por el carrusel aniónico segundo paso.

Finalmente la corriente de agua ya desmineralizada abandonará el sistema de desmineralización perdiendo alrededor de 10 a 15 psig por cada paso.

Esta agua se almacena en el tanque 124 donde por medio de la bomba B-125 y a control de nivel es conducida al tanque de precalentamiento de agua a la caldera.

En este sistema de desmineralización y por su diseño el flujo es continuo y la regeneración de los lechos empacados se da al mismo tiempo en que estos se van agotando, por lo que cuando unas celdas se agotan otras se van regenerando, esto de acuerdo a la rotación del carrusel y a la dosificación continua de regenerantes químicos.

El regenerante catiónico ácido clorhídrico al 30% diluido en línea con agua desmineralizada hasta la concentración de 4% es alimentado a través de la bomba BR-114 a kg/cm<sup>2</sup> y temperatura ambiente hacia los puertos de alimentación del carrusel catiónico que conectan a las celdas de lecho empacado de resina que se están regenerando.

El regenerante aniónico hidróxido de sodio al 50% es alimentado con la bomba BR-117 y diluido en línea con agua desmineralizada hasta una concentración del 4% para calentarse hasta una temperatura de 60°C mediante el calentamiento en línea con vapor de 140 psig en los calentadores CA-111 y CA-112 y después se bombea a 4.5 kg/cm<sup>2</sup> hacia los puertos de alimentación que conectan a las celdas empacadas de resina que se están regenerando.

El flujo de regenerantes se controla con válvulas que reciben señal desde el sistema I/A series de acuerdo al flujo de alimentación de agua cruda a desmineralizar y al balance iónico previamente calculado.

La disposición de ácido y sosa es lo mas cercana posible y se encuentra en los tanques TA-114 y TA-117 respectivamente que están a control de nivel con las bombas de descarga de los tanques de almacenamiento.

## 11.0- PROCEDIMIENTO Y PRUEBAS DE OPTIMIZACION

### 11.1. PROCEDIMIENTO

La optimización del sistema de desmineralización del agua de pozo para generación de vapor tiene como objetivos el disminuir el consumo de los regenerantes químicos de la resina, el consumo del agua de enjuague y dilución de los mismos regenerantes y el uso de resina de las dos unidades de intercambio iónico; para lo cual se realizo el siguiente procedimiento con las respectivas pruebas de optimización.

### PROCEDIMIENTO DE OPTIMIZACION

- a) Variar las velocidades de rotación de las unidades de intercambio iónico, manteniendo el flujo constante y la dosificación de químicos en una forma inicial hasta antes de comenzar el plan de optimización.
- b) incrementar el flujo de alimentación para después mantenerlo constante, mantener también constante la dosificación de químicos en una forma inicial hasta antes de comenzar el plan de optimización, variando las velocidades de rotación de las unidades de intercambio iónico,
- c) Disminuir en un 10% la dosificación de químicos para regenerar a la resina, mantener constantes las velocidades de rotación de los carruseles de intercambio iónico para variar los flujos de alimentación.
- d) Disminuir hasta un 15% la dosificación de químicos para regenerar a la resina, mantener constantes las velocidades de rotación de los carruseles de intercambio iónico para variar los flujos de alimentación.
- e) Disminuir hasta un 20% la dosificación de químicos para regenerar a la resina, mantener constantes las velocidades de rotación de los carruseles de intercambio iónico para variar los flujos de alimentación.

## DESARROLLO DE PROCEDIMIENTO

### PRUEBAS DE OPTIMIZACION

a) Alimentar un Flujo de 300 gpm constante y variar velocidades de rotación de las unidades de intercambio iónico.

Unidad catiónica

265 minutos por revolución

284 minutos por revolución

313 minutos por revolución

343 minutos por revolución

Unidad aniónica

175 minutos por revolución

185 minutos por revolución

204 minutos por revolución

224 minutos por revolución

b) Alimentar un Flujo de 400 gpm constante variar velocidades de rotación de las unidades de intercambio iónico.

Unidad catiónica

284 minutos por revolución

313 minutos por revolución

Unidad aniónica

185 minutos por revolución

175 minutos por revolución

c) Dosificar a los regenerantes químicos 10% debajo de la dosificación inicial

Mantener a las Velocidades de rotación de las unidades de intercambio iónico constantes, variando solo el flujo de alimentación.

Velocidad de rotación del cation 284 minutos por revolución

Velocidad de rotación del anión 185 minutos por revolución

Flujo de alimentación a las unidades de intercambio iónico

200 gpm

240 gpm

280 gpm

320 gpm

d) Dosificar a los regenerantes químicos 15% debajo de la dosificación de químicos

Mantener a las Velocidades de rotación de las unidades de intercambio iónico constantes, variando solo el flujo de alimentación.

Flujo de alimentación a las unidades de intercambio iónico

230 gpm

240 gpm

280 gpm

e) Dosificar a los regenerantes químicos 20% debajo de la dosificación inicial

Mantener a las Velocidades de rotación de las unidades de intercambio iónico constantes, variando solo el flujo de alimentación.

Flujo de alimentación a las unidades de intercambio iónico

220gpm

230gpm

#### ANÁLISIS DE LA OPERACIÓN DEL EQUIPO

Se realizaron los siguientes análisis para el efluente de salida de cada paso del Sistema de desmineralización (Ver formato de muestreo anexo en apéndice de esta tesis).

- a) Conductividad
- b) PH
- c) Presión

Se midió el pH del efluente de lavado y regeneración de cada unidad de intercambio iónico.

Los resultados en los valores de pH en las líneas de retrolavado, enjuague y dilución de los lechos de resina se encontraron entre los siguientes:

- $\text{PH} \leq 2$ , en la corriente, flujo de agua de lavado de la unidad catiónica.
- $\text{PH} \geq 10$ , en la corriente, flujo de agua de lavado de la unidad aniónica.

Se analizaron también los resultados de pH de etapas intermedias del proceso y se observó lo siguiente:

El PH en la corriente, salida de la unidad descarbonatadora, fue mayor al PH de la corriente, salida de la unidad catiónica primer paso y así mismo el PH de la corriente, salida de la unidad catiónica segundo paso fue mayor al PH de la corriente, salida de la unidad descarbonatadora

Finalmente Se midió el valor de Sílice en la salida del agua como producto final de alimentación a calderas.

## 12.0 RESULTADOS DE LA OPTIMIZACION DEL DESMINERALIZADOR DE AGUA DE POZO ISEP-AGUA.

### TABLAS DE RESULTADOS PROMEDIOS DE LAS PRUEBAS DE OPTIMIZACION DEL ISEP-AGUA

Tabla 12.1 Conductividad y Sílice a flujo de alimentación constante

Flujo = 300 galones por minuto

Velocidad de rotación min.xrev.		Conductividad Microsiemens	Sílice PPM
Catión	Anión		
265	175	12.92	0.1133
284	185	9.3991	0.1208
313	204	9.2341	0.1145
343	224	6.7509	0.1023

Tabla 12.2 Conductividad y Sílice a flujo de alimentación constante

Flujo = 200 galones por minuto

Velocidad de rotación min.xrev.		Conductividad Microsiemens	Sílice PPM
Catión	Anión		
284	185	19.52	0.1
313	204	17.5235	0.1058

Tabla 12.3 Conductividad y Sílice a flujo de alimentación constante

Flujo = 400 galones por minuto

Velocidad de rotación min. x rev.		Conductividad Microsiemens	Sílice PPM
Catión	Anión		
230	150	11.2	0.1
265	175	8.77	0.126

Tabla 12.4 Conductividad y Sílice variando el flujo de alimentación

Velocidad de rotación del catión = 284 Minutos x revolución

Velocidad de rotación del anión = 185 Minutos x revolución

10% Debajo de la dosificación inicial

Flujo (GPM)	Conductividad Microsiemens	Sílice
		PPM
200	18.5	0.119
240	13.23	0.11
280	12.2	0.11
320	12.15	0.11

Tabla 12.5 Conductividad y Sílice variando el flujo de alimentación

Velocidad de rotación catión = 284 Minutos x revolución

Velocidad de rotación anión = 185 Minutos x revolución

15% Debajo de la dosificación inicial

Flujo (GPM)	Conductividad Microsiemens	Sílice
230	18.24	0.1
240	14.26	0.1
280	14.1	0.09

Tabla 12.6 Conductividad y Sílice variando el flujo de alimentación

Velocidad de rotación catión = 284 Minutos x revolución

Velocidad de rotación anión = 185 Minutos x revolución

20% Debajo de la dosificación inicial

Flujo (GPM)	Conductividad Microsiemens	Sílice
220	25.9	0.089
230	22.38	0.1

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

La conductividad disminuye al aumentar los flujos de alimentación manteniendo la velocidad de rotación de los carruseles constantes.

La Sílice no presenta variaciones significativas bajo estas condiciones de operación.

La conductividad disminuye al aumentar la velocidad de rotación de los carruseles de intercambio iónico manteniendo el flujo de alimentación y la dosificación de químicos constantes.

La Sílice no presenta variaciones significativas bajo estas condiciones de operación.

La conductividad aumenta al disminuir el flujo de alimentación manteniendo constante la velocidad de rotación de los carruseles y la dosificación de químicos.

La Sílice no presenta variaciones significativas bajo estas condiciones de operación.

Al bajar la dosificación de químicos la conductividad de salida del agua producto aumenta para un flujo de alimentación y velocidades de rotación de las unidades de intercambio iónico constantes.

La Sílice tampoco presenta variaciones significativas bajo estas condiciones de operación.

## CONCLUSIONES

El sistema de desmineralización de agua de pozo de flujo continuo que opera una unidad de intercambio catiónico y una unidad de intercambio aniónico respectivamente de tal forma que el servicio, retrolavado, regeneración y enjuague no interrumpe la continuidad del flujo además trae consigo grandes ventajas frente a los sistemas convencionales.

Estas ventajas representan grandes ahorros en cuanto al consumo de regenerantes químicos como lo son para este caso el ácido Clorhídrico al 33% y el Hidróxido de Sodio al 50%, un mayor aprovechamiento de la resina y disminución del consumo de agua de lavados y enjuague de los lechos de resina.

Se cuantifico que este sistema puede operar con una cantidad no muy alejada de dosificación de regenerantes químicos de los lechos de resina con respecto a la necesidad estequiometrica del equilibrio de intercambio iónico y esto a diferencia de los sistemas convencionales que utilizan exceso de regenerante para mantener y garantizar el equilibrio de regeneración.

La capacidad de este sistema tiene su base teórica en lo siguiente:

### AUMENTO EN EL FLUJO DE ALIMENTACIÓN

Un aumento de flujo incrementa la velocidad de flujo al pasar por la celdas empacadas de resinas, el agua se distribuye mejor por el lecho, esto contribuye a usar mas a la mayoría de los centros de intercambio iónico en la resina.

De forma adicional el flujo de regeneración de las resinas también aumenta, hay mejor regeneración.

### AUMENTO EN LA VELOCIDAD DE ROTACIÓN DE LOS CARRUSELES

Incrementar la velocidad de rotación de los carruseles significa incrementar el tiempo que tardan en completar su ciclo, aquí la resina se utiliza con un mayor tiempo de residencia, su aprovechamiento es mayor y su regeneración es mejor .

APÉNDICE

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

**i) BASES DE CALCULO**

<b>UNAM</b> FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN	<b>MEMORIA DE CALCULO</b> <b>CALCULO DE EQUIVALENTES A REMOVER</b> <b>EN EL DESMINERALIZADOR</b> <b>CATIONICO Y ANIONICO</b>	PROYECTO: 99
		ISEP-AGUA
		DESMINERALIZADOR DE AGUA DE POZO
		ELABORÓ: M AGUILAR
		REV. "0"
		24 DE OCTUBRE DEL 2001
		HOJA 1

Cantidad de equivalentes a remover en el Agua de alimentación al sistema de desmineralización

Iones medidos en Laboratorio

Componente	ppm	Peso equivalente	Equivalentes por millón
Calcio	88.22	20	4.411
Magnesio	97.9	12.15	8.057813169
Sodio	230	23	10
Suma de cationes			22.46861317

Bicarbonato	500	61	8.198721311
Sulfatos	31.28	48.05	0.65057232
Silice	90	30	3
Cloruros	370	35.5	10.42253521
Suma de aniones			22.26982884

Sólidos totales disueltos 1407.38 ppm  
 ajustar a = 1410 ppm

Conductividad promedio del agua de pozo 2500 micro siemens

La suma de los cationes y los aniones siempre es igual este caso la diferencia radica en que se están eliminando del diseño la presencia de iones de muy baja concentración en el agua de alimentación al sistema.

Flujo de alimentación de diseño (Q ALIM) 100 m3/hr

100 m3/Hr 1666.66667 l/min

Equivalentes por millón a remover por unidad de Intercambio iónico

Se ajusta a 25 meq/Lt compensando la presencia de iones de muy baja concentración

Q ALIM (l/min)\*25 (meq/Lt) = 41666.66667 meq/min  
 41.66666667 eq/min

Ajustar a 53.75 eq/min 29 % de sobre diseño

Tomando como base que la remoción de sales involucra bajar la conductividad del agua de alimentación a la caldera de 2500 micro siemens a 10 micro siemens como máximo, se tomara como diseño remover toda la cantidad de Eq/min antes descrita.

Capacidad de intercambio de la resina cationica = 2.0 eq/lit de resina

Capacidad de intercambio de la resina aniónica = 1.20 eq/lit de resina

Cálculo del volumen de resina a usar

Flujo de resina en la unidad catiónica = 54 eq/min\*lit de resina/2 eq = 27 lit de resina / minuto

Se tomara el tiempo de agotamiento y regeneración de la resina cationica sugerido por el proveedor del equipo de 315 minutos x revolución

Volumen = 8505 lt. (Repartidos en 30 celdas)

Flujo de resina en la unidad aniónica = 54 eq/min\*lit de resina/1.2 eq = 45 lit de resina / minuto

Se tomara el tiempo de agotamiento y regeneración de la resina aniónica sugerido por el proveedor del equipo de 189 minutos x revolución

Volumen = 8505 lt. (Repartidos en 30 celdas)

<b>UNAM</b> FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN	<b>CÁLCULOS DE DOSIFICACIÓN DE</b> <b>ÁCIDO Y SODA.</b> <b>BASES TEÓRICAS</b>	PROYECTO: 99	
		ISEP-AGUA	
		DESMINERALIZADOR DE AGUA DE POZO	
		ELABORO: M AGUILAR	REV. "0"
		24 DE OCTUBRE DEL 2001	HOJA 2

**Cálculos Teóricos**

**Dosificación de ácido unidad catiónica**

W HCl (100%) = 2 eq / lt de resina \* 36.5 gr. / eq \* RR Cation = (gr. / min.)

W HCl (33%) = W HCl (100%) / 0.33

W HCL (4%) = W HCl (100%) / 0.04

Q Agua de dilución = W HCl (4%) / Densidad al 4% ( 25 °C Y 1 atm ) - W HCl (33%) / Densidad al 33% ( 25 °C Y 1 atm )

Volumen 8505 lt (Ver cálculo de equivalentes)

V rotación 315 min.

W HCl 100% = 1971 gr./min.

W HCl 33% = 5972.727273 gr./min. 1.36034421 gpm

W HCl 4% = 49275 gr./min. 12.6393146 gpm

Q Agua de dilución = 11.27897041 gpm

**Dosificación de soda para la unidad aniónica**

W NaOH (100%) = 1.2 eq / lt de resina\* 40 gr / eq \* RR Cation = (gr. / min.)

W NaOH (50%) = W NaOH (100%) / 0.5

W NaOH (4%) = W NaOH (100%) / 0.04

Q Agua de dilución = W NaOH (4%) / Densidad al 4% ( 25 °C Y 1 atm ) - W NaOH (50%) / Densidad al 50% ( 25 °C Y 1 atm )

Volumen 8505 LT

V Rotación 189 min.

W NaOH 100% = 2160 gr./min.

W NaOH 33% = 6545.454545 gr./min. 1.49078817 gpm

W NaOH 4% = 54000 gr./min. 13.8513037 gpm

Q Agua de dilución = 12.38051552 gpm

**NOTA:**

\* ESTOS CÁLCULOS FUERON BASADOS EN LA CAPACIDAD MÁXIMA DEL EQUIPO DE 100 m3/hr. DE AGUA CUALQUIER VARIACIÓN EN LA CAPACIDAD TENDRÁ QUE SER AJUSTADA CON EL VOLUMEN DE RESINA

<b>UNAM</b> FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN	<b>MEMORIA DE CALCULO</b> <b>DOSIFICACIÓN DE QUÍMICOS</b> <b>SISTEMA AUTOMÁTICO</b>	PROYECTO: 99	
		ISEP-AGUA	
		DESMINERALIZADOR DE AGUA DE POZO	
		ELABORO: M.AGUILAR	REV. "0"
		24 DE OCTUBRE DEL 2001	HOJA 3

**Cálculos de dosificación de químicos ISEP-H2O**

**Sistema automático**

Dosificación de ácido clorhídrico al 33%

$$FHCL\ 33\% = 2\ eq/lt * 36.5\ gr/eq * RR(lt/min) * 1/Densidad\ (lt/kg) * 1\ kg/1000\ gr * galón/3.785lt * 1/0.33$$

Donde  $RR = Q / Tr$

$Q$  = Flujo de alimentación en gpm

$Tr$  = Tratamiento de uso de resina (Adimensional y Constante)

Densidad al 33% = 1.15 kg/lt Condiciones estándar

$$FHCL\ 33\% = 0.05082123 * Q / Tr$$

$$Si\ Tr = 11.1522113$$

$$Q = 440\ gpm$$

$$FHCL\ 33\% = 0.00455705 * Q$$

$$FHCL\ 33\% = 1/219.439999 * Q$$

$$FHCL\ 33\% = 2.00510391\ gpm$$

$$Flujo\ de\ agua\ de\ lavado = 17.2037915\ gpm$$

Dosificación de hidróxido de sodio al 50%

$$FNaOH\ 50\% = 1.2\ eq/lt * 40\ gr/eq * RR(lt/min) * 1/Densidad\ (lt/kg) * 1\ kg/1000\ gr * 1\ galón/3.785lt * 1/0.5$$

Donde  $RR = Q / Tr$

$Q$  = Flujo de alimentación en gpm

$Tr$  = Tratamiento de uso de resina (Adimensional)

Densidad al 50% = 1.5 kg/lt (Condiciones estándar)

$$FNaOH\ 50\% = 0.01690885 * Q / Tr$$

$$Si\ Tr = 5.27319419$$

$$FNaOH\ 50\% = 0.00320657 * Q$$

$$Q = 440\ gpm$$

$$FNaOH\ 50\% = 0.00320657 * Q$$

$$FNaOH\ 50\% = 1/311.86 * Q$$

$$FNaOH\ 50\% = 1.4108895\ gpm$$

$$Flujo\ de\ agua\ de\ lavado = 26.3977426\ gpm$$

## II) CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE REGENERANTES QUÍMICOS Y RESINAS

### QUÍMICOS

#### ACIDO CLORHIDRICO

Peso molecular del ácido clorhídrico = 36.5 gr/eq

Densidad al 33% = 1.15 kg/lit

Densidad al 4% = 1.03 kg/lit

#### HIDROXIDO DE SODIO

Peso molecular del hidróxido de sodio = 40 gr/eq

Densidad al 50% = 1.5 kg/lit

Densidad al 4% = 1.025 kg/lit a 60 °C

### RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO

#### PUROLITE A-600

Es una base fuerte tipo I amina cuaternaria con el Estireno-divinilbenceno como copolímero matriz, puede usarse en todos los tipos de sistemas de desmineralización, recomendada para lechos mixtos, además de que tiene una alta capacidad para remover sílice y producir agua con muy alta calidad libre de silicatos.

Su característica de base fuerte la hace tener muy alta estabilidad a altas temperaturas, cuando se emplea para eliminar sílice del agua a generación de vapor.

Tiene alta estabilidad física a durezas de hasta de 500 gramos, remueve ácidos débiles tales como sílice y ácido carbónico.

También remueve ácidos fuertes que contienen sulfatos y cloruros.

#### CARACTERISTICAS FISICAS Y QUÍMICAS

Estructura del polímero	Estireno divinilbenceno
Estructura de la matriz	Gel
Grupo activo	R(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> N+
Forma iónica	Cl
Característica	Base fuerte
Tamaño de partícula	16 mallas <2%, 50 mallas <1%
Capacidad de intercambio iónico	1.4 eq./lt. 3.5 meq./gm. Min. (Peso)
Tamaño partícula (húmeda)	16 a 50 mallas
Hinchamiento (Cl-OH)	20 %
Retención de agua	43 a 48 %
Limitaciones de pH	ninguno
Densidad	44 lbs/ft <sup>3</sup>
Solubilidad	Insoluble en todos los Solventes comunes

## CARACTERÍSTICAS DE APLICACIÓN

Temperatura de operación máxima	
Forma OH	60 °C
Forma Cl	100 °C
Profundidad del lecho mínimo	60 cm
Relación de flujo de retrolavado	1.5-2.5 gpm/ft <sup>2</sup>
Expansión del retrolavado	50 a 75%
Flujo de servicio	1-5 gpm /pie <sup>3</sup>
Regenerante	NaOH
Flujo de regeneración	0.2-0.5 gpm/pie <sup>3</sup>
Tiempo de contacto del regenerante	30/60 min.
Flujo de enjuague lento	0.2-0.5 gpm/pies
Flujo de enjuague rápido	2 gpm/pie <sup>3</sup>
Concentración del regenerante	2 - 4%
Volumen de enjuague requerido	60 galones por pie <sup>3</sup>
Embalaje	Tambos de polietileno

La caída de presión depende del flujo en la sección transversal y de la temperatura en el lecho, así como del ensuciamiento de la resina.

Estabilidad física a la tracción y todo tipo de rompimientos físicos, térmicos y osmóticos lo que la hace ser de fácil operación.

### PUROLITE C-OOH

Resina de intercambio catiónico, utilizada para desmineralización de agua, gel hecho del copolimero matriz estireno divinilbenceno entrecruzado en un 8%, estabilidad del lecho al 95% total de limpieza

#### Características físicas y químicas

Estructura del polímero	Polyestireno entrecruzado con divinilbenceno
Grupo funcional	R-SO <sub>3</sub>
Apariencia física	Lechos esféricos
Forma iónica	Hidrógeno
Tamaño de partícula en mallas	16-45 mallas
Rango de tamaño de partícula	+16 mallas < 5%, -50 malla < 1%
Retención de agua	49 - 55%
Hinchamiento (Na-H)	5%
Limitaciones de pH	ninguna
Limitaciones de temperatura	140°C
Limpieza del lecho	95%
Densidad	50 lbs/pie <sup>3</sup>
Capacidad total (forma H)	1.8 meq/gm, mínimo
Embalaje estándar	Envase de polietileno 5 pies cúbicos
Contenido de divinilbenceno	8%
Color	Negro al ambar

Condiciones de operación estándar					
Operación	Relación	Solución	minutos	cantidad	
Servicio	1-5 gpm/pie <sup>3</sup>	agua a tratar			
Retrolavado	3-5 gpm/ft <sup>2</sup> (40 a 60°F)	agua a tratar	5-20	10-25 galones/pie <sup>3</sup>	
Regeneración	0.2-0.8 gpm/ft <sup>3</sup>	0.5 -5% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 4-10% HCl	30	4 -10 libras	
Enjuague lento	0.2-0.8 gpm/pie <sup>3</sup>	Agua decationizada	30	20 galones/pie <sup>3</sup>	
Enjuague rápido	1-5 gpm/pie <sup>3</sup>	Agua decationizada	60	30 galones/pie <sup>3</sup>	
Expansión por retrolavado		50-75%			
Espacio de diseño para enjuague		100%			

### DOWEX MARATHON C

Resina de alta capacidad de intercambio catiónico de tamaño uniforme para aplicaciones en sistemas de desmineralización.

Resina de ácido fuerte con el estireno -DVB como copolimero matriz, en forma de gel, con grupo funcional ácido sulfónico.

Capacidad total de intercambio	Forma Na	Forma H+
	2 eq/l	1.8 eq/l
Retención de agua	42 a 48%	50 a 56%
Tamaño de partícula	585 +/- 50	600 +/- 50
Coefficiente de uniformidad máximo	1.1	1.1
Hinchamiento total (Na - H)	8%	8%
Resistencia al rompimiento	95%	95%
Densidad de partícula	1.28 g/ml	1.2 g/ml
Peso ligero	820 g/l	780 g/l

### Condiciones de operación recomendadas

Temperatura de operación máxima	120 °C
Rango de PH	0 - 14
Profundidad de lecho mínimo	800 mm

### Relaciones de flujo

Servicio de lavado rápido	2-24 gpm /ft <sup>2</sup>
Regeneración en paralelo / desplazamiento enjuague	2-8 gpm/ft <sup>2</sup>
Regeneración a c.c. / desplazamiento enjuague	4-4 gpm/ft <sup>2</sup>
Requerimiento total de lavado	2 - 5 volúmenes de lecho
Regenerante	1 - 8% de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 4-8% HCl ó 8-12% NaCl

## Dowex Maratón A

Partícula de tamaño uniforme de alta capacidad, resina base fuerte de intercambio aniónico para aplicaciones desmineralización de agua, con el estireno divinilbenceno en forma de gel como copolímero matriz.

### Propiedades físicas y químicas .

Forma iónica liberada	Cl-
Capacidad total de intercambio	1.2 eq/l
Retención de agua	50-60 %
Tamaño de partícula	575 +/- 50 micras
Coefficiente de uniformidad máximo	1.1
Hinchamiento total (Cl - OH)	20 %
Resistencia al rompimiento	90 %
Densidad de partícula	1.08 g/ml
Peso	670 g/l

### Condiciones de operación recomendadas

Temperatura de operación máxima	
Forma OH-	60 °C
Forma Cl-	100 °C
Rango de PH	0-14
Profundidad de lecho mínimo	800 mm

### Relación de flujo

Servicio/lavado rápido	2-24 gpm/ft2
Regeneración en p. / Enjuague desplazado	(0.4-4 gpm/ft2)
Regeneración a c.c. / Enjuague desplazado	(2-8 gpm/ft2)
Requerimiento total de enjuague	3-6 volúmenes de lecho

### Regenerante:

Tipo	2-5% de NaOH
Temperatura	50°C para remover sílice
Carga orgánica máxima	3g KmnO4/lit resina

### **III) HOJAS DE DATOS DE PROCESO**

# UNAM

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

## HOJA DE DATOS PARA FILTROS DE CARTUCHO

PROY.	99
DESMINERALIZADOR	
ISEP AGUA	
AREA	SERVICIOS
CLASE	( 0 )
REV	( 0 )
HOJA	1 DE 1

POR MAURICIO AGUILAR ORTEGA REVISO A. BAUTISTA APROBO A. BAUTISTA

FECHA

PLANTA	DESMINERALIZACION	E.P	F-108A/B	CANTIDAD	2	REV	0	1	2	3
LUGAR	TLALNEPANTLA	UNIDAD	PIEZA			POR				
SERVICIO	FILTRAR AGUA DE POZO	FABRICANTE	*			REV				
						APR				

### CONDICIONES DE SERVICIO

ENCHAQUETADO	NO									
TIPO DE FLUIDO	AGUA		PRESION DE OP.		60	PSIG				
GRAV. ESP.	1	A 25	°F	FLUJO		440	(GPM O SCFM)			
VISCOSIDAD (CP)	1			TEMP. DE OP.		86	°F			
GRADOS DE FILT.	100% A 50%			MICRONES						
FLUIDO EN LA CHAQUETA										
FLUJO EN LA CHAQUETA	GPM									
	LBI/									

### DATOS DE DISEÑO

▲ P DISP. MAX. (LIMPIO)	1										PSI
PRES. DE DISEÑO DEL CUERPO	100 MINIMO										PSIG
TEMP. DE DISEÑO DEL CUERPO	136										°F
PRES. DE DISEÑO DE LA CHAQUETA											PSIG
TEMP. DE DISEÑO DE LA CHAQUETA											°F
AREA REQUERIDA											FT2

### CONEXIONES

ENT. CUERPO: TIPO	L.J.	CLAS.	150 #	DIAM.	*
SAL. CUERPO: TIPO	L.J.	CLAS.	150 #	DIAM.	*
ENT. CHAQUETA: TIPO		CLAS.		DIAM.	*
SAL. CHAQUETA: TIPO		CLAS.		DIAM.	*
DRENAJE: TIPO	NPT	CLAS.	3000 #	DIAM.	1"

### MATERIALES

CARCASA	AC. AL C.	CARTUCHO	AC. INOX.
EMPAQUES	HULE NATURAL NEOPRENO	CHAQUETA	
OTROS			

### OBSERVACIONES

\* DATOS PROPORCIONADOS POR PROVEEDOR  
EL PH DEL FLUIDO ES DE 6.5 - 7.5

**UNAM**  
**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES**  
**CUAUTITLAN**

PROYECTO 99	
DESMINERALIZADOR	
ISEP AGUA	
REVISION 0	DIBUJO

**HOJA DE DATOS DE FILTROS CANASTA**

HOJA 1 DE 1      FECHA AGOSTO DEL 2001

PLANTA	DESMINERALIZACION	SERVICIO	FILTROS CANASTA PARA ACIDO CLORHIDRICO E HIDROXIDO DE SODIO
--------	-------------------	----------	---

ELABORO:	M. AGUILAR	REVISO:	A. BAUTISTA	APROBO:	A. BAUTISTA
----------	------------	---------	-------------	---------	-------------

TAG	F-114 A/B /117 A/B	DESCRIPCION	PIEZA	CANTIDAD	4
-----	--------------------	-------------	-------	----------	---

<b>DATOS GENERALES</b>		1	2
------------------------	--	---	---

SERVICIO	FILTRAR HCI	FILTRAR NaOH
LINEA O EQUIPO	2	2
FABRICANTE	•	•
MODELO	•	•

**CONDICIONES DE SERVICIO**

FLUIDO	HCI AL 33%	NaOH AL 50%
FLUJO (GPM)	3	2
DENSIDAD RELATIVA A TEMPERATURA DE OPERACION	1.15	1.5
VISCOSIDAD A TEMPERATURA DE OPERACION CP	1.5	50
PRESION DE OPERACION (KG/CM2) MANOMETRICA	2.0	3.3
TEMPERATURA DE OPERACION (°c)	32	32
CAIDA DE PRESION	LA MINIMA POSIBLE	LA MINIMA POSIBLE
PH	_____	_____

**CONDICIONES DE DISEÑO**

PRESION DE OPERACION (KG/CM2) MANOMETRICA	4.5	5
TEMPERATURA DE OPERACION (°c)	60	61

**CONSTRUCCION**

TIPO (SIMPLE O DOBLE)	SIMPLE	SIMPLE
TAMANO DE PERFORACION	_____	_____
TAMANO DE MALLA (MICRAS)	150	150
PESO KG (VACIO/OPERACION)	• / •	• / •

**CONEXIONES**

DIAM ENTRADA/SALIDA	0.5 / 0.5	0.5 / 0.5
TIPO DE CONEXION	ROSCADO	ROSCADO
CARA		

**MATERIAL**

CUERPO	C-PVC	C-PVC
CANASTA	•	•

**ACCESORIOS**

VALVULA DE PURGA	REQUERIDA	REQUERIDA
VALVULA DERIVADORA	NO REQUERIDA	NO REQUERIDA
MANOMETRO DE PRESION DIFERENCIAL	NO REQUERIDO	NO REQUERIDO

**OBSERVACIONES**

\* APLICACIONES A SUGERENCIA DE PROVEEDOR

# UNAM

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

HOJA DE DATOS PARA FILTROS DE CARBON

PROY.	99
DESMINERALIZADOR	
ISEP AGUA	
AREA	SERVICIOS
CLASE	REV
REV	( 0 )
FECHA	HOJA 1 DE 1

POR MAURICIO AGUILAR      REVISO A. BAUTISTA      APROBO A. BAUTISTA

PLANTA DESMINERALIZACION	TAG	F-101A/B	CANTIDAD	2	REV	0	1	2	3
LUGAR TLALNEPANTLA	UNIDAD	PIEZA			POR				
SERVICIO: FILTROS	FABRICANTE *				REV				
					APR				

### CONDICIONES DE SERVICIO

TIPO DE FLUIDO: AGUA PROVENIENTE DE POZO						
GRAV. ESP.	1	A	77 °F	PRESION DE OP.	72.1	PSIG
VISCOSIDAD (cP)	1			FLUJO	440	GPM
				TEMP. DE OP.	77	°F
GRADOS DE FILT. Empaque de carbon de 60 Mesh U.S						

### DATOS DE DISEÑO

▲ P. DISP. MAX. (LIMPIO)	15	PSI
PRES. DE DISEÑO DEL CUERPO	*	PSIG
TEMP. DE DISEÑO DEL CUERPO	*	°F
AREA REQUERIDA	*	FT2

### CONEXIONES

ENT. CUERPO:	TIPO	*	CLAS.	*	DIAM.	*
SAL. CUERPO:	TIPO	*	CLAS.	*	DIAM.	*
DRENAJE:	TIPO	*	CLAS.	*	DIAM.	*

### MATERIALES

CARCASA	A. C. 304
EMPAQUES	TEFLON
OTROS	

### OBSERVACIONES

EL EQUIPO REMOVERA ORGANICOS Y CLORO DE L AGUA DE ALIMENTACION AL SISTEMA DE DESMINERALIZACION

\* DATOS POR PROVEEDOR

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---

**UNAM**  
**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES**  
**CUAUTITLAN**

PROYECTO 99	
DESMINERALIZADOR	
ISEP AGUA	
REVISION 0	DIBUJO

**HOJA DE DATOS DE DESCARBONATADORA**

HOJA 1 DE 1      FECHA AGOSTO DEL 2001

PLANTA	DESMINERALIZACION	SERVICIO	DESCARBONATADOR DE LA LINEA DE ALIMENTACION A LA UNIDAD DE INTERCAMBIO IONICO PRIMER PASO.	
ELABORO:	M. AGUILAR	REVISO:	A. BAUTISTA	APROBO: A. BAUTISTA
TAG	DC-104	DESCRIPCION	PIEZA	CANTIDAD
SERVICIO	PARA REMOVER DIOXIDO DE CARBONO DE LA CORRIENTE DE ALIMENTACION A LA UNIDAD DE INTERCAMBIO ANIONICO PRIMER PASO.			
	CAPACIDAD NOMINAL 440 GPM A 80°F Y PH DE 1.5			
	ALCANCE: REMOVER EL 95% DEL CO2 EN LA CORRIENTE DE ALIMENTACION Y REDUCIR LA DUREZA HASTA 350 PPM.			

**CONSIDERACIONES DE EQUIPO**

- EL EQUIPO DEBE INCLUIR UNA TORRE EMPACADA CON CIRCULACION DE AIRE A CONTRACORRIENTE EN EL DOMO
- EN EL FONDO DEBERA CONSIDERAR UN TANQUE CON 5 MINUTOS DE TIEMPO DE RETENCION FABRICADO EN FRP
- EL MATERIAL DEL EMPAQUE DE LA TORRE DEBE GARANTIZAR OPERAR A PH DE 1.5
- LA TORRE DEBERA CONSIDERAR UNA MALLA EN LA PARTE INFERIOR CUYA FUNCION PRINCIPAL SEA LA DE SOPORTE MECANICO DEL EMPAQUE.
- LA TORRE DEBERA DE CONSIDERAR UN DISTRIBUIDOR DE FLUJO EN LA PARTE SUPERIOR
- DEBERA EXISTIR UN VENTILADOR CON MOTOR DE 440V/3F/60HZ PARA LA CIRCULACION DEL AIRE A CONTRACORRIENTE
- LAS CONEXIONES DE ALIMENTACION Y DESCARGA DEL AGUA DEBERAN DE SER DE 6" DE DIAMETRO
- EL TANQUE DE BALANCE DEBERA TENER UNA BRIDA PAD DE 2" PARA INSTALAR LA TOMA DE NIVEL
- EL TANQUE DEBERA CONTENER DREN Y CONEXION DE DERRAME

**OBSERVACIONES**

DEBERAN RECIBIRSE DIBUJOS PARA APROBACION Y COMENTARIOS DE PARTE DEL PROVEEDOR.

# UNAM

 PROY. No. 99

DESMINERALIZADOR

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

DESMINERALIZADOR

PLANTA TLALNEPANTLA

CUAUTITLAN

ISEP AGUA

## HOJA DE DATOS PARA BOMBA CENTRIFUGA

DIBUJO NO. 1

REV. 0

POR MAURICIO AGUILAR REVISO ING. A. BAUTISTA APROBO ING. A. BAUTISTA

FECHA 07-Ago-01 HOJA 1 DE 1

PLANTA : ARANCIA CORN PRODUCTS TLALNEPANTLA TAG B-106/108/125 CANTIDAD 3

LUGAR TLALNEPANTLA UNIDAD SERVICIOS

SERVICIO : ALIMENTACION A CARRUSEL DE INTERCAMBIO CATIONICO FABRICANTE DURCO MARK III

 UNIDAD MOTRIZ: MOTOR TURBINA  SE DEBE SEGUIR EL ESTANDAR ANSI

CONDICIONES DE OPERACION DE CADA BOMBA				FUNCIONAMIENTO		
LIQUIDO :	AGUA	U.S. GPM A.T.B. NOR. :	400	DISENO :	440	
		PRES. DESC. (PSIG)	93.7	CURVA PROPUESTA No.	*	
TEMP. BOMBEO :	25 °C	PRES. SUCC. (PSIG) MAX.	0.29	NPSH REQ.(AGUA) PIES	2.2	
DENS. REL. A.T.B. :	1	PRES. DIF (PSI)	93.4	No. DE PASOS	RPM	
PRES VAPOR A.T.B. :	0.36	COLUM. DIF. (PIES) :	216	ET. DIS	BHP	
VISC. A.T.B. :	1	CP. NPSH DISP. (PIES) :	DISPONIBLE	BHP, MAX. DIS. IMP.	*	
CORR U EROS CAUSADO POR	variación de pH				COLUM MAX. DIS. IMP.(PIES)	220
				GPM MIN CONTINUOS	*	

MATERIALES Y CONSTRUCCION					ROTACION VISTO DESDE COPL E	
MONTAJE CARCAZA L CENTROS PIE SOPORTE					AGUA DE ENFRIAMIENTO	
DIVISION AXIAL RADIAL					BALEROS	
TIPO VOLUTA SENCILLA (DOBLE VOLUTA ) (DIFUSOR )					ESTOPERO	
CONEX: VENTEO DRENAJE X MAN.					PEDESTAL	
					PRENSA ESTOPAS	
BOQUILLAS	DIAMETRO	CLASIF. ASA	CARA	POSICION		
SUCCION	4	150 #	T-318		AGUA TOTAL REQ.(GPM)	
DESCARGA	3	150 #	T-316		ENFTO. DEL EMPAQUE	
DIAM. IMPULSOR, DISENO MAX. TIPO					LUBRICACION	
NUM. DE FAB. DE BALEROS RADIAL AXIAL					PLAN DE LUBRICACION No. 11	
COPL E Y GUARDA FAB. FALK MITAD COPL E MOT. MONT. POR PROVEEDOR					TUBERIA AUXILIAR POR EL FAB.	
X SELLO MECANICO FAB. Y TIPO JOHN CRANE CODIGO CLASE : SENCILLO					AGUA ENFTO. TUBING TUBERIA	
PARA BOMBA VERT. EMPUJE FLECHA(HACIA ARRIBA)(HACIA ABAJO) X DI DUDI L.B.					LAVADO DEL SELLO TUBING TUBERIA	

CLAVE DE MATS: CARCAZA		PARTES INTERIORES		PRUEBAS DE TALL.		REQUERIDA	ATESTIGUADA
I FIERRO FUNDIDO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>					
B BRONCE				COMP. TRAB.		SI	
S ACERO				NPSH		SI	
C 11-13% CROMO				INSPECCION		SI	
A ALEACION							
H ENDURECIDO							
F RECUBRIMIENTO							
X AC INOX 316							

MOTOR POR		TURBINA POR		DATOS FINALES DEL FABRICANTE			
CLAVE	MONTADO POR : PROVEEDOR	CLAVE	MONTADO POR	DIAMETRO ACTUAL DEL IMP.			
HP *	RPM * ARMAZON *	HP	RPM MATL	CURVA DE PRUEBA No.			
FAB. :	US ALTA EFICIENCIA	FAB. Y TIPO		DIB DIMENSIONAL No.			
TIPO :	INDUCCION AISL	VAP. ENT.(PSIG)	TEMP(°F)	DIB SECC. BOMBA No.			
ENCAPSULADO	TCCV AUM. TEMP. °C	ESCAPE(PSIG)	AGUA REG.(GPM)	DIB SECC. SELLO No.			
VOLTS/FASES/CICLOS	440/3/60	CONS VAPOR	LE/BHP/HR	No. SERIE BOMBA			
BALEROS	LUB.	BALEROS	LUB.	TOLERANCIA ENTRE ANILLOS			
AMPS. A PLENA CARGA		BOQUILLAS	DIAM CLASIF. ASA CARA POSICION	EMBARCAR (SELLOS MEC. EMPAQUE			
		ENTRADA		INSTALADOS SEPARADOS			
		ESCAPE					

OBSERVACIONES \* ESPECIFICACIONES POR PROVEEDOR

<b>U N A M</b>						PROY. No.	
DESMINERALIZADOR				FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES			
PLANTA TLALNEPANTLA				CUAUTITLAN			
HOJA DE DATOS PARA BOMBA CENTRIFUGA						DIBUJO NO. 1	
						REV. 0	
POR MAURICIO AGUILAR				REVISO ING A. BAUTISTA		APROBO ING A. BAUTISTA	
						FECHA 07-Ago-01	
PLANTA : ARANCIA CORN PRODUCTS TLANEPANTLA				TAG BR-114		CANTIDAD 1	
LUGAR TLALNEPANTLA				UNIDAD SERVICIOS			
SERVICIO : BOMBA DE DOSIFICACION DE HCI				FABRICANTE GOULDS			
UNIDAD MOTRIZ: MOTOR				TAMAÑO Y TIPO *			
TURBINA <input checked="" type="checkbox"/>				SE DEBE SEGUIR EL ESTANDAR ANSI			
CONDICIONES DE OPERACION DE CADA BOMBA						FUNCIONAMIENTO	
LIQUIDO : HCI 33%		U.S. GPM A.T.B. NOR. : 2.2		DISEÑO : 2		CURVA PROPUESTA No. -	
		PRES. DESC. (PSIG) 40.4				NPSH REG.(AGUA) PIES 25.6	
TEMP. BOMBEO : 25 °C		PRES. SUCC. (PSIG) MAX. 0		DISEÑO		No. DE PASOS --- RPM -	
DENS. REL. A.T.B. : 1.15		PRES. DIF (PSI) 40.4				ET. DIS --- BHP -	
PRES VAPOR A.T.B. : 0.26		COLUM. DIF. (PIES) : 80.8				BHP. MAX. DIS. IMP. -	
VISC. A.T.B. : 15 CP		NPSH DISP. (PIES) : 32				COLUM MAX. DIS. IMP.(PIES) 100	
CORR / EROS CAUSADO POR pH bajo						GPM MIN CONTINUOS *	
MATERIALES Y CONSTRUCCION							
MONTAJE CARCAZA L. CENTROS PIE SOPORTE				AGUA DE ENFRIAMIENTO			
DIVISION AXIAL RADIAL				BALEROS			
TIPO VOLUTA SENCILLA (DOBLE VOLUTA ) (DIFUSOR )				ESTOPERO			
CONEX: VENTED DRENAJE X MAN.				PEDESTAL			
				PRENSA ESTOPAS			
BOQUILLAS		DIAMETRO		CLASIF. ASA		CARA	
SUCCION		150 #		NM		POSICION	
DESCARGA		150 #		NM			
DIAM. IMPULSOR. DISEÑO * MAX. * TIPO				LUBRICACION			
NUM. DE FAB. DE BALEROS RADIAL AXIAL				PLAN DE LUBRICACION No. 11			
COPL E Y GUARDA FAB. FALK MITAD COPL E MOT. MONT. POR PROVEEDOR				TUBERIA AUXILIAR POR EL FAB.			
X SELLO MECANICO FAB. Y TIPO * CODIGO CLASE : *				AGUA ENFTO. <input type="checkbox"/> TUBING <input type="checkbox"/> TUBER			
PARA BOMBA VERT. EMPUJE FLECHA(HACIA ARRIBA)(HACIA ABAJO) X D1/D2				LAVADO DEL SELLO <input type="checkbox"/> TUBING <input type="checkbox"/> TUBER			
BASE ANSI							
CLAVE DE MATS: CARCAZA		PARTES INTERIORES				PRUEBAS DE TALL.	
I FIERRO FUNDIDO		CLAVE INTERIORES		I B S C X		REQUERIDA	
B BRONCE		IMPULSOR		I B S C X		ATESTIGUA	
S ACERO		PARTES INT. CUERPO		I I S C X		COMP. TRAB. SI	
C 11-13% CROMO		MANGA(EMPAQUE)		CH CH AF AF X		NPSH SI	
A ALEACION		MANGA (SELLO)		C C C C X		INSPECCION SI	
H ENDURECIDO		PAR. DE DESGASTE		I B CH CH X			
F RECUBRIMIENTO		FLECHA		S S S S X		PESOS BOMBA * BASE *	
X AC INOX 316						MOTOR * TURBINA *	
						HIDROSTATICA * PSIG *	
						MAX PRES DE TRAB PERMIS PSIG	
MOTOR POR		TURBINA POR				DATOS FINALES DEL FABRICANTE	
CLAVE MONTADO POR : PROVEEDOR		CLAVE MONTADO POR		HP RPM MATL		DIAMETRO ACTUAL DEL IMP.	
HP * RPM * ARMAZON *		HP RPM MATL				CURVA DE PRUEBA No.	
FAB. : US ALTA EFICIENCIA		FAB. Y TIPO		TEMP.(°F)		DIB DIMENSIONAL No.	
TIPO : INDUCCION AISL		VAP. ENT (PSIG)		ESCAPE(PSIG)		DIB SECC. BOMBA No.	
ENCAPSULADO TCCV AUM. TEMP. °C		ESCAPE(PSIG)		AGUA REG.(GPM)		DIB SECC. SELLO No.	
VOLTS/FASES/CICLOS 440/3/60		CONS VAPOR		LE/BHP/HR		No. SERIE BOMBA	
BALEROS LUB.		BALEROS LUB.				TOLERANCIA ENTRE ANILLOS	
AMPS. A PLENA CARGA		BOQUILLAS DIAI CLASIF. AS/ CARA POSICION		ENTRADA ESCAPE		EMBARCAR (SELLOS MEC. EMPAQUE	
						INSTALADOS SEPARADOS	
OBSERVACIONES * ESPECIFICACIONES POR PROVEEDOR							

#### **IV) TABLAS Y GRAFICAS DE OPERACIÓN**

Flujo = 300 gpm.

Velocidad de rotación del cation 265 minutos por revolución, velocidad de rotación del anion 175 minutos por revolución.

Dosificación de químicos igual a la inicial hasta antes de programa de optimización.

No. Muestra	Conductividad	PPM SiO2
1	8.4	0.1
2	7.9	0.1
3	18.8	0.15
4	11.6	0.1
5	11.1	0.1
6	11.9	0.1
7	16.9	0.1
8	13.8	0.15
9	16.2	0.1
10	18.9	0.1
11	11.6	0.1
12	6.8	0.1
13	10.8	0.1
14	12.3	0.15
15	16.8	0.15

Promedio 12.92 0.113333  
Desviación estand 3.859719 0.022887

Flujo = 300 gpm.

Velocidad de rotación del cation 284 minutos por revolución, velocidad de rotación del anion 185 minutos por revolución.

Dosificación de químicos igual a la inicial hasta antes de programa de optimización.

No. Muestra	Conductividad	PPM SiO2
1	3.4	0.15
2	9.07	0.1
3	5.6	0.1
4	9.4	0.15
5	4.2	0.15
6	8	0.15
7	7.3	0.1
8	7.6	0.1
9	13.2	0.15
10	14.4	0.15
11	14.5	0.1
12	14.8	0.1
13	9.06	0.1
14	9	0.1
15	8.8	0.1
16	8.1	0.1
17	10.8	0.1
18	9.4	0.15
19	8.05	0.15
20	8.6	0.2
21	9.4	0.1
22	9.4	0.1
23	9.4	0.1
24	14.1	0.1

Promedio 9.399167 0.120833  
Desviación estand 3.026312 0.028868

Flujo = 300 gpm.

Velocidad de rotacion del cañon 313 minutos por revolución, velocidad de rotacion del anion 204 minutos por revolución.

Dosificación de químicos igual a la inicial hasta antes de programa de optimización.

No. Muestra	Conductividad	PPM SiO2
1	7.8	0.2
2	12.6	0.15
3	11.2	0.1
4	9.2	0.1
5	7.4	0.1
6	8.4	0.1
7	9.2	0.1
8	8.7	0.15
9	12	0.1
10	9	0.05
11	9.2	0.1
12	7.9	0.1
13	7.6	0.1
14	7.2	0.1
15	11.2	0.15
16	8	0.1
17	10.2	0.15
18	11.4	0.15
19	7.5	0.15
20	10.02	0.15
21	9.3	0.1
22	8.8	0.1
23	8.6	0.05
24	9.2	0.1

Promedio 9.234167 0.114583  
Desviación estand 1.519788 0.034513

Flujo = 300 gpm.

Velocidad de rotacion del cañon 343 minutos por revolución, velocidad de rotacion del anion 224 minutos por revolución.

Dosificación de químicos igual a la inicial hasta antes de programa de optimización.

No. Muestra	Conductividad	PPM SiO2
1	7.4	0.1
2	6	0.05
3	5.4	0.1
4	7.1	0.1
5	9.5	0.1
6	3.5	0.1
7	4.9	0.1
8	5.9	0
9	7.3	0.1
10	9.3	0.1
11	8	0.1
12	7.3	0.15
13	7.3	0.15
14	6.5	0.1
15	6.7	0.1
16	6.7	0.1
17	3.4	0.15
18	9.07	0.1
19	7.3	0.15
20	6.5	0.1
21	6.7	0.1

Promedio 6.750952 0.102381  
Desviación estand 1.600193 0.033452

Flujo = 200 gpm.

Velocidad de rotación del cation 284 minutos por revolución, velocidad de rotación del anion 185 minutos por revolución.

Dosificación de químicos igual a la inicial hasta antes de programa de optimización.

No. De muestra	Conductividad	SiO2 ppm
1	21.8	0.1
2	18.1	0.1
3	19	0.1
4	17.7	0.1
5	18.4	0.1
6	17.8	0.1
7	12.3	0.1
8	20	0.1
9	16.3	0.1
10	20.1	0.1
11	19.1	0.1
12	25.1	0.1
13	22	0.1
14	20.4	0.1
15	24.9	0.1
16	19.5	0.1
17	19.5	0.1
Promedio	19.52941	0.1
Desviación estand	3.013048	0

Flujo = 200 gpm.

Velocidad de rotación del cation 313 minutos por revolución, velocidad de rotación del anion 204 minutos por revolución.

Dosificación de químicos igual a la inicial hasta antes de programa de optimización.

No. De muestra	Conductividad	SiO2 ppm
1	16.3	0.1
2	17.5	0.15
3	11.9	0.1
4	18.9	0.1
5	18.5	0.1
6	18.3	0.1
7	20	0.1
8	17.5	0.15
9	16.5	0.1
10	18.7	0.1
11	16.6	0.1
12	20.2	0.1
13	12.9	0.1
14	19.8	0.1
15	19.3	0.1
16	17.5	0.1
17	17.5	0.1
Promedio	17.52353	0.105882
Desviación estand	2.275832	0.016605

Flujo = 400 gpm.

Velocidad de rotación del cation 230 minutos por revolución, velocidad de rotación del anion 150 minutos por revolución.

Dosificación de químicos igual a la inicial hasta antes de programa de optimización.

No. Muestra	Conductividad	PPM SiO <sub>2</sub>
1	9	0.1
2	9.6	0.1
3	15.4	0.1
4	9.3	0.1
5	9.9	0.1
6	11	0.1
7	10.06	0.1
8	10.13	0.1
9	10.13	0.1
10	8.3	0.1
11	9.4	0.1
12	11.2	0.1
13	10.4	0.1
14	8.6	0.05
15	11.5	0.1
16	9.18	0.1
17	12.8	0.15
18	15.5	0.1
19	16.8	0.1
20	17.1	0.1
21	10.6	0.1
22	10.5	0.15

Promedio 11.2 0.102273

Desviación estand 2.690227 0.018755

Flujo = 400 gpm.

Velocidad de rotacion del cation 265 minutos por revolución, velocidad de rotacion del anion 175 minutos por revolución.

Dosificación de químicos igual a la inicial hasta antes de programa de optimización.

No. Muestra	Conductividad	PPM SiO <sub>2</sub>
1	11.9	0.12
2	8.5	0.12
3	10.01	0.12
4	7.5	0.12
5	6.2	0.12
6	7.8	0.12
7	4.9	0.12
8	5.4	0.12
9	5.2	0.12
10	9.8	0.12
11	5.7	0.12
12	7.6	0.12
13	5.3	0.12
14	9.2	0.12
15	8.2	0.12
16	6.1	0.12
17	7.9	0.12
18	5.5	0.12
19	5.4	0.12
20	19.8	0.2
21	10.9	0.15
22	9.2	0.15
23	8.2	0.2
24	8.7	0.2
25	14.1	0.05
26	14.2	0.12
27	11.6	0.05
28	13.6	0.05
29	7.6	0.1
30	9.16	0.1
31	6.9	0.15
Promedio	8.776452	0.126667
Desviación estand	3.341389	0.057892

Flujo = 200 gpm.

Velocidad de rotación del cation 284 minutos por revolución, velocidad de rotación del anion 185 minutos por revolución.

Dosificación de químicos 10% debajo de la dosificación inicial

No. De muestra	Conductividad	SiO <sub>2</sub> ppm
1	18.8	0.1
2	18.6	0.2
3	19.7	0.1
4	19.5	0.1
5	14.6	0.1
6	15.2	0.1
7	19.2	0.1
8	17.5	0.1
9	24.7	0.1
10	18	0.1
11	16.7	0.1
12	15.7	0.1
13	17.8	0.1
14	20.6	0.15
15	18.1	0.15
16	22.1	0.1
17	16	0.1
18	16	0.1
19	19.1	0.15
20	18.2	0.1
21	15.2	0.1

Promedio 18.15714 0.111905

Desviación estand 5.433705 0.026948

Flujo = 240 gpm.

Velocidad de rotación del cation 284 minutos por revolución, velocidad de rotación del anion 185 minutos por revolución.

Dosificación de químicos 10% debajo de la dosificación inicial

No. De muestra	Conductividad	SiO <sub>2</sub> ppm
1	15.5	0.2
2	11.9	0.1
3	13.2	0.1
4	19.8	0.1
5	15	0.1
6	12.8	0.1
7	12.1	0.15
8	11	0.15
9	17.2	0.1
10	12.1	0.1
11	14.9	0.1
12	14.4	0.1
13	19.2	0.15
14	13.2	0.15
15	13.2	0.15
16	13.2	0.1
17	15.5	0.1
18	11.1	0.05
19	13.7	0.1
20	12.43	0.1
21	11.5	0.1
22	6.9	0.1
23	10.1	0.1
24	7.7	0.2

Promedio 13.23458 0.116667

Desviación estand 3.025142 0.035098

Flujo = 280 gpm.

Velocidad de rotación del catión 284 minutos por revolución, velocidad de rotación del anión 185 minutos por revolución.

Dosificación de químicos 10% debajo de la dosificación inicial

No. De muestra	Conductividad	SiO <sub>2</sub> ppm
1	9.6	0.15
2	10.9	0.15
3	11.4	0.1
4	10.8	0.1
5	13.6	0.1
6	12.16	0.1
7	11.3	0.1
8	9.8	0.1
9	17.8	0.1
10	14.7	0.1
Promedio	12.206	0.11
Desviación estand	2.52083	0.021082

Flujo = 320 gpm.

Velocidad de rotación del catión 284 minutos por revolución, velocidad de rotación del anión 185 minutos por revolución.

Dosificación de químicos 10% debajo de la dosificación inicial

No. De muestra	Conductividad	SiO <sub>2</sub> ppm
1	12.5	0.1
2	11.94	0.1
3	5.4	0.1
4	10.8	0.1
5	11.6	0.2
6	15.6	0.1
7	13.4	0.1
8	14.1	0.1
9	14.9	0.1
10	11.9	0.1
11	12.7	0.1
12	15.6	0.11
13	9.3	0
14	10.9	0.1
15	11.7	0.1
Promedio	12.156	0.100667
Desviación estand	2.602726	0.037885

Flujo = 230 gpm.

Velocidad de rotación del cañon 284 minutos por revolución, velocidad de rotación del anion 185 minutos por revolución.

Dosificación de químicos 15% debajo de la dosificación inicial

No. De muestra	Conductividad	SiO <sub>2</sub> ppm
1	19.9	0.11
2	26.5	0.1
3	20.4	0.1
4	32.5	0.15
5	27.2	0.1
6	30.7	0.1
7	16.2	0.1
8	14.2	0.1
9	14.02	0.1
10	15	0.1
11	13.9	0.1
12	12.9	0.1
13	12	0.1
14	11.8	0.15
15	14.8	0.1
16	13	0.1
17	14.8	0.1
18	16.1	0.1
19	15.7	0.1
20	11.3	0.1
21	9.6	0.1
22	16	0.1
23	17.9	0.1
24	20	0.1
25	17.3	0.1
26	18.2	0.1
27	29	0.1
28	30	0.1
29	18.2	0.1
Promedio	18.24552	0.103793
Desviación estand	6.378654	0.012932

Flujo = 240 gpm.

Velocidad de rotación del catión 284 minutos por revolución, velocidad de rotación del anión 185 minutos por revolución.

Dosificación de químicos 15% debajo de la dosificación inicial

No. De muestra	Conductividad	SiO2 ppm
1	16.3	0.1
2	13.1	0.1
3	12.8	0.1
4	13.7	0.1
5	14.3	0.1
6	12.1	0.1
7	12.8	0.1
8	16.5	0.1
9	20.1	0.1
10	16.7	0.1
11	16.9	0.1
12	13	0.1
13	12.8	0.1
14	16.7	0.1
15	19	0.1
16	14.2	0.1
17	8.6	0.15
18	10.2	0.15
19	13.2	0.1
20	15.2	0.1
21	13.1	0.1
22	12.6	0.1
23	16.5	0.1
24	11.3	0.1
25	16.4	0.1
26	14.2	0.1
27	13.7	0.1
28	13	0.1
29	16.2	0.1
30	11.5	0.1
31	19.5	0.1
32	20.4	0.1
33	10.9	0.1
34	11.4	0.1
35	10.2	0.1

Promedio 14.26 0.102857

Desviación estand 2.901947 0.011775

Flujo = 260 gpm.

Velocidad de rotación del catión 343 minutos por revolución, velocidad de rotación del anión 224 minutos por revolución.

Dosificación de químicos 15% debajo de la dosificación inicial

No. De muestra	Conductividad	SiO2 ppm
1	12.1	0.1
2	14.4	0.15
3	16.3	0.15
4	14.4	0.1
5	12	0.1
6	12.03	0.1
7	11.93	0.1
8	13.3	0.11

Promedio 13.3075 0.11375

Desviación estand 1.605319 0.022638

Flujo= 220 gpm.

Velocidad de rotación del cation 284 minutos por revolución, velocidad de rotación del anion 185 minutos por revolución.

Dosificación de químicos 20% debajo de la dosificación inicial

No. De muestra Conductividad SiO2 ppm

No. De muestra	Conductividad	SiO2 ppm
1	31	0.1
2	37.5	0.1
3	30	0.1
4	20.5	0
5	22.4	0
6	21.8	0.1
7	25.9	0.15
8	25.9	0.1
9	20.4	0.1
10	23.5	0.1
11	17.5	0.1
12	18	0.1
13	31	0.1
14	37.5	0.1

Promedio 25.92143 0.089286

Desviación estand 6.108364 0.036893

Flujo= 230 gpm.

Velocidad de rotación del cation 284 minutos por revolución, velocidad de rotación del anion 185 minutos por revolución.

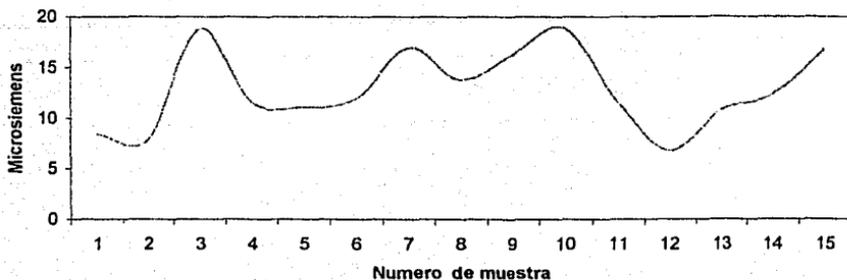
Dosificación de químicos 20% debajo de la dosificación inicial

No. De muestra	Conductividad	SiO2 ppm
1	22.38	0.1
2	22.38	0.1
3	27.1	0.15
4	25	0.1
5	22.7	0.1
6	15.3	0.1
7	15.6	0.1
8	20	0.1
9	15.9	0.1
10	29.5	0.1
11	28.2	0.1
12	15.7	0.1
13	23.1	0.1
14	16.1	0.1
15	30.4	0.1
16	26.3	0.1
17	27.6	0.1
18	16.7	0.1
19	25.4	0.1

Promedio 22.38737 0.102632

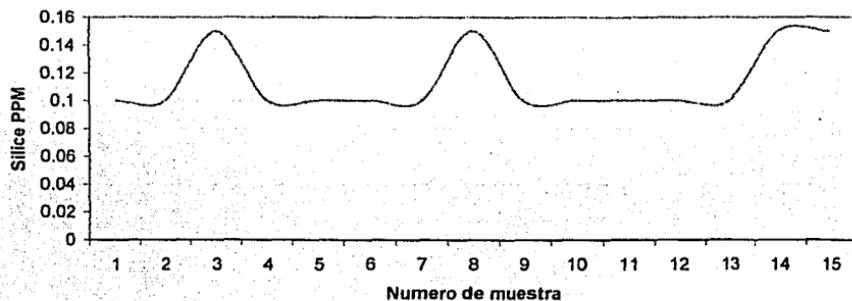
Desviación estand 5.219929 0.011471

Grafico 1 Conductividad (Ms)



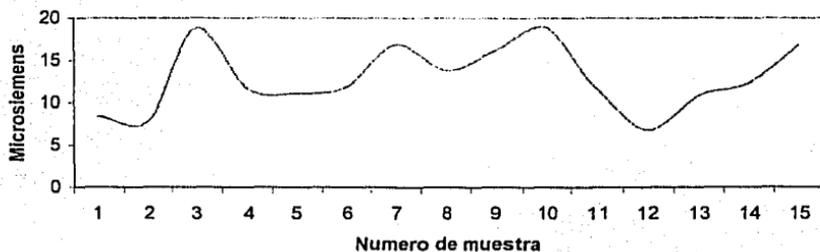
— Flujo = 300 gpm., dosificación de quimicos constante, velocidad del cation 265 minutos x revolución, velocidad del anión 175 minutos x revolución

Grafico 2 Silice ppm.



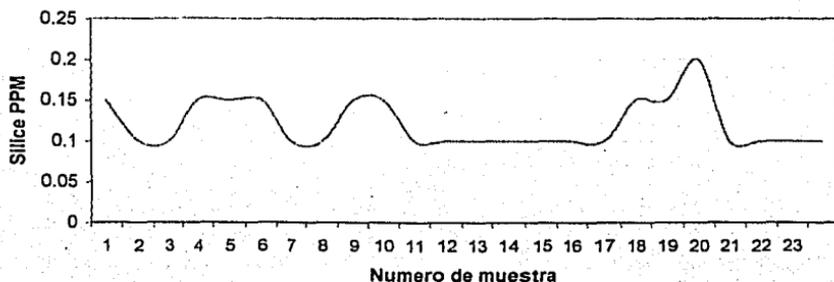
— Flujo = 300 gpm., dosificación de quimicos constante, velocidad del cation 265 minutos x revolución, velocidad del anión 175 minutos x revolución.

Grafico 3 (Ms)



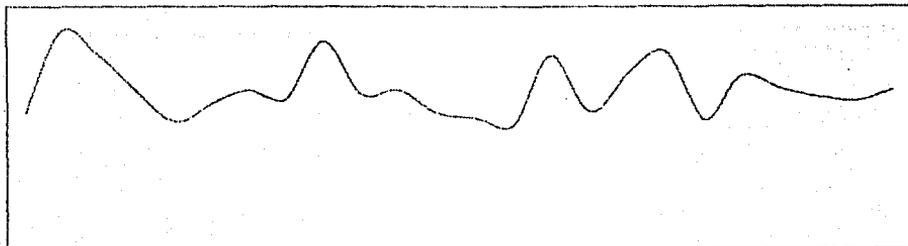
— Flujo=300 gpm., dosificación de quimicos constante, velocidad del cation 284 minutos x revolución, velocidad del anión 185 minutos x revolución.

Grafico 4 Silíce ppm.



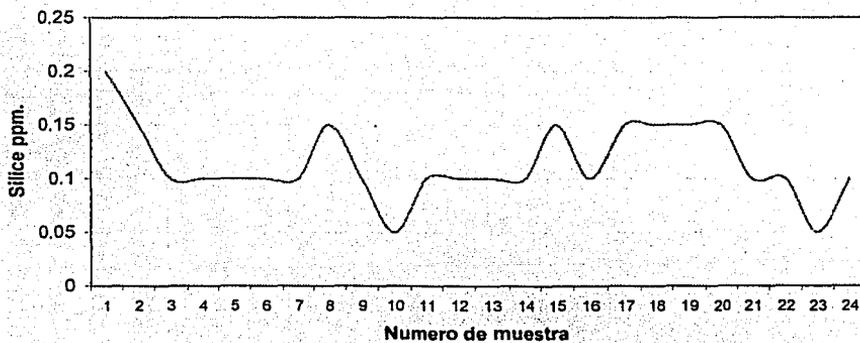
— Flujo = 300 gpm., dosificación de quimicos constante, velocidad del cation 284 minutos x revolución, velocidad del anión 185 minutos x revolución.

**Grafico 5 Conductividad (Ms)**



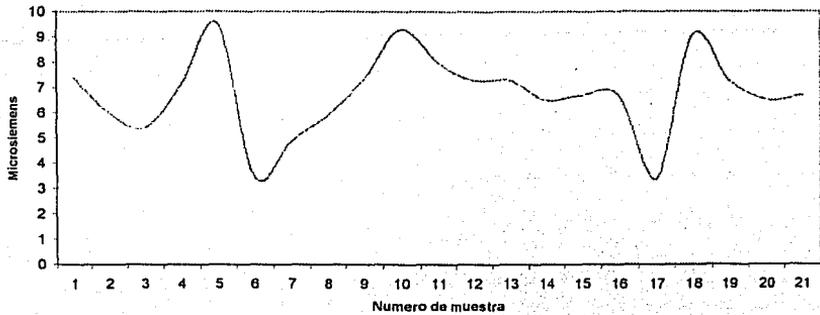
— Flujo= 300 gpm., dosificación de quimicos constante, velocidad del cation 313 minutos x revolución, velocidad del anión 204 minutos x revolución.

**Grafico 6 Silice ppm**



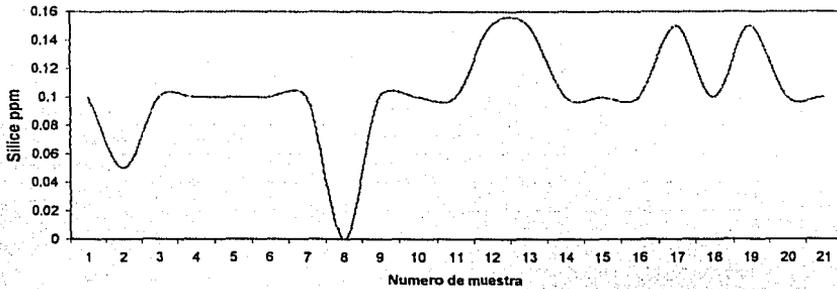
— Flujo = 300 gpm., dosificación de quimicos la inicial, velocidad del cation 313 minutos x revolución, velocidad del anión 204 minutos x revolución.

Grafico 7 Conductividad (Ms)



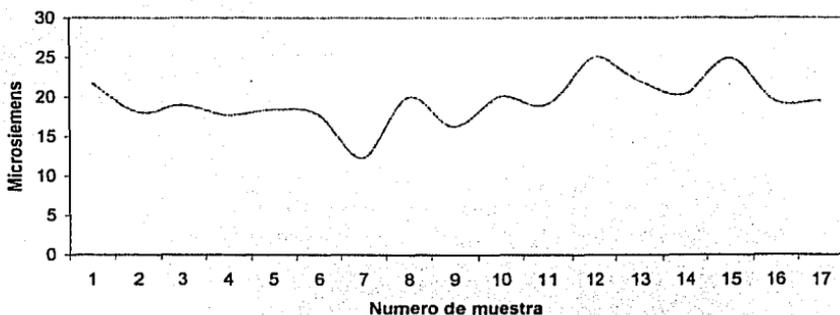
— Flujo = 300 gpm., dosificación de quimicos constante, velocidad del cation 343 minutos x revolución, velocidad del anión 224 minutos x revolución.

Grafico 8 Silice ppm



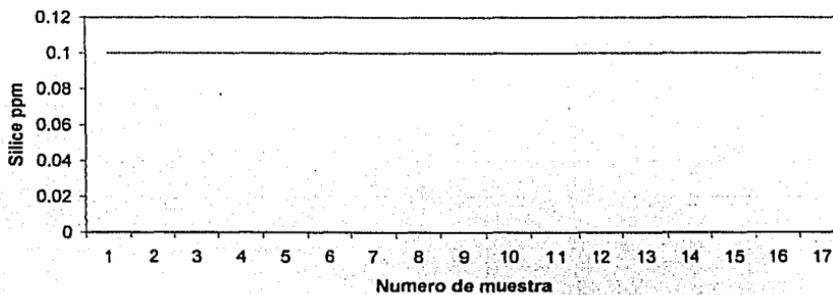
— Flujo = 300 gpm., dosificación de quimicos constante, velocidad del cation 343 minutos x revolución, velocidad del anión 224 minutos x revolución.

Grafico 9 Conductividad (Ms)



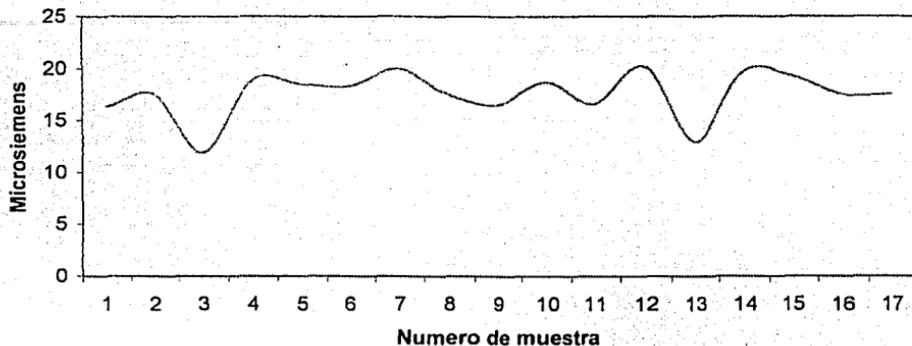
— Flujo = 200 gpm, dosificación constante, velocidad del cation 284 minutos x revolución, velocidad del anión 185 minutos x revolución.

Grafico 10 Silice ppm



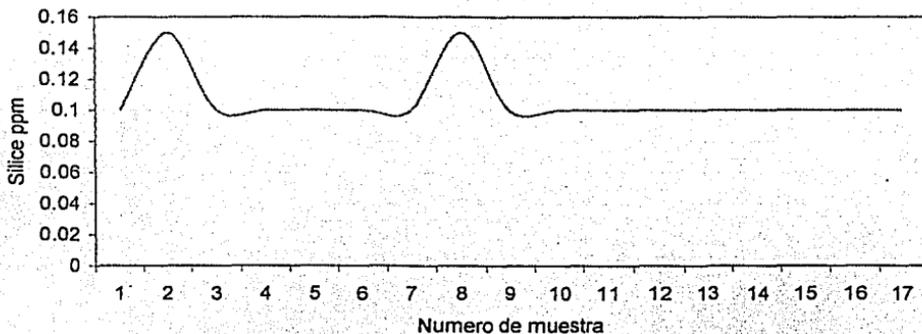
— Flujo = 200 gpm., dosificación constante, velocidad del cation 284 minutos x revolución, velocidad del anión 185 minutos x revolución.

**Grafico 11 Conductividad (Ms)**



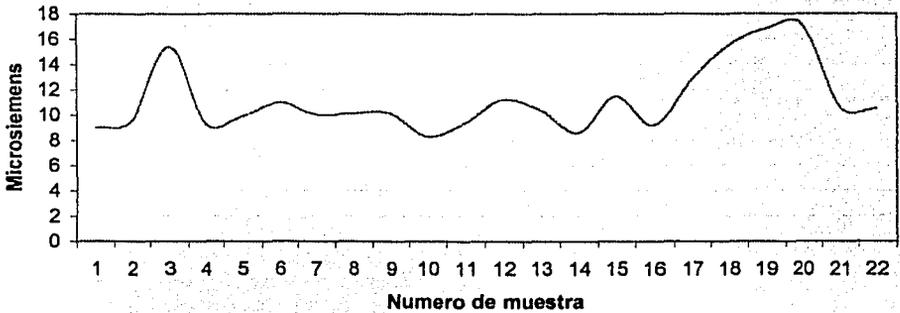
Flujo = 200 gpm., dosificación constante, velocidad del cation 313 minutos x revolución, velocidad del anión 204 minutos x revolución.

**Grafico 12 Silice ppm**



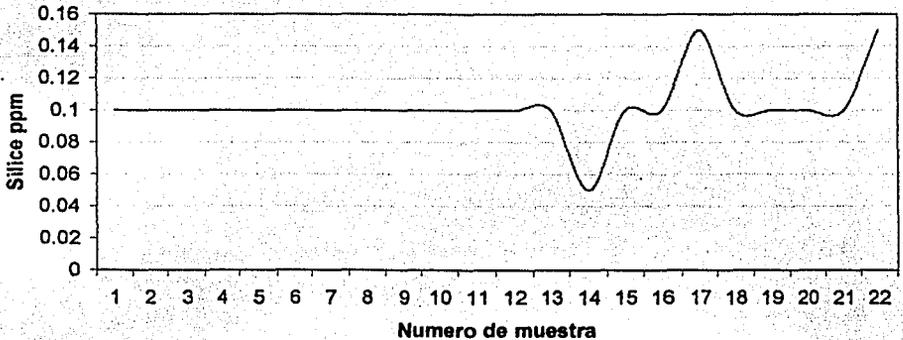
Flujo = 300 gpm., dosificación de quimicos constante, velocidad del cation 313 minutos x revolución, velocidad del anión 204 minutos x revolución.

**Grafico 13 Conductividad (Ms)**



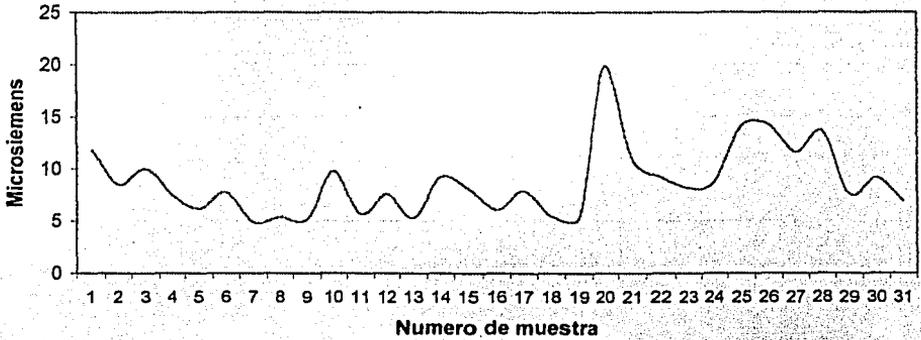
— Flujo = 400 gpm., dosificación de químicos constante, velocidad del cation 230 minutos x revolución, velocidad del anión 150 minutos x revolución.

**Grafico 14 Silice ppm**



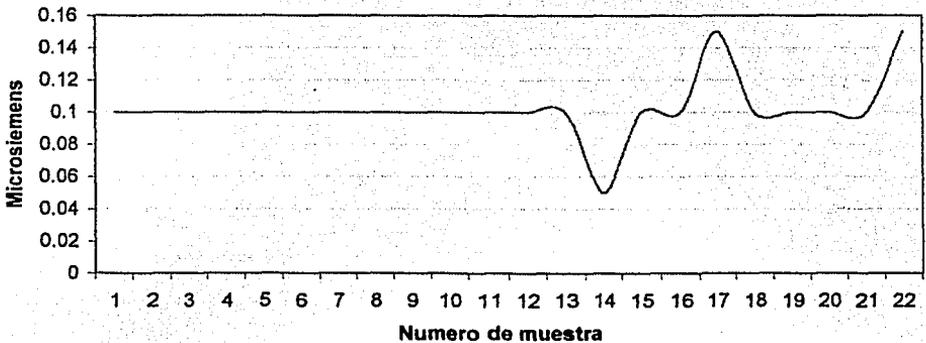
— Flujo = 400 gpm., dosificación de químicos constante, velocidad del cation 230 minutos x revolución, velocidad del anión 150 minutos x revolución.

**Grafico 15 Conductividad (Ms)**



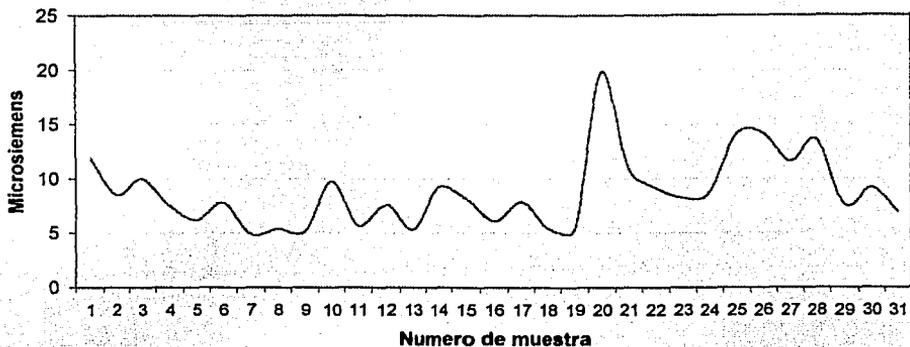
— Flujo = 400 gpm., dosificación de químicos constante, velocidad del catión 265 minutos x revolución, velocidad del anión 175 minutos x revolución.

**Grafico 16 Silice ppm**



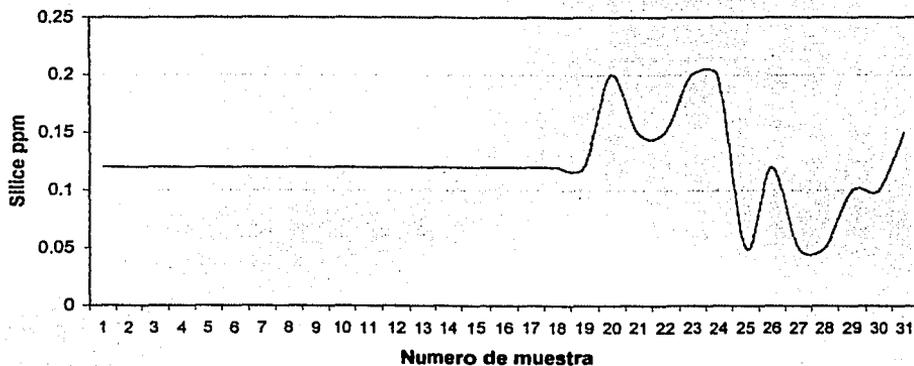
— Flujo = 400 gpm., dosificación de químicos la inicial, velocidad del catión 230 minutos x revolución, velocidad del anión 150 minutos x revolución.

**Grafico 17 Conductividad (Ms)**



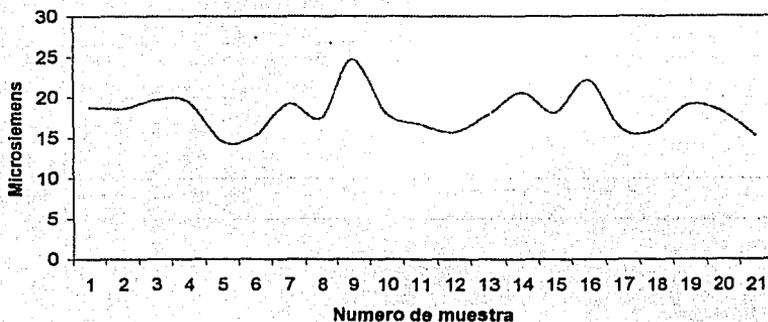
— Flujo = 400 gpm., dosificación de químicos constante, velocidad del cation 265 minutos x revolución, velocidad del anión 175 minutos x revolución.

**Grafico 18 Silice ppm**



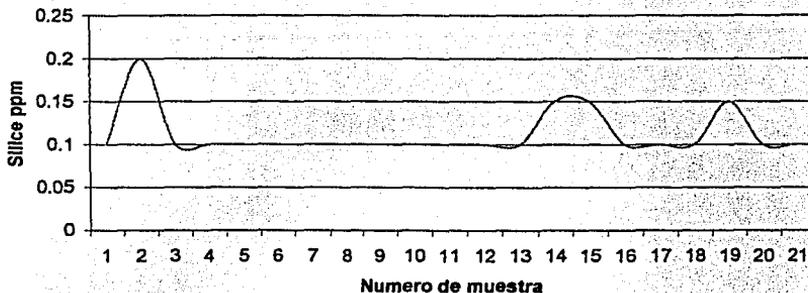
— Flujo = 400 gpm., dosificación constante, velocidad del cation 265 minutos x revolución, velocidad del anión 175 minutos x revolución.

**Grafico 19 Conductividad (Ms)**



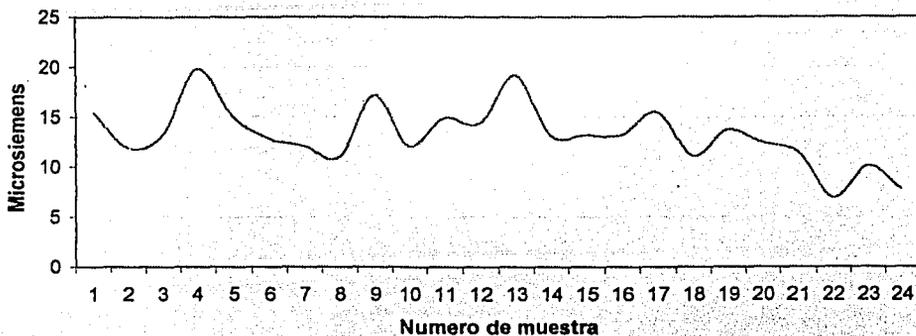
— Flujo = 200 gpm., dosificación de químicos 10% debajo de la dosificación constante, velocidad del catión 284 minutos x revolución, velocidad del anión 185 minutos x revolución.

**Grafico 20 Silice ppm**



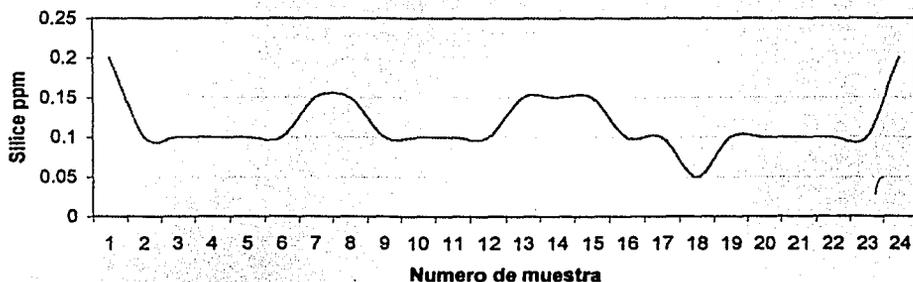
— Flujo = 200 gpm., dosificación de químicos 10% debajo de la dosificación constante, velocidad del catión 284 minutos x revolución, velocidad del anión 175 minutos x revolución.

**Grafico 21 Conductividad (Ms)**



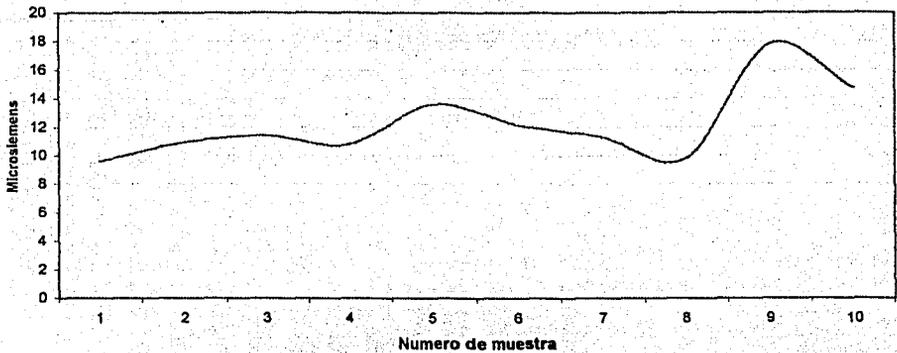
— Flujo = 240 gpm., dosificación de químicos 10% debajo de la dosificación constante, velocidad del catión 284 minutos x revolución, velocidad del anión 185 minutos x revolución.

**Grafico 22 Silice ppm**



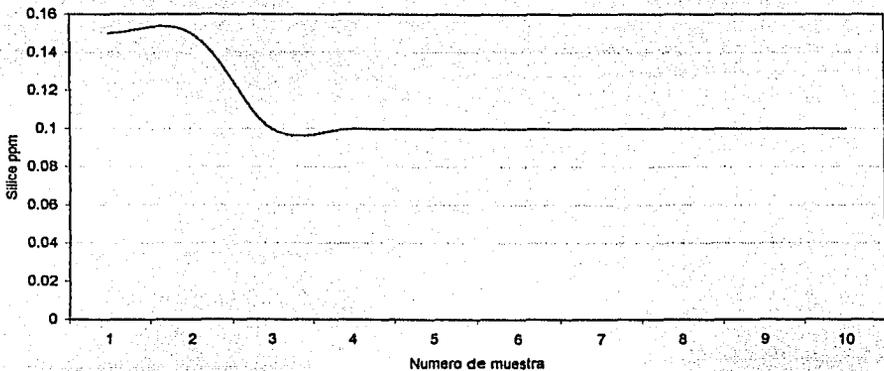
— Flujo = 240 gpm., dosificación de químicos 10% debajo de la dosificación constante, velocidad del catión 284 minutos x revolución, velocidad del anión 185 minutos x revolución.

Gráfico 23 Conductividad (Ms)



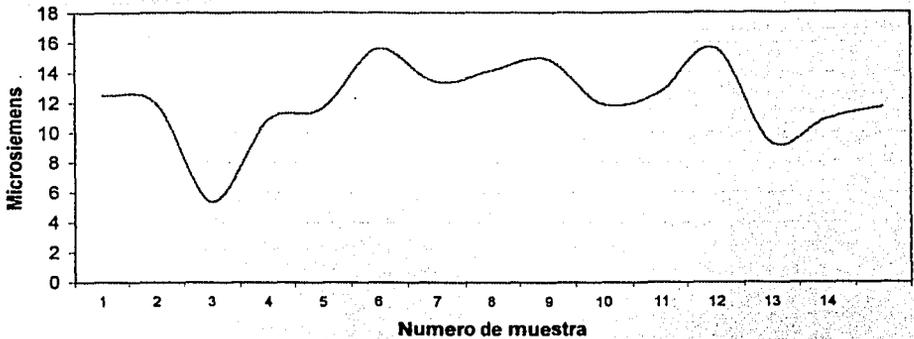
— Flujo = 280 gpm., dosificación de químicos 10% debajo de la dosificación constante, velocidad del cation 284 minutos x revolución, velocidad del anión 185 minutos x revolución.

Gráfico 24 Silice ppm



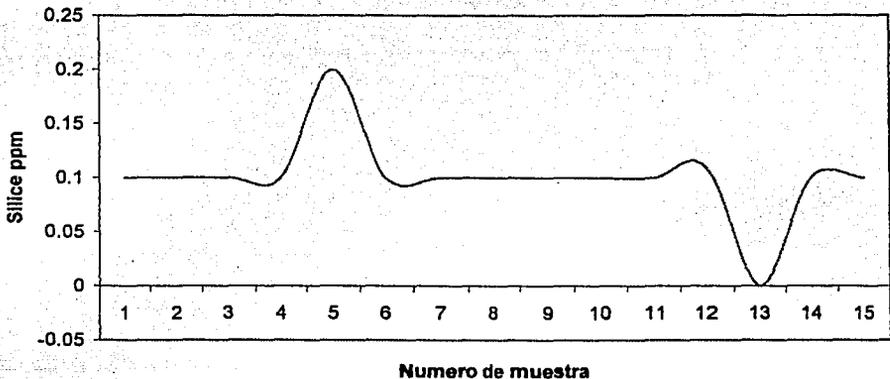
— Flujo = 280 gpm., dosificación de químicos 10% debajo de la dosificación constante, velocidad del cation 284 minutos x revolución, velocidad del anión 185 minutos x revolución.

**Grafico 25 Conductividad (Ma)**



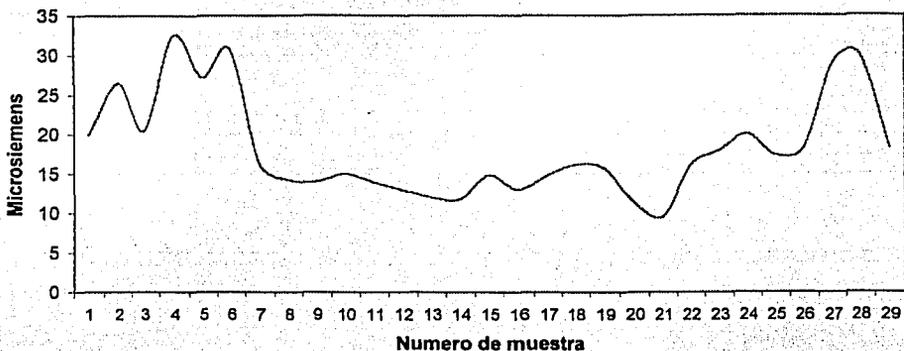
— Flujo = 320 gpm., dosificación de quimicos 10% debajo de la dosificación constante, velocidad del cation 284 minutos x revolución, velocidad del anión 185 minutos x revolución.

**Grafico 26 Silice ppm**



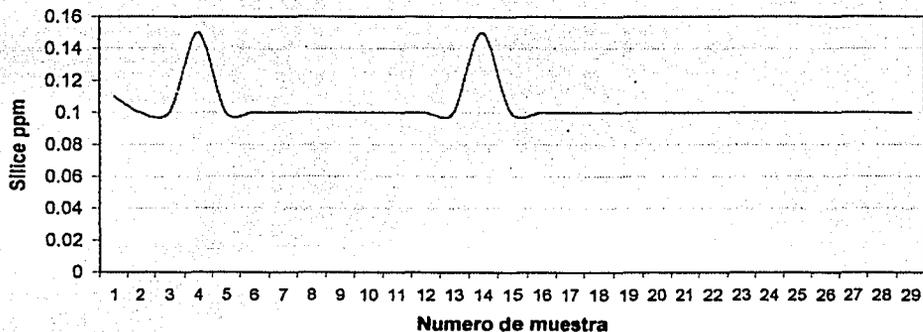
— Flujo = 320 gpm., dosificación de quimicos 10% debajo de la dosificación constante, velocidad del cation 284 minutos x revolución, velocidad del anión 185 minutos x revolución.

**Grafico 27 conductividad (Ms)**



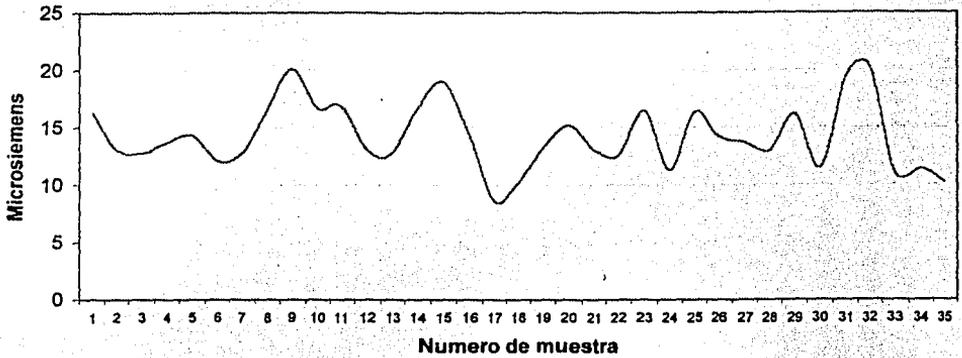
— Flujo = 230 gpm., dosificación de químicos 15% debajo de la dosificación constante, velocidad del cation 284 minutos x revolución, velocidad del anión 185 minutos x revolución.

**Grafico 28 Silice ppm**



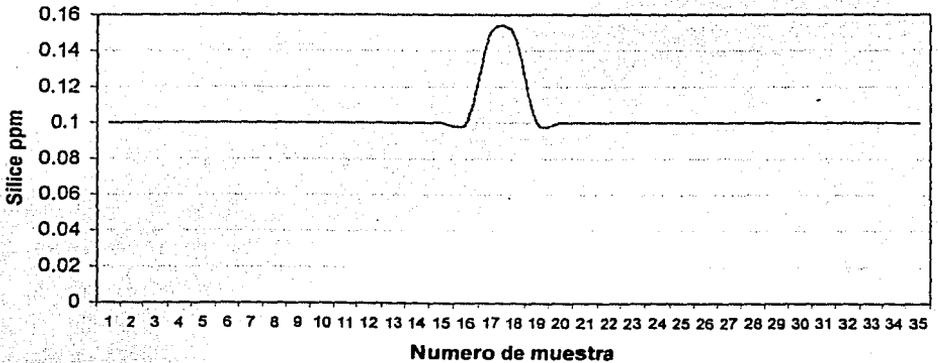
— Flujo = 230 gpm., dosificación de químicos 15% debajo de la constante, velocidad del cation 284 minutos x revolución, velocidad del anión 185 minutos x revolución.

**Grafico 29 Conductividad (Ms)**



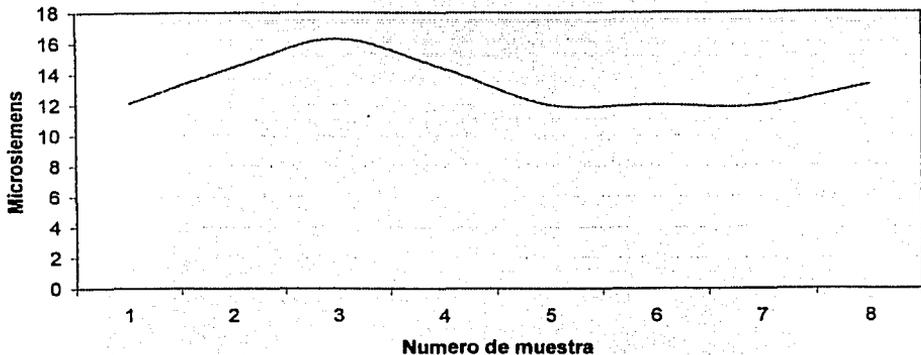
— Flujo = 240 gpm., dosificación de químicos 15% debajo de la dosificación constante, velocidad del cation 284 minutos x revolución, velocidad del anión 185 minutos x revolución.

**Grafico 30 Silice ppm**



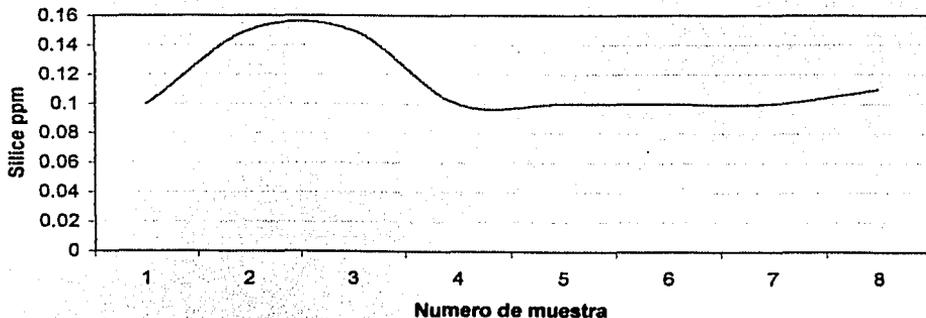
— Flujo = 240 gpm., dosificación de químicos 15% debajo de la dosificación constante, velocidad del cation 284 minutos x revolución, velocidad del anión 185 minutos x revolución.

Grafico 31 Conductividad (Ms)



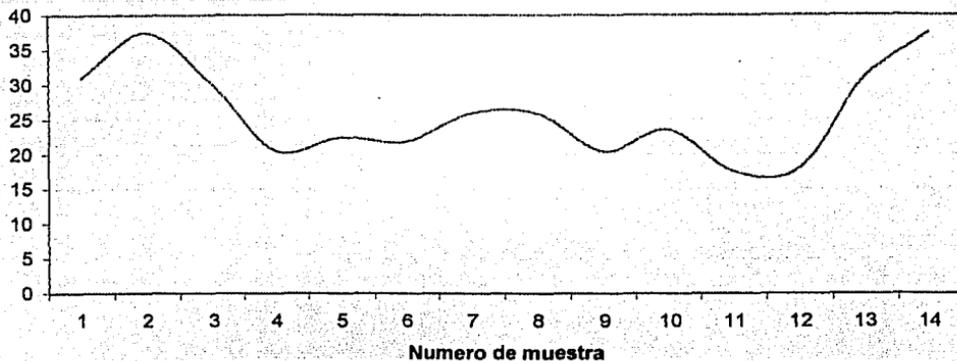
— Flujo = 260 gpm., dosificación de químicos 15% debajo de la dosificación constante, velocidad del cation 343 minutos x revolución, velocidad de rotación del anión 224 minutos x revolución.

Grafico 32 Silice ppm



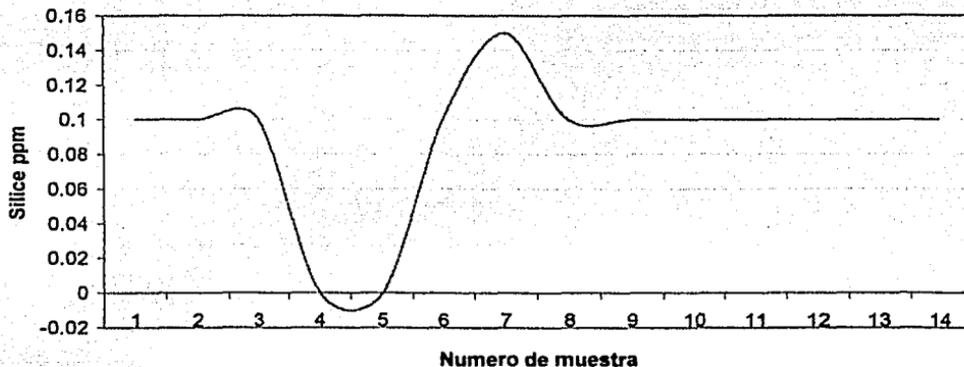
— Flujo = 260 gpm., dosificación de químicos 15% debajo de la dosificación constante, velocidad del cation 343 minutos x revolución, velocidad del anión 224 minutos x revolución.

**Grafico 33 Conductividad (Ms)**



— Flujo = 220 gpm., dosificación de químicos 20% debajo de la constante, velocidad del cation 284 minutos x revolución, velocidad del anión 185 minutos x revolución.

**Grafico 34 Silice ppm**



— Flujo = 220 gpm., dosificación de químicos 20% debajo de la dosificación constante, velocidad del cation 284 minutos x revolución, velocidad del anión 185 minutos x revolución.

**TABLAS DE RESULTADOS PROMEDIOS DE LAS PRUEBAS DE LA OPTIMIZACION DEL ISEP-AGUA**

**Tabla Conductividad y Silice a flujo de alimentación constante**  
**Flujo = 300 galones por minuto**

Velocidad de rotación min.xrev.		Conductividad Micromhos	Silice PPM
Cation	Anion		
265	175	12.92	0.1133
284	185	9.3991	0.1208
313	204	9.2341	0.1145
343	224	6.7509	0.1023

**Tabla Conductividad y Silice a flujo de alimentación constante**  
**Flujo = 200 galones por minuto**

Velocidad de rotación min.xrev.		Conductividad Micromhos	Silice PPM
Cation	Anion		
284	185	19.52	0.1
313	204	17.5235	0.1058

**Tabla Conductividad y Silice a flujo de alimentación constante**  
**Flujo = 400 galones por minuto**

Velocidad de rotación min x rev		Conductividad Micromhos	Silice PPM
Cación	Anion		
230	150	11.2	0.1
265	175	8.77	0.126

**Tabla Conductividad y Silice variando el flujo de de alimentación**  
**Velocidad de rotación cation = 284 Minutos x revolución**  
**Velocidad de rotación anión = 185 Minutos x revolución**  
**10% Debajo de la dosificación inicial**

Flujo	Conductividad	Silice
GPM	Micromhos	PPM
200	18.5	0.119
240	13.23	0.11
280	12.2	0.11
320	12.15	0.11

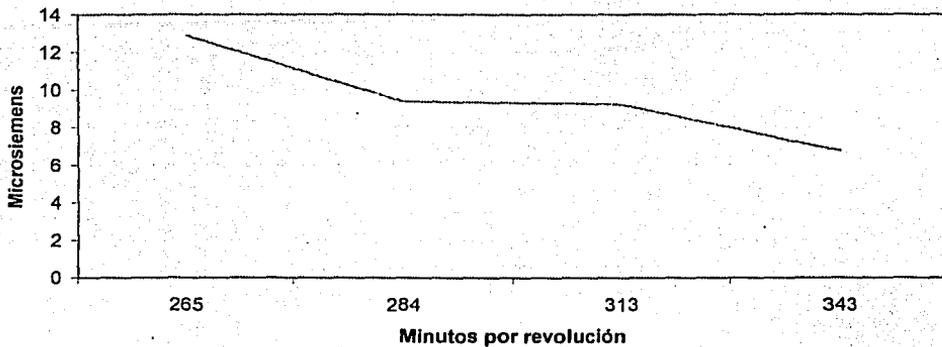
**Tabla Conductividad y Silice variando el flujo de de alimentación**  
**Velocidad de rotación cation = 284 Minutos x revolución**  
**Velocidad de rotación anión = 185 Minutos x revolución**  
**15% Debajo de la dosificación inicial**

Flujo (GPM)	Conductividad	Silice
230	18.24	0.1
240	14.26	0.1
280	14.1	0.09

**Tabla Conductividad y Silice variando el flujo de de alimentación**  
**Velocidad de rotación cation = 284 Minutos x revolución**  
**Velocidad de rotación anión = 185 Minutos x revolución**  
**20% Debajo de la dosificación inicial**

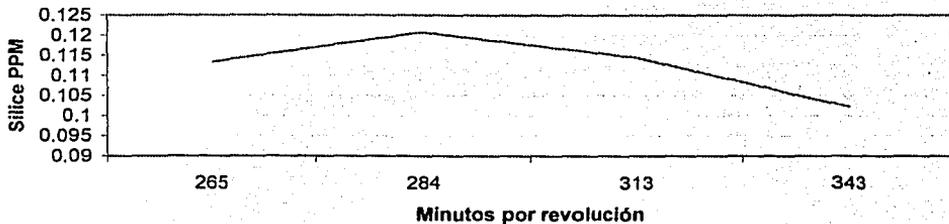
Flujo (GPM)	Conductividad	Silice
220	25.9	0.089
230	22.38	0.1

### Conductividad a 300 gpm de alimentación



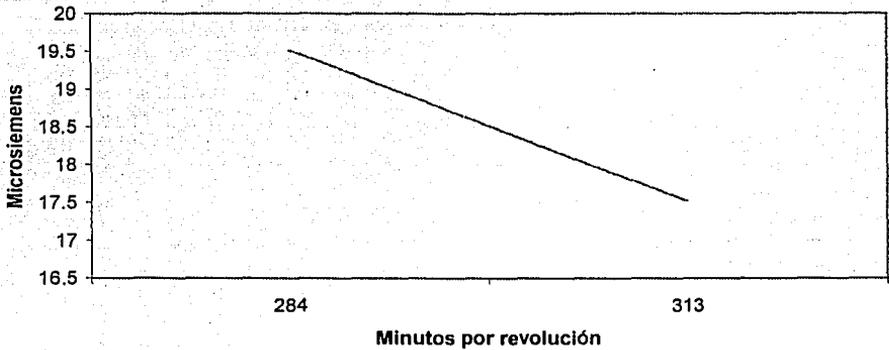
— Conductividad obtenida variando tiempos de rotación de los carruseles

### Silice a 300 gpm de agua de alimentación



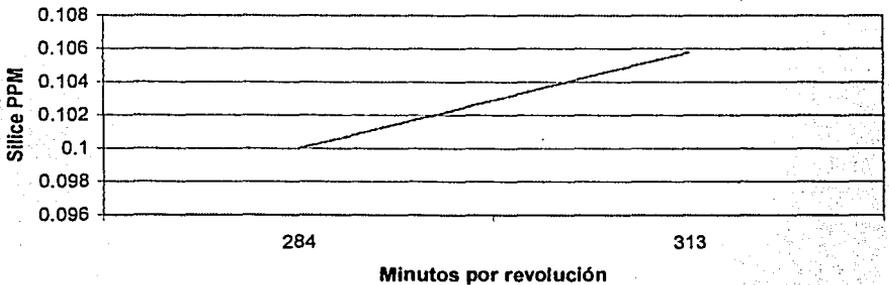
— Silice variando los tiempos de rotación de los carruseles

### Conductividad a 200 gpm de agua de alimentación



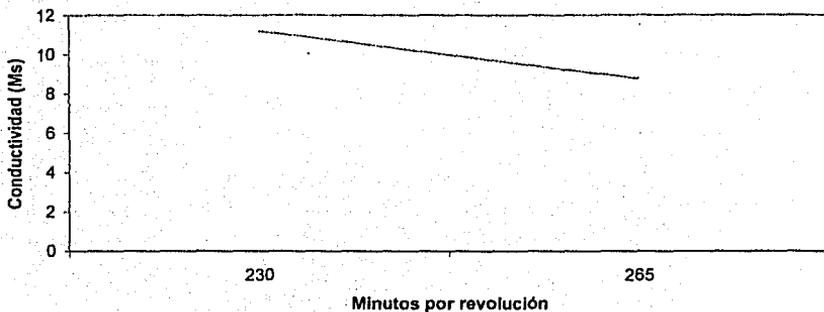
— Conductividad variando los tiempos de rotación de los carruseles

### Silice a 200 gpm de agua de alimentación



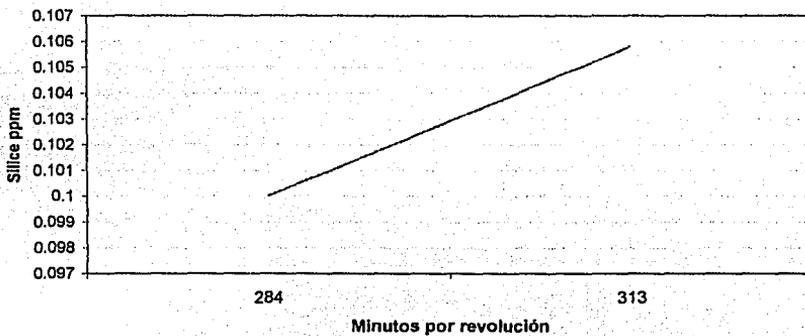
— Silice variando el tiempo de rotación de los carruseles

### Conductividad



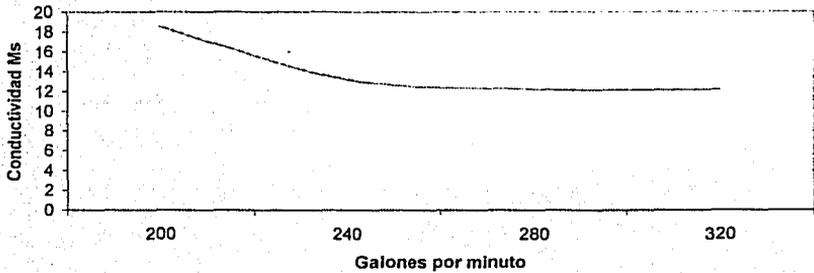
— Conductividad a 400 gpm variando los tiempos de rotación de los carruseles

### Silice



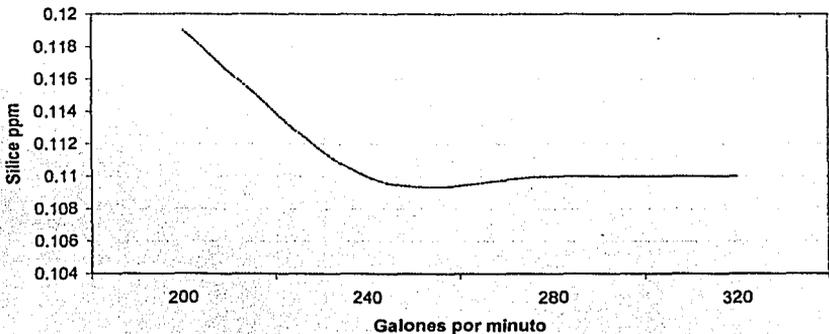
— Silice a 400 gpm, variando los tiempos de rotación de los carruseles

Conductividad



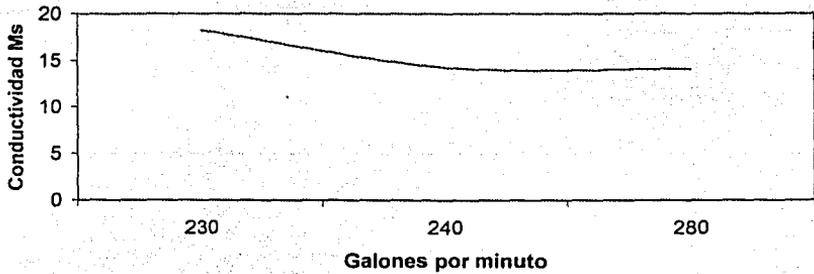
— Conductividad a 284 minutos por revolución unidad catiónica, 185 minutos por revolución unidad catiónica, dosificación de químicos 10% debajo de la inicial.

Silice



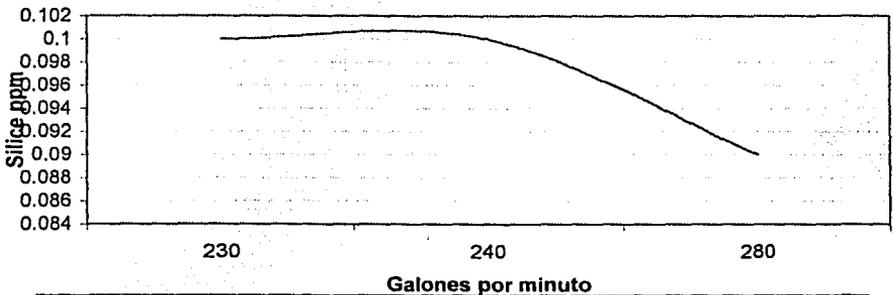
— Silice 284 minutos por revolución unidad catiónica, 185 minutos por revolución, dosificación de químicos 10% de abajo de la inicial

### Conductividad



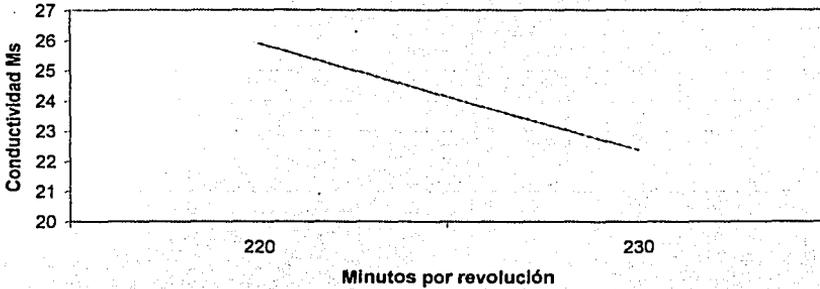
— Conductividad a 284 minutos por revolución unidad cationica, 185 minutos por revolución unidad anionica, dosificación de quimicos 15% debajo de la inicial

### Silice



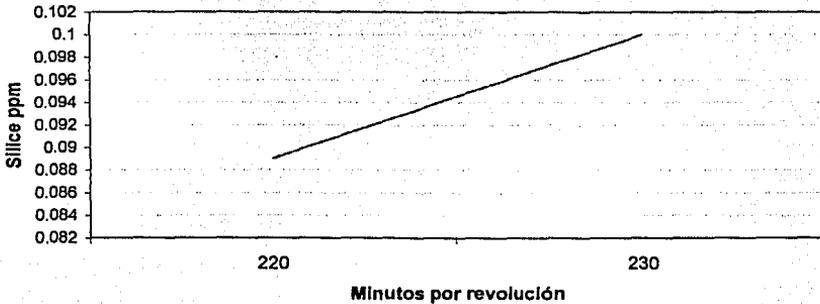
— Silice a 284 minutos por revolución unidad cationica, 185 minutos por revolución unidad anionica, dosificación de quimicos 15% debajo de la inicial.

### Conductividad



— Conductividad a 284 minutos por revolución unidad catiónica, 185 minutos por revolución unidad aniónica, dosificación de químicos 20% debajo de la dosificación inicial.

### Silice



— Silice a 284 minutos por revolución unidad catiónica, 185 minutos por revolución unidad aniónica, dosificación de químicos 20% de la dosificación inicial.

## **V) FORMATOS DE REGISTRO**

TABLA DE REGISTRO DE DATOS DE OPERACIÓN DEL ISEP-AGUA

VELOCIDAD CATION:	HORA:			HORA:			HORA:			HORA:			HORA:					
VELOCIDAD ANION:	FLUJO:			FLUJO:			FLUJO:			FLUJO:			FLUJO:					
	COND.	PRES.	PH	COND.	PRES.	PH	COND.	PRES.	PH	COND.	PRES.	PH	COND.	PRES.	PH			
	MHOS	PSI		MHOS	PSI		MHOS	PSI		MHOS	PSI		MHOS	PSI		MHOS	PSI	
1.-ENTRADA CATION PRIMER PASO																		
2.- SALIDA CATION PRIMER PASO																		
3.- SALIDA BBA. DESCARBONATADORA																		
4.-ENTRADA ANION PRIMER PASO																		
5.- SALIDA ANION PRIMER PASO																		
6.-ENTRADA CATION SEGUNDO PASO																		
7.- SALIDA CATION SEGUNDO PASO																		
8.-ENTRADA ANION SEGUNDO PASO																		
9.- SALIDA DEL ANION SEGUNDO PASO																		
SILICE TO. 124 (PPM)																		
PH	CATION	ANION	CATION	ANION	CATION	ANION	CATION	ANION	CATION	ANION	CATION	ANION	CATION	ANION	CATION	ANION		

VELOCIDAD CATION:	HORA:			HORA:			HORA:			HORA:			HORA:					
VELOCIDAD ANION:	FLUJO:			FLUJO:			FLUJO:			FLUJO:			FLUJO:					
	COND.	PRES.	PH	COND.	PRES.	PH	COND.	PRES.	PH	COND.	PRES.	PH	COND.	PRES.	PH			
	MHOS	PSI		MHOS	PSI		MHOS	PSI		MHOS	PSI		MHOS	PSI		MHOS	PSI	
1.-ENTRADA CATION PRIMER PASO																		
2.- SALIDA CATION PRIMER PASO																		
3.- SALIDA BBA. DESCARBONATADORA																		
4.-ENTRADA ANION PRIMER PASO																		
5.- SALIDA ANION PRIMER PASO																		
6.-ENTRADA CATION SEGUNDO PASO																		
7.- SALIDA CATION SEGUNDO PASO																		
8.-ENTRADA ANION SEGUNDO PASO																		
9.- SALIDA DEL ANION SEGUNDO PASO																		
SILICE TO. 124 (PPM)																		
PH	CATION	ANION	CATION	ANION	CATION	ANION	CATION	ANION	CATION	ANION	CATION	ANION	CATION	ANION	CATION	ANION		

**SISTEMA GENERADOR DE VAPOR  
CONTROL DE TRATAMIENTO**

PARAMETRO	CONTROL QUIMICO						RANGO DE CONTROL
	1turno	2Turno	3Turno	1Turno	2 Turno	3 Turno	
AGUA DE CISTERNA							
Cloro residual, ppm como Cl							0.5 ppm maximas
AGUA DESMINERALIZADA							
Dureza Total, ppm como CaCO3							0-1.0 ppm
silice, ppm como SiO2							0-2.0 ppm
Conductividad, microsiemens							0-20 microsiemens
pH							6.5 - 9.0
AGUA DE LAS CALDERAS	CALDERA						
Alcalinidad F, ppm como CaCO3							
Alcalinidad M, ppm como CaCO3							
Alcalinidad OH, ppm como CaCO3							150-250 ppm
Sulfitos, ppm como SO3							30-60 ppm
Fosfatos, ppm como PO4							30-60 ppm
silice, ppm como SiO2							80-100 ppm
pH							10.5-11.5 ppm
Conductividad corregida, microsiemens							1900-2400 microsiemens
PRODUCTO	TRATAMIENTO APLICADO						OBSERVACIONES
	1turno	2Turno	3Turno	1Turno	2 Turno	3 Turno	
QA-1029 (Sulfitos)							
QA-1140 (Fosfatos)							
QA-1285 (Dispersante)							
QA-1304 (amina)							
Sosa caustica							
Sal							
Agua usada por preparaci3n							
TIPO DE PURGA	REGIMEN DE PURGADO						OBSERVACIONES
	1turno	2Turno	3Turno	1Turno	2 Turno	3 Turno	
Purga continua % de apertura 1"							
Purgas de fondo/Turno							
Purgas de columna/Turno							

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Manual del agua Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. Nalco Chemical Company Frank N. Kemmer, John McCallion, McGraw-Hill, Tomo I, Primera ed. en español 1989.
- 2.- Operaciones Unitarias, Alan S. Faust, Jhon Wiley & Sons Inc., 2ª printing, New York 1960, Pages 284-287.
- 3.- Chemical Engineering Handbook, Perry R. H., 5th ed., secc. 17, Mc Graw Hill, New York 1980.
- 4.- American Water Works Association, Water Quality and Treatment, 4th ed., Mc Graw Hill, N.Y. 1980.
- 5.- Procesos de Separación, King C.J., CAP. 1 y 14, ed. Repla, México 1988.
- 6.- Mass Transfer Operatións, Treybal, R.E., 3rd. ed., secc. 17, Mc Graw Hill, New York, 1980.
- 7.- Instrumentación Industrial, Antonio Creus Sole, 2a edición, Publicaciones Marcombo , Barcelona España 1981.
- 7.- Kirk-Othmer, Encyclopedia, Of Chemical Technology, Vol. XIII, John Wiley & Sons, New York 1981.
- 8.- Water Treatment Plant Design, Robert L-Sanks, Ann Arbor Science Publishers, Inc. 3th ed., pages 597-622, Michigan U.S.A. 1980.

## ESPECIALIZADAS

- 9.- Coeficientes de Transferencia de Masa, Laboratorio y Estudios Ambientales S.A. de C.V., Primera edición, Tulancingo Hgo. México 2000.
- 10.- Criterios de análisis a problemas de operación con sistemas de intercambio ionico, V.R. Davies, Rohm and Haas Canada Inc. Marzo de 1982.
- 11.- Helferich, F., Ion Exchange, Mc Graw Hill, New York, 1972.
- 12.- Rohm and Haas Co, Engineering Manual For The Amberlite Ion Exchange Resins, Philadelphia 1980.

## ARTICULOS

- 13.- Chemical Engineering , Ion Exchange Charges Ahead (ISEP Advanced Separation Technologies Incorporated.), Agnes Shanley, January 1999, pages 64-68.