

Thermal evaluation and biological control of cooling towers

Hernán Trujillo¹, Javier Colina¹ y Jorge Sánchez²

¹Grupo de Ingeniería de Proceso, Refinería de Amuay.

²Centro de Superficies y Catálisis, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia
Apartado 15251, Maracaibo, Venezuela

Abstract

The cooling water system of the Amuay refinery consists of two induced draft and cross flow cooling water towers, seven pumps and four supply pipes and their returns. This system supplies cooling water to the hydrotreatment complex, to the pipestill Nº 5 and to the surface condensers of the power plant turbogenerators.

This cooling water system showed constraints in the tower's cooling capacity to meet the design conditions, due mainly to a biological growth inside the towers, also increasing the need for cleaning more frequently the surface condensers of the power plant turbogenerators, indicating that the microbiological control was not suitable.

In this study a thermal evaluation was performed to the towers, before and after the application of a biological control program by means of biocides and biodispersants, to decrease the growth of microorganisms. The towers were operating at 83% of their design cooling capacity, mainly because of the growth of algae inside them. After implementing the microbiological program, the cooling efficiency increased to 91%. Likewise, the heat transfer in the surface condensers of the power plant turbogenerators also increased.

Key words: Cooling tower, thermal evaluation, biological control.

Evaluación térmica y control microbiológico de torres de enfriamiento de agua

Resumen

El sistema de enfriamiento de agua recirculada de la Refinería de Amuay esta conformado por dos torres de enfriamiento de tiro inducido y flujo cruzado, siete bombas y cuatro tuberías de suministro con sus respectivos retornos. Este sistema suministra agua de enfriamiento al complejo de hidrotatamiento, a la planta destiladora No. 5 y a los condensadores de superficie de los turbogeneradores de la planta eléctrica.

El sistema de enfriamiento de agua presentaba limitaciones en cuanto a la capacidad de enfriamiento de las torres para alcanzar las condiciones de diseño, debido principalmente a un crecimiento biológico en las torres; lo cual también ocasionaba un incremento en la frecuencia de limpieza de los condensadores de superficie de los turbogeneradores de planta eléctrica. Esto es indicativo de que no se estaba haciendo un control microbiológico adecuado en el sistema de enfriamiento.

En este trabajo se realizó una evaluación térmica de las torres de enfriamiento antes y después de la aplicación de un programa de control biológico por medio de biodispersantes y biocidas, a base de sales de amonio cuaternario, dodecilguanidina hidrociorada, tiocianatos y dispersantes orgánicos, para disminuir el crecimiento de microorganismos en el sistema. Se determinó que las torres operaban a un 83 % de su capacidad de enfriamiento por diseño, motivado principalmente al gran crecimiento de algas dentro de

las mismas. Al implantarse el nuevo programa de control microbiológico, se logró mejorar la eficiencia térmica de las torres a 91 %. Adicionalmente se logró incrementar la transferencia de calor en los condensadores de los turbogeneradores de la planta eléctrica.

Palabras clave: Torre de enfriamiento, evaluación térmica, control biológico.

Introducción

Las torres de enfriamiento son equipos semi-cerrados diseñados para el enfriamiento evaporativo de agua por contacto directo con aire. El agua enfriada por las torres es utilizada como medio de enfriamiento en los intercambiadores de calor de las unidades de proceso, de las cuales sale caliente y es enviada a las torres para ser enfriada e iniciar un nuevo ciclo de enfriamiento [1-4].

El sistema de agua de enfriamiento recirculada de la Refinería de Amuay utiliza agua de mar de la Bahía de Amuay de la siguiente calidad: pH 7.95; Ca^{+2} 522 ppm; Mg^{+2} 1664 ppm; Na^+ 14172 ppm; HCO_3^- 164 ppm; SO_4^{-2} 3466 ppm; Cl^- 24992 ppm; TDS 45 g/l; Hidrocarburos 1 ppm; SiO_2 2 ppm; Sulfuros 15 ppm; Fenoles 1 a 2 ppm; N amoniacal 5 ppm.

Este sistema está conformado por dos torres de enfriamiento de tiro inducido (E-1401 y E-1402), siete bombas y cuatro cabezales de suministro con sus respectivos cabezales de retorno, y suministra agua de enfriamiento al complejo de hidrotratamiento, a la planta destiladora N° 5 y a los condensadores de superficie de los turbogeneradores de la planta eléctrica [5].

Entre los factores que influyen en la eficiencia de una torre de enfriamiento se encuentran las variaciones de temperatura del agua retornando a la torre, la temperatura del ambiente, la humedad relativa, la eficiencia de los ventiladores, el flujo preferencial del agua en la torre y el crecimiento biológico de algas en los internos de la misma [2-4, 6,7].

La presencia de microorganismos en un sistema de recirculación abierto es inevitable, dadas las condiciones de temperatura, pH, nutrientes, oxígeno disuelto y sales solubles presentes en el sistema. Estos microorganismos, en cantidades excesivas producen serios problemas y agravan otros (corrosión, incrustaciones, ensuciamiento), por lo cual es necesario aplicar un programa de tratamiento microbiológico capaz de mantener la población microbiológica en un

nivel tal, que su presencia no represente ninguna restricción para la operación continua, eficiente y confiable del sistema [6-11].

Las torres de enfriamiento de la Refinería de Amuay actualmente se encuentran limitadas en su capacidad de enfriamiento, hecho evidenciado por no poder alcanzarse las condiciones de diseño de las mismas.

Por otra parte, también se ha observado un crecimiento biológico en las torres y un incremento en la frecuencia de limpieza de los condensadores de superficie de los turbogeneradores de la planta eléctrica, debido principalmente a que no hay un control microbiológico adecuado en el sistema [11]. Como consecuencia, se procedió a implantar un programa de control biológico por medio de biodispersantes y biocidas, a base de sales de amonio cuaternario, dodecilguanidina hidrociorada, tiocianatos y dispersantes orgánicos, con los cuales se evaluará el crecimiento de microorganismos en el sistema.

En este trabajo se estudian algunos de los factores que limitan el rendimiento de las torres de enfriamiento, principalmente el crecimiento de algas en los internos, así como también se presenta su evaluación térmica antes y después de la modificación del programa de control biológico.

Metodología

Evaluación térmica de las torres de enfriamiento

La evaluación térmica de las torres de enfriamiento se realizó de acuerdo con los procedimientos del Instituto de Torres de Enfriamiento (C.T.I.) [12], que se basan en la determinación, a las condiciones de operación, de la característica de la torre, es decir, el producto del coeficiente total de transferencia de masa $k_{OY}a$ y de la relación V/L , donde V es el volumen de enfriamiento y L es el flujo másico de agua.

El término $k_{OY}aV/L$ se calculó a partir de la siguiente ecuación [1,12]:

$$\frac{k_{OY}aV}{L} = C_{AL} \int_{t_{L1}}^{t_{L2}} \frac{dt_1}{H^* - H'} \quad (1)$$

donde H^* es la entalpía de aire saturado a t_L , H' es la entalpía del aire, y t_{L2} , t_{L1} son las temperaturas de entrada y salida del agua. La integral de la ecuación (1) se calculó por el método de Tchebycheff [13], utilizando la línea de operación H' vs t y la curva de saturación del aire H^* vs t [1].

Los datos operacionales de las torres se midieron de acuerdo con las normas del Instituto de Torres de Enfriamiento [12]: flujo másico del agua y gas, temperaturas de entrada y salida del agua, y las temperaturas de bulbo seco y húmedo del aire a la entrada y salida de la torre.

El parámetro $k_{OY}aV/L$ es característico de cada torre y está directamente relacionado con el término L/G (flujo másico de agua/flujo másico de aire) [13]. Los fabricantes de torres de enfriamiento proporcionan la curva característica, la variación de $k_{OY}aV/L$ con L/G , y el valor del $k_{OY}a$ a las condiciones de diseño. La curva característica de las torres de enfriamiento E-1401 y E-1402 de la Refinería de Amuay se representa en la Figura 1, y los valores de estos parámetros a las condiciones de diseño son los siguientes [5]:

$$(L/G)_{diseño} = 1.1149 \quad (k_{OY} aV/L)_{diseño} = 1.44$$

La relación L/G a las condiciones actuales de operación se determinó de la relación:

$$(L/G)_{prueba} = \frac{Q_{prueba}}{Q_{diseño}} * \left(\frac{HP_{diseño}}{HP_{prueba}} \right)^{1/3} * (L/G)_{diseño} \quad (2)$$

donde $Q_{diseño}$ es el caudal de agua a las condiciones de diseño (25909 m³/h), Q_{prueba} es el caudal de agua a las condiciones de operación, HP_{prueba} es la potencia de los motores de los ventiladores a las condiciones de diseño (1007 kW, 1350 HP) y $HP_{diseño}$ es la potencia de los motores de los ventiladores en servicio. La potencia del motor de cada ventilador de las torres E-1401 y E-1402 es de 112 kW (150 HP).

Con el valor de $(L/G)_{prueba}$ a las condiciones de operación se determina $(k_{OY} aV/L)_{prueba}$ con la ecuación (1). Este punto se representa en la curva característica de la torre, y luego se traza una curva paralela a la curva característica, que intercepta la curva de aproximación a la temperatura de bulbo húmedo. En ese punto se lee el valor de $(L/G)_{corregido}$, y se determina la eficiencia con respecto a las condiciones de diseño [12]

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{(L/G)_{corregido}}{(L/G)_{diseño}} * 100 \%$$

El caudal de agua se calculó a partir del balance de agua en la torre,

$$\begin{aligned} Q_{total} &= Q_p + Q_{retorno} \\ Q_{total} \text{ Salida} &= Q_p + Q_{retorno} - \text{Perdidas} \\ Q_{total} \text{ Salida} &= Q_p + Q_{retorno} - (Q_a + Q_e + Q_s) \end{aligned}$$

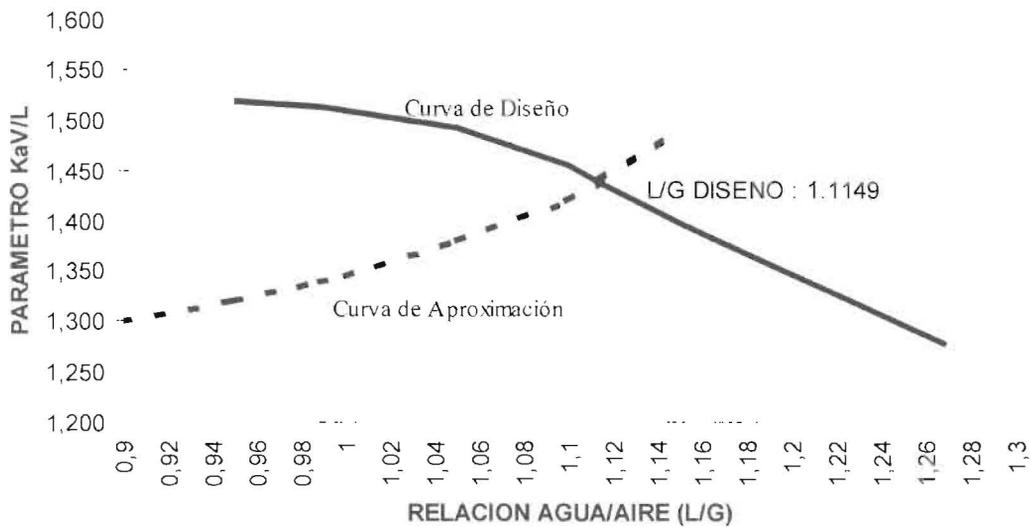


Figura 1. Curva característica de torres de enfriamiento.

donde Q_a es la pérdida de agua por arrastre (0.1% de Q_{total}), Q_e es la pérdida por evaporación (1% de Q_{total} por cada 5.6°C de diferencia de temperatura) y Q_s es la pérdida por sangría y verterero.

Estos balances de masa, así como la simulación de la operación de las torres, se realizaron en una hoja de cálculo EXCEL 7.0 [15].

Control del crecimiento biológico

En el sistema de enfriamiento de la Refinería de Amuay para el control microbiológico y neutralización de contaminantes tales como, NH_3 , H_2S , aceite, etc., se inyectaban continuamente de 18 kg/h de hipoclorito de sodio generados por medio de un sistema CHLOROPAC^R [5,16].

En pruebas experimentales, Colina [17] determinó que era necesario aumentar la inyección continua hasta 54 kg/h de hipoclorito de sodio, debido probablemente a la presencia en el agua de contaminantes que reaccionan con el cloro libre, consumiendo la totalidad del cloro requerido para el control microbiológico. Los análisis rutinarios del agua de retorno a las torres E-1401 y E-1402, indicaron que no existía residual de cloro libre [17]. En la Tabla 1 se muestran las demandas de cloro de ciertas impurezas presentes en el agua [16].

Debido a esta deficiente acción del cloro, a la dosificación utilizada de 18 kg/h de hipoclorito de sodio, se estudió la dosificación de químicos para el control biológico en las torres de enfriamiento. Se utilizaron tres productos químicos un biodispersante, un bactericida-fungicida y un alguicida en las siguientes dosis [15]:

Biodispersante	10 ppm	1 dosis/sem.	325 kg/mes
Bactericida	50 ppm	1 dosis/mes	407 kg/mes
Alguicida	20 ppm	1 dosis/mes	174 kg/mes

El componente biodispersante ayuda a dispersar la materia orgánica para que el efecto del biocida sea óptimo. Este químico tiene tendencia a formar espuma.

Tabla 1
Demanda de cloro de diversas impurezas del agua

Impurezas (l ppm)	Demanda de cloro (ppm)
NH_3	1.0
H_2S	2.2
$Na_2SO_3 \cdot 7 H_2O$	0.3
SO_2	1.0
Fe^{+2}	0.64

La acción bactericida-fungicida está dada por químicos que controlan el crecimiento de bacterias aeróbicas y anaeróbicas (especialmente las sulfato reductoras), algas, hongos y moluscos, cuyos agentes activos son sales de amonio cuaternario y dodecilguanidina.

El alguicida permite controlar el crecimiento de hongos, algas, lodos bacteriales, etc., y entre sus agentes activos se encuentran la dodecilguanidina hidrociorada, los tiocianatos y dispersantes/penetrantes orgánicos.

Los conteos de bacterias aeróbicas y anaeróbicas se realizaron antes de implantar el tratamiento, y una vez por semana a lo largo de seis meses de tratamiento. El conteo de bacterias aeróbicas se llevó a cabo por el método de la turbidez, y el de las bacterias anaeróbicas por el método de formación de FeS [6].

Evaluación del tratamiento químico

Los condensadores de superficie de los turbogeneradores Parson N° 7 y 8 de la planta eléctrica se utilizaron para evaluar la efectividad del tratamiento químico usado en las torres de enfriamiento.

Los turbogeneradores Parson están diseñados para generar 12.5 MW, impulsados por una turbina que opera con vapor de 4.1 MPa (600 ppm). El vapor se expande en la turbina y es condensado totalmente en un condensador que opera a presión de vacío de 80 kPa y utiliza agua salada como medio de enfriamiento [5].

En estos equipos se midieron la potencia eléctrica generada, el consumo de vapor de 4.1 MPa, el vacío generado en el condensador y la temperatura de salida del vapor. Todas estas medidas se registraron en la sala de control de la

planta eléctrica de la Refinería de Amuay, y los medidores de flujo y temperatura fueron calibrados antes de empezar la prueba. Adicionalmente se evaluaron los depósitos generados y la velocidad de corrosión.

Evaluación de los depósitos en los equipos que utilizan el agua de enfriamiento

La posibilidad de deposición de organismos en el interior de los condensadores de superficie y en las tuberías, se estudió instalando un equipo "BIOBOX" a la salida de agua del condensador del turbogenerador Parsson N° 8 [15]. Este equipo está especialmente diseñado para promover la deposición de los organismos/lodos a fin de facilitar el estudio de los mismos, y está construido de plástico con deflectores removibles para analizar los depósitos. La temperatura de operación es la misma que tiene el agua a la salida del condensador (43-49°C), el flujo de agua a través del equipo es de aproximadamente 0.04 m³/h y la presión es la atmosférica.

Esta prueba se realizó durante un periodo de 30 días, luego del cual se analizaron los depósitos encontrados a fin de tener una mejor base para la selección del tratamiento químico.

Medidas de velocidad de corrosión

La velocidad de corrosión se midió en un equipo MonitAll de la BETZ [18]. La corriente de agua que sale del turbogenerador Parson N° 8 se hizo pasar a través de este equipo, entrando por debajo y saliendo por el tope de un tubo transpa-

rente, el cual tiene una resistencia dentro del tubo y a lo largo de su eje genera una cantidad de calor ajustable (0-6880 W/m²) a través de una sección tubular de metal, para variar la temperatura de operación.

Para la prueba se utilizó una probeta de 90-10 CuNi, que es el material de los tubos del condensador. La temperatura del agua a través del equipo se ajustó a 49°C, que es la temperatura máxima de descarga del condensador; y la velocidad del agua a través de los tubos fue de 2.7 m/s. Luego de 48 días, se retiró la probeta y se determinó la velocidad de corrosión en milésimas de pulgada por año (mpy) como se muestra a continuación [19]:

$$\text{Velocidad de corrosión (mpy)} = \frac{534W}{D.A.t}$$

donde, W es peso perdido por la probeta (mg), A es el área superficial de la probeta (plg²), t es el tiempo de exposición (h) y D es la densidad de la probeta (g/cm³).

Resultados y Discusión

Evaluación térmica

En la Tabla 2 se muestran los valores de las temperaturas de bulbo húmedo y bulbo seco del aire, y las temperaturas de entrada y salida del agua medidas en ocho (8) pruebas realizadas en las torres de enfriamiento E-1401 y E-1402, antes del tratamiento biológico. En todas las pruebas la relación L/G fue de 1.02.

Tabla 2
Resultados de la evaluación térmica antes del tratamiento químico

Temperaturas, °C	1	2	3	4	5	6	7	8
Bulbo seco	35,0	36,5	37,5	37,5	34,5	38,0	36,5	34,5
Bulbo húmedo	30,5	31,0	31,0	31,0	30,0	30,5	30,5	30,0
Entrada agua	46,7	46,1	48,3	46,1	46,7	46,1	47,2	45,6
Salida agua	34,4	34,4	35,0	35,6	34,4	35,3	33,9	33,9
L/G EXPERIMENTAL	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020
kOY aV/L	1.290	1.170	1.299	1.020	1.292	1.020	1.333	1.132
% Eficiencia	85.0	75.0	86.1	< 75	85.2	< 75	88.7	78.0

Con estos datos se determinaron los valores de la característica, k_{OY} aV/L, y la eficiencia de las torres. En la Tabla 2 se muestran ambos valores. Como se puede observar, las torres de enfriamiento antes del tratamiento químico, se encontraban operando a una eficiencia promedio de 83% con respecto al valor de L/G de diseño. Esto quiere decir que a las condiciones actuales de operación, las torres sólo enfriarían 21505 m³/h de agua desde 48.9°C a 33.9°C con aire a la temperatura de bulbo húmedo de 29.5°C.

Esta evaluación y una inspección visual a las torres indicaron que la pérdida de la capacidad de enfriamiento era debida a la gran cantidad de materia orgánica, algas y limo, que se depositaban en las áreas de transferencia de calor. Otra evidencia de este problema era el taponamiento frecuente de las parrillas de los pozos fríos de succión, por crecimientos biológicos, requiriendo un mantenimiento frecuente.

Después del tratamiento químico indicado, se realizaron tres pruebas a las torres de enfriamiento E-1401, E-1402, y los resultados de la evaluación térmica se muestran en la Tabla 3.

Tal como se observa en esta tabla, después del tratamiento químico las torres se encuentran

operando a un promedio de 91% de eficiencia respecto al diseño. Esto quiere decir, que a las condiciones actuales, las torres pueden enfriar 23577 m³/h desde 48.9°C a 33.9°C con aire a la temperatura de bulbo húmedo de 29.5°C. Estos resultados indican que la operación de las torres mejoró en un 8% luego del nuevo tratamiento químico.

Control del crecimiento biológico

Antes de iniciar el tratamiento químico para el control biológico, se realizaron cuatro (4) análisis para determinar la población de bacterias aeróbicas y anaeróbicas en el agua de enfriamiento de las torres E-1401 y E-1402.

Los resultados de estos análisis se muestran en la Tabla 4, e indican que antes del tratamiento no había un control biológico adecuado ya que la población de colonias era muy alta: en el orden de 100.000 bacterias/ml. En general, se considera que las bacterias presentes en un sistema de enfriamiento, están controladas, si la población de las bacterias anaeróbicas es inferior a 10.000 bacterias/ml y 10 bacterias/ml para las anaeróbicas-sulfato reductoras [6].

En las Figuras 2 y 3 se muestran los resultados de la población de bacterias aeróbicas y

Tabla 3
Resultados de la evaluación térmica luego del tratamiento químico

Temperaturas, °C	1	2	3
Bulbo seco	35,3	35,5	35,3
Bulbo húmedo	30,8	30,8	30,8
Entrada agua	43,3	44,4	45,5
Salida agua	33,8	34,2	34,0
L/G EXPERIMENTAL	1.020	1.020	1.020
k_{OY} aV/L	1.345	1.314	1.388
% Eficiencia	91.0	90.4	92.0

Tabla 4
Conteo de bacterias aeróbicas y anaeróbicas en el agua de enfriamiento antes del tratamiento (bacterias/ml)

Análisis	1	2	3	4
Bacterias Aeróbicas	<100.000	<100.000	<100.000	<100.000
Bacterias Anaeróbicas	>100.000		>100.000	

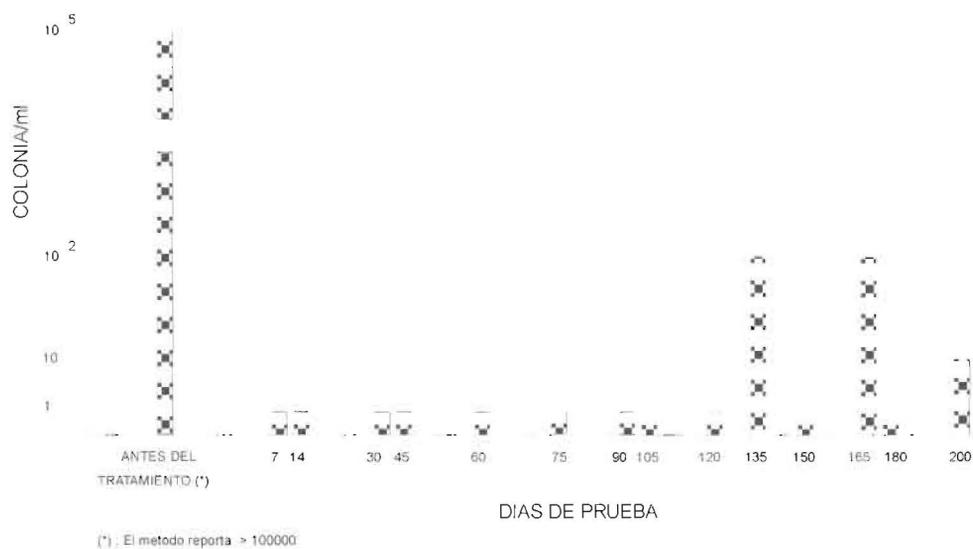


Figura 2. Población de bacterias aeróbicas en el agua de enfriamiento de la torre E-1401.

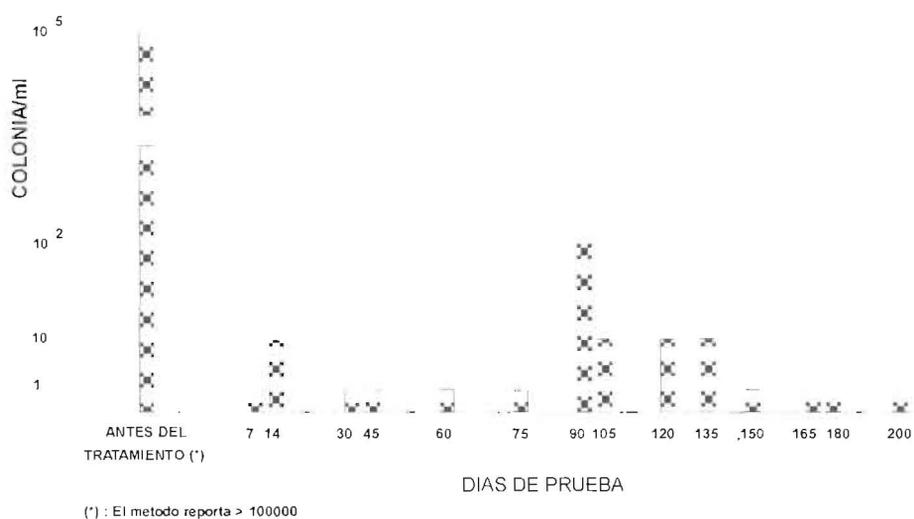


Figura 3. Población de bacterias anaeróbicas en el agua de enfriamiento de la torre E-1401.

anaeróbicas, respectivamente, en el agua de enfriamiento de las torres E-1401, E-1402 durante seis meses consecutivos del tratamiento químico indicado anteriormente.

Como se puede observar en estas figuras, luego de este tratamiento químico ocurre una disminución de la población de bacterias aeróbicas y anaeróbicas en el agua de enfriamiento. En muchos de los casos la población es menor de 10 bacterias/ml, por lo tanto se puede decir que el

sistema de enfriamiento se encuentra controlado biológicamente.

Análisis de los depósitos en el BIOBOX

Los depósitos acumulados en el BIOBOX durante un periodo de 30 días fueron analizados, y los resultados fueron los siguientes:

El material depositado en la superficie fue fácilmente removible del equipo, y tenía las siguientes características:

Peso inicial del material seco @ 103°C (217°F)	2.7495 g
Peso del material calcinado @ 550°C (1022°F)	2.4176 g
Materia inorgánica	87.92 %
Materia orgánica	12.08 %

Al observar al microscopio estos depósitos, se determinó que están formados por partículas de arena fina, no muy numerosas, partículas muy pequeñas posiblemente limos y arcilla unidas a un material mucilaginoso producido quizás por acción de las bacterias.

El material depositado en el fondo del BIO-BOX, al ser observado al microscopio, se encontró que está formado por una gran cantidad de partículas de arena fina, restos de algas, así como partículas pequeñas, posiblemente limos y arcilla, unidas a un material mucilaginoso menos abundante que el encontrado en las placas.

De acuerdo a estos resultados, pareciera que no se requiere la incorporación de un químico para evitar incrustaciones, ya que los depósitos son blandos y no incrustantes.

Comportamiento operacional de los turbogeneradores

En las Figuras 4 a 6 se muestra como varía el consumo de vapor de agua por MW generado en la planta eléctrica, la presión de vacío en el condensador y la temperatura del vapor en el turbogenerador N° 7. En este equipo se notó una

mejora en la transferencia de calor, la cual se evidencia en una reducción de 10.7% en el consumo de vapor de agua por MW generado, tal como se observa en la Figura 4.

Si en la planta eléctrica se genera un promedio de 8MW, la reducción en el consumo de vapor representa un ahorro de 4400 kg/h equivalente a bolívares 11 millones por año. Así mismo, la presión de vacío en el condensador disminuyó en 4.3 kPa (1.3 plg Hg) y la temperatura de salida del vapor disminuyó en 13.5°C (7.5°C), tal como se observa en las Figuras 5 y 6.

En el turbogenerador Parson N° 8 también se notó una mejora en la transferencia de calor, la cual se evidencia en una reducción de 3.5% en el consumo de vapor de agua por MW generado. A condiciones constantes de agua de enfriamiento y temperatura de vapor, estas mejoras indican que el condensador es más eficiente después del cambio de tratamiento químico.

Estas mejoras han reducido los costos de mantenimiento de los equipos y la operación ha sido más confiable. Antes de la prueba con el tratamiento químico, se requería limpiar los equipos al menos una vez al año, y luego de utilizar este tratamiento, no se han observado condiciones que obliguen a la limpieza mecánica de los mismos. Las mejoras operativas que se observaron en los turbogeneradores Parson N° 7 y 8 pueden ser extensivas al resto de equipos de intercambio de calor que utilizan el agua del sistema de enfriamiento.

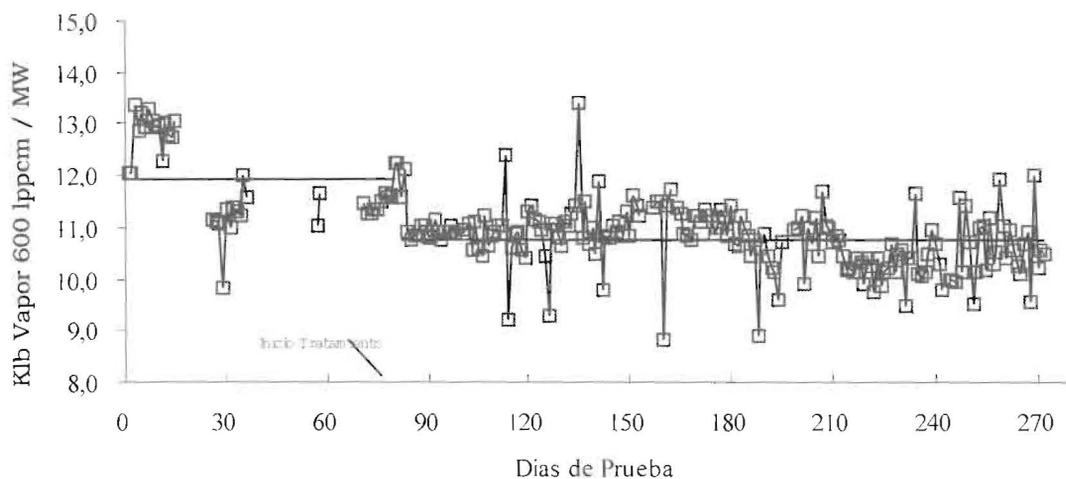


Figura 4. Turbogenerador Parson N° 7 - Consumo de vapor/MW generado.

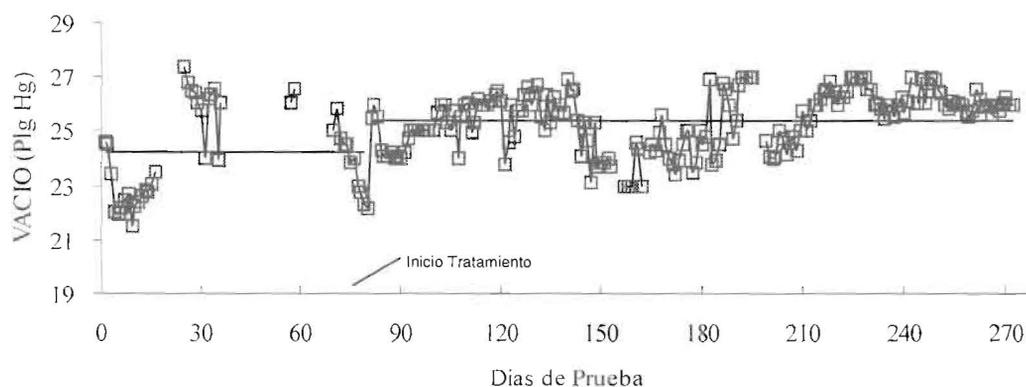


Figura 5. Turbogenerador Parson N° 7 - Vacío en el condensador.

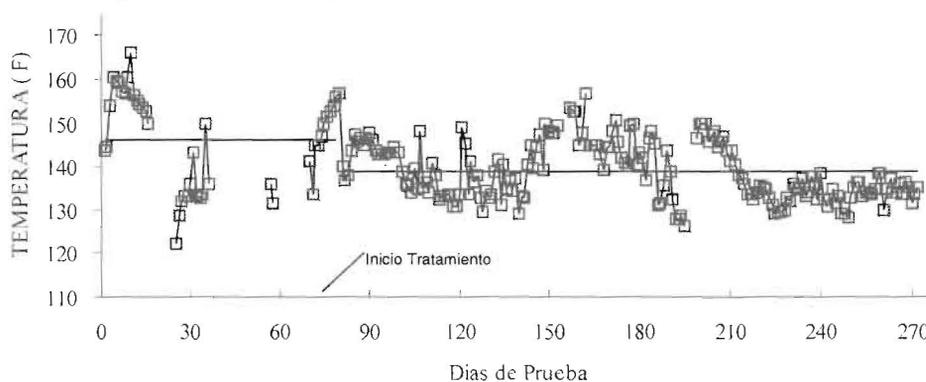


Figura 6. Turbogenerador Parson N° 7 - Temperatura salida vapor.

Adicionalmente, no se ha observado deterioro estructural de la madera de las torres y las algas fueron eliminadas; las apariciones esporádicas de las mismas en lugares donde no hay flujo continuo de agua, se han controlado con aplicaciones regulares de biocidas.

Evaluación de la velocidad de corrosión

La evaluación realizada en el MonitAll de la probeta de 90-10 CuNi por un periodo de 48 días dio como resultado que la velocidad de corrosión fue de 5.5 milésimas de pulgada de material perdido por año (5.5 mpy). Este resultado es aceptable; según los criterios utilizados en la Refinería de Amuay se recomienda que las pérdidas por corrosión sean menores de 20 mpy.

Conclusiones

Las torres de enfriamiento de la Refinería de Amuay estaban operando a un 85% de su capacidad de diseño. La eficiencia aumentó hasta 91%, luego de la implantación del tratamiento químico

con biocidas y biodispersantes, a base de sales de amonio cuaternario, dodecilguanidina hidrocloorada, tiocianatos y dispersantes orgánicos.

El sistema de enfriamiento de agua recirculada se encuentra controlado biológicamente. Esto incide directamente en el costo de mantenimiento de las torres de enfriamiento, al evitar el deterioro acelerado de la estructura de madera de las mismas.

La materia en suspensión con tendencia a depositarse en la superficie de los equipos de transferencia de calor, esta formada, principalmente, por componentes inorgánicos (88 %), entre los cuales se encuentran arena fina y arcilla. En menor proporción se encuentran los componentes orgánicos (12 %), entre ellos limo y restos de algas (diatomeas).

Se observó una mejor transferencia de calor en los turbogeneradores N° 7 y 8, reflejándose en la disminución de la cantidad de vapor de agua consumida por MW de electricidad generado. Esto representa un ahorro de 15 MM Bs./año so-

lamente en estos dos equipos, además de una reducción en el mantenimiento de los mismos.

La velocidad de corrosión en los tubos del turbogenerador N° 8, después del tratamiento químico, fue de 5.5 milésimas de pulgada por año, la cual es menor a la aceptada en la práctica.

Referencias Bibliográficas

1. Treybal, R. E. Operaciones de Transferencia de Masa, Mc Graw-Hill, México, 1980.
2. Roffman, H.K. y Roffman, A., Water that Cools, Chemical Engineering, 114, Octubre 1995.
3. Katzel, J., Fundamentals of Cooling Towers, Plant Engineering, 32, Abril 1989.
4. Hensley, J., Maximize Tower Power, Chemical Engineering, 74, Febrero 1992.
5. Manual de Operación de Torres de Enfriamiento, LAGOVEN S.A.-Refinería de Amuay, 1986.
6. BETZ Handbook of Industrial Water Conditioning, Betz Laboratories, Trevese Pa. 1992.
7. The NALCO Guide to Cooling Water System Failure Analysis. Nalco Chemical Company. McGraw Hill, New York, 1993.
8. Manual del Agua, Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. Nalco Chemical Company. Tomo III, McGraw Hill, México, 1990.
9. Ensuciamiento en Sistemas de Enfriamiento - Causas y Soluciones, Nalco Chemical Company. Technifax NDV-7, 1990.
10. Incrustaciones en Sistemas de Enfriamiento - Causas y Soluciones, Nalco Chemical Company. Technifax NDV-15, 1990.
11. Problemas Microbiológicos - Causas y Soluciones, Nalco Chemical Company. Technifax NDV-6, 1990.
12. Acceptance Test Procedure for Industrial Water-Cooling Towers, Part I-Test Procedure, Part II-Evaluation of Results and Part III-Appendix, Cooling Tower Institute. CTI Bulletin ATC-105, Junio 1982.
13. Carnahan, B., Luther, H.A. y Wilkes, J.O., Applied Numerical Methods, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1969.
14. Ludwig, E.E., Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants, Volumen 2, 2ª Edición, Gulf Publishing Co., Houston, 1979.
15. Trujillo, H., Evaluación Térmica de las Torres de Enfriamiento de la Refinería de Amuay y Optimización de su Control Microbiológico, Tesis de Grado, Maestría en Ingeniería, Universidad del Zulia, Febrero 1997.
16. Brungs W.A., Effects of Residual Chlorine on Aquatic Life, Journal of Water Pollution Control, 2180, Octubre 1974.
17. Colina, J., Tratamiento Sistema de Agua Recirculada, Lagoven, Refinería de Amuay, GIP-87-0605, Nov. 87
18. BETZ Monit All Operation Manual, Betz Laboratories, Trevese Pa., 1991
19. Fontana, M.G., Norbert, G., Corrosion Engineering, McGraw Hill, New York, 1978.

Recibido el 13 de Abril de 1998

En forma revisada el 14 de Junio de 1999