

## Programa de control de calidad del agua en el sistema secundario de refrigeración del reactor RP-10

Iván Babiche\*, Constantino León, Ángel Revilla

Departamento de Mantenimiento de Reactores, Instituto Peruano de Energía Nuclear,  
Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

### Resumen

Se ha desarrollado un programa de vigilancia de la calidad del agua para el sistema secundario de refrigeración, con la finalidad de evaluar su comportamiento frente a los equipos y componentes del sistema y también su efecto en la instrumentación. El programa incluye una estrategia para la preservación de las tuberías, placas de los intercambiadores de calor, bombas y accesorios en contacto con el agua. Asimismo, se ha implementado un programa de monitoreo y control del agua del sistema secundario de refrigeración, así como del agua de reposición de las torres de enfriamiento. Se ha evaluado los siguientes parámetros: dureza total, alcalinidad M y P, concentración de iones cloruros, hierro total, residual de fosfatos, sólidos totales disueltos, pH y los ciclos de concentración del sistema.

### Abstract

A program to monitor water quality for the secondary cooling system has been developed for the evaluation of its behavior against the equipment and system components as well as its effect on instrumentation. The program includes a strategy for the preservation of pipes, plates of the heat exchangers, pumps and fittings in contact with water. Monitoring and control programs for the secondary water cooling system as well as for the replacement of water of the cooling towers were also implemented. The following parameters were evaluated: total hardness, alkalinity M and P, concentration of chloride ions, total iron, residual phosphates, total dissolved solids, pH and concentration cycles of the system.

### 1. Introducción

El reactor nuclear RP-10 es de tipo piscina, puesto a crítico el 20-11-88. El sistema de refrigeración de su núcleo comprende dos circuitos: un circuito primario, para la remoción del calor generado en el núcleo del reactor, a través de la circulación de agua desmineralizada por los intercambiadores de calor; y un circuito secundario para disipar el calor extraído del primario y liberarlo a través de las torres de enfriamiento.

Planteada la posibilidad del incremento de potencia de operación del reactor, el Grupo de Mantenimiento Químico del RP-10 implementó un programa de mantenimiento preventivo y correctivo para el sistema de refrigeración secundario y conexos, principalmente en el tratamiento químico del agua, considerando la sustitución de tuberías, debido al posible avance de la corrosión ocurrido a lo largo del tiempo de operación.

De no recibir un tratamiento adecuado el agua de refrigeración, podrían presentarse

problemas de corrosión, incrustación y lodos, reduciendo la resistencia mecánica de los materiales estructurales del sistema de enfriamiento, reducción de la eficiencia de los intercambiadores de calor, incremento de la pérdida de carga y reducción del caudal del sistema; como una consecuencia, la reducción en la eficiencia de intercambio de las torres de enfriamiento, aumento del consumo de los productos químicos utilizados en el tratamiento del agua, desprendimiento o deformación del relleno de las torres de enfriamiento, los cuales pueden ocasionar: parada del proceso productivo para realizar operaciones de mantenimiento de los intercambiadores de calor, con la consecuente pérdida económica, reducción de la vida útil de los equipos, aumento del consumo de energía de los motores de las bombas de recirculación y ventiladores [1,6].

---

\* Correspondencia autor: cbabiche@ipen.gob.pe

## 2. Definiciones

**Dureza total del agua.** Suma de los iones alcalinos térreos (iones magnesio, calcio, estroncio y bario) fijados en forma de carbonatos, sulfatos, cloruros, nitratos y fosfatos expresados en ppm como  $\text{CaCO}_3$  [1,4,6].

**Alcalinidad.** Es una medida de la capacidad para neutralizar ácidos. Contribuyen a la alcalinidad principalmente los iones  $\text{CO}_3\text{H}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{OH}^-$  [1,4,6].

**Alcalinidad M.** (alcalinidad total, anaranjado de metilo). Es aquella que reaccionará con ácidos, mientras el pH de la muestra se reduce hasta el punto final del anaranjado de metilo, a un pH aproximadamente de 4.2 [1,4,6].

**Alcalinidad P** (fenolftaleína). Son todas las sustancias alcalinas que están por encima de pH 8,2 – 8,4 [1,4,6].

**pH.** Es una medida de la concentración de iones hidrógeno y se define como  $\text{pH} = \log[\text{H}^+]$ . Es una medida de la naturaleza ácida o alcalina de la solución acuosa que puede afectar a los usos específicos del agua [1,4,6].

**Residual de fosfatos.** Es la mínima cantidad de fosfatos que debe estar presente en el agua de las torres, para garantizar que el inhibidor de incrustación continúe actuando [1,4,6].

**Sólidos Totales Disueltos (STD).** También se la denomina salinidad total y es la medida del peso total del contenido de minerales disueltos en agua, una vez vaporizada [1,4,6].

**Ciclos de concentración.** En los sistemas de agua de enfriamiento de recirculación abierta, es el número de veces que las impurezas del agua de alimentación se concentran el agua del sistema [1,4,6].

## 3. Circuito secundario de refrigeración del reactor RP-10

**Sistema Secundario.** Es el responsable de la transferencia hacia la atmósfera del calor generado en el reactor. Está diseñado para operar continuamente hasta un máximo de 12 MW térmicos y está constituido por tres unidades similares en paralelo. Los principales parámetros de operación del circuito secundario son presentados en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Principales parámetros del sistema de refrigeración secundario del RP-10.

Caudal Volumétrico (máx.)	1650 m <sup>3</sup> /h
Temperatura	33.3 °C
ΔPresión (placas)	1.4 bar
Capacidad Térmica (máx.)	12 MW (térmicos)

El sistema consta principalmente de 3 bombas de recirculación, 3 torres de enfriamiento las cuales tienen 2 pozas cada una, 3 intercambiadores de calor tipo placa, tuberías, válvulas e instrumentación. En la Figura 1 se representa el diagrama de flujo del sistema secundario.

Las tuberías del sistema secundario son de acero al carbono. El cuadro de válvulas permite utilizar cualquier bomba, intercambiador de calor y celda de torre en forma simultánea o independiente.

El monitoreo de la temperatura se realiza a través de termocuplas, instaladas en las tuberías al ingreso a los intercambiadores de calor y su señal es registrada en la sala de control. El monitoreo y control del nivel de agua de las torres se realiza mediante boyas con flotadores magnéticos, las señales de alto y bajo nivel son registradas en la sala de control del reactor, también están instaladas indicadores de presión.

**Torres de Enfriamiento.** Tienen como función disipar a la atmósfera el calor generado en el reactor. Están instaladas en paralelo y pueden trabajar independientemente o en conjunto. Las torres son del tipo inducido y flujo contra corriente, cada una posee un ventilador para la circulación del aire. Las características de las torres son presentadas en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Características de las torres de enfriamiento.

Fabricante	Sulzer Hnos.
Modelo	EWF 2975/15F15/9D
Carga térmica total	12 MW
Caudal de Operación	1650 M <sup>3</sup> /h
Volumen Total del Sistema	140 M <sup>3</sup>
Temperatura <sub>IN</sub> del agua	33.3 °C
Temperatura <sub>OUT</sub> del agua	27 °C
Temperatura <sub>BHU</sub>	22 °C
Relleno y separador de gotas	Poliestireno expandido P.A.I.
Ventiladores (3)	27 HP (c/u)

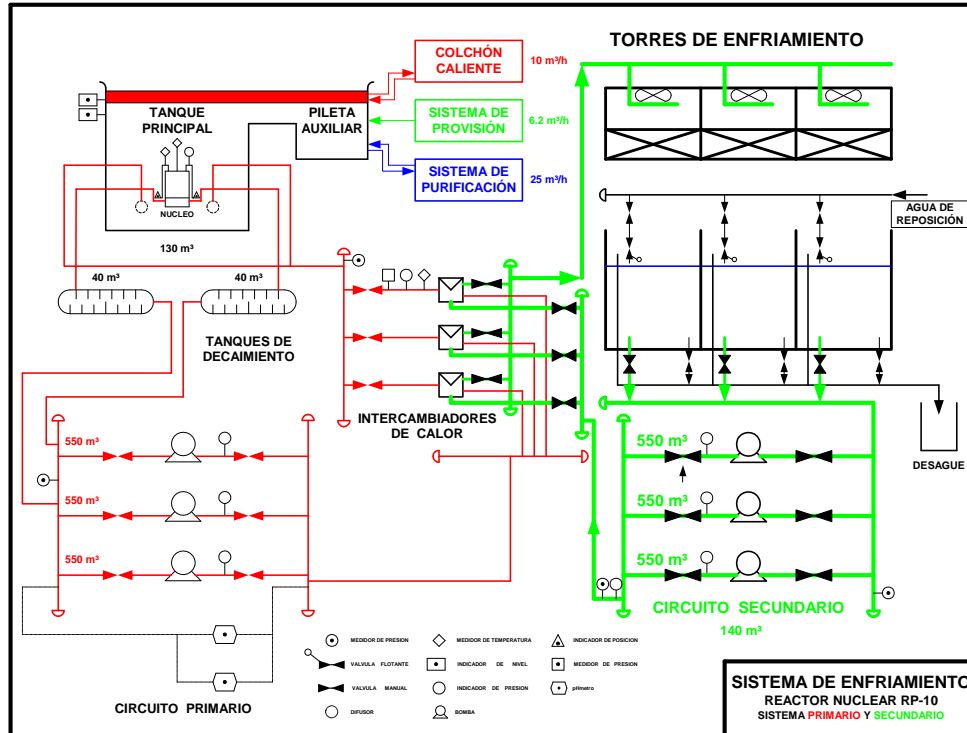


Figura 1. Diagrama de flujo del circuito secundario.

### *Sistema de enfriamiento abierto con recirculación*

El sistema de enfriamiento del circuito secundario del reactor RP-10 es de tipo abierto con recirculación. El agua de refrigeración calentada en  $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$  en los intercambiadores de calor, retorna por la parte superior de las torres de enfriamiento y al caer a través del distribuidor tipo paneles de relleno y separador de gotas, son atravesadas por el flujo de aire generado por los ventiladores. Esta acción permite que parte del agua se evapore, y consecuentemente disminuya su temperatura. Una porción del agua es arrastrada en forma de pequeñas gotas por el flujo de aire. El agua enfriada es almacenada en las pozas de agua fría, de donde es nuevamente bombeada a los intercambiadores de calor.

El sistema opera como un verdadero concentrador de iones, consecuencia de la evaporación que ocurre en las torres de enfriamiento, incrementando el contenido de cloruros y de otros iones agresivos a los materiales constitutivos del sistema. El contenido de cloruros no debe exceder el límite establecido para que no se produzca

deterioro o corrosión [3]. También las piletas de las torres de enfriamiento presentan condiciones favorables para la proliferación de algas, las que pueden ser controladas mediante la adición de una dosis conveniente de un algicida o biocida [2].

Debido a que el agua que se evapora no arrastra sólidos disueltos, el agua de circulación tiende a concentrarse de tal manera, que el número de ciclos de concentración equivale a la relación entre la concentración de un componente soluble en la fase líquida del sistema y la concentración del mismo en la corriente de alimentación. Para compensar las pérdidas por evaporación, arrastre, salpicaduras y purga, el sistema es alimentado con agua de reposición.

El agua de refrigeración tiene una serie de variables que favorecen la oxidación de los metales, pudiendo provocar corrosión en las placas de los intercambiadores de calor, tuberías y conexiones del sistema. Las sales disueltas y los sólidos en suspensión presentes en el agua de refrigeración pueden provocar depósitos e incrustaciones, principalmente sobre la superficie de las placas de los intercambiadores de calor [2].

La posibilidad de contaminación del agua de refrigeración con sustancias nutrientes de microorganismos y el hecho que las torres de enfriamiento promueven la oxigenación y soleado del agua, originan un medio propicio para la proliferación de microorganismos, principalmente algas, bacterias y hongos. Estos microorganismos se depositan o adhieren en las superficies en contacto con el agua, originando depósitos no endurecidos denominados “lodos”.

Por lo tanto, la corrosión, la incrustación y los lodos formados son los principales problemas que se presentan en un sistema de enfriamiento, si el agua de refrigeración no es tratada adecuadamente.

#### 4. Programa de tratamiento químico al agua del sistema refrigeración secundario

Se ha establecido un programa para el tratamiento químico al agua de refrigeración de las torres de enfriamiento, siguiendo las recomendaciones de la empresa distribuidora de aditivos químicos, cuyo tratamiento está basado en la dosificación de un producto multifuncional (CHEM C20-Cl [2]) para el control de la corrosión e incrustación, y un biocida (CHEM QCL-80 [2]) para el control biológico.

Se recolectaron semanalmente muestras de agua de refrigeración, las mismas que fueron analizadas fisicoquímicamente por la empresa distribuidora de aditivos químicos y sus resultados corroborados en nuestro laboratorio con el fotómetro Merck SQ118 [5].

A continuación, se describen los productos químicos utilizados desde junio del 2007 a diciembre del 2008.

**4.1 Inhibidor de incrustación y corrosión:** Denominado CHEM C20-Cl [2], es un producto a base de fosfonato/polímero para sistemas con agua incrustante (blanda o cruda). Es una formulación líquida que contiene inhibidores de corrosión e incrustación, agentes dispersantes y humectantes que protegen las superficies

metálicas de los intercambiadores de calor, tuberías y torres de enfriamiento. Contiene en su formulación fosfonatos (HEDP & PBTC), ácido polimaleico, poliacrilatos termopolímeros y azoles, permitiendo una excelente protección con residuales muy bajos.

#### 4.2 Biocida no oxidante:

Denominado CHEM QCL-80 [2], es un biocida líquido orgánico no oxidante a base de compuestos de amonio cuaternario formulado para ser utilizado en sistemas de enfriamiento industriales. Controla el crecimiento de bacterias y algas, sobretodo bacterias sulfato reductoras y ferrosas. Actúa dispersando los depósitos de las superficies de los equipos de los sistemas de enfriamiento, debido a su alta actividad superficial. Los parámetros de reposición del agua para las torres se muestran en la Tabla 3.

La Tabla 4 presenta los valores ideales de los parámetros que son usados en el control de calidad del agua de refrigeración, y en caso de que algún parámetro estuviese fuera de los límites especificados, también se indican las medidas correctivas.

### 5. Resultados

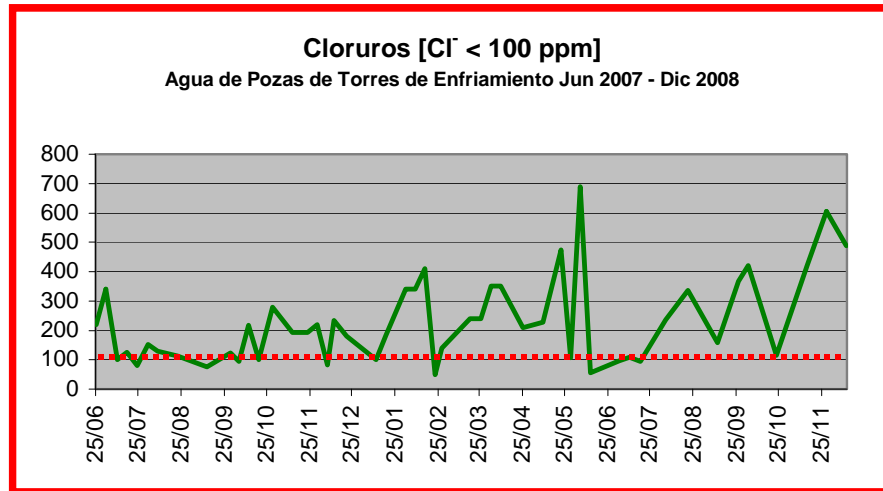
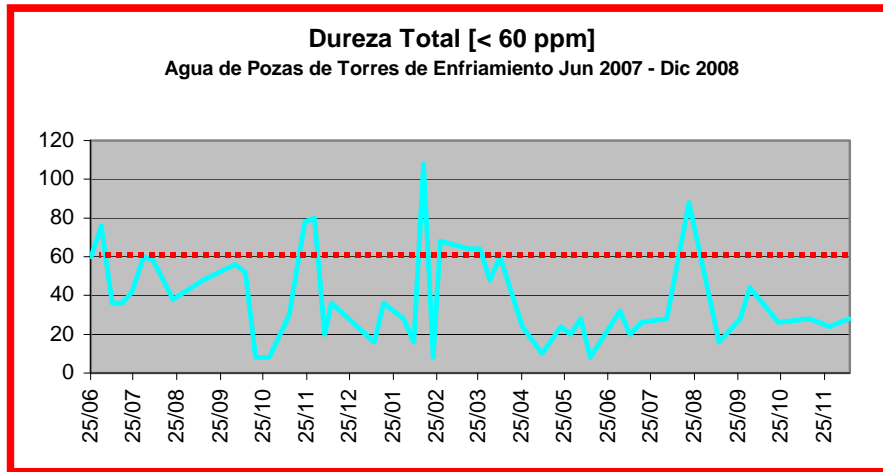
Los resultados obtenidos son representados en la Figuras 2. Resaltando que el agua de reposición en promedio se encuentra con una dureza de 25 ppm y una concentración de los iones cloruros entre 30 a 120 ppm, esto hace que dichos parámetros se incrementen más rápido de lo normal. De la misma forma los demás iones, es por esta razón, los ciclos de trabajo del sistema de refrigeración secundario se encuentran generalmente cercanos a su límite.

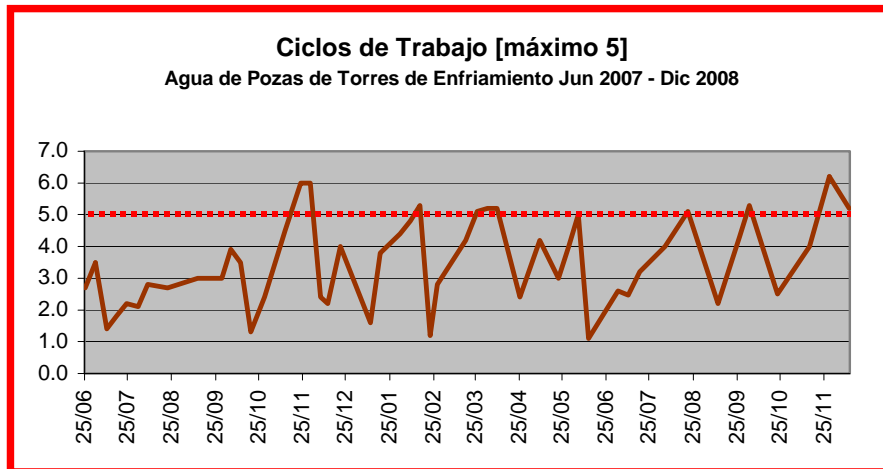
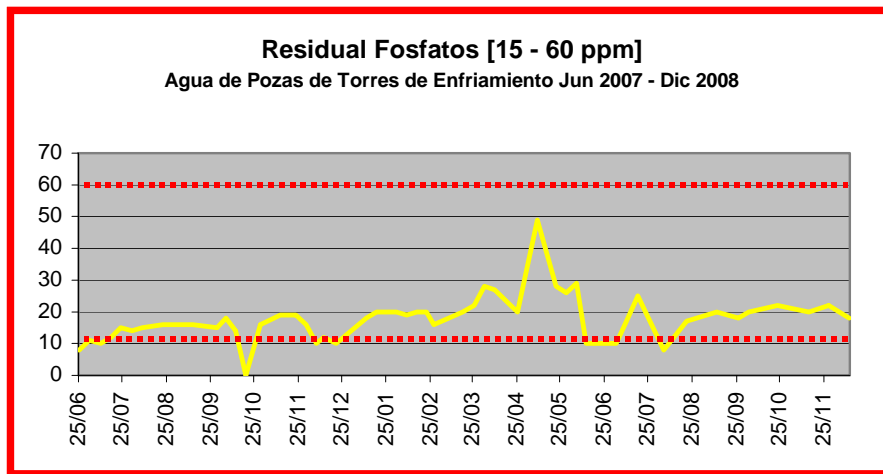
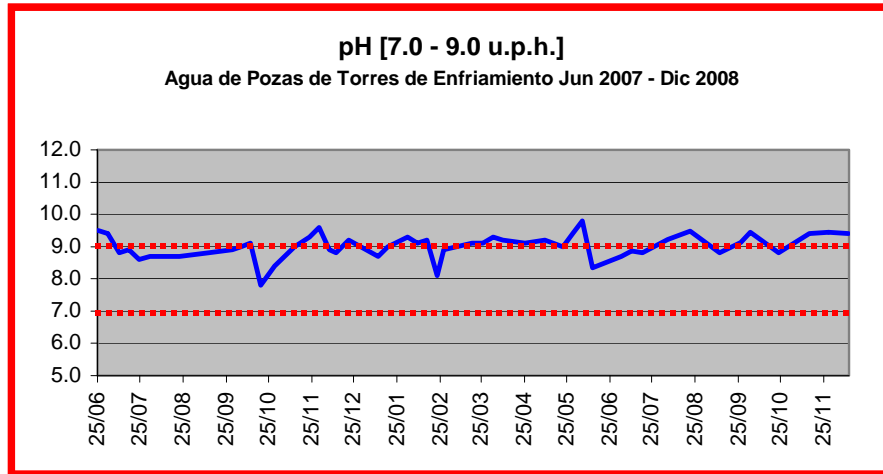
**Tabla 3.** Parámetros fisicoquímicos del agua de reposición ideal.

pH	8 u.p.h.
Dureza Total	10 ppm CaCO <sub>3</sub>
Alcalinidad M	120 ppm CaCO <sub>3</sub>
Cloruros	60 ppm CaCO <sub>3</sub>
Sólidos Totales Disueltos	900 ppm CaCO <sub>3</sub>

**Tabla 4.** Valores ideales de parámetros fisicoquímicos del agua de refrigeración y el modo de corrección.

Parámetro	Unidad	Valor Ideal	Modo de Corrección
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	< 60	Dispersante/Purga
Alcalinidad P	ppm CaCO <sub>3</sub>	< 150	Purga
Alcalinidad M	ppm CaCO <sub>3</sub>	< 200	Purga
Cloruros	ppm Cl <sup>-</sup>	< 100	Purga
PH	u.p.h.	7.0 - 9.0	Ajuste de pH/Purga
Fosfatos	ppm PO <sub>4</sub>	10 - 60	Inhibidor de Corrosión
Sólidos Totales Disueltos	ppm CaCO <sub>3</sub>	< 2000	Purga
Ciclos de Trabajo	-	5	Purga





**Figura 2.** Diagramas de los principales parámetros fisicoquímicos realizados al agua de las pozas de las torres de enfriamiento a partir de junio del 2007 a diciembre del 2008.

## 6. Conclusiones

- Debido a la dosificación adecuada de un antiincrustante-anticorrosivo y un algicida, el sistema de refrigeración secundario del reactor ha permitido optimizar su operatividad en lo concerniente al mantenimiento de la calidad del agua del circuito, mediante la reducción de volumen del agua de reposición, siendo el ahorro promedio de 5 m<sup>3</sup> de agua por operación, así como también en los intercambiadores de calor, manteniendo la caída de presión ( $\Delta P$ ) y el  $\Delta T$  en valores constantes.
- Los valores de dureza en promedio se encuentran por debajo del valor aceptable.
- La concentración de cloruros en el agua de las piletas superan ampliamente el valor aceptable, esto debido a que la concentración de cloruros del agua de reposición se encuentra entre 40 a 120 ppm.
- En las condiciones de operación del sistema, se puede adoptar 200 ppm como límite máximo de concentración de cloruros sin alcanzar riesgo de corrosión, a pesar que en la práctica este valor es superado, esto debido principalmente al poco consumo de producto químico en la operación de limpieza de los intercambiadores, siendo éste un indicativo del grado de corrosión de los internos de las tuberías e intercambiadores.
- Los valores pH, residual de fosfatos y ciclos de trabajo se encuentran dentro de los valores deseados.
- Cada sistema, equipamiento, operación y agua, requieren productos y tratamientos específicos, a fin de obtener la protección adecuada.

## 7. Recomendaciones

Es importante que se tome en consideración las variables controladas que se indican en función a las características de diseño del sistema: concentración de cloruros, pH, conductividad, caudal de aporte y temperaturas de entrada y salida de los intercambiadores de calor.

## 8. Referencias

- [1] American Water Works Association-AWWA. Tratamiento de agua por procesos de membrana: Principios, procesos y aplicaciones. 1ra. Edición. Madrid: Mc. Graw-Hill Interamericana; 1998.
- [2] Technical Specifications, APTech Group, Inc. Boiler and Cooling Water Treatment, 6 Kovach Drive, Suite 612, Cincinnati, Ohio 45215.
- [3] Uhlig Herbert H. Corrosion and corrosion control. An introduction to corrosion science and engineering. 2nd Edition. New York: John Wiley & Sons; 1971.
- [4] Rigola Lapeña, M. Tratamiento de aguas industriales. Aguas de proceso y residuales. México: Alfaomega; 1989.
- [5] Análisis de Agua, MERCK, E. Merck, Frankfurter Strasse 250, D-6100 Darmstadt 1 (R.F. de Alemania).
- [6] Kemmer F, McCallion J, editors. The NALCO Water Handbook. New York: Mc Graw-Hill Book Co.; 1979.