



---

---

# UNIVERSIDAD VERACRUZANA

## FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

Proceso de Tratamiento Químico de Agua para Torres de Enfriamiento en la  
Unidad Médica de Alta Especialidad No. 14 (IMSS)

### **TRABAJO RECEPCIONAL**

Que para obtener el grado de:

ESPECIALISTA EN  
**CONTROL DE CALIDAD**

Presenta:

González Ramos Alma Xochitl

*Xalapa, Ver., a 21 de julio del 2007*



---

---

# UNIVERSIDAD VERACRUZANA

## FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

Proceso de Tratamiento Químico de Agua para Torres de Enfriamiento en la  
Unidad Médica de Alta Especialidad No. 14 (IMSS)

### TRABAJO RECEPCIONAL

Que para obtener el grado de:

### ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD

Presenta:

González Ramos Alma Xochitl

Directora: Lorena López Lozada

*Xalapa, Ver., a 21 de julio del 2007*

## INDICE

INTRODUCCIÓN	1
I. TORRES DE ENFRIAMIENTO Y SUAVIZACIÓN	3
I.1 Métodos de ablandamiento del agua	3
I.2 Observaciones de operación y mantenimiento	7
I.3 Recomendaciones para la operación	8
I.4 Torres de enfriamiento	8
I.5 Incrustación	10
I.6 Corrosión	10
I.7 Algas, limos y hongos	11
I.8 Purga	12
I.9 Monitoreo en torres de enfriamiento	13
I.10 Sensores utilizados en el tratamiento químico de agua	17
II. INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL	
II.1 Descripción del Instituto Mexicano del Seguro Social	19
II.2 Proceso de tratamiento de agua para torres de enfriamiento	22
II.3 Metodología estadística	23
III. RESULTADOS	
III.1 Características de calidad por turno y muestra	25
III.1.1 El proceso respecto al cloro residual	25
III.1.2 El proceso respecto al pH	28
III.1.3 El proceso respecto a la alcalinidad	31
III.1.4 El proceso respecto a la conductividad	34
III.1.5 El proceso respecto a los sólidos disueltos	37
III.1.6 El proceso respecto a la dureza	41
IV.1 CONCLUSIONES	45
IV.2 SUGERENCIAS	45
REFERENCIAS	46
ANEXO 1. BASE DE DATOS	

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, la globalización y la competitividad mundial obligan a las empresas a buscar la vanguardia y alcanzar el nivel de las exigencias de certificación tanto nacional como internacional, dando a cada aspecto de la empresa una importancia tal que la ausencia de un solo elemento daría como resultado una competitividad mediocre en ella.

La mejora continua en cada proceso de la organización, da la pauta para ir alcanzando la tan anhelada excelencia, pero esto no sería posible sin el análisis y evaluación de cada una de las partes involucradas. La Unidad Médica de Alta Especialidad No. 14, perteneciente al Instituto Mexicano del Seguro Social, busca alcanzar mejoras en sus áreas para poder brindar mayor calidad en su servicio al derechohabiente.

El Instituto Mexicano del Seguro Social es la institución de seguridad social más grande de América Latina, pilar fundamental del bienestar individual y colectivo de la sociedad mexicana y principal elemento redistribuidor de la riqueza en México; es una de las instituciones más queridas por los mexicanos.

Sin duda alguna, diariamente se toman decisiones importantes de acuerdo a las respectivas labores que se desempeñen. Para este caso el ingeniero jefe de oficina de casa de máquinas del departamento de conservación de la Unidad Médica de Alta Especialidad No. 14, del Instituto Mexicano del Seguro Social desea estimar los límites de tolerancia del proceso en el tratamiento de agua para torres de enfriamiento. En este proceso, los operadores añaden productos químicos dosificados para suavizar el agua que bombea La Secretaría de Agua y Saneamiento (SAS) a dicha unidad, si esta agua no es tratada correctamente puede generar incrustaciones en las tuberías de los equipos de refrigeración. Por tal motivo el área de casa de máquinas encargada de este proceso busca implementar el concepto de pensamiento estadístico, ya que la utilización de razonamientos estadísticos permiten que las decisiones a tomar se basen en hechos y no en sospechas o en corazonadas que muchas veces resultan desastrosas e inútiles. La implementación de pensamiento estadístico en esta área será de gran ayuda ya que el pensamiento estadístico es la forma en que la información se ve, procesa y convierte en pasos de acción además utiliza el concepto de que toda actividad consiste en una forma de pasos interconectados que deben complementarse y completarse para alcanzar una meta planteada, donde se debe investigar cada paso para identificar áreas de oportunidad y de mejora.

Si se desea lograr una mejora continua en áreas específicas, es necesario medir la calidad tanto como sea posible, por que mientras mas aspectos se midan, se tendrá mayor control, garantía de cumplimiento y calidad deseada en el proceso.

## **OBJETIVO**

Estimar el comportamiento del proceso de tratamiento químico de agua para torres de enfriamiento del área de casa de máquinas de la Unidad Médica de Alta Especialidad No. 14.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Explorar las características de calidad que intervienen en el proceso de tratamiento químico de agua para torres de enfriamiento.
2. Determinar el comportamiento del proceso de tratamiento químico de agua para torres de enfriamiento.
3. Estimar los límites de control del proceso de tratamiento de agua en torres de enfriamiento, respecto a la variable de dureza de calcio.

## **JUSTIFICACION**

Debido a la necesidad de mejorar el proceso de tratamiento químico de agua para torres de enfriamiento del área de casa de máquinas de la Unidad Médica de Alta Especialidad No. 14. Se considera indispensable la documentación del monitoreo, para conocer el comportamiento real de este proceso con el fin de evitar paros inesperados en equipos y retrasos en la operación, causados por incrustaciones en los mismos.

## **LIMITACIONES**

Este análisis solo será aplicable al proceso de tratamiento de agua para torres de enfriamiento, del área de casa de máquinas de la Unidad Médica de Alta Especialidad No. 14 de la ciudad y puerto de Veracruz del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS).

La diversidad de pensamientos de cada persona, son una limitante en cualquier proceso en el que se tenga que llegar a un acuerdo.

La disponibilidad de los empleados de la empresa.

## I. TORRES DE ENFRIAMIENTO Y SUAVIZACIÓN

Derivado de las condiciones de dureza de agua del puerto de Veracruz, es necesario efectuar al tratamiento de aguas para la operación de los equipos del área de casa de maquinas de la UMAE hospital de especialidades # 14, con el fin de prevenir posibles daños a los equipos y/o paros no programados afectándose a los servicios que presta el hospital. Para el tratamiento de aguas se cuenta con equipos denominados “equipo para suavización de agua” y “equipo para tratamientos de agua de torres de enfriamiento”, mismos que deben estar en condiciones de operación aceptables para que se cumpla con el tratamiento de agua.

En virtud de la acción disolvente de agua, la gran mayoría de aguas naturales contienen variadas cantidades de compuestos minerales, en especial, sales de calcio y magnesio y estos iones precisamente son los que causan la “dureza en agua”; el grado de dureza es directamente proporcional a la concentración de los iones de calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) y magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ).

Existen dos tipos de dureza

- Dureza temporal: es la que al hervir agua, desaparece de ella.
- Dureza permanente: es la que a pesar de haberse hervido el agua, no la pierde.

Ventajas de la suavización en agua

- I. El ablandamiento o suavización en agua ahorra jabón y aumenta el tiempo de uso de artículos lavables.
- II. Evita las incrustaciones producidas por la precipitación de las sales de calcio y magnesio, y por consiguiente trae aparejado un ahorro de combustible en las calderas, calentador de agua, intercambiador de calor, etc.
- III. Disminuye los costos de mantenimiento, reparaciones, mano de obra, etc.

### I.1 Métodos de ablandamiento de agua

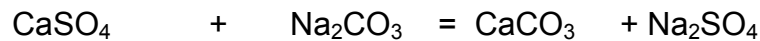
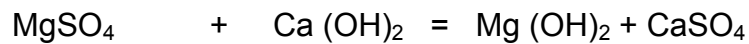
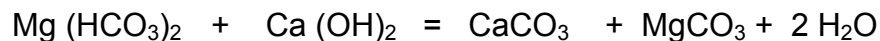
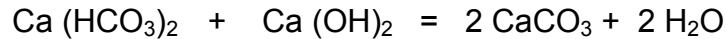
La dureza de casi todos los abastecimientos de agua se debe a cuatro compuestos minerales, que son: bicarbonato de calcio  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , bicarbonato de magnesio  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ , sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ) e hidróxido de magnesio  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , principalmente, los cuales se encuentran en solución.

El proceso de ablandamiento consiste en eliminar del agua la totalidad o parte de estas sales o sus iones.

#### a) Método de la cal-carbonato

Este método consiste en agregar cal al agua, la cual reacciona con los bicarbonatos de calcio y magnesio, para formar los carbonatos de calcio y magnesio. El carbonato de sodio reacciona con los sulfatos de calcio y magnesio, formando también los carbonatos correspondientes, los cuales se precipitan y se eliminan por medio de purgas.

Reacciones.



El equipo que se emplea para ablandar agua por este método es:

Aparatos dosificadores para mezclar los productos químicos de ablandamiento de agua, tanques de sedimentación en los cuales se realizan las reacciones de ablandamiento y el asentamiento de los precipitados.

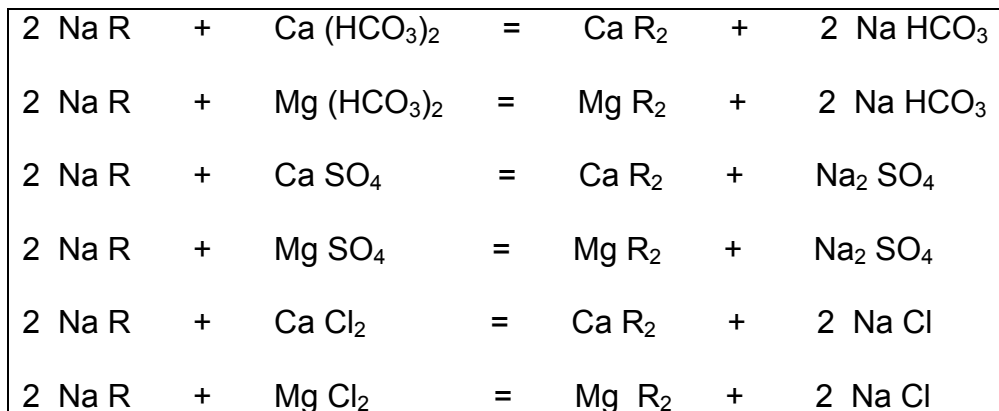
Este método es muy usado en el ablandamiento de aguas municipales, y en general cuando se tienen que ablandar volúmenes grandes de agua y con gran contenido de dureza.

#### b) Método de suavización con resinas de intercambio iónico

El propósito de la suavización por medio de resina de intercambio iónico, es el de remover los iones de calcio y magnesio de las sales que forman incrustaciones, sustituyendo éstos por iones de sodio para formar sales de sodio altamente solubles en agua y que por lo mismo no causan incrustaciones.

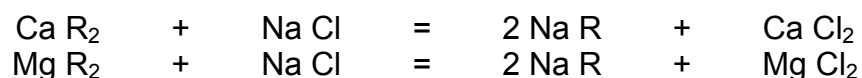
Principios del Intercambio Iónico.

Cuando se pasa agua dura a través de un lecho de resina intercambiadora de cationes de sodio, los iones de calcio y de magnesio se quedan en dicho lecho y en forma simultánea proporciona una cantidad equivalente de sodio a cambio de ellos. A continuación se dan las reacciones químicas que ocurren en la suavización de agua, usando el símbolo "NaR" para la resina intercambiadora de cationes:



Se dice que una resina esta agotada cuando ya no tiene iones de sodio que cambiar y entonces habrá que regenerarla con una solución de sal común (cloruro de sodio). Esta solución se inyecta a través de la resina agotada y ocurre una reacción inversa a las anteriores, es decir, que esta solución de cloruro de sodio remueve el calcio y el magnesio de la resina, quedando impregnada de los iones de sodio, y vuelve por lo tanto a su estado original de resina de sodio y queda lista para suavizar otra cantidad de agua.

Las reacciones de la regeneración se pueden expresar de esta forma:



A continuación se vera detalladamente cómo está constituido un suavizador:

Los suavizadores trabajan a una presión no mayor de 75 lb/pg<sup>2</sup> y constan de un cilindro de acero al carbón con dos tapas toriesféricas, con un diámetro determinado y espesor de la placa de acero adecuado para resistir la presión requerida. Los suavizadores son verticales generalmente.

### *Colector Superior*

En la parte superior del cilindro se encuentra el colector superior, consistente generalmente de un tubo con dos codos de 90° en sus extremos que sirven durante la suavización para introducir el agua dura; están colocados de tal modo que el agua golpee contra las tapas toriesféricas del cilindro. Esto tiene por objeto que no caiga agua directamente contra el lecho de resina ya que este golpeteo puede causar agrietamientos y canalizaciones en el lecho de resina y probables fugas de agua dura, debido a la menor resistencia que tendría ésta a través de la zona menos gruesa de la resina.

A veces este colector consiste en unas coladeras de discos de plástico y sirve para introducir la salmuera (solución de sal común) al lecho de la resina en la operación de regeneración.



### *Bajo dren o colector inferior*

En el fondo de la tapa del suavizador hay un sistema que sirve para coleccionar agua suavizada durante el servicio; distribuir agua de retrolavado, durante la operaci3n de retrolavado y recoger agua de enjuague durante las operaciones de regeneraci3n y enjuague.

Los dise1nos del bajo dren son variados, ya sea de placa deflectora o de cabezal con laterales.

### *Sistema soporte de gravas*

En el bajo dren y encima de el, se encuentran tres capas de gravas silicosas de cuarzo de canto rodado o de antracita con los siguientes di1metros y espesores:

- a) Grava gruesa de 1 1/2" a 3/4" de di1metro.
- b) Grava mediana de 3/4" a 1/2" de di1metro.
- c) Grava fina de 1/4" a 1/8" de di1metro.

Cada capa de grava tiene un espesor de doce cent1metros aproximadamente. Encima de la grava fina viene el lecho o cama de resina; el objeto de las gravas es soportar la cama de resina y evitar que la resina pase a trav1s de las gravas y se pierda a trav1s del bajo dren hacia el drenaje.

### *Proceso de regeneraci3n*

Poner la v1lvula de tres pasos en la posici3n dos (rinse), y se abre la v1lvula de compuerta que permite el paso de la salmuera hacia la v1lvula m1ltiple; all1 la salmuera saturada se mezcla con agua y entra al suavizador por la parte superior con una concentraci3n del 10 %. En este paso, la soluci3n de salmuera se pasa a trav1s de la cama de resina para quitarle todos los iones de calcio y magnesio y saturarla completamente de los iones de sodio, dejando a la resina regenerada para suavizar agua. Agua con calcio y magnesio se debe tirar al drenaje.

Una vez que ha pasado toda la salmuera por el lecho de la resina, cerrar la v1lvula de compuerta y se pasa a la siguiente operaci3n.

Flujo del regenerante, 0.13 lpm / lt de resina ( 1 gpm / pie<sup>3</sup> de resina).

### *Proceso de enjuague*

La v1lvula m1ltiple se debe dejar en la misma posici3n dos, la cama de resina se debe enjuagar para eliminar la salmuera remanente que ha quedado en la resina; los

lechos de resina se lavan mediante un flujo de agua descendente, alimentándose ésta mediante el distribuidor o colector superior; el enjuague dura aproximadamente media hora, cuarenta y cinco minutos o hasta que el agua de enjuague no tiene sabor salino. Toda esa agua se debe tirar al drenaje.

El gasto del enjuague es de 0.13 – 0.2 lpm / lt de resina (1 – 1.5 gpm / pie<sup>3</sup> de resina).

## **I.2 Observaciones de operación y mantenimiento**

Si el tiempo de servicio del suavizador fuese más cortó que el normal, debe hacerse lo siguiente:

- a) Revisar la calidad en agua dura. Un aumento de dureza en esa agua, acortará el periodo de servicio. Haga la prueba de dureza.
- b) Revisar el gasto de agua. Un flujo excesivo puede causar un servicio incompleto y acortará el ciclo, produciendo menos agua suavizada.
- c) Revisar todas las válvulas y líneas de posibles fugas.
- d) Revisar el retrolavado en los siguientes pasos:
  - I. Un retrolavado insuficiente no reclasificará el lecho de resina y no removerá las partículas indeseables que se han acumulado en el lecho, causando canalizaciones.
  - II. Un excesivo retrolavado puede expandir demasiado el lecho de la resina y parte de la misma irse al drenaje, reduciéndose proporcionalmente el volumen total de agua suave.
- e) Revisar que en el proceso de regeneración no se introduzca o haya aire en el interior del tanque, ya que se produce martilleo en la cama de resina, originando canalización, la que hace que solo una parte del lecho de resina trabaje durante el servicio. Después de cada regeneración se debe desalojar el aire del equipo por medio de la válvula de expulsión de aire automático o manual.
- f) Revisar que el proceso de enjuague no sea excesivo, ya que disminuirá la cantidad de agua suavizada en la misma cantidad despreciada.

Si la calidad en agua no es correcta, se debe hacer lo siguiente:

- a) Revisar que se utilice en la regeneración una cantidad suficiente de salmuera, ya que de otro modo la regeneración sería incompleta y, por lo

tanto, disminuirá la calidad en agua suavizada y el volumen total del ciclo de suavización.

- b) Revisar que el agua cruda no atraviese directamente a través de la válvula de tres pasos al servicio.

Si la solución de salmuera no es absorbida, se debe hacer lo siguiente:

- a) Revisar que la presión del agua sea suficiente para operar el inyector hidráulico, mínimo 30 lb/pul<sup>2</sup>.
- b) Revisar que la línea de succión y el inyector no estén tapados o tengan alguna restricción.

### **I.3 Recomendaciones para la operación**

- a) Para ablandar agua, debe estar libre de turbiedad ya que de lo contrario, la resina se recubrirá de las partículas que produce esta turbiedad, disminuyendo grandemente la capacidad de intercambio de la resina y por consecuencia el volumen total de agua suave.
- b) Debe regenerarse el suavizador un poco antes de agotarse la resina o al momento de ocurrir esto. Nunca debe dejarse circular agua dura después que la resina se ha agotado, ya que puede precipitar algo de las sales de calcio y magnesio sobre la resina y recubrirla, perdiendo esta parte de su capacidad de intercambio.
- c) Debe retrolavarse el suavizador cuidadosamente cada vez que se regenere. Esto limpia la resina y permite que la salmuera reaccione más rápidamente con la misma.
- d) No se debe permitir que agua de enjuague de la resina, pase al servicio. Siempre debe retirarse al drenaje.

Los sistemas de condensación/torre de enfriamiento son sistemas “abiertos”, por lo tanto el agua está expuesta a los elementos de la atmósfera más un constante proceso de evaporación causando la necesidad continua de agregar agua nueva al sistema. En razón de ser un sistema “abierto” los componentes pueden afectarse por incrustaciones, corrosión, lodo y crecimiento microbiológico.

## **I.4 Torres de enfriamiento**

El sistema de condensación/torre de enfriamiento es una unidad de aire acondicionado, funciona para enfriar los gases calientes de freón que fluyen del enfriador al condensador. Este sistema consiste en:

- a) Torre de enfriamiento.
- b) Bomba de condensado.
- c) Líneas de agua de la torre de enfriamiento al condensador y retorno a la bomba.

En el sistema de condensado el agua circula a través de cilindros llamado en conjunto "condensador". Es un intercambiador de calor tipo cápsula donde el agua fluye a través de los tubos rodeados por el freón caliente contenido dentro de la cápsula. El calor del gas se transfiere al agua circulante, luego es bombeada a la parte superior de la torre de enfriamiento.

### **a) Sistemas por aire inducido a contra corriente**

Una corriente de aire es inducida a circular en contra corriente, mientras va cayendo agua sobre las unidades de intercambio (packing). Agua caliente que desciende toma contacto con el aire; satura de vapor a éste, cede calor y se enfría. El aire caliente asciende y la recirculación se ve minimizada, por la expulsión semiforzada al exterior.

### **b) Sistemas por circulación de aire forzada mecánicamente**

El sistema opera con grandes cantidades de aire que forzada por ventiladores, circula por su interior. El ingreso de agua caliente se produce en forma de lluvia, desde la parte superior y va cayendo en las unidades de intercambio, mientras el aire lo recibe horizontalmente y la salida de éste ocurre por la parte superior.

### **c) Sistema por flujo de aire inducido y cruzado**

La corriente de aire es inducida ingresando lateralmente en corriente cruzada. Cae agua en forma de cascada de pequeñas gotas y el aire atraviesa el vapor entrecruzándolo. La presión estática es baja, ya que existe menor resistencia al pasaje del flujo del aire. Los gases residuales son llevados al exterior por un ventilador alojado en la parte superior.

#### d) Sistema de intercambio atmosférico

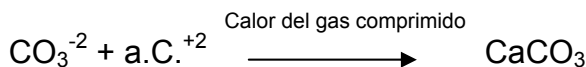
Al caer agua sobre el relleno de los intercambiadores de calor, se incrementa la eficiencia del enfriamiento. El curso del agua es quebrado, exponiendo así mayor superficie de evaporación. La separación o abertura de las ventanas o persianas permite la circulación del aire a través de la torre y alcanzar la parte superior.

El propósito de una torre de enfriamiento es reducir la temperatura de agua (usado para absorber el calor del freón) circulante a través del condensador. Esta agua es llevada a la torre o cerca de la parte superior de la torre. El agua cae en forma de cascada o en bloques. El aire es tomado o soplado contra la dirección de la caída de las gotitas.

La interacción entre la caída de las gotitas de agua y el aire produce evaporación y gotitas frías de agua. Estas gotitas caen al sumidero de la torre de enfriamiento y son bombeadas al condensador donde enfrían al refrigerante (gas de freón, gas amoníaco, bromuro de litio)

#### **I.5 Incrustación**

La incrustación es un depósito tipo roca que se forma en superficies metálicas de un sistema de enfriamiento. Esta es originada por la dureza (minerales) en agua y que normalmente se forma en los tubos de condensado.



La constante evaporación de agua en el sistema de condensado/torre de enfriamiento aumenta la probabilidad de incrustación en las tuberías y tubos de condensado debido al aumento de mineral. La presencia de incrustación en un sistema resulta en:

- 1) Incrustación que actúa como barrera aislante reduciendo la capacidad de transferir calor, generando incrementos en los costos energéticos.
- 2) Un aumento en la presión del refrigerante puede provocar serios daños mecánicos al compresor, por ende, reemplazo de piezas, gastos, paradas repentinas e inconvenientes. La presión alta es causada por la formación de incrustación en los tubos de condensado inhibiendo la transferencia de calor y haciendo trabajar más al compresor, además de licuar el gas ubicado en el condensador.

La presión alta es monitoreada por el medidor de presión ubicado en la unidad de refrigeración.

La incrustación puede ser controlada con el uso de químicos y un proceso mecánico llamado "purga".

Si estas concentraciones de sólidos no fueran monitoreadas, los minerales sólidos se depositarían en las superficies del condensador, para prevenir esto, una parte de los sólidos es retirada del sistema y reubicada con menor concentración.

## **I.6 Corrosión**

La corrosión uniforme y puntual está causada por un pH bajo, el que generalmente adelgaza al metal a través del sistema, considerando que la picadura es una cavidad localizada y causada por la acción tipo “celdilla” asociada a la presencia de burbujas de oxígeno. Esta corrosión puede ser controlada con un inhibidor de corrosión.

La corrosión galvánica es la más vista en el condensador donde se combina acero (hierro) y cobre. La corrosión galvánica esta causada por el contacto de diferentes metales usados en la fabricación del condensador.

Los inhibidores de corrosión reducen la corrosión enormemente (uniforme y puntual) pero no eliminan la corrosión galvánica.

La “erosión” es un tipo de corrosión causada por la fricción entre los sólidos que circulan por el sistema. Esta puede ser minimizada al mantener el sistema tan limpio y libre de sólidos suspendidos como sea posible.

Manteniendo el agua del sistema con un pH mayor a 7 más el uso de un inhibidor de corrosión ayuda a minimizar este tipo de problemas.

En un sistema de torre de enfriamiento/condensador la incrustación es más prevalerte que la corrosión. Sin embargo, la corrosión es un problema serio y puede controlarse al:

- ✓ Hacer un apropiado control de pH, mayor a 7.
- ✓ Hacer un apropiado control de purga, no mayor a 2000 ppm. de sólidos, (disueltos).
- ✓ Usar inhibidor de corrosión.

## **I.7 Algas, Limos y Hongos**

Las algas son organismos que contienen clorofila capaz de multiplicarse rápidamente y producir grandes masas de materia vegetal. Las especies de algas que son de principal importancia se encuentran localizadas en lugares donde tienen acceso a la luz solar y al aire. En presencia de luz solar, estas plantas microscópicas llevan a cabo un proceso de fotosíntesis que provee de alimento, liberando a su vez oxígeno.

Por otra parte, los depósitos de limo son causados por la presencia de excesiva cantidad de bacterias; y los hongos son microorganismos de bacterias.

Los daños del sistema de enfriamiento de enfriamiento por algas y limos son muy similares a los causados por las incrustaciones. La adherencia de algas y bacterias a la superficie interna de los tubos condensadores y/o líneas de agua, dan como resultado una suciedad biológica y corrosión. Esto produce un deterioro en la transferencia de calor cuyo resultado es un incremento en la presión del cabezal y una eventual detención de la unidad. La presencia de excesivos limos bacterianos en los sistemas de enfriamiento puede producir olores desagradables. Las algas muertas y el limo alojado en las unidades de condensación pueden causar una obstrucción en las mallas filtrantes del sistema. Los hongos son también causantes del rápido deterioro de las maderas con las que se construyen algunas torres de enfriamiento.

El tratamiento químico es el método más satisfactorio de combatir estos organismos, dado que muchos lugares de las tuberías y del equipo son inaccesibles. Si se permitió que se formaran algas, limos y hongos dentro de las superficies internas, ellos deberán ser removidos por medios mecánicos tales como: raspado con un limpiador y cepillo y luego por chorro de agua fuera del sistema antes de aplicar un tratamiento químico al agua.

#### Lodos

Son los depósitos causados por uno o más de las partículas mencionadas a continuación: algas, hongos, polvo de aire, partículas de incrustaciones, etc. El lodo formará depósitos en los condensadores, tuberías o tanques reservorios.

La suciedad formada por los lodos es tan seria en los condensadores como las debidas a incrustaciones o las de origen biológico.

El lodo se adhiere al depositarse en las superficies internas de los tubos del condensador reduciendo la transferencia de calor sobre el cabezal de alta presión. Estos lodos pueden taponear total o parcialmente las líneas o los tubos del condensador.

Para el control de lodos, se aplican tratamientos al sistema que flocculan o dispersan las partículas de barro de tal modo que pueden ser removidas vía purga.

### **I.8 Purga**

La purga es un factor crítico e importante en el mantenimiento de un sistema de enfriamiento de un proceso industrial. La purga es la cantidad de agua que se elimina del sistema a una determinada velocidad de flujo para mantener los sólidos totales del sistema de enfriamiento a un nivel constante

Esto evitará que se formen incrustaciones dentro del sistema al igual que evitará la formación de lodos. Los sólidos totales de un sistema de aire acondicionado de un sistema de enfriamiento de un proceso industrial no deberán exceder nunca los 2000 ppm. Si la cantidad de sólidos totales es excepcionalmente alta, como sucede en muchos sistemas que no han sido adecuadamente tratados o no mantienen un programa adecuado de purga, no habrá tratamiento en el mundo que evite que los sólidos del sistema formen incrustaciones, lodos y corrosión. De esta manera puede verse porque es importante que un sistema de enfriamiento mantenga una purga adecuada para asegurar contra una sobreconcentración de contaminantes.

Para determinar la velocidad de purga tome un recipiente de un litro, colóquelo bajo la válvula de purgado y controle cuantos segundos tarda en llenar el recipiente, de ésta manera se tendrá de cuantos litros por segundo es la velocidad de purga. Agua que se debe purgarse del sistema depende de:

- a) El tipo de unidad de condensación si es de freón o de bromuro de litio.
- b) La dureza en agua.
- c) Del tamaño del sistema.
- d) Horas de operación del equipo.

Método de desincrustación (limpieza química)

1. Vacíe completamente el sistema. Esto es esencial.
2. Lavar con chorro de agua.
3. Llenar la torre hasta el mínimo nivel de operación y poner en funcionamiento.
4. Agregar inicialmente un litro de desincrustante por cada diez litros de agua del sistema.
5. Mantener el agua en circulación por quince minutos.
6. Checar el pH de agua de la torre con papel indicador.
7. Si el pH se encuentra por encima de 2.0, agregar más desincrustante hasta llegar al rango de 1.5 – 2.0.
8. Drenar y lavar con chorro de agua adecuadamente.
9. Continuar lavando el sistema hasta que una tira sumergida de papel pH en agua de enjuague tenga el mismo color que otra sumergida en agua de la llave.



10. Si la incrustación persistiera, repita el procedimiento nuevamente.

11. Finalmente llene el sistema con agua y agregue la cantidad correcta de tratamiento para proteger el sistema contra la corrosión y/o incrustación.

Actividad de los compuestos químicos en el interior de la torre de enfriamiento

Ácido aminofosfónico.- Secuestra las sales de calcio y magnesio e inhibe el crecimiento de cristales, el fosfonato actúa como limpiador de las superficies metálicas al formar compuestos solubles en agua con los iones metálicos formadores de incrustación.

Polímeros.- Actúan como antidispersantes, controlando la formación la incrustación formada por sales de calcio y magnesio, evita la precipitación de carbonatos de calcio, sulfatos de calcio y fosfatos de calcio.

Inhibidores de corrosión.- Actúan como una capa protectora previniendo la corrosión en superficies metálicas de hierro, aluminio, cromo, níquel y cadmio.

## **I.9 Monitoreo en torres de enfriamiento**

- ❖ Monitoreo y control de los sólidos disueltos totales en agua de la torre de enfriamiento relacionando con su conductividad eléctrica y proporcionada en micro siemens/cm ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ), para evitar los problemas de incrustación. Los límites de referencia deseados de la conductividad eléctrica son previamente establecidos en el control del panel y cuando el límite máximo es sobrepasado, activa una señal eléctrica a una válvula de purga para abrirla, cerrándose cuando se llega al límite mínimo establecido.
- ❖ Monitoreo y control del pH, añadiendo un ácido o una base, tomando en cuenta los puntos de referencia que han sido introducidos al panel, siendo este parámetro indispensable para la regulación de los problemas de corrosión e incrustación.
- ❖ Monitoreo y control de residual de cloro, como alguicida, funguicida y bactericida, por medio del valor del potencial redox, introducido al panel.
- ❖ Monitoreo para la dosificación automática del producto químico utilizado para el tratamiento de agua (inhibidor de corrosión e incrustación)

**Primera modalidad.-** Utilizar el producto químico recomendado como inhibidor de corrosión e incrustación, tomando en consideración la cantidad teórica recomendada por toneladas de refrigeración y el valor residual en ppm. Identificado como límite máximo y mínimo, permitido del producto químico, relacionado directamente con la capacidad en litros por minuto de dosificación de la bomba dosificadora ubicada en el panel de control.

**Segunda modalidad.-** Dosificación automática del producto químico en función de la cantidad de agua en reposición de agua en litros (medidor de agua) y la capacidad de agua dosificadora en litros por minuto.

Partes constitutivas del equipo

A) Panel de control.

- a. Controlador
- b. Sensor de conductividad.
- c. Sensor de pH.
- d. Sensor de potencial óxido-reducción.
- e. Válvulas solenoide o válvula esfera motorizada.
- f. Interruptor de circulación.
- g. Medidores de agua.
- h. Sistema de computación local o remoto vía MODEM (opcional).
- i. Conexión eléctrica 127-220 VCA, 50-60 Hz, 100 VA.
- j. Bomba dosificadora.
- k. Gabinete, diseño de poliestireno a alto impacto NEMA 4X, dimensiones aproximadas 26 cm. (ancho) x 26 cm. (altura) x 18 cm. (fondo).

B) Requerimientos de materiales y equipos.

- a. Válvula de esfera.
- b. Flotador.
- c. Recipientes de polietileno de alta densidad de capacidad de 200 litros (acorde a la cantidad de producto químico por controlar).
- d. Filtros en Y.
- e. Uniones.
- f. Cinta aislante y teflón.
- g. Potenciómetro portátil.

- h. Conductímetro portátil.
- i. Detector de potencial óxido-reducción.

### Panel de control

El panel de control es un sistema que ha sido diseñado para la dosificación automática de productos químicos, verificando constantemente la calidad en agua de las torres de enfriamiento, con base en los parámetros permisibles de operación de los equipos.

Para colocar un panel de control se debe seleccionar una ubicación cerca de las conexiones eléctricas e instalaciones de descarga.

Se debe Instalar el controlador sobre una pared o una superficie vertical con la suficiente área para ser encendido y a un nivel confortable para su manejo.

Se deben evitar ubicaciones donde el controlador estaría expuesto al frío y calor extremo (-17.8 °C a 50 °C), luz directa solar, vibraciones, vapores, derrames de líquidos, interferencias electromagnéticas, transmisiones de radio y motores eléctricos, ya que el controlador puede deteriorarse.

La instalación debe obedecer a todas las claves nacionales, estatales y locales.

### Recomendaciones en la instalación hidráulica

- a. Al instalar los sensores, se debe probar el sistema de circulación antes de que se dosifiquen los productos químicos preparados en sus depósitos.
- b. Los electrodos de los sensores, siempre deben estar inmersos en agua de recirculación del sistema.
- c. La presión debe ser la suficiente para una relación de recirculación en agua de 20 litros por minuto como mínimo, para asegurar que fluirá más allá de los sensores y operar en forma apropiada.
- d. Se debe Instalar un filtro y antes de circular agua por el controlador a efecto de que no pasen partículas que puedan afectar la operación del equipo.
- e. Se debe Instalar válvulas fáciles de operar en el sistema de recirculación con el fin de tener un aislamiento fácil cuando se presente un caso, como un flujo turbulento lento, retiro de sensores o prácticas en la pantalla del controlador.

- f. La dirección de la circulación debe ser de la parte inferior hacia la parte superior del equipo, por lo que es conveniente trazar estas direcciones para observar la dirección del flujo apropiadamente.
- g. Se debe instalar una válvula manual de la línea de la purga, del lado del equipo donde se encuentre la válvula solenoide o válvula de esfera motorizada, para aislar o controlar el flujo de la purga si está operando.
- h. Si se opta por instalar una válvula solenoide, se requiere de una diferencial de presión de 7 a 17 lbs/pulg<sup>2</sup>.
- i. Si se tiene una válvula solenoide, se debe instalar un filtro a contracorriente del flujo, para detener los sólidos que puedan desactivarla.
- j. Cuando algunos productos químicos van a ser dosificados, se deben instalar válvulas check, antes de los sensores, para impedir que estos retrocedan.
- k. Si existe una línea de purga, no instale una válvula proveniente de ésta línea ya que el sistema no realizará la operación correctamente y las lecturas del controlador será erróneas.
- l. Después de la instalación se debe verificar todas las conexiones, abrir las válvulas de aislamiento, localizar fugas y proceder a corregirlas.
- m. Se debe utilizar tubería de PVC cédula ochenta de una pulgada y reducción a tres cuartos en los sensores.

## **I.10 Sensores utilizados en el tratamiento químico de agua**

### **A) Sensor de conductividad**

El agua es ligeramente conductora y su comportamiento se rige por la ley de Ohm y esta conductividad aumenta cuando se disuelven sales en agua, también varía en función de la temperatura y se expresa en siemens/metro o el submúltiplo micro siemens/centímetro ( $\mu\text{s/cm}$ ).

El controlador es diseñado para monitorear y verificar los Sólidos Disueltos Totales (SDT) en la torre de enfriamiento, en relación con la conductividad eléctrica, bastando únicamente multiplicar este valor detectado por un factor determinado (0.5), para ver el resultado de los SDT.

El límite de referencia deseado de la conductividad eléctrica es previamente introducido al consolador con su respectivo diferencial y sólo cuando se sobrepasa, una válvula de purga recibe una señal y es abierta hasta que se estabiliza el valor.

## B) Sensor de pH

En agua des-ionizada se tiene que la concentración de hidrógeno es igual a la concentración de oxidrilos y tiene un pH de 7.00 es decir  $(H^+) = (OH^-)$ , y se denomina medio ácido a una solución que tiene una concentración de hidrógenos mayor que la de oxidrilos donde el pH es menor de 7.00 y medio básico a la solución que tiene concentración de oxidrilos mayor que la de hidrógenos con un pH mayor a 7.00.

El pH puede determinarse por medio de indicadores coloreados cuyo color se compara con una serie de tonalidades – patrón de pH conocidos o por electrometría utilizando dos electrodos, uno de referencia y otro de media, siendo este el utilizado industrialmente y denominado potenciómetro expresado en unidades de pH.

El límite permisible deseado del valor del pH es previamente introducido al controlador del equipo con su respectivo diferencial, añadiendo un ácido (ácido sulfúrico) o una base (hidróxido de sodio), por medio de una bomba dosificadora quien recibe la señal, cuando no se tienen los puntos de referencia.

## C) Sensor del potencial Redox para el control y monitoreo del residual de cloro

En reacciones de oxidación - reducción puede participar agua, en el primer caso es un donante de electrones y el oxidante libera oxígeno, y en el segundo caso, es un receptor de electrones y el reductor libera hidrógeno.

El cloro es un oxidante muy fuerte en agua, pasa muy fácilmente en forma de oxidación, con desprendimiento de oxígeno y acidificación del medio, es decir presencia de concentración de hidrógenos, que por lo que conociendo el potencial redox, puede clasificarse con relación al hidrógeno, y por tanto entre sí, los diversos oxidantes y reductores.

Industrialmente la medida del potencial redox se efectúa por electrometría, utilizando dos electrodos, uno de referencia y otro de medida y entre los bordes de los mismos aparece una tensión, función lineal de la concentración en iones hidrógeno, bastando unir estos bordes con un voltímetro para conocer el valor del potencial redox en milivolts.

El límite permisible deseado del potencial redox para el control del residual de cloro, es previamente introducido al controlador del panel de control con su respectivo diferencial, disminuyendo o aumentando la dosificación del producto clorado, por medio de la bomba dosificadora quien recibe una señal, cuando no se tienen los puntos de referencia.

Dosificación automática del producto químico inhibidor de corrosión e incrustación por medio de la bomba dosificadora, controlada por el panel.

Para el caso del panel de control de casa de máquinas, estos dos parámetros (fosfanatos y taninos) son los poliacrilatos.

**A) Primera modalidad.-** En función de la cantidad teórica recomendada por capacidad de la torre de enfriamiento.

- Fosfanatos.- En presentación líquida, 5 ml. por cada tonelada de refrigeración por turno y mantener un residual de fosfanato entre 40 - 60 ppm. y, dependiendo del resultado analítico, aumentar o disminuir la dosis.
- Tanino.- En presentación líquida, 2.5 ml. del producto por cada tonelada de refrigeración por turno y mantener un residual de tanino entre 5 – 10 ppm., dependiendo del resultado analítico, aumentar o disminuir la dosis.

**B) Segunda modalidad.-** En función de la cantidad de agua de reposición en litros a la torre de enfriamiento y la capacidad de la bomba dosificadora en litros por minutos o galones por minuto.

- Fosfonatos.- Un litro de producto químico por cada metro cúbico de agua de reposición por día, y dependiendo del resultado analítico aumentar o disminuir la dosis.
- Tanino.- Un litro de producto químico por cada metro cúbico de agua de reposición por día, y dependiendo del resultado analítico, aumentar o disminuir la dosis.

## **II. INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL**

### **II.1 Descripción del Instituto Mexicano del Seguro Social**

El 19 de enero de 1943 nació el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), con una composición tripartita para su gobierno, integrado de manera igualitaria, por representantes de los trabajadores, de los patrones y del Gobierno Federal. De inmediato comenzó a trabajar su Consejo Técnico. Entonces, al igual que hoy, sus integrantes han sabido anteponer a los legítimos intereses que representan el bien superior del Seguro Social, constituyéndose así en garantía de permanencia y desarrollo Institucional.

El 6 de abril de 1943 se funda el Sindicato Nacional de Trabajadores del Seguro Social (SNTSS), que hoy en día constituye la organización sindical más grande del apartado A del Artículo 123 Constitucional. El decreto de creación del IMSS preveía la puesta en marcha de los servicios para el primero de enero de 1944. Cuenta Miguel Ángel Huerta, fundador del IMSS:

En la capital del país, el Seguro Social fue acreditándose. Hubo que responder de inmediato a la demanda de atención, incluso contratar servicios de particulares.

Para entonces el movimiento obrero, convencido de las bondades del Seguro Social, se constituyó en uno de sus principales defensores, situación que se ha mantenido hasta la fecha.

De igual forma el Seguro Social se convirtió en eficaz vehículo para demostrar, en los hechos, entonces como ahora el compromiso social de los empresarios.

En 1952 se construye el primer centro hospitalario de mayor trascendencia para el Instituto Mexicano Seguro Social, conocido como "La Raza".

Conforme el Instituto Mexicano del Seguro Social extendió su sistema, también logró su consolidación financiera y la diversificación de servicios en busca de un sólido concepto integral de seguridad social. Construyendo centros hospitalarios en otros lugares de la República Mexicana; tal fue el caso del Hospital de especialidades Adolfo Ruiz Cortinez, del puerto de Veracruz, conocido hoy en día como Unidad Médica de Alta Especialidad No. 14.

#### Misión

Otorgar a todos los trabajadores mexicanos y a sus familias la protección suficiente y oportuna ante contingencias tales como la enfermedad, la invalidez, la vejez o la muerte.

## Visión

Ser una unidad líder en el sector salud. Llegar a ser completamente resolutive y con calidad en todos los asuntos que competen a la atención médica, la educación y la investigación.

## Ubicación de la organización

La Figura II.1 hace referencia a la ubicación de La Unidad Médica de Alta Especialidad No. 14, perteneciente al Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS). También se observa dentro de este plano la ubicación interna del área de casa de máquinas, esta a su vez (casa de máquinas) cuenta con un laboratorio en el cual se realizan los análisis químicos del tratamiento de agua para torres de enfriamiento.

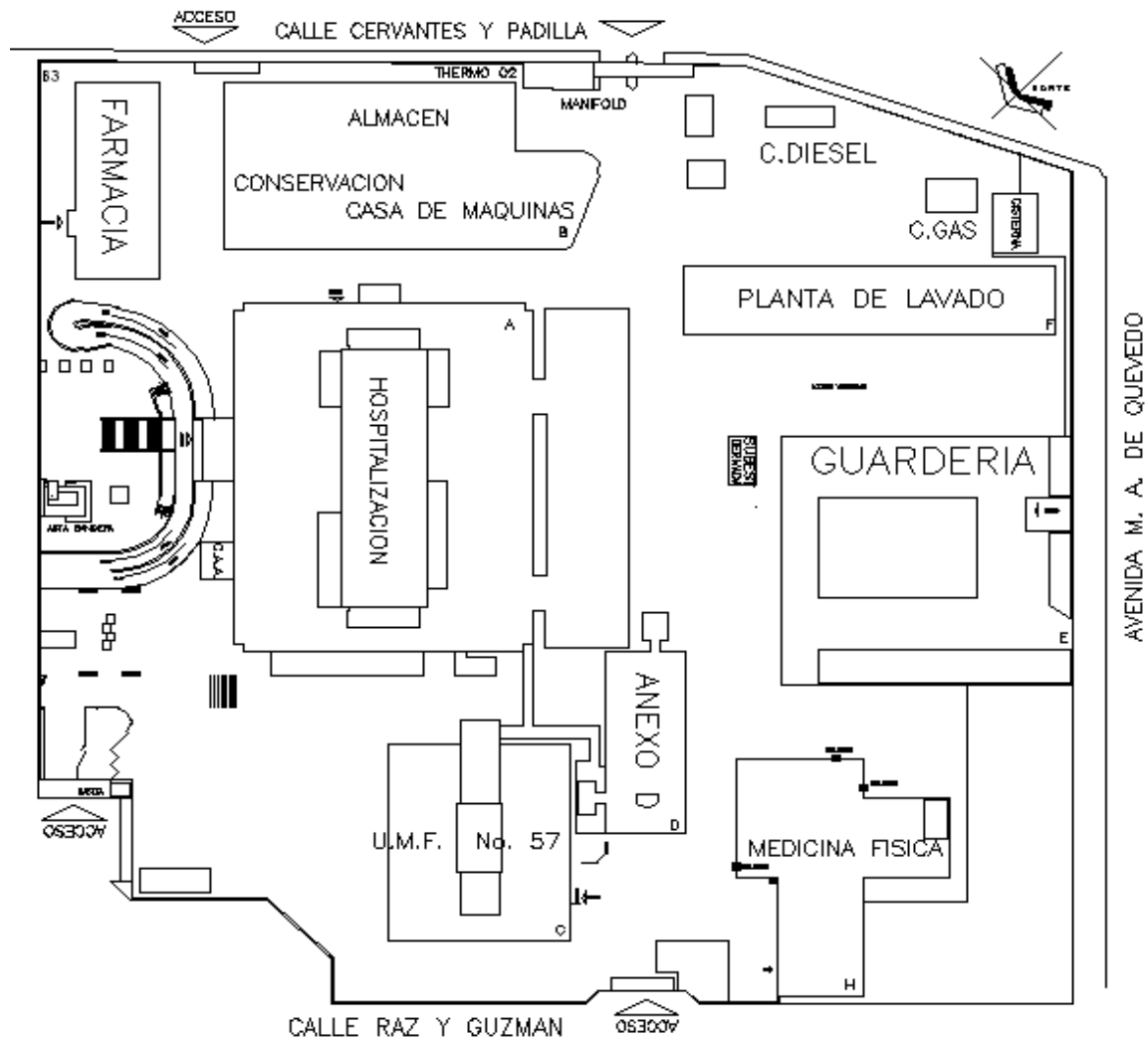


Figura II.1 Ubicación de la organización.



## Organigrama del departamento de conservación de La Unidad Médica de Alta Especialidad No. 14

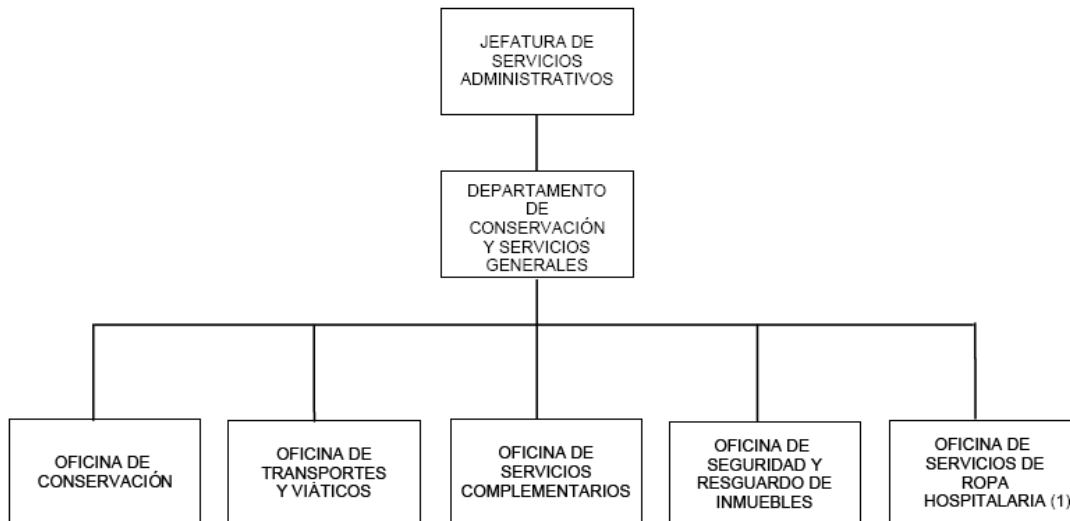


Figura II.2 Organigrama del departamento de conservación.

La Figura II.2 hace referencia a la estructura de el departamento de conservación, en este departamento se encuentra casa de máquinas y dentro de casa de máquinas, esta ubicado el laboratorio donde se realizan las pruebas al proceso de tratamiento de agua para torres de enfriamiento

### Descripción del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS)

El IMSS apoya el desarrollo de políticas para lograr una mejor gerencia en atención de salud y una mejor gestión clínica a través de la evaluación de tecnología para la salud de tecnologías actuales y emergentes. De esta manera se proporciona información basada en evidencia para difundir, adoptar y promover el uso racional de las tecnologías para la salud.

Desarrolla y evalúa nuevas iniciativas de políticas de salud con herramientas y métodos de la economía de la salud. De esta forma, proporciona la información basada en evidencia a la Dirección Médica acerca de las consecuencias económicas en la toma de decisiones en salud.

Conduce proyectos de investigación acerca de la seguridad, efectividad, costo-efectividad, impacto y en el contexto de la salud de los pacientes y del sistema de atención de salud.

Diseña políticas y estrategias para evaluar la calidad de la atención de la salud y el desempeño del sistema de salud.

Propone acciones de mejora orientadas a incrementar la calidad de la atención de la salud y la mejora continua de los servicios de salud.

Diseña normas y estándares requeridos en el campo de la calidad de atención de salud para promover el desarrollo de una cultura de calidad dentro de la organización.

Los avances logrados se deben al esfuerzo y compromiso permanente de más de 370 mil trabajadores ejemplares del IMSS en todo el país. Su trabajo se ha desarrollado en un contexto macroeconómico difícil, y ha descansado en gran medida en esfuerzos de austeridad y de combate a la evasión y la elusión. Esta ruta, sin embargo, tiene claros límites; ha ayudado a sortear la coyuntura, pero no es una solución permanente a la problemática. Afortunadamente, la situación económica parece más promisoría para el resto de éste y los próximos años.

## II.2 Proceso de tratamiento de agua para torres de enfriamiento

El agua expuesta a los elementos de la atmósfera más un constante proceso de evaporación, causan la necesidad de agregar “nueva” agua al sistema. Esta agua nueva es bombeada por La Secretaria de Agua y Saneamiento a cisternas de casa de máquinas, en estas cisternas el agua es tratada con soluciones químicas para suavizarla y prevenir incrustaciones en los equipos, el agua ya suavizada es utilizada por las torres de enfriamiento para generar el aire acondicionado de las áreas.

En la Figura II.3 se hace referencia al diagrama PEPSC, el cual presenta el proceso, como un sistema, para conocer los departamentos que lo conforman, elementos existentes en cada uno de ellos y la interrelación entre ellos.

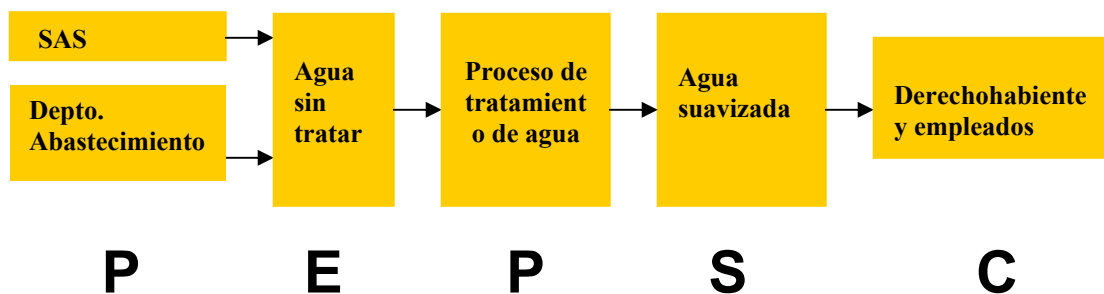


Figura II.3 Diagrama PEPSC del proceso de tratamiento químico de agua para torres de enfriamiento.

En el proceso de tratamiento químico de agua para torres de enfriamiento, la Secretaria de Agua y Saneamiento (SAS) bombea agua a las cisternas de casa de máquinas de la Unidad Médica de Alta Especialidad No. 14, al agua captada en las cisternas se le añaden soluciones de cloro para evitar el desarrollo de algas y hongos, ácido aminosulfónico que sirve para secuestrar las sales de calcio y magnesio, el fosfonato que actúa como limpiador de las superficies metálicas al formar compuestos solubles en agua, polímeros que actúan controlando la formación de incrustación creada por sales de calcio e inhibidores de corrosión que actúan como una capa protectora previniendo la corrosión en superficies metálicas de hierro, aluminio, cromo, níquel y cadmio. Estos materiales son proporcionados por el departamento de abastos; un operador en cada enlace de turno se encarga de aplicar estas soluciones para poder realizar la suavización del agua, el agua previamente suavizada es conducida a través de bombas hacia las torres de enfriamiento para poder generar el aire acondicionado que llega a todas las áreas de la Unidad Médica de Alta Especialidad, proporcionando confort a empleados y derechohabientes.

### **II.3 Metodología estadística**

#### **A) Aspectos generales**

El estudio del proceso de tratamiento químico de agua para torres de enfriamiento, de la casa de máquinas de la Unidad Médica de Alta Especialidad No. 14, requirió la asistencia de la autora en las instalaciones del mismo por 4 semanas, en horario matutino. En orden las actividades generadas fueron las siguientes:

1. Visita al área de casa de máquinas de la Unidad Médica de Alta Especialidad No. 14, para establecer las condiciones en que se realizaría el proyecto que aquí se presenta.
2. Recorrido por las instalaciones para comprender el proceso.
3. Visita al laboratorio para conocer las sustancias químicas que se emplean.

Posteriormente se procedió a conocer los datos históricos que tienen registrados.

#### **B) Diseño estadístico**

Se utilizaron datos históricos que comprenden de enero 2006 a agosto del 2006, esto por indicaciones del encargado del área. Las lecturas se toman una vez al día en cambio de turno (enlace) del personal; sin considerar sábados y domingos. El turno matutino va de 6:00 am a 15:00hrs, el vespertino de 14:30 pm a 10:30 hrs y el nocturno de 10:00 pm a 6:30 hrs.

El tamaño de muestra se determinó por la forma en que opera casa de máquinas, es decir ya tiene establecido muestrear en cada enlace de turno. El encargado ya tenía captado el periodo que deseaba monitorear (enero - agosto 2006). Se analizaron 164 lecturas de cada una de las variables de calidad (cloro residual, pH, conductividad, alcalinidad, dureza y sólidos disueltos), las lecturas se toman una vez al día, se creó una muestra por cada cinco lecturas, generando un total de 33 muestras en el periodo de análisis. Esta cantidad de datos es estadísticamente suficiente para estimar el comportamiento del proceso.

<b>Variable</b>	<b>Escala</b>	<b>Valores óptimos</b>
Cloro residual	Cuantitativa	0.1 - 1
Ph	Cuantitativa	7 - 8
Alcalinidad	Cuantitativa	50 - 150
Dureza	Cuantitativa	1200 - 1600
Conductividad	Cuantitativa	Máx. 4000
Sólidos disueltos	Cuantitativa	Máx. 2000

Tabla II.1 Variables de calidad con sus respectivos valores óptimos.

### C) Análisis estadístico

Los datos históricos de las variables, se capturaron en una base de datos en el software Statistica 6.0, para analizar en cada una de las variables con técnicas exploratorias y posteriormente con gráficos de control de medias y rangos para observar su comportamiento. En la base de datos se incluyeron otras variables como:

Fecha: Día en que se registraron los datos.

*Turno:* Matutino, vespertino y nocturno.

Los gráficos que se utilizaron en el análisis se listan en la Tabla II.2

<b>Variable</b>	<b>Gráfico</b>
Cloro residual	Cajas, Desarrollo, Medias y Rangos
Ph	Cajas, Desarrollo, Medias y Rangos
Alcalinidad	Cajas, Desarrollo, Medias y Rangos
Dureza	Cajas, Desarrollo, Medias, Rangos, CUSUM Y Promedios móviles.

Conductividad	Cajas, Desarrollo, Medias y Rangos
Sólidos disueltos	Cajas, Desarrollo, Medias y Rangos

Tabla II.2 Gráficos con los que se analizaron las variables.

### III. RESULTADOS

#### III. 1 Características de calidad por turno y muestra

Aquí se presenta la exploración y monitoreo del proceso para cada característica de calidad.

##### III.1.1 El proceso respecto al cloro residual

La Figura III.1 muestra los valores del cloro residual registrados en los ocho meses. Se observa que el mes con mayor variabilidad es el de agosto, también se observa que en este mes hay un punto fuera muy por debajo del valor esperado.

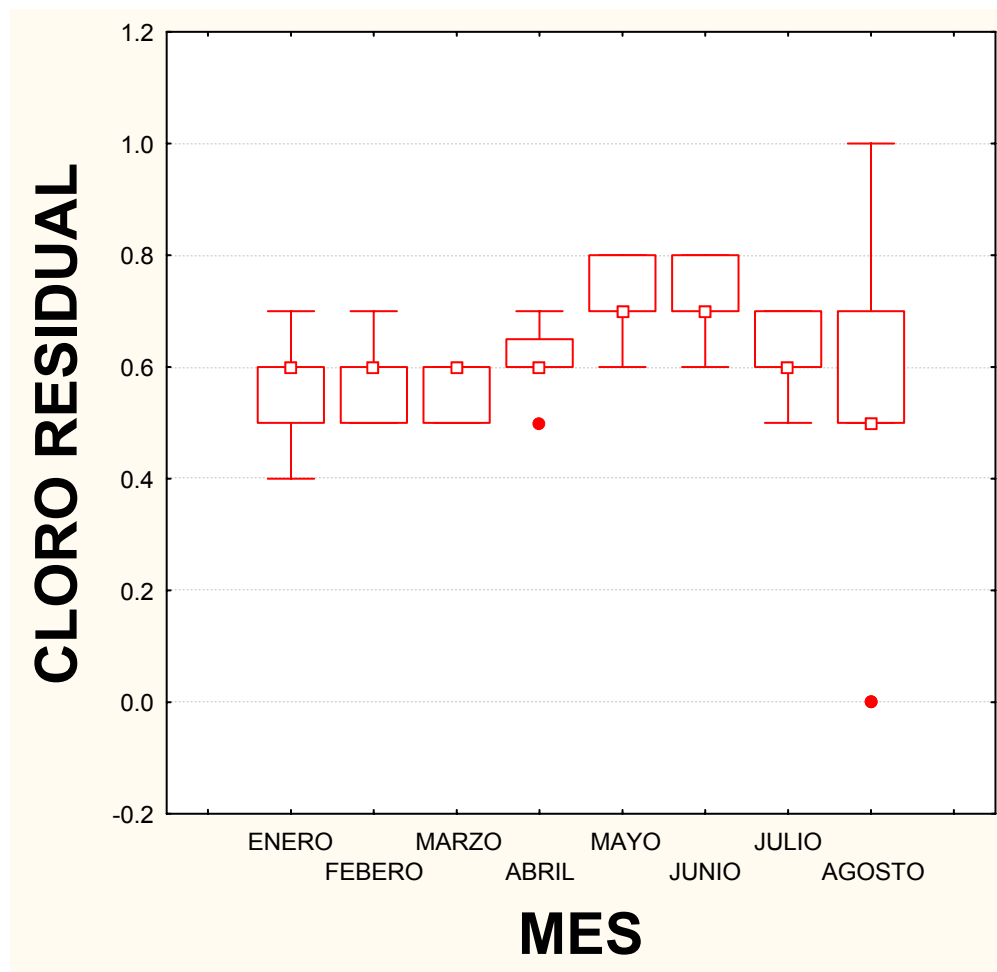


Figura III.1 Distribución del cloro residual por mes.

La Figura III.2 muestra los valores del cloro residual registrados en los tres turnos. Aquí se observa que el turno matutino tiene mayor variabilidad con respecto a los otros dos turnos. También se observa que hay puntos fuera de los valores óptimos esperados.

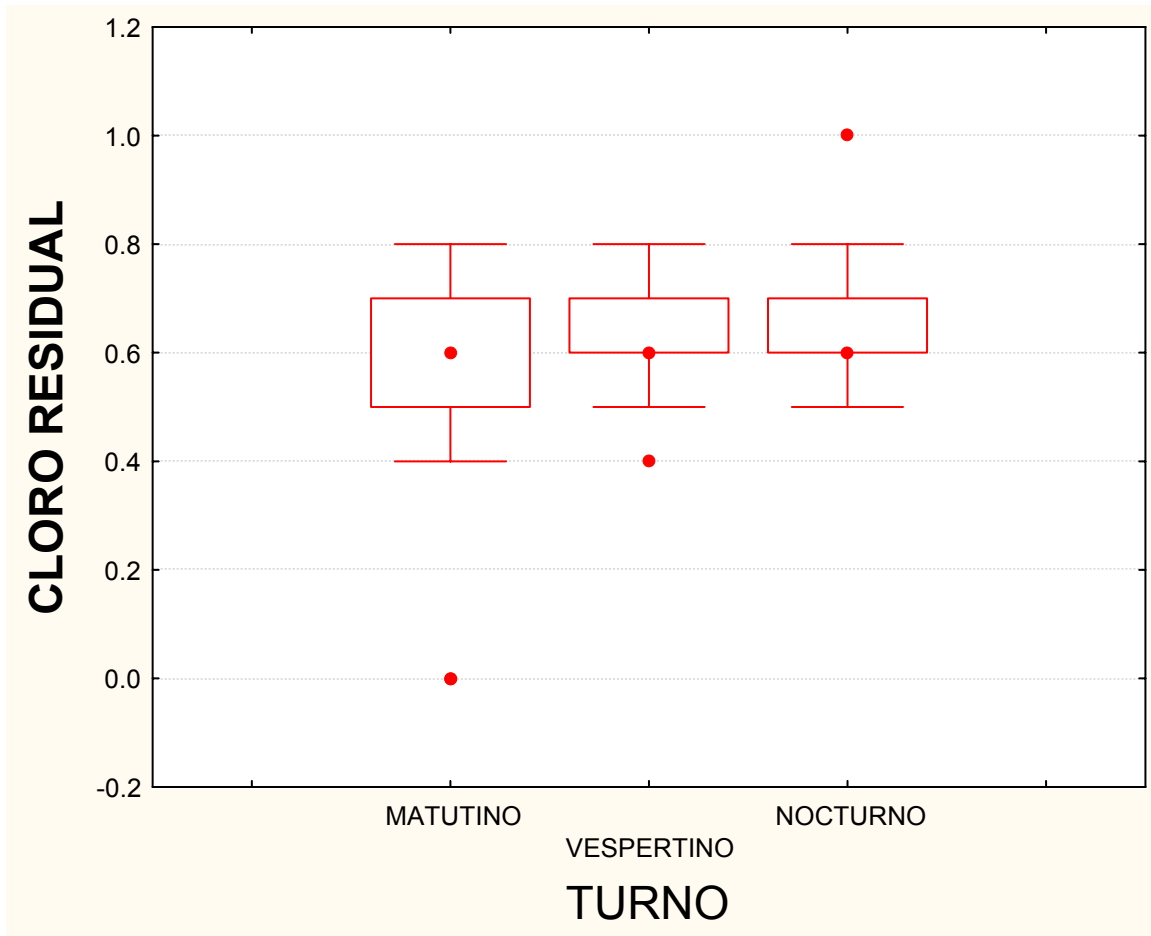


Figura III.2 Distribución del cloro residual en cada turno.

En la Figura III.3 se observa que el cloro residual no se mantuvo constante en el periodo de análisis, estuvo variando constantemente.

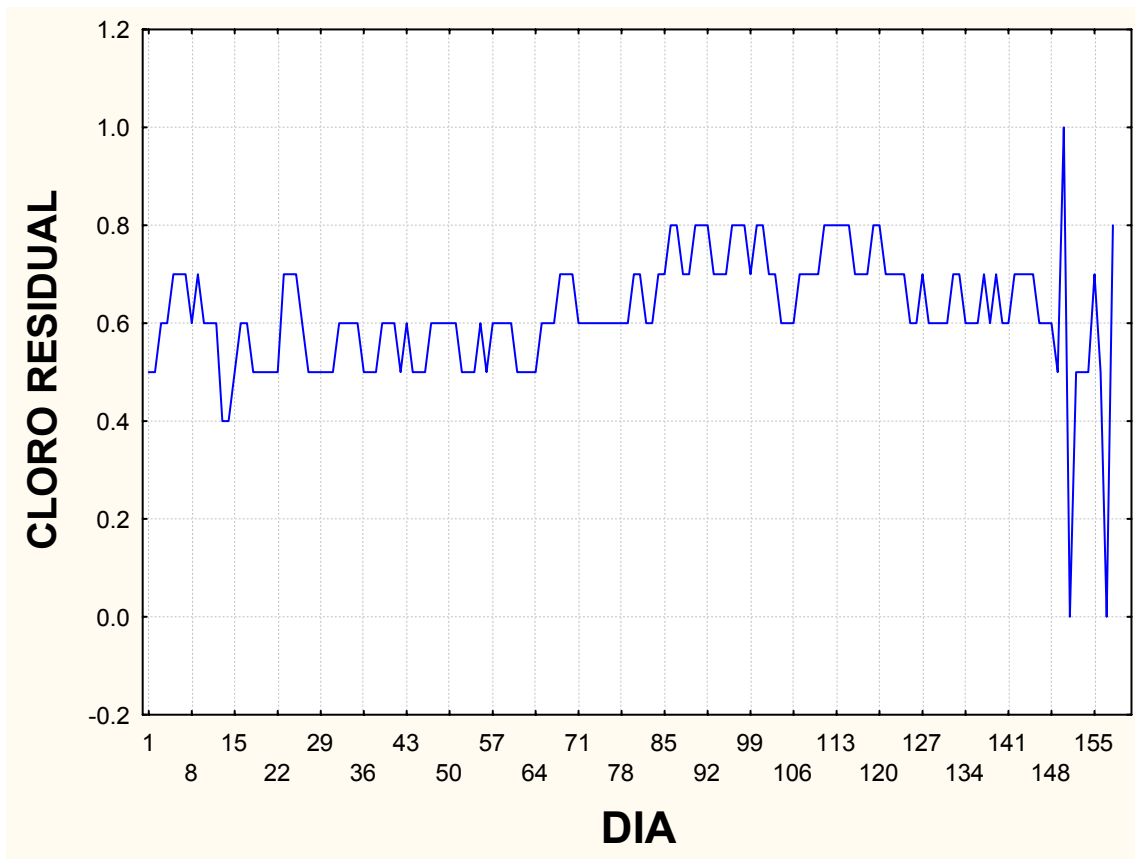


Figura III.3 Distribución del cloro residual en el periodo de análisis.



La Figura III.4 muestra el comportamiento del cloro residual en el periodo de estudio, en el cual se observa que hay unos puntos fuera de los límites, correspondientes a las lecturas del último mes. Sin embargo, no podemos afirmar que en este mes el cloro residual estuvo fuera de control, ya que en este mes hay pocas lecturas registradas. En el gráfico de rangos se puede observar en la muestra treinta correspondiente al mes de agosto, puntos fuerza de los valores esperados.

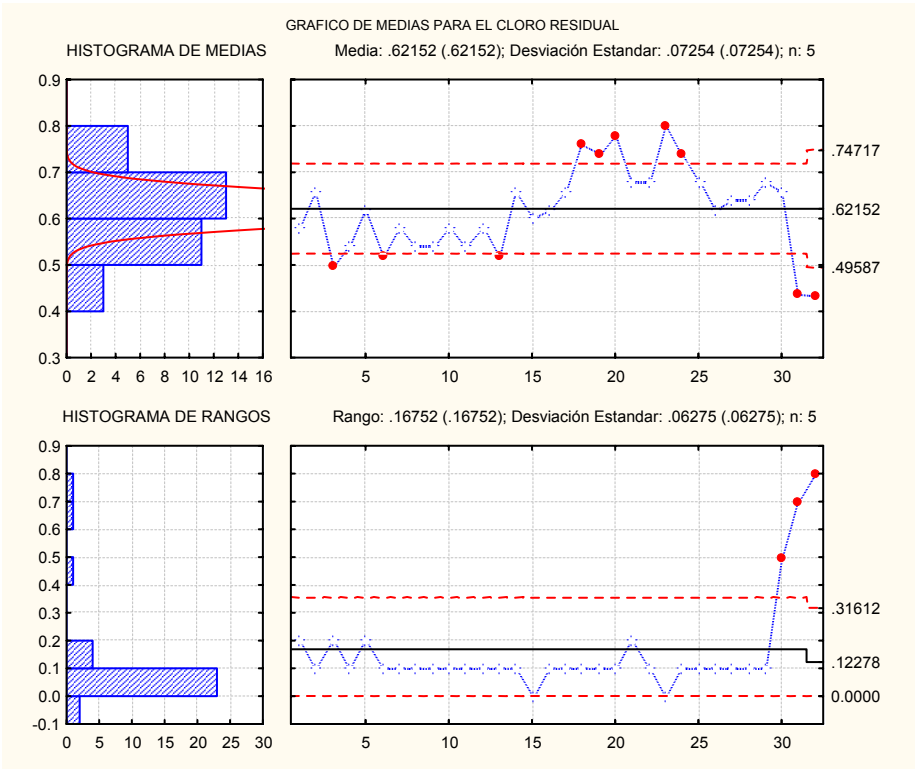


Figura III.4 Comportamiento del cloro residual en el periodo agosto – enero 2006.

### III.1.2 El proceso respecto al pH

La Figura III.5 muestra la distribución del pH correspondientes a los meses de enero - agosto, en este gráfico se observa que la variabilidad en los meses fue muy similar, solo en el mes de agosto encontramos mayor variabilidad con respecto a los otros meses.

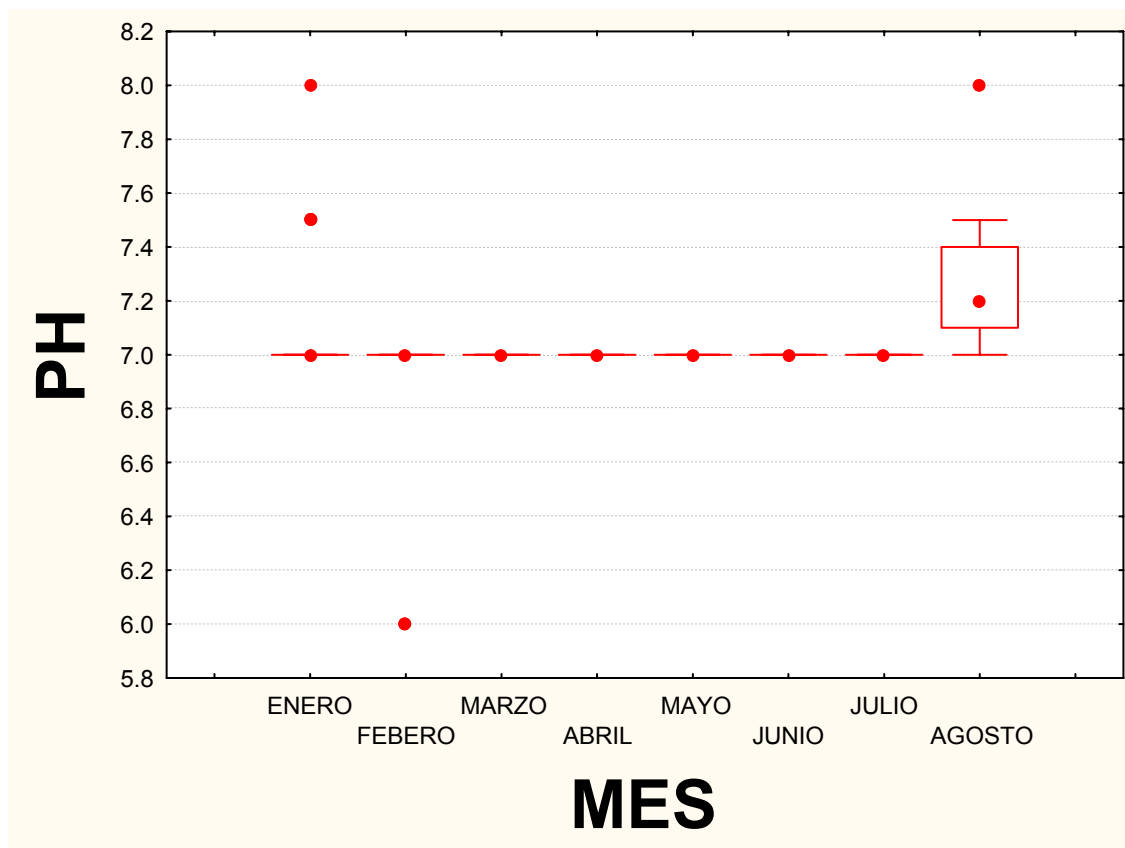


Figura III.5 Distribución del pH en el periodo de análisis.

En la Figura III.6 se observa que hay poca variabilidad en el pH, con respecto en los tres turnos, aunque también podemos observar, algunos puntos fuera de los valores óptimos.

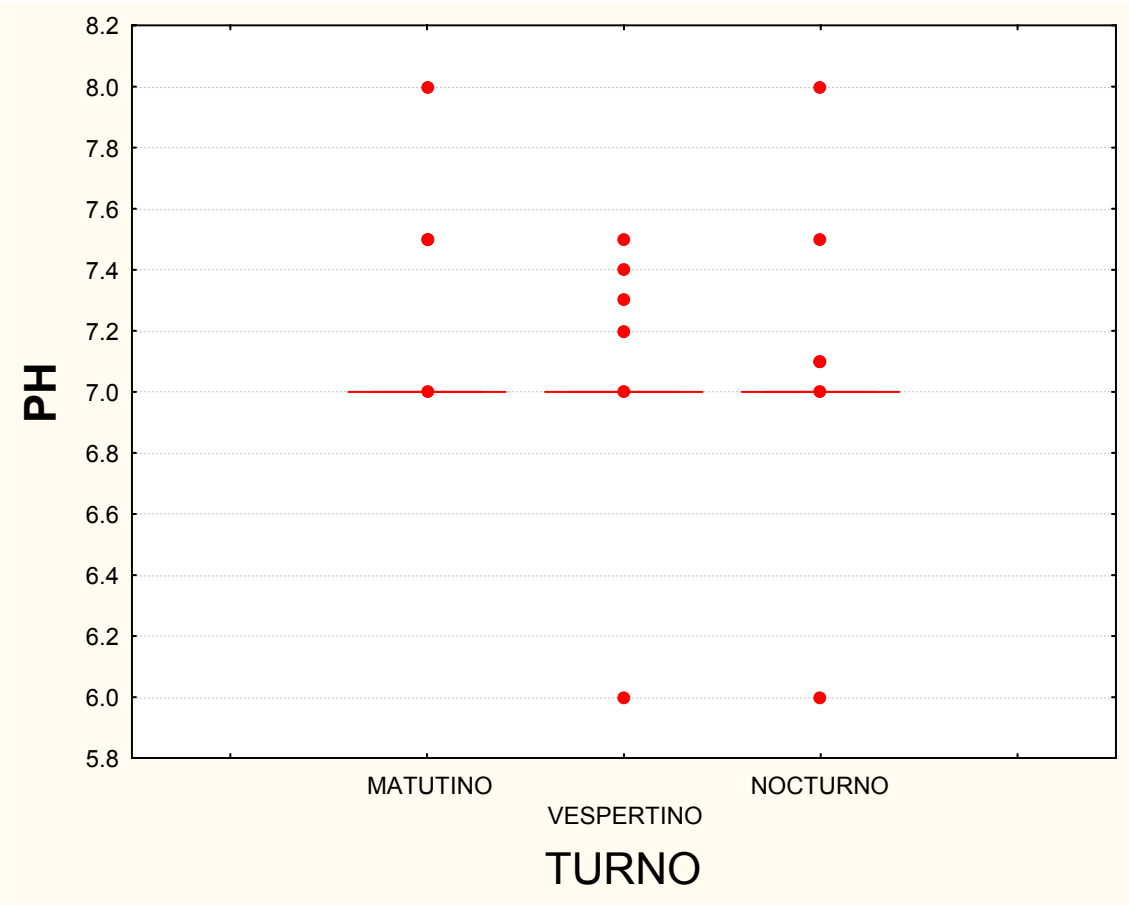


Figura III.6 Comportamiento del pH en los tres turnos.

La Figura III.7 muestra que el pH, al inicio del estudio se mantuvo con cambios, pero al transcurso de los días se observa que permaneció estable durante unos meses.

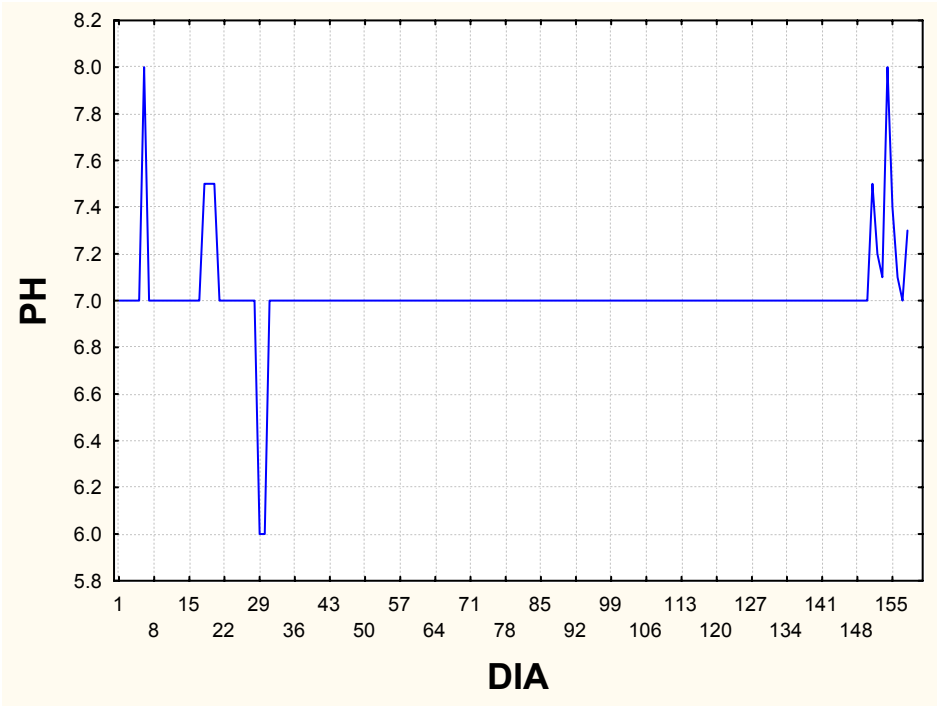


Figura III.7 Distribución del pH en el periodo agosto – enero 2006.

La Figura III .8 ilustra que se presentan patrones no aleatorios, como dos o tres puntos consecutivos en la zona “A” o mas allá, proporcionan una alerta anticipada de cambio en el proceso. En el gráfico de rangos se observan puntos fuera de los valores óptimos esperados en las muestras dos, cuatro, seis y en las muestras 31 y 32 correspondientes al mes de agosto.

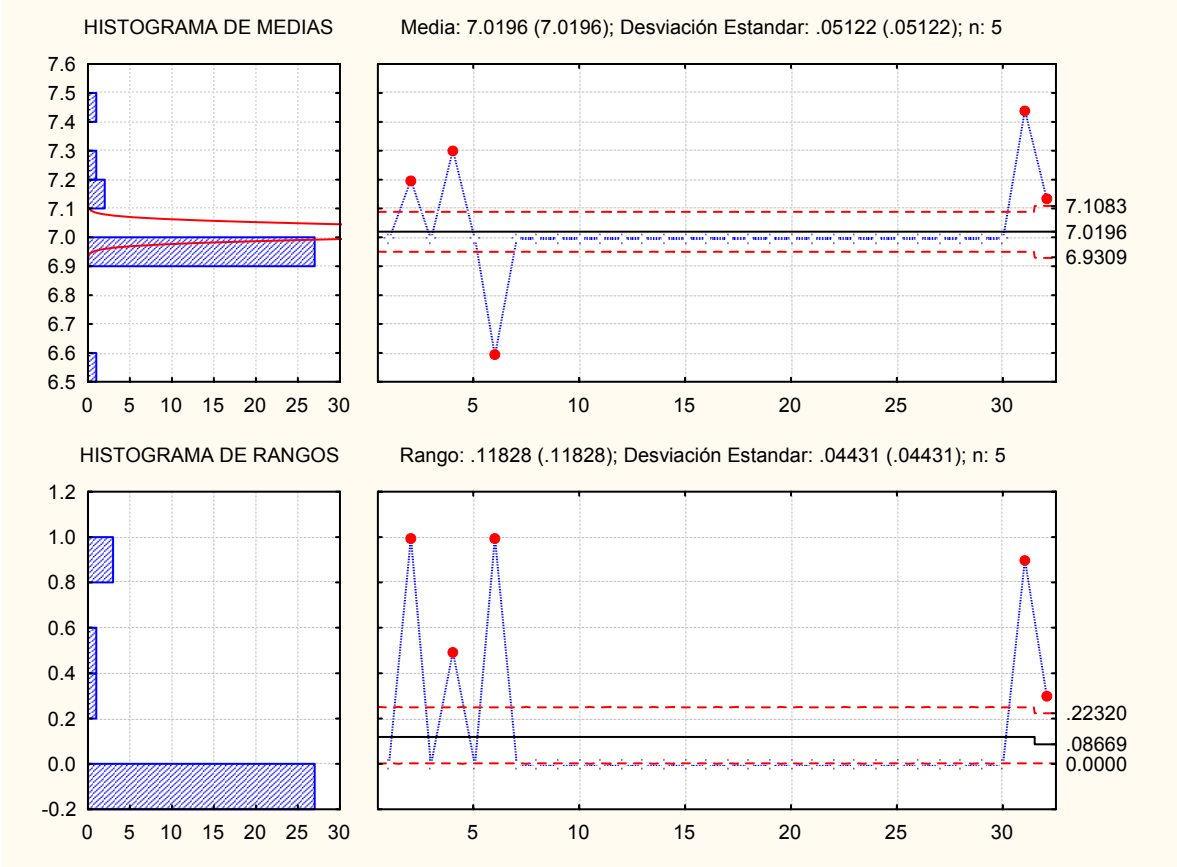


Figura III.8 Comportamiento del pH en el periodo de análisis.

### III.1.3 El proceso respecto a la alcalinidad

En la Figura III.9 se observa que la variabilidad en la distribución de la alcalinidad por mes no tuvo cambios mayores, aunque en las lecturas correspondientes al mes de agosto hay mayor variabilidad.

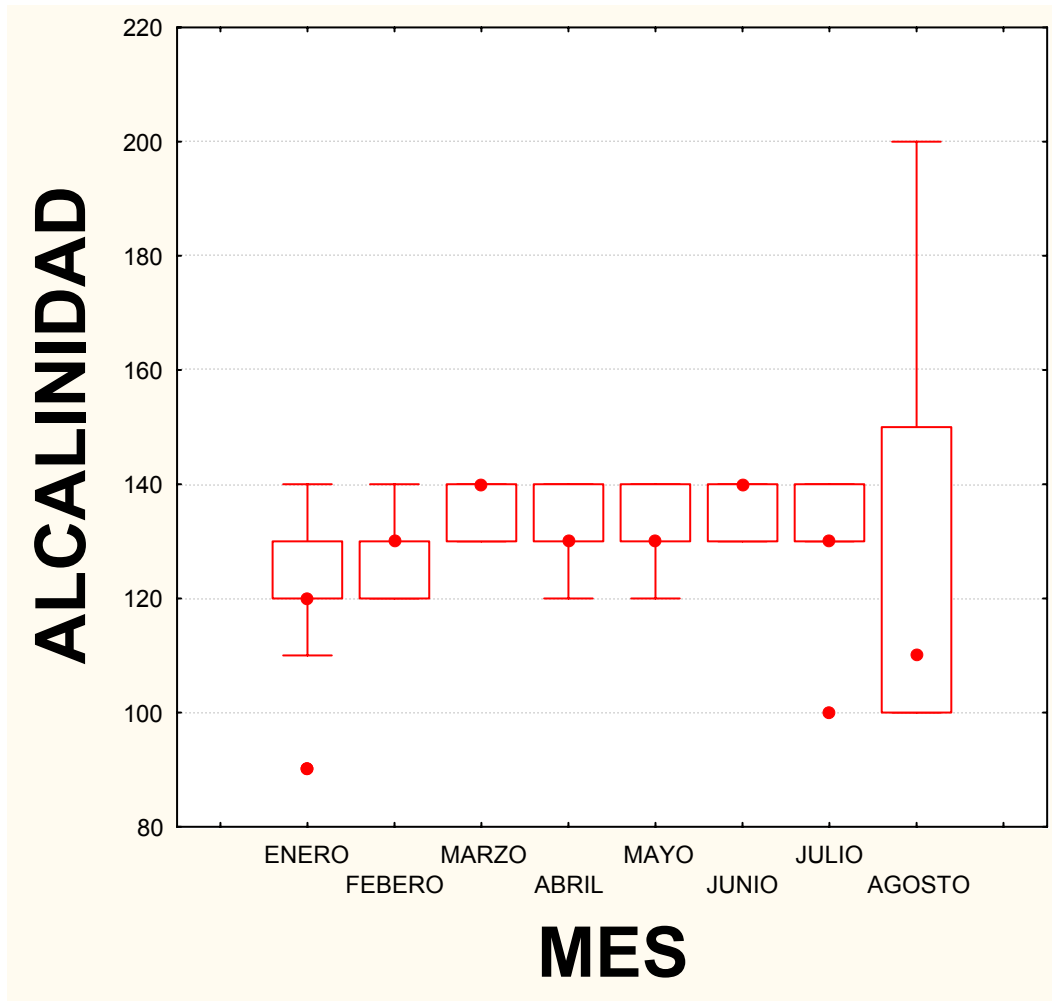


Figura III.9 Distribución de la alcalinidad por mes.

En la Figura III.10 se observa que la variabilidad de la alcalinidad en los tres turnos fue muy similar, no hay cambios significativos en las lecturas de los tres turnos. Encontramos mayor cantidad de puntos fuera de los valores esperados en el turno vespertino.

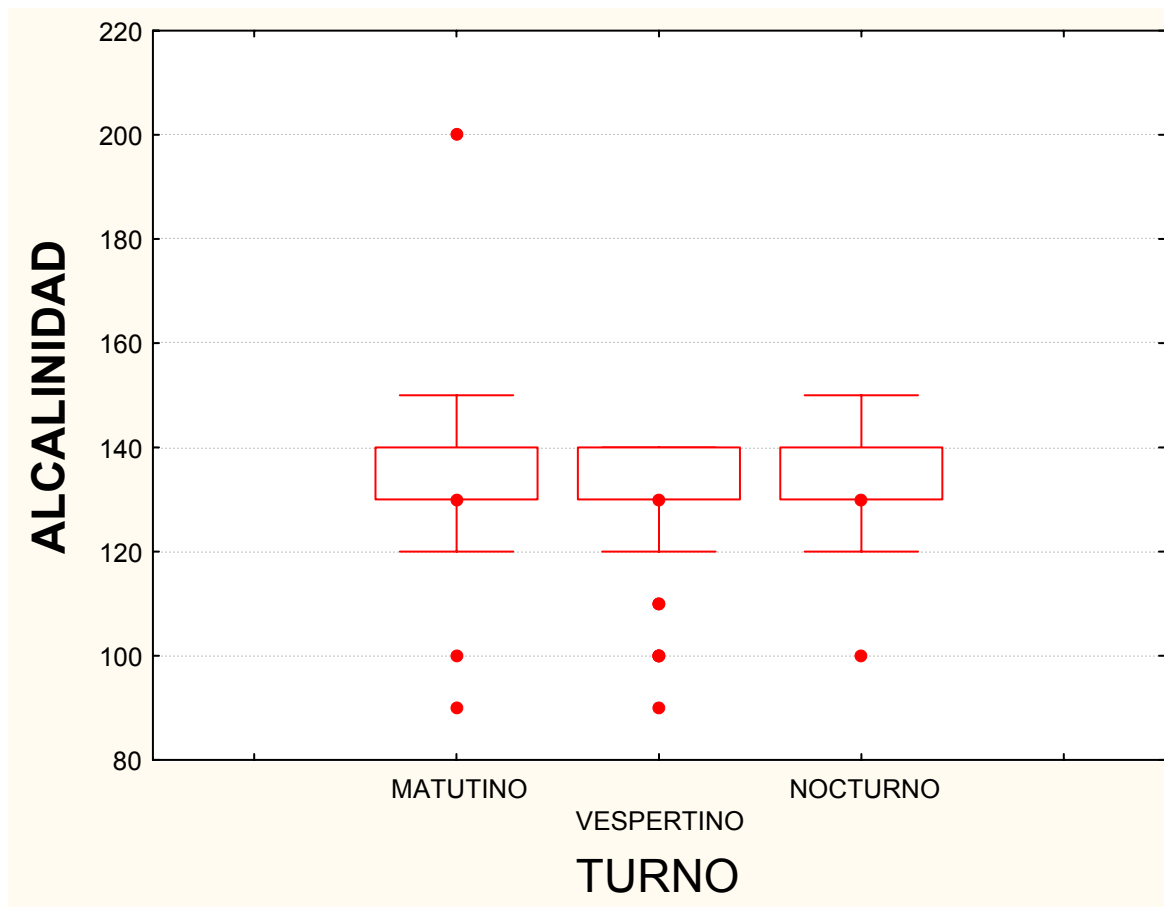


Figura III.10 Distribución de la alcalinidad en los tres turnos.

En la Figura III.11 se observa que la alcalinidad tuvo pocos cambios, los más notorios se observan en las últimas lecturas, que corresponden al mes de agosto 2006 con puntos fuera de los valores esperados.

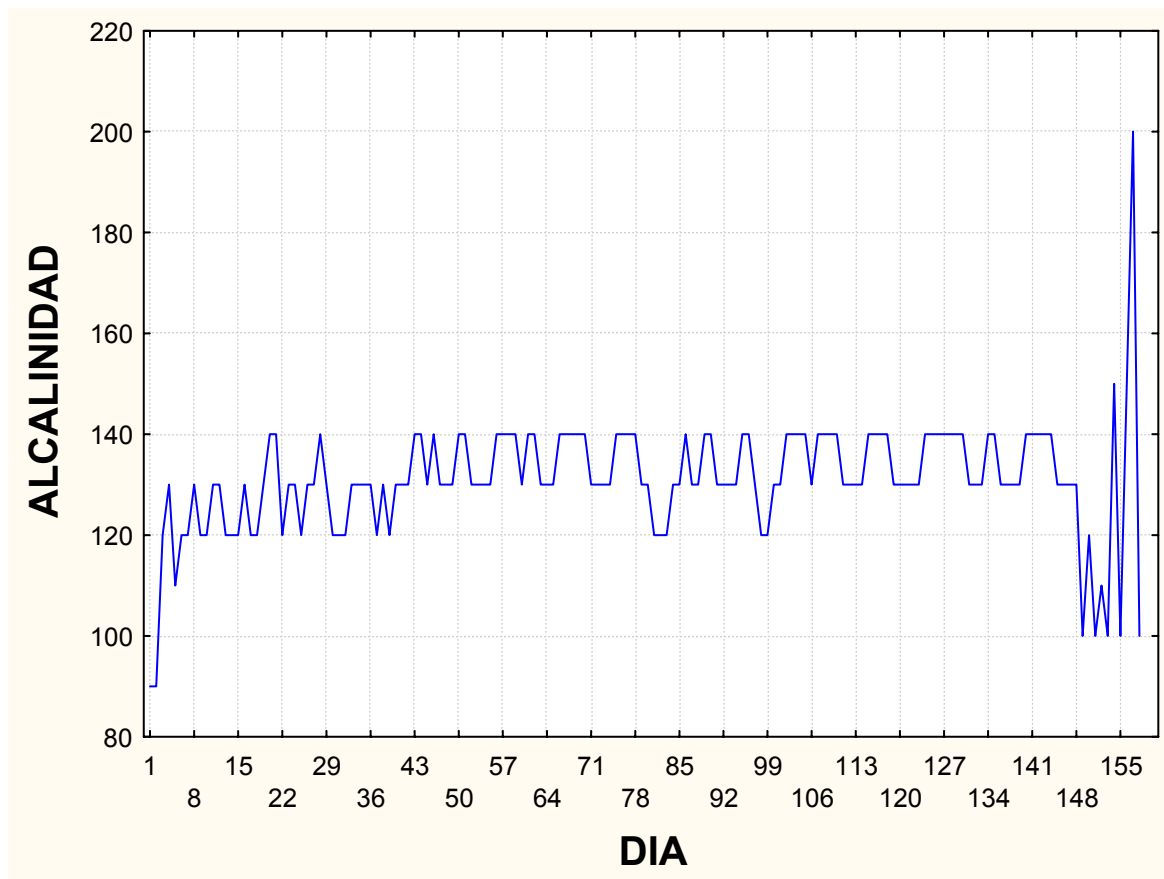


Figura III.11 Distribución de la alcalinidad en el periodo enero – agosto 2006.



En la Figura III.12 se observa que la alcalinidad estuvo dentro de los límites de control, con unos pocos puntos fuera de estos. También se aprecian patrones no aleatorios, ya que se observan al menos un punto fuera de los límites de control y ocho puntos consecutivos en la zona “C” de un sólo lado de la línea central. Esto indica que probablemente la media del proceso ha cambiado. En el gráfico de rangos se observan puntos fuera de los límites de control en las muestras 31 y 32 que corresponden a lecturas del último mes.

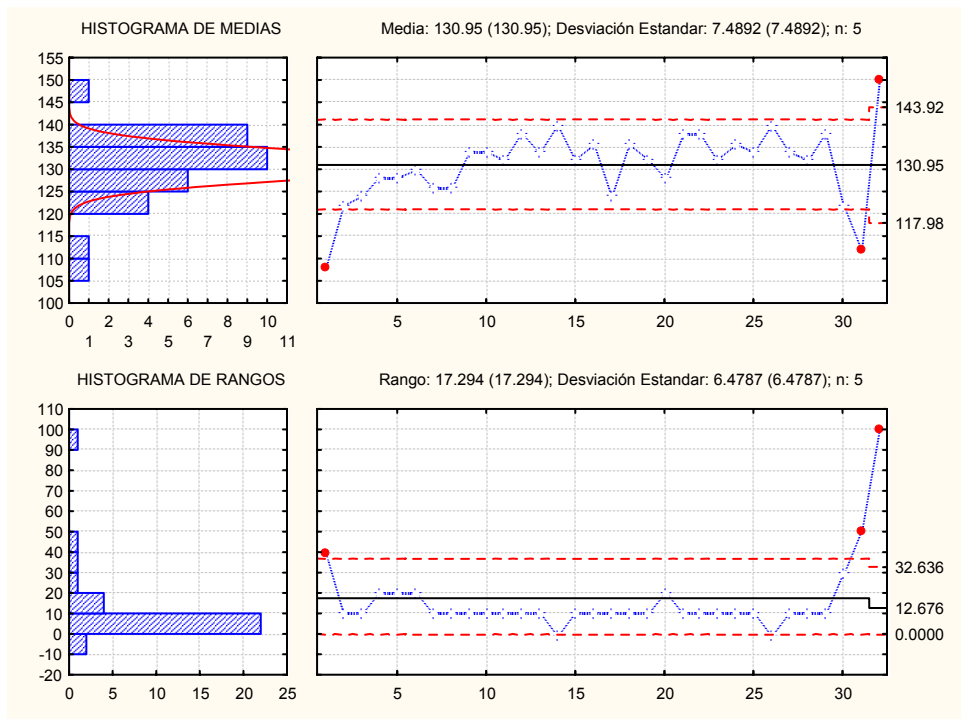


Figura III.12 Comportamiento de la alcalinidad en el periodo de análisis.

### III.1.4 El proceso respecto a la conductividad

La Figura III.13 ilustra la distribución de la conductividad en cada mes, se observa que la variabilidad fue muy parecida en casi todos los meses, solo el mes de agosto tiene mayor variabilidad con respecto a los otros meses y los meses con menor variabilidad son julio y abril.

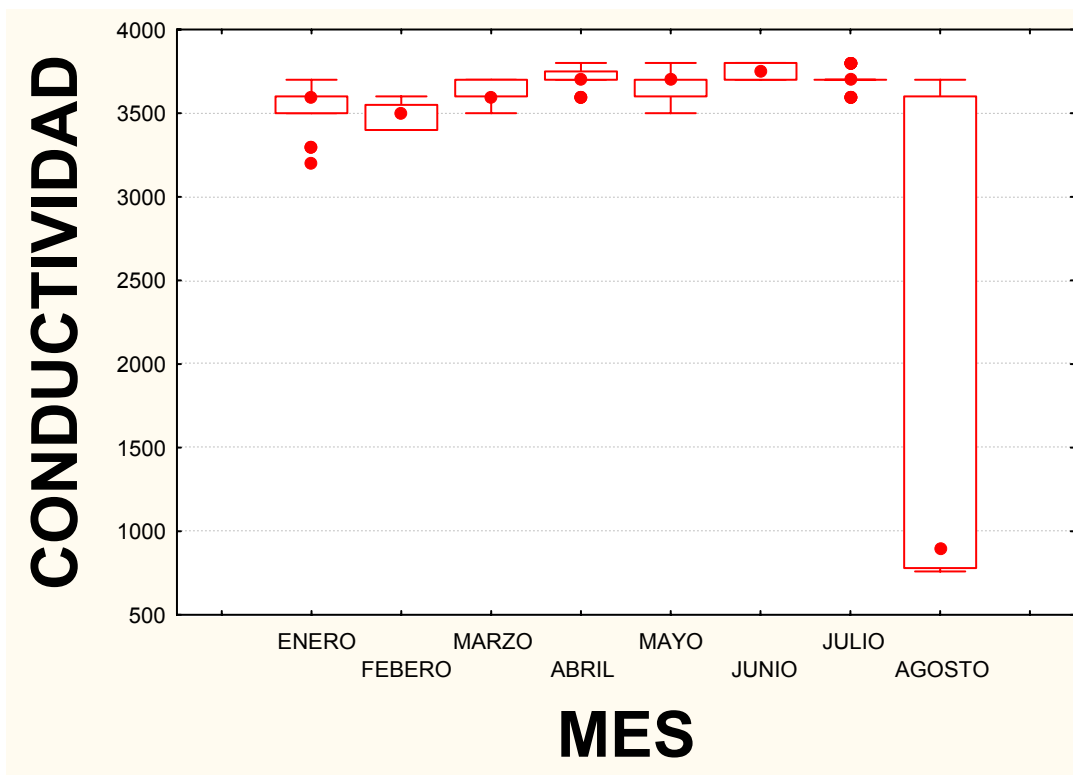


Figura III.13 Distribución de la conductividad por mes.

La Figura III.14 muestra que la variabilidad de la conductividad, fue similar en los tres turnos, se observa unos puntos fuera de los valores óptimos esperados.

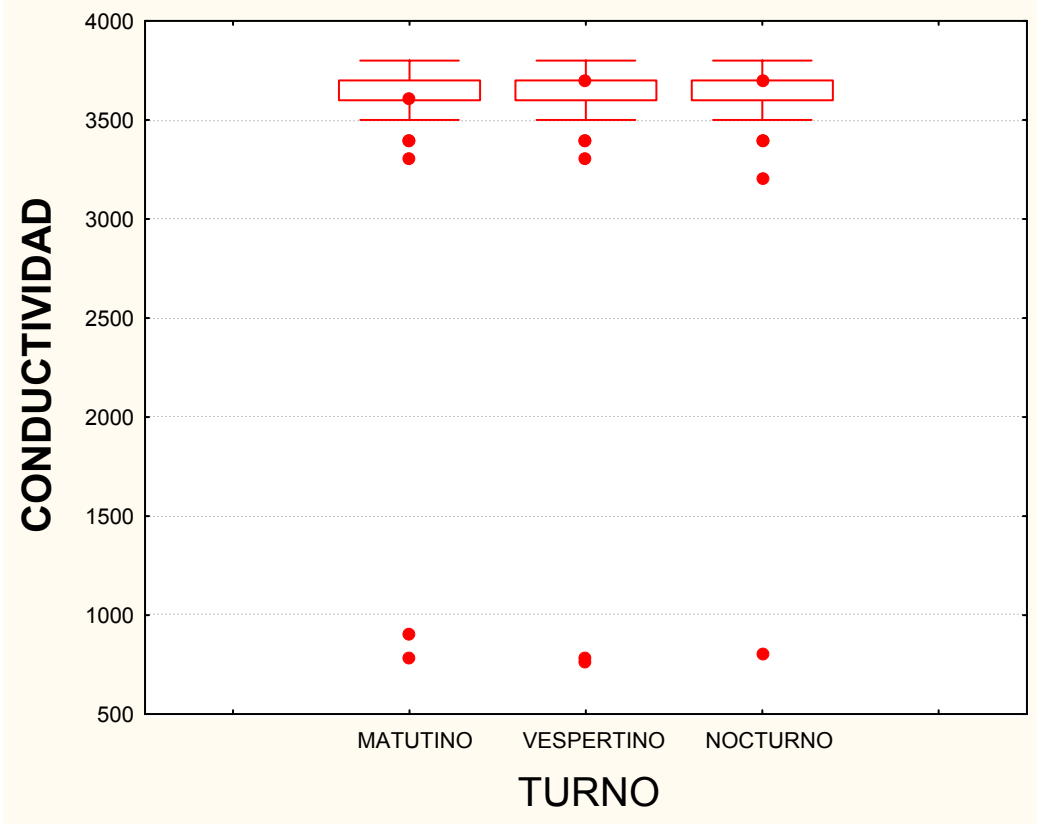


Figura III.14 Distribución de la conductividad en los tres turnos.

En la Figura III.15 se aprecia un comportamiento similar en las lecturas. Pero en las lecturas correspondientes al último mes se aprecia un punto por debajo de los valores óptimos esperados.

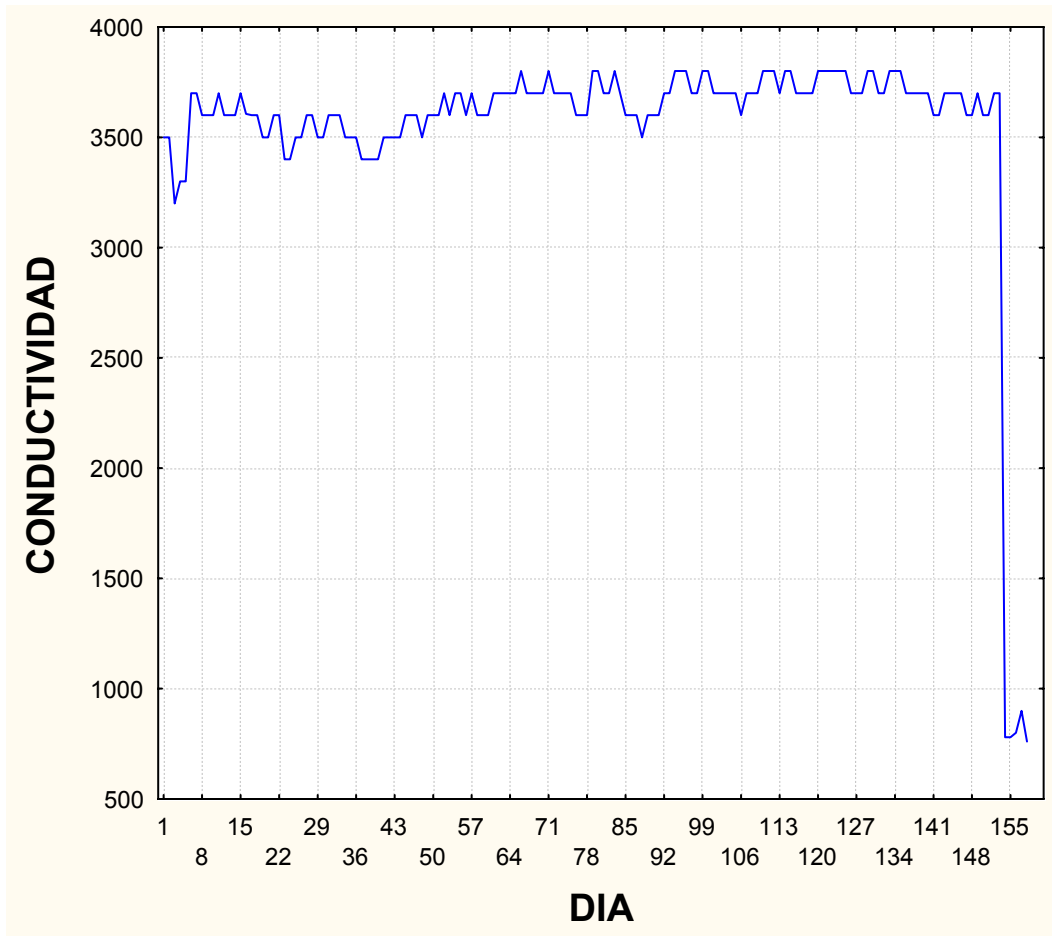


Figura III.15 Distribución de la conductividad en el periodo de análisis.

En la Figura III.16 se aprecian patrones no aleatorios como, al menos un punto fuera de los límites de control, dos o tres puntos consecutivos en la zona “A” o mas halla, ocho puntos consecutivos en la zona “C” de un solo lado de la línea central, indica que la media del proceso probablemente ha cambiado.

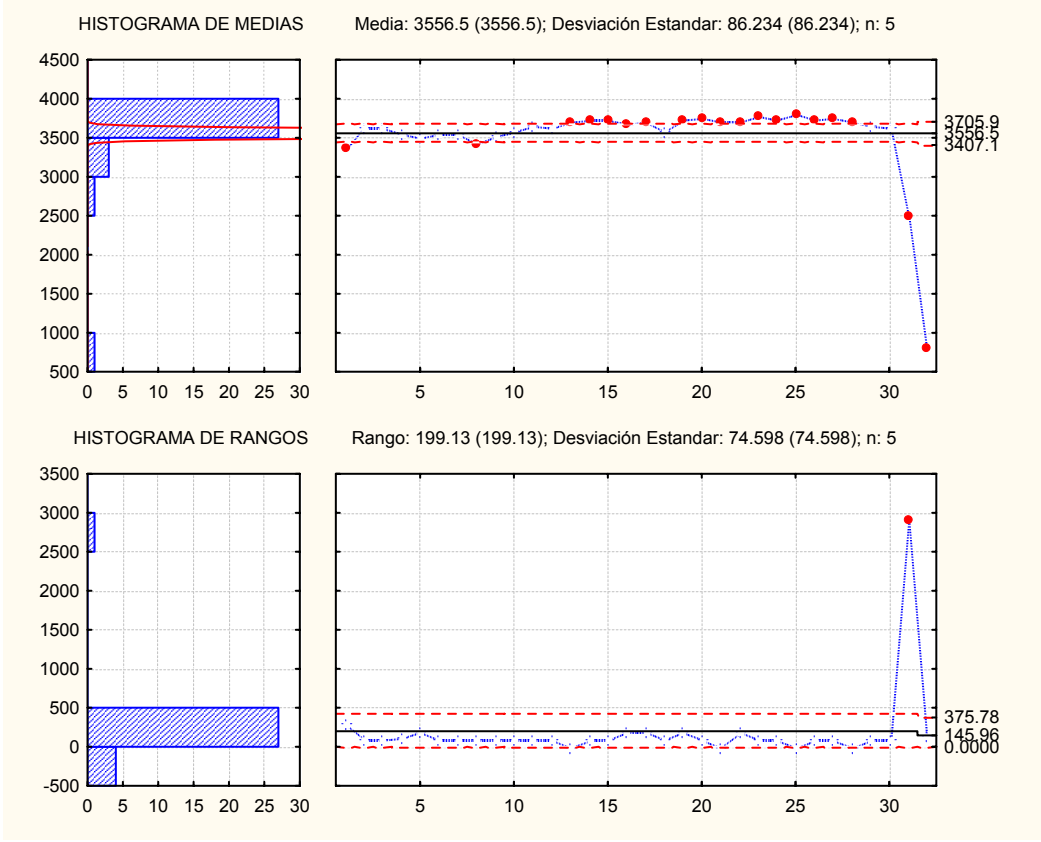


Figura III.16 Comportamiento de la conductividad en el periodo de análisis.

### III.1.5 El proceso respecto a los sólidos disueltos

En la Figura III.17 se observa que la variabilidad en las lecturas por mes de los sólidos disueltos fue muy similar, los meses que tuvieron la menor variabilidad fueron junio y julio, pero el mes con mayor variabilidad fue agosto.

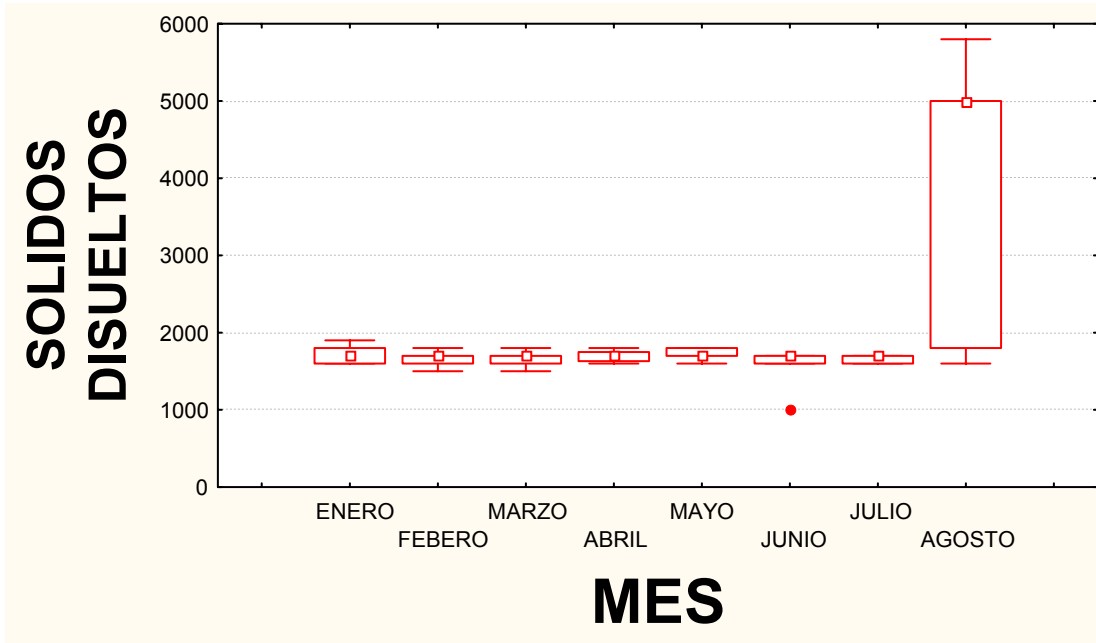


Figura III.17 Distribución de los sólidos disueltos por mes.

En la Figura III.18 se observa que los sólidos disueltos, tienen la misma variabilidad en los tres turnos. Con cinco puntos fuera de los valores óptimos esperados, no hay cambios en la toma de lecturas de un turno a otro. En el turno vespertino se observan dos puntos muy alejados de los valores óptimos esperados.

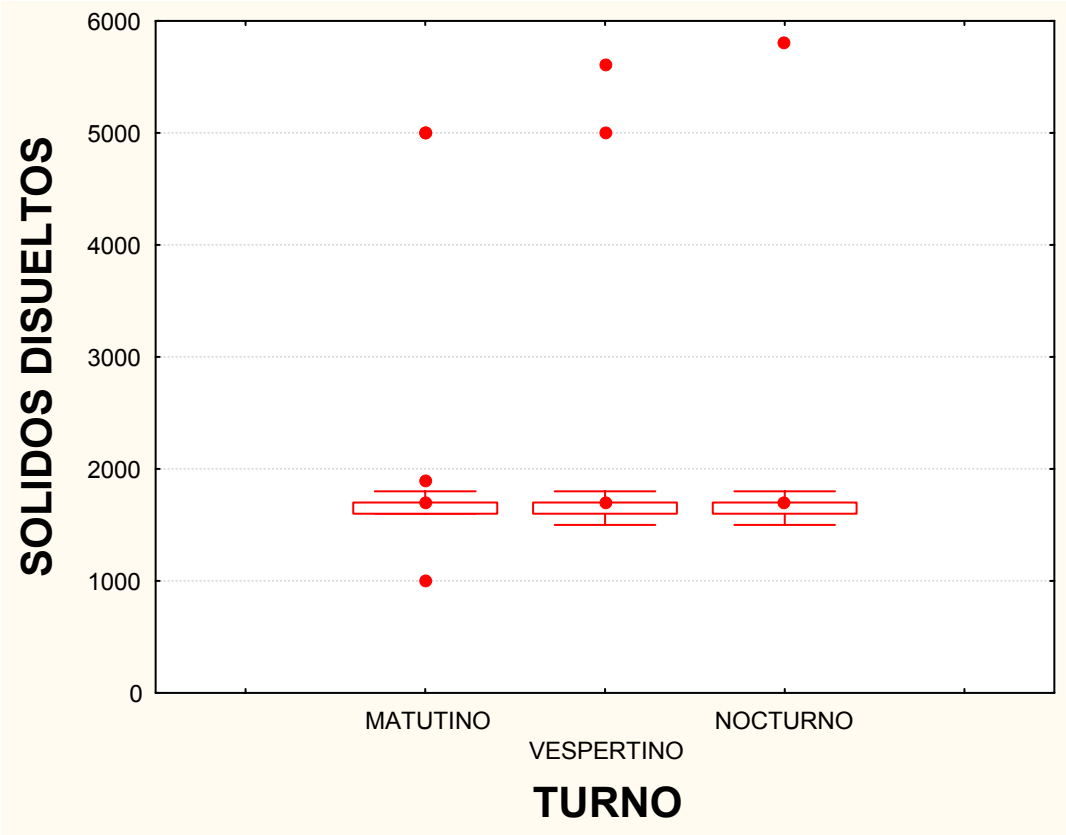


Figura III.18 Distribución de los sólidos disueltos en los tres turnos.

En la Figura III.19 se observa que los sólidos disueltos tuvieron un comportamiento estable en el periodo de análisis, con lecturas de hasta 5500 en el último mes.

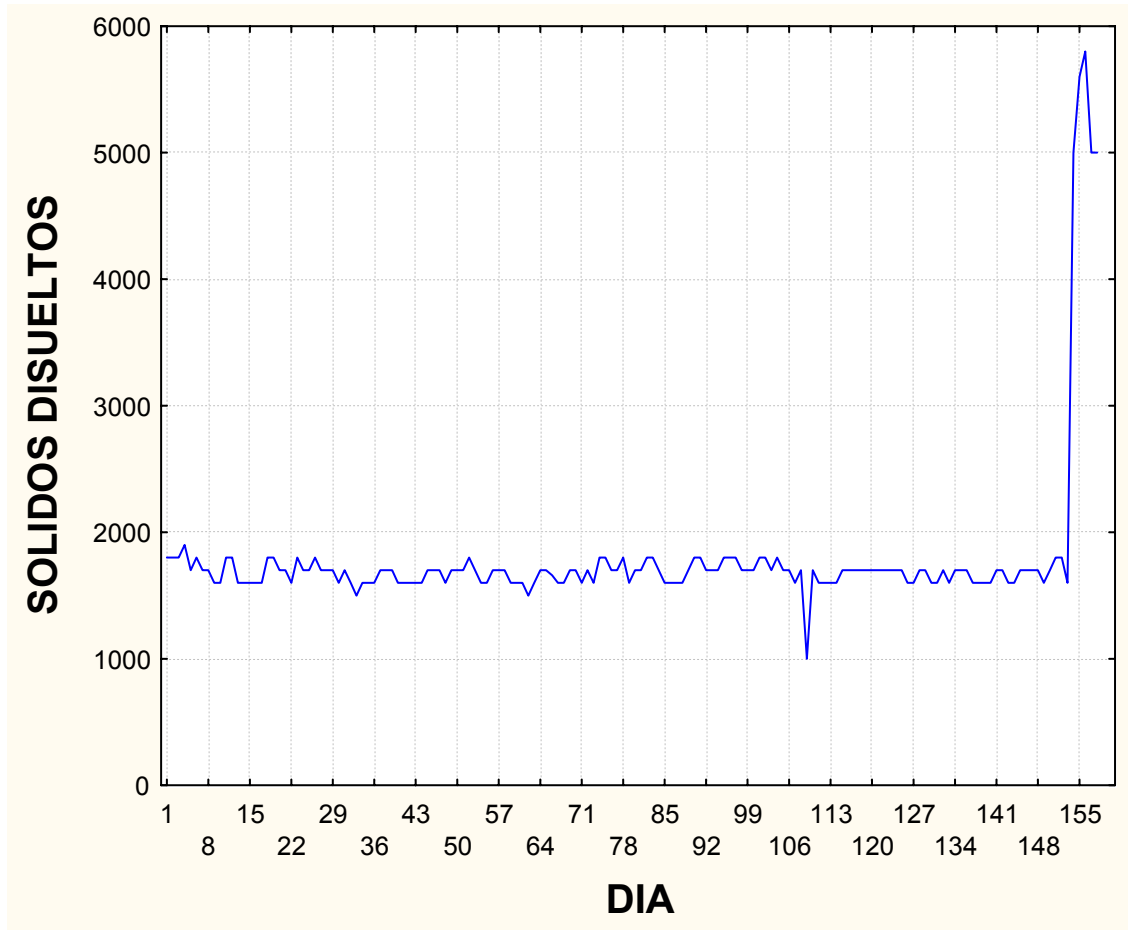


Figura III.19 Distribución de los sólidos disueltos en el periodo de análisis.



En la Figura III.20 se aprecian patrones no aleatorios como, al menos un punto fuera de los límites de control, dos o tres puntos consecutivos en la zona “A” o mas halla, nos proporciona una alerta anticipada de un cambio en el proceso, ocho puntos consecutivos en la zona “C” de un solo lado de la línea central, indica que probablemente la media del proceso ha cambiado.

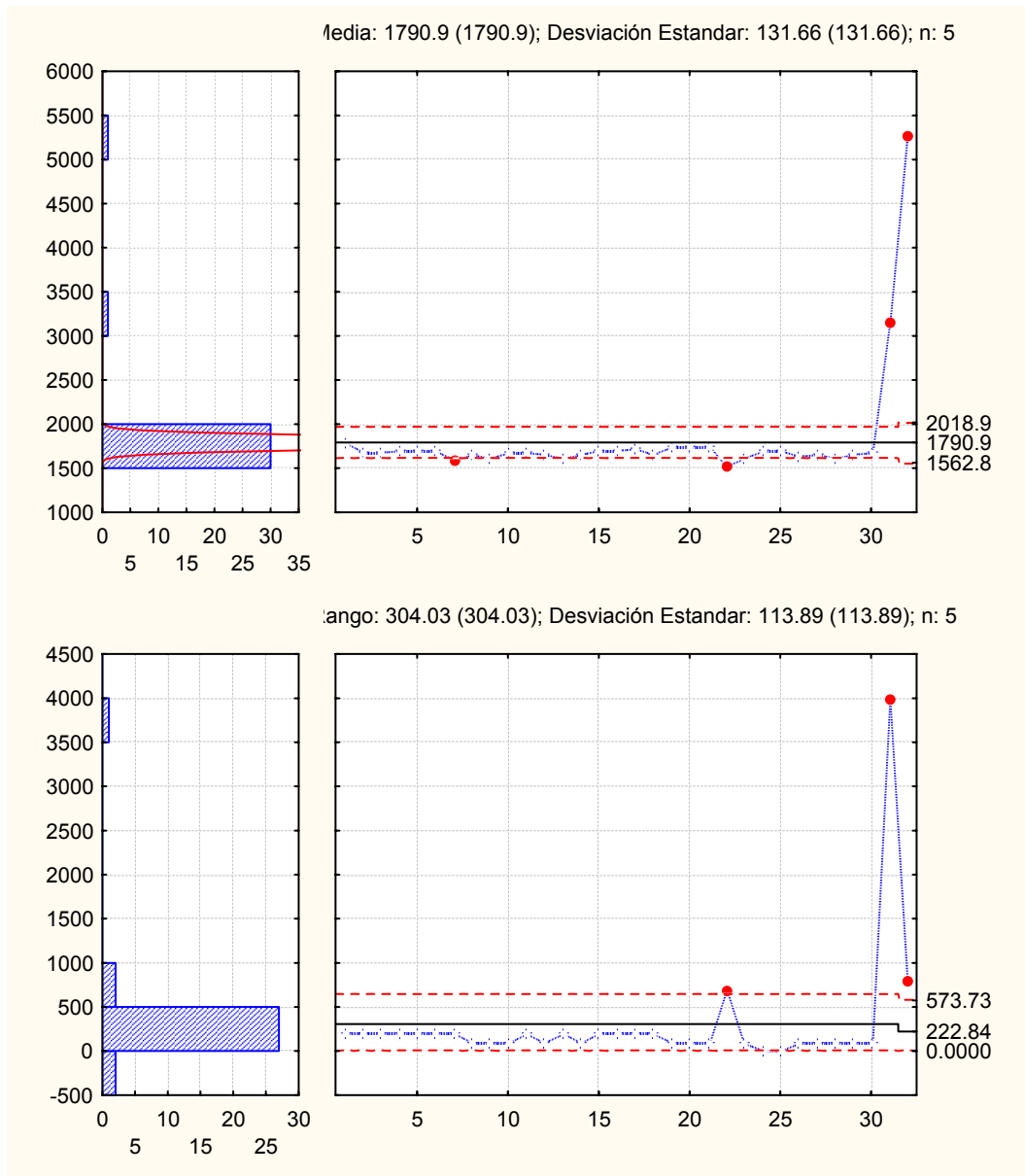


Figura III.20 Comportamiento de los sólidos disueltos en el periodo enero – agosto 2006.

### III.1.6 El proceso respecto a la dureza

En la Figura III.21 se observan cambios en la variabilidad con respecto a cada mes, el mes con mayor variabilidad es agosto, el mes con menor variabilidad en las lecturas registradas es julio, aunque en este mes encontramos tres puntos fuera de los valores óptimos esperados.

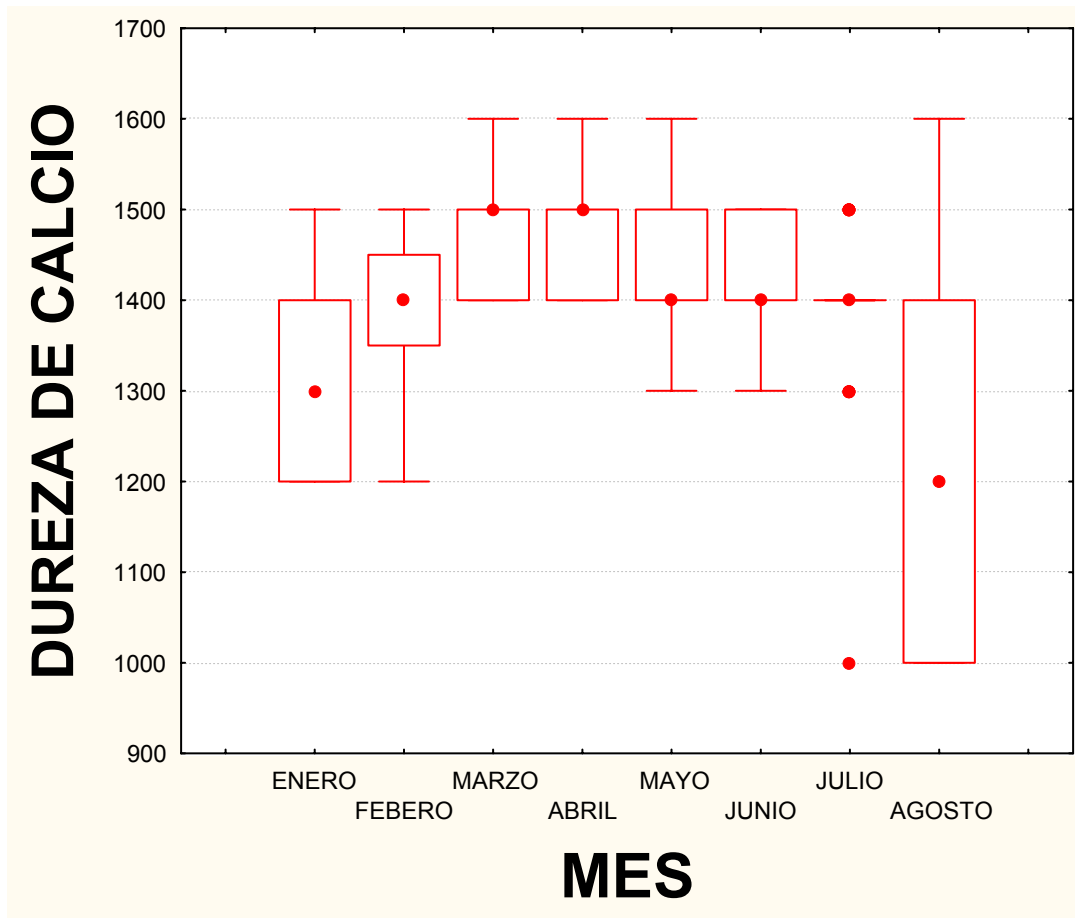


Figura III.21 Distribución de la dureza por mes.

En la Figura III.22, se observa que la variabilidad en la dureza fue muy similar, representando poco cambios por turnos. Es decir las lecturas tomadas fueron similares en los tres turnos.

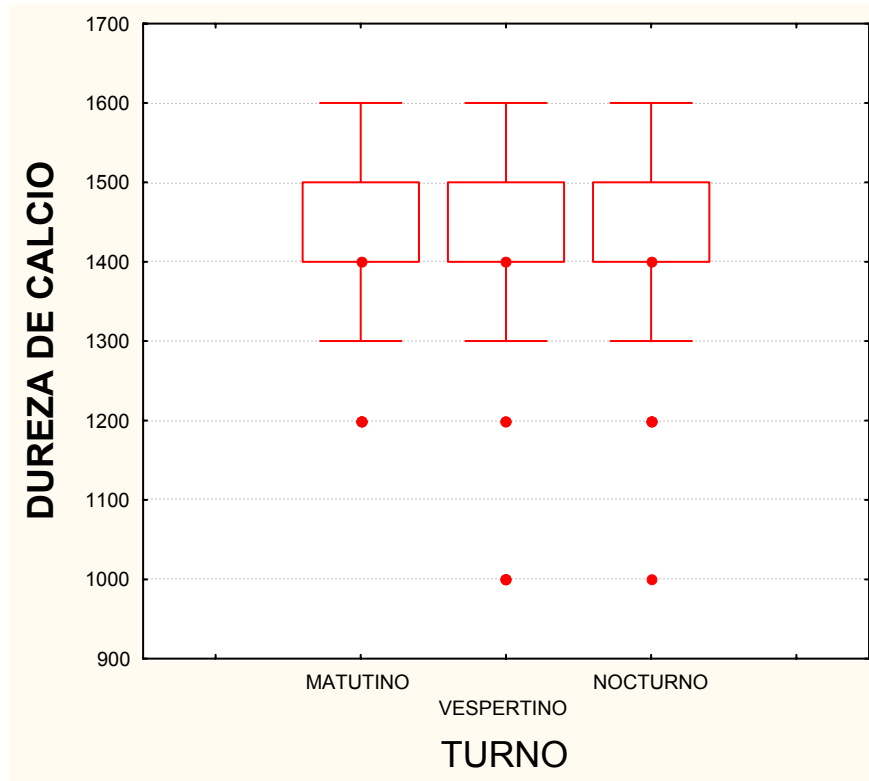


Figura III.22 Distribución de la dureza en los tres turnos.

La Figura III.23 se observa brincos en las lecturas con respecto de un mes a otro, y en las últimas lecturas del mes de agosto se observa lecturas muy bajas. No se observa estabilidad en el proceso.

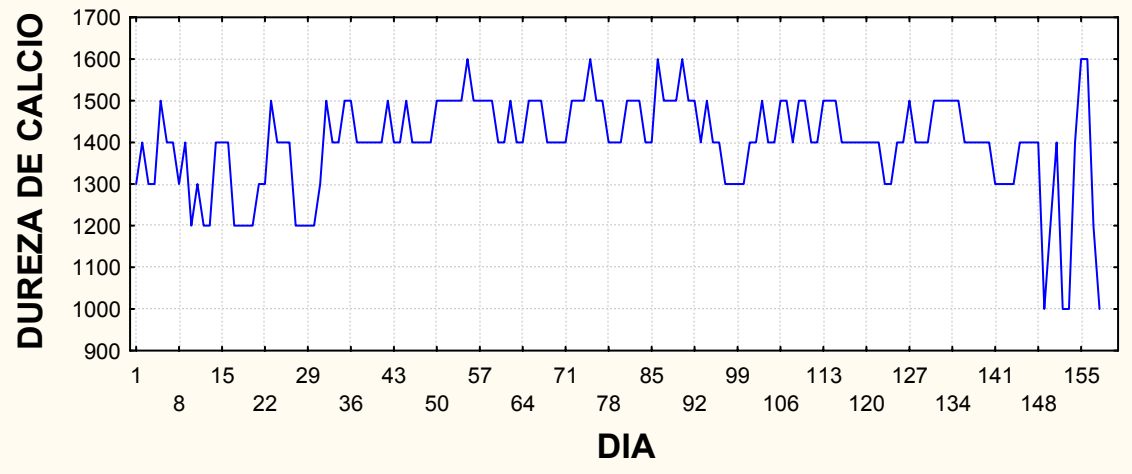


Figura III.23 Distribución de la dureza en el periodo de análisis.

La Figura III.24 se puede observar puntos fuera de los límites de control, se aprecian patrones no aleatorios ya que mas de tres puntos en la zona A, indica posibles cambios en el proceso, también se observa mas de ocho puntos consecutivos en la zona C, lo cual indica que quizá la media del proceso ha cambiado.

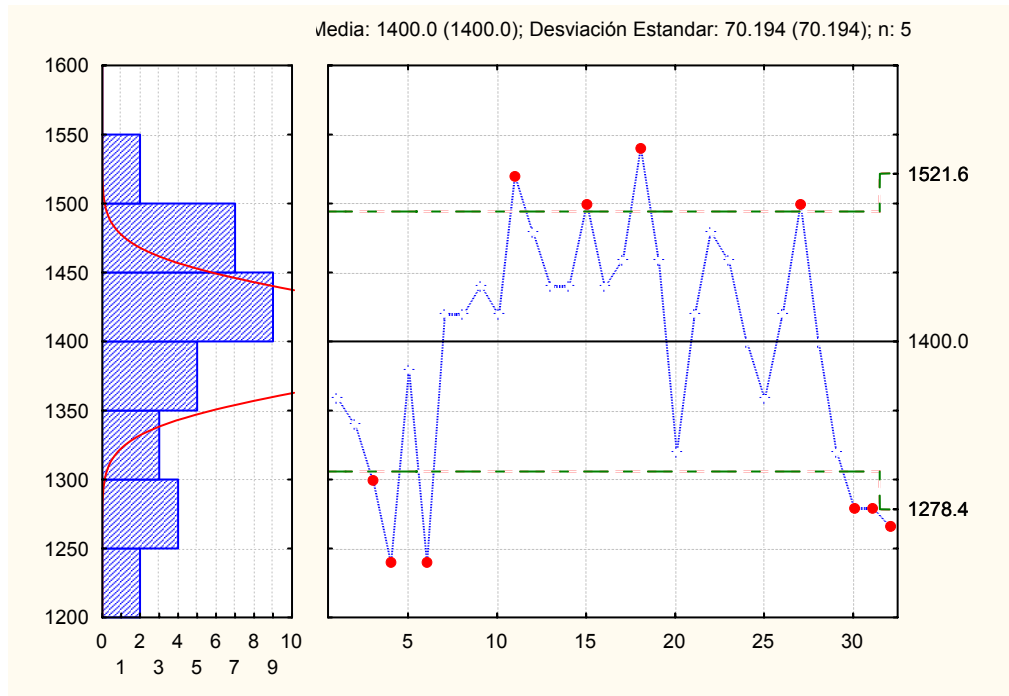


Figura III.24 Comportamiento de la dureza en el periodo enero – agosto 2006

Debido a que en la Figura III.24, no se logra distinguir con claridad, los cambios en las medias, se debe realizar un gráfico de cusum para la dureza y otro de promedios móviles para la misma variable, esto con el fin de observar los pequeños cambios en cada una de las muestras.

En la Figura III.25 se observan puntos fuera de los límites de control en las muestras 3, 4, 5, 12, 18 y 19. En las muestras 30, 31 y 32 también se observan puntos fuera del límite inferior, estas lecturas corresponden al mes de agosto.

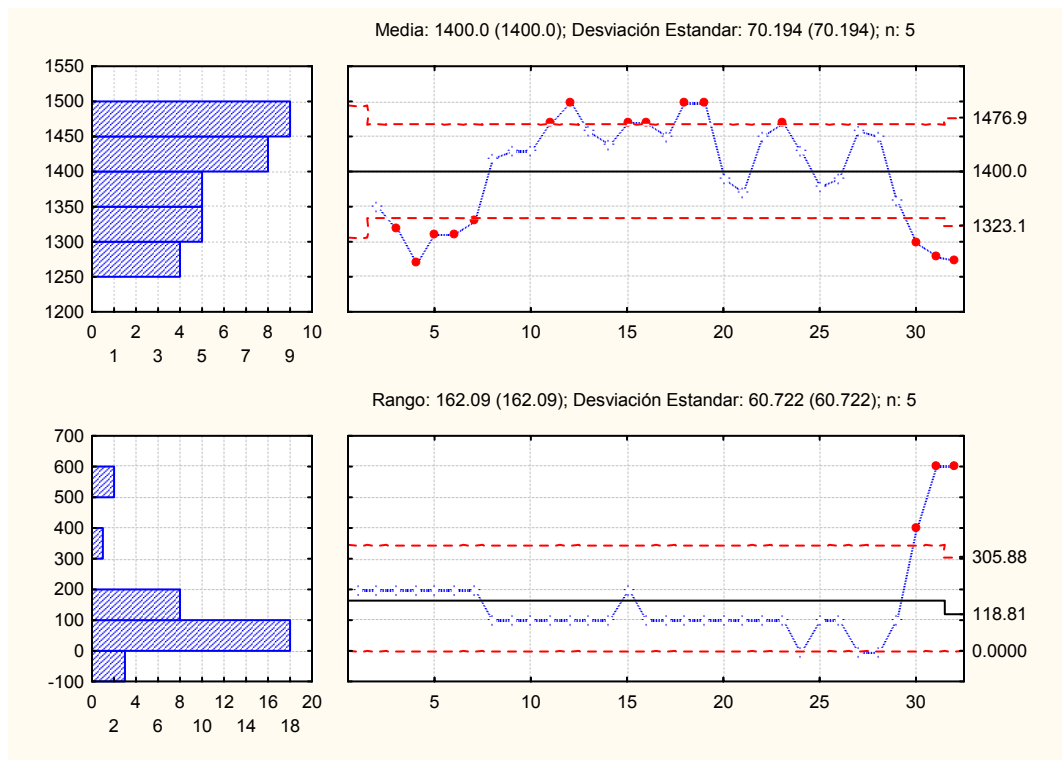


Figura III.25 Comportamiento de la dureza en el periodo de análisis.

En la Figura III.26 se aprecia de acuerdo a los resultados obtenidos que las medias de las muestras están fuera de los límites de control. La mayoría de las medias de las lecturas se encuentran fuera de los límites, este gráfico muestra pequeños cambios en las medias.

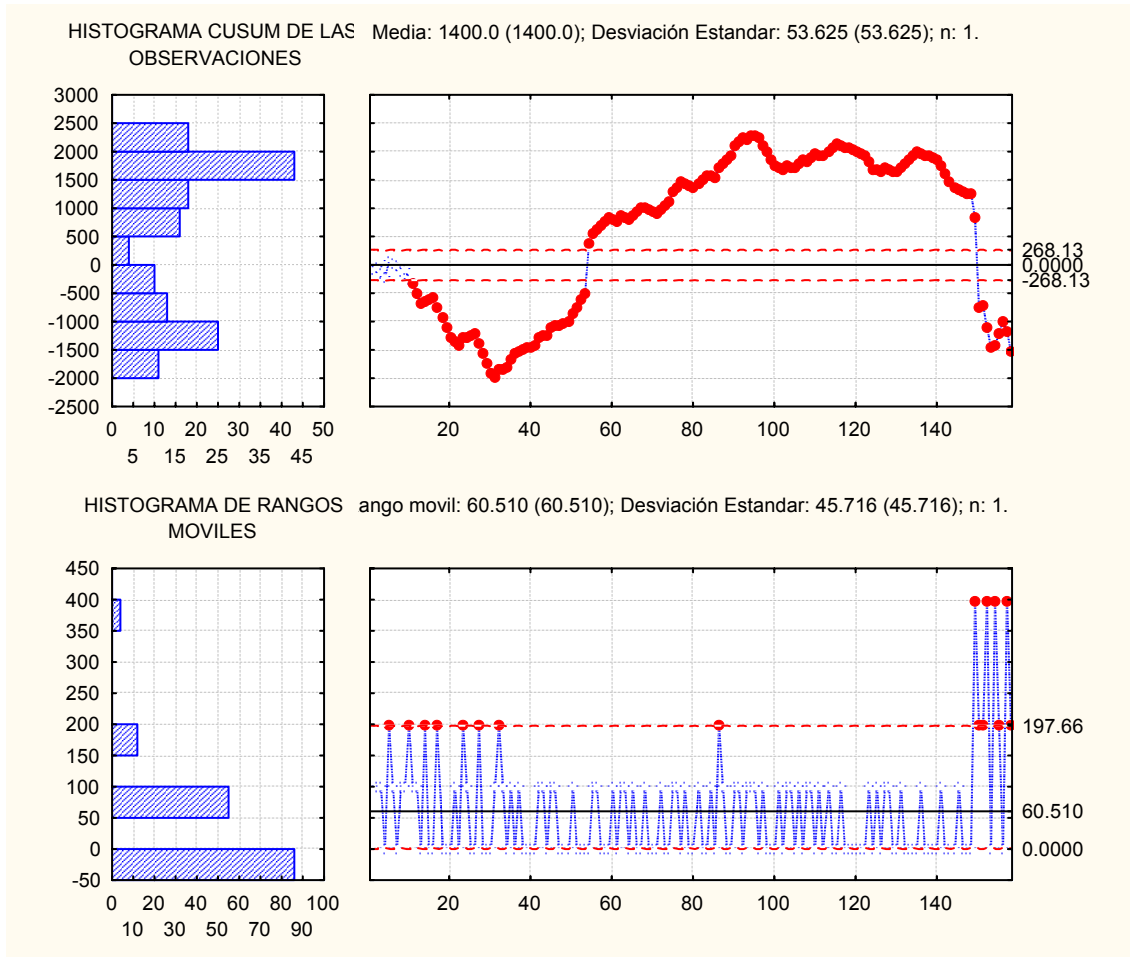


Figura III.26 Comportamiento de la dureza en el periodo de análisis.

## **IV.1 CONCLUSIONES**

Los resultados presentados de las diferentes variables: cloro residual, pH, alcalinidad, sólidos disueltos, conductividad y dureza de calcio se identifica como fuente de variación lo siguiente:

1. No hay diferencias significativas en las características de calidad en cuanto a los turnos. Esto se observa en los gráficos de cajas de cada variable con respecto a los turnos matutino, vespertino y nocturno.
2. La principal causa de variabilidad en la dureza se debe a que variables como la alcalinidad, sólidos disueltos, conductividad, se encuentran fuera del parámetro óptimo. Esto se observa en los gráficos de control de cada variable analizada.
3. En variables como cloro residual, alcalinidad, conductividad y dureza hay mayor cantidad de datos fuera de los límites óptimos, En el último mes que corresponde a las lecturas de agosto.

Los resultados son una evidencia de que el proceso de tratamiento químico de agua para torres de enfriamiento no esta en control estadístico. Esto debe atenderse por que es un problema que se reflejará en las diversas inconformidades de cualquier auditoria. Por ello no es posible estimar con estos datos los límites de tolerancia. Los objetivos planteados si se lograron cumplir, la realización de este trabajo es una prueba fehaciente del cumplimiento de lo planeado.

## **IV.2 SUGERENCIAS**

Basándose en las conclusiones expuestas se hacen las siguientes sugerencias:

1. Realizar un nuevo análisis mas profundo, considerando la relación entre la concentración del pH con la dureza, ya que podría afectar directamente al proceso. Entre otras posibles relaciones de variables que ya se tienen en sospecha.
2. Se sugiere continuar con el proceso de mejora para después mantener el proceso en control estadístico.
3. Establecer los límites de control y capacidad del proceso a partir de tener el proceso en control estadístico.

Finalmente, se sugiere una inducción a la cultura de calidad y mejora para el personal operativo de la empresa. Esto fomentaría la participación activa y responsable de los empleados en el mejoramiento del proceso.



## REFERENCIAS

1. Anónimo, (1994) Curso de tratamiento de aguas, Instituto mexicano del seguro social, Subdirección general de obras y patrimonio inmobiliario.
2. Anónimo, (2002) Panel de control para la dosificación automática de productos químicos en el tratamiento de agua en torres de enfriamiento Instituto mexicano del seguro social, Subdirección general de obras y patrimonio inmobiliario.
3. Anónimo, (2003) Curso de capacitación para el tratamiento de aguas para sistemas de enfriamiento, QUIMISA.
4. López, L. L. (2005) Control Estadístico de Procesos I, Material Didáctico. México, Facultad de Estadística e Informática, Universidad Veracruzana.
5. Torre de Enfriamiento, (2007), [www.torresenfriamiento.com](http://www.torresenfriamiento.com)
6. StatSoft, Inc. (2001). STATISTICA (data analysis software system), versión 6. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).
7. Morales, L. A. (2005) Estadística aplicada, México; Grupo editorial universitaria.
8. Berenson, L. (1998) Estadística, México, Editorial Limusa.

## ANEXO 1. BASE DE DATOS

TURNO	CLORO RESIDUAL m/lit	PH	ALCALINIDA "M" m/lit	DUREZA DE CALCIO mg/lit COMO cacO3	CONDUCTIVIDAD MICROSIEMENS	SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES mg/l
MATUTINO	0.5	7	90	1300	3500	1800
VESPERTINO	0.5	7	90	1400	3500	1800
NOCTURNO	0.6	7	120	1300	3200	1800
MATUTINO	0.6	7	130	1300	3300	1900
VESPERTINO	0.7	7	110	1500	3300	1700
NOCTURNO	0.7	8	120	1400	3700	1800
MATUTINO	0.7	7	120	1400	3700	1700
VESPERTINO	0.6	7	130	1300	3600	1700
NOCTURNO	0.7	7	120	1400	3600	1600
MATUTINO	0.6	7	120	1200	3600	1600
VESPERTINO	0.6	7	130	1300	3700	1800
NOCTURNO	0.6	7	130	1200	3600	1800
MATUTINO	0.4	7	120	1200	3600	1600
VESPERTINO	0.4	7	120	1400	3600	1600
NOCTURNO	0.5	7	120	1400	3700	1600
MATUTINO	0.6	7	130	1400	3606	1600
VESPERTINO	0.6	7	120	1200	3600	1600
NOCTURNO	0.5	7.5	120	1200	3600	1800
MATUTINO	0.5	7.5	130	1200	3500	1800
VESPERTINO	0.5	7.5	140	1200	3500	1700
NOCTURNO	0.5	7	140	1300	3600	1700
MATUTINO	0.5	7	120	1300	3600	1600
VESPERTINO	0.7	7	130	1500	3400	1800
NOCTURNO	0.7	7	130	1400	3400	1700
MATUTINO	0.7	7	120	1400	3500	1700
VESPERTINO	0.6	7	130	1400	3500	1800
NOCTURNO	0.5	7	130	1200	3600	1700
MATUTINO	0.5	7	140	1200	3600	1700
VESPERTINO	0.5	6	130	1200	3500	1700

NOCTURNO	0.5	6	120	1200	3500	1600
MATUTINO	0.5	7	120	1300	3600	1700
VESPERTINO	0.6	7	120	1500	3600	1600
NOCTURNO	0.6	7	130	1400	3600	1500
MATUTINO	0.6	7	130	1400	3500	1600
VESPERTINO	0.6	7	130	1500	3500	1600
NOCTURNO	0.5	7	130	1500	3500	1600
MATUTINO	0.5	7	120	1400	3400	1700
VESPERTINO	0.5	7	130	1400	3400	1700
NOCTURNO	0.6	7	120	1400	3400	1700
MATUTINO	0.6	7	130	1400	3400	1600
VESPERTINO	0.6	7	130	1400	3500	1600
NOCTURNO	0.5	7	130	1500	3500	1600
MATUTINO	0.6	7	140	1400	3500	1600
VESPERTINO	0.5	7	140	1400	3500	1600
NOCTURNO	0.5	7	130	1500	3600	1700
MATUTINO	0.5	7	140	1400	3600	1700
VESPERTINO	0.6	7	130	1400	3600	1700
NOCTURNO	0.6	7	130	1400	3500	1600
MATUTINO	0.6	7	130	1400	3600	1700
VESPERTINO	0.6	7	140	1500	3600	1700
NOCTURNO	0.6	7	140	1500	3600	1700
MATUTINO	0.5	7	130	1500	3700	1800
VESPERTINO	0.5	7	130	1500	3600	1700
NOCTURNO	0.5	7	130	1500	3700	1600
MATUTINO	0.6	7	130	1600	3700	1600
VESPERTINO	0.5	7	140	1500	3600	1700
NOCTURNO	0.6	7	140	1500	3700	1700
MATUTINO	0.6	7	140	1500	3600	1700
VESPERTINO	0.6	7	140	1500	3600	1600
NOCTURNO	0.6	7	130	1400	3600	1600
MATUTINO	0.5	7	140	1400	3700	1600
VESPERTINO	0.5	7	140	1500	3700	1500
NOCTURNO	0.5	7	130	1400	3700	1600
MATUTINO	0.5	7	130	1400	3700	1700
VESPERTINO	0.6	7	130	1500	3700	1700
NOCTURNO	0.6	7	140	1500	3800	1660
MATUTINO	0.6	7	140	1500	3700	1600
VESPERTINO	0.7	7	140	1400	3700	1600
NOCTURNO	0.7	7	140	1400	3700	1700
MATUTINO	0.7	7	140	1400	3700	1700
VESPERTINO	0.6	7	130	1400	3800	1600
NOCTURNO	0.6	7	130	1500	3700	1700
MATUTINO	0.6	7	130	1500	3700	1600
VESPERTINO	0.6	7	130	1500	3700	1800
NOCTURNO	0.6	7	140	1600	3700	1800
MATUTINO	0.6	7	140	1500	3600	1700
VESPERTINO	0.6	7	140	1500	3600	1700
NOCTURNO	0.6	7	140	1400	3600	1800

MATUTINO	0.6	7	130	1400	3800	1600
VESPERTINO	0.7	7	130	1400	3800	1700
NOCTURNO	0.7	7	120	1500	3700	1700
MATUTINO	0.6	7	120	1500	3700	1800
VESPERTINO	0.6	7	120	1500	3800	1800
NOCTURNO	0.7	7	130	1400	3700	1700
MATUTINO	0.7	7	130	1400	3600	1600
VESPERTINO	0.8	7	140	1600	3600	1600
NOCTURNO	0.8	7	130	1500	3600	1600
MATUTINO	0.7	7	130	1500	3500	1600
VESPERTINO	0.7	7	140	1500	3600	1700
NOCTURNO	0.8	7	140	1600	3600	1800
MATUTINO	0.8	7	130	1500	3600	1800
VESPERTINO	0.8	7	130	1500	3700	1700
NOCTURNO	0.7	7	130	1400	3700	1700
MATUTINO	0.7	7	130	1500	3800	1700
VESPERTINO	0.7	7	140	1400	3800	1800
NOCTURNO	0.8	7	140	1400	3800	1800
MATUTINO	0.8	7	130	1300	3700	1800
VESPERTINO	0.8	7	120	1300	3700	1700
NOCTURNO	0.7	7	120	1300	3800	1700
MATUTINO	0.8	7	130	1300	3800	1700
VESPERTINO	0.8	7	130	1400	3700	1800
NOCTURNO	0.7	7	140	1400	3700	1800
MATUTINO	0.7	7	140	1500	3700	1700
VESPERTINO	0.6	7	140	1400	3700	1800
NOCTURNO	0.6	7	140	1400	3700	1700
MATUTINO	0.6	7	130	1500	3600	1700
VESPERTINO	0.7	7	140	1500	3700	1600
NOCTURNO	0.7	7	140	1400	3700	1700
MATUTINO	0.7	7	140	1500	3700	1000
VESPERTINO	0.7	7	140	1500	3800	1700
NOCTURNO	0.8	7	130	1400	3800	1600
MATUTINO	0.8	7	130	1400	3800	1600
VESPERTINO	0.8	7	130	1500	3700	1600
NOCTURNO	0.8	7	130	1500	3800	1600
MATUTINO	0.8	7	140	1500	3800	1700
VESPERTINO	0.7	7	140	1400	3700	1700
NOCTURNO	0.7	7	140	1400	3700	1700
MATUTINO	0.7	7	140	1400	3700	1700
VESPERTINO	0.8	7	130	1400	3700	1700
NOCTURNO	0.8	7	130	1400	3800	1700
MATUTINO	0.7	7	130	1400	3800	1700
VESPERTINO	0.7	7	130	1400	3800	1700
NOCTURNO	0.7	7	130	1300	3800	1700
MATUTINO	0.7	7	140	1300	3800	1700
VESPERTINO	0.6	7	140	1400	3800	1700
NOCTURNO	0.6	7	140	1400	3700	1600
MATUTINO	0.7	7	140	1500	3700	1600

VESPERTINO	0.6	7	140	1400	3700	1700
NOCTURNO	0.6	7	140	1400	3800	1700
MATUTINO	0.6	7	140	1400	3800	1600
VESPERTINO	0.6	7	130	1500	3700	1600
NOCTURNO	0.7	7	130	1500	3700	1700
MATUTINO	0.7	7	130	1500	3800	1600
VESPERTINO	0.6	7	140	1500	3800	1700
NOCTURNO	0.6	7	140	1500	3800	1700
MATUTINO	0.6	7	130	1400	3700	1700
VESPERTINO	0.7	7	130	1400	3700	1600