



## Utilización del Ozono en la Central Hidroeléctrica Itaipu

Tomás Guido de Madriagnac, Luis Rodríguez, Guillermo Oviedo, Rodolfo Durelli

Itaipu Binacional

Paraguay

### RESUMEN

El *Limnoperna Fortunei*, conocido como mejillón dorado, es un molusco bivalvo de agua dulce. Originario del suroeste asiático, fue introducido en la América del Sur en el final de la década de 1980, vía agua del lastre de navíos mercantes, y registrado en la Itaipu en abril del 2002. Presenta además una estructura proteica de fijación (biso), gran capacidad reproductiva, rápida maduración sexual, amplia tolerancia ambiental y comportamiento gregario. Esta especie viene causando prejuicios ambientales y económicos en las regiones donde fue introducida.

Económicamente el mejillón dorado se transformó rápidamente en un problema para hidroeléctricas generadoras de energía eléctrica y demás industrias que utilizan el agua de ríos para sus procesos, interfiriendo en el caudal del agua, provocando obstrucción de canales, filtros, bombas, condensadores, intercambiadores y turbinas. Otros trastornos se refieren a la reducción de la velocidad del flujo causada por pérdidas debido a la fricción, acumulación de barreras y obstrucción de tuberías debido a la mortalidad masiva, aumento de la corrosión y rugosidad en las tuberías, y estructuras debido al crecimiento de hongos y bacterias asociados, generando aumento de gastos financieros y operacionales con la consecuente reducción de eficiencia. Además de eso, este molusco se desarrolla en rejillas y componentes de hidroeléctricas, obligando a promover una constante operación de limpieza que interfiere en el aumento de la HH en el mantenimiento.

Este trabajo confirmó la utilización del ozono como agente de control de esta especie invasora en los circuitos de agua de enfriamiento de la CHI, reduciendo el Demanda Biológica de Oxígeno, mejorando calidad del agua utilizada en los circuitos de refrigeración de la U08 y sin impacto colateral sobre el medio ambiente. Entre los



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

**IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ**  
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

---

principales resultados obtenidos en esta experiencia hay que destacar la disminución de la tasa de corrosión en los intercambiadores de calor y una mejoría en el coeficiente de intercambio térmico, reducción de las temperaturas en equipos como Cojinete Guía Turbina, Cojinete Guía Medio, Devanado del Estator, Núcleo del estator y otros que utilizan agua bruta para su refrigeración caracterizando un mejor rendimiento en la unidad generadora. Otro resultado importante es una menor apertura del distribuidor, comparándola con las demás unidades generadoras sin ozonizar.

Todo esto teniendo como objetivos principales: Mantener y mejorar la excelencia en la producción de energía, y la Disponibilidad de máquinas mayor que el 94% y de indisponibilidad forzada inferior al 0,5%.

**PALABRAS CLAVES**

Limnoperna Fortunei, Mejillón Dorado, Especie Invasora, Ozono, Ozonizador, Bio-boxes, DBO, Tasa de Corrosión, Eficiencia.

## 1. CARACTERISTICAS DEL LIMNOPERNA FORTUNEI

El *Limnoperna Fortunei* (DUNKER, 1857), conocido popularmente como mejillón dorado es un ejemplo reciente de especie invasora capaz de producir alteraciones relevantes en los sistemas hídricos naturales o artificiales. Molusco bivalvo de agua dulce, este mejillón posee características como adultos dioicos, con gran capacidad reproductiva, rápida maduración sexual; gran plasticidad fenotípica, comportamiento gregario y amplia tolerancia ambiental, pudiendo sobrevivir en ambientes naturales, artificiales dulceacuícolas o salobres. La fecundación ocurre externamente dando origen a una larva que midiendo pocos micrómetros es capaz de colonizar rápidamente nuevos ambientes acuáticos debido a su capacidad de nado. Todavía en su estado larval, esta especie produce una estructura proteica llamada biso que le permite fijarse en prácticamente todo tipo de sustrato (metal, plástico, cemento, madera y hasta en especies animales y vegetales acuáticos) formando los denominados macrofouling.



Fig. 01 – Macrofouling *L. Fortunei*



Fig. 02 – Macrofouling *L. Fortunei*

## 2. ESPECIE INVASORA

Originario del suroeste asiático, fue introducido vía agua del lastre de navíos mercantes. Cuando un navío está descargado, sus tanques reciben agua de lastre para mantener su estabilidad, balance e integridad estructural. Durante su carga, el agua del puerto de origen es lanzado al mar. El agua de lastre es absolutamente esencial para la seguridad y eficiencia de las operaciones de navegación, proporcionando equilibrio y estabilidad a los navíos sin carga. Entretanto eso puede causar serias amenazas ecológicas, económicas y a la salud. Hoy se estima que 10 billones de toneladas de agua de lastre sean transferidos anualmente y cerca de 3.000 especies de plantas y animales sean transportadas por el mundo. (SILVA & SOUZA, *et. al.*, 2004).

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

---



Fig. 03 – Descarga de Lastre

El primer registro de esta especie en América del Sur de 1991, en la Bahía del Río de la Plata desde donde se disperso activa y pasivamente a una velocidad promedio de 240 km/año, por las Bahías del Río Paraguay, Paraná y Uruguay. A partir de entonces, tiene presentado una explosión demográfica siendo registras densidades en torno de 150.000 individuos/m<sup>2</sup> en la Argentina. En el Paraguay su primer registro data de 1997 sobre el Río Paraná en la ciudad de Pilar, sobre el mismo río en la ciudad de Ayolas en 1998 y en Hidroeléctrica de Itaipu en el año 2000. En el Brasil, su primer registro data de 1998, en el delta del Río Jacuí, próximo a Porto Alegre (RS). Hoy se sabe de la ocurrencia de este mejillón en los estados del Sur, Suroeste (principalmente en el Pantanal Mato-Grossense) ya siendo encontrado aguas debajo de la Hidroeléctrica de San Simón, próximo a la divisa de los estados de Minas Gerais y Goiás. (Darrigan, et. al., 1998)

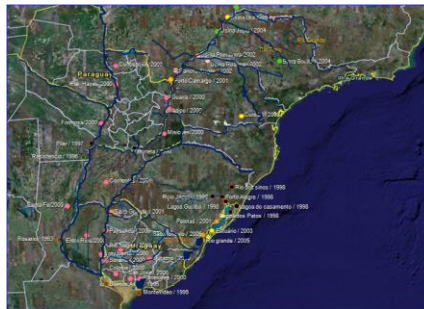


Fig. 04 – Avance de L. Fortunei en Cuenca del Río de la Plata

### 3. IMPACTOS ECONÓMICO Y AMBIENTAL

Los impactos causados por el molusco son de orden económica y ambiental. Entre los impactos ambientales, la introducción de especies exóticas en un ambiente frecuentemente causa competición con especies nativas por recursos tales como, alimento y espacio. En la ausencia de predadores naturales, invasores pueden perjudicar o mismo causar extinción de especies nativas en muchos locales, se constituye amenaza a la biodiversidad. A través de ellos, también hay posibilidad de transmisión de nuevas enfermedades, las cuales pueden venir a eliminar habitantes nativos vulnerables. La colonización de ambientes acuáticos naturales por

organismos invasores filtradores causa también la alteración de las características físicas y químicas de las aguas (GIORDANI, et. al., 2005).

Con la capacidad de incrustarse en varios tipos de superficies sumergidas, el *L. Fortunei* está causando graves problemas en sistemas de abastecimiento de agua, centrales hidroeléctricas, térmicas y nucleares, frigoríficos, industrias procesadoras de aceites, fabricas de papel, petroquímicas, etc., siendo responsable por problemas de corrosión, pérdida de flujo debido a la fricción, aumento en el gasto de energía para el bombeamiento del mismo caudal de agua, aumento en el costo de operación, incrustaciones en estructuras portuarias y embarcaciones, así como por la obstrucción de tubos de captación de agua y consecuentemente, paradas forzadas afectadas con el fin de limpiarlas (GIORDANI, et. al., 2005).



Fig. 05 – Incrustaciones en Tapa TC

Fig. 06 – Rejas Incrustadas

Fig. 07 – Incrustaciones en TC Turbina

Actualmente existen grupos de estudios en diversas empresas del sector eléctrico buscando identificar metodologías que puedan eliminar el molusco de los sistemas componentes de las hidroeléctricas.

#### 4. LOS MÉTODOS DE CONTROL

Los métodos de control de moluscos se subdividen en:

- Métodos reactivos: Son rápidos y eficientes minimizando el impacto sobre el funcionamiento de la instalación en el ambiente.
- Métodos pro-activos: Impiden la fijación de las larvas del *L. Fortunei* en el sistema impidiendo la entrada o creando un ambiente inadecuado a ellas.

Inseridos en estos, están los métodos de tratamiento que pueden ser métodos físicos, químicos y biológicos.

Los métodos físicos son representados por anoxia (ausencia de oxígeno), hipoxia (bajo tenor de oxígeno), radiación ultravioleta, electricidad, acústico y magnético. Siendo que estos métodos no son capaces de seleccionar los individuos que mata, resultando en la mortandad también de especies nativas, lo que genera por consecuencia la liberación de materia orgánica muerta al ecosistema acuático, alterando de forma significativa su composición. (CATALDO, BTOTOVSKOY y POSE, et. al., 2002).

Los métodos químicos son utilizados con frecuencia, pero es imprescindible una evaluación preventiva, una vez que, se utilizan directamente en el medio ambiente pueden causar impactos ambientales considerables por el hecho de ser letales tanto a la especie invasora como a las nativas. Estos métodos son muy utilizados en tratamientos puntuales. Son ejemplos de métodos de tratamientos químicos: la inyección de cloro, ozono, sulfato de cobre, pintura, revestimientos y materiales anti incrustantes (GIORDANI, et. al., 2005).

Como métodos biológicos se tienen la predación por peces, que es un promisor método de control del asentamiento de este organismo en el medio ambiente. Una vez que, se trata de la predación del mejillón en la fase adulta, tiene poco potencial de ser aplicado al control del asentamiento en instalaciones de aducción y tratamiento de agua, donde las larvas de mejillón tienen y al pez no (GIORDANI, et. al., 2005)..

## 5. OZONO (O<sub>3</sub>)

### 5.1 Propiedades y características del ozono

La palabra ozono deriva del griego *ozein* que quiere decir mal olor. El significado del nombre refleja una de sus características, o sea, el fuerte olor que exhala cuando se encuentra en alta concentración. Esta característica fue observada en 1783 (MAYER, 2007), próximo a una descarga eléctrica.

### 5.2 Propiedades físico químicas

El ozono es una forma alotrópica del oxígeno en la que los tres átomos de este elemento se combinan para generar la molécula de ozono. El ozono se forma cuando las moléculas de oxígeno son excitadas lo suficiente para descomponerse en oxígeno atómico, las colisiones entre los átomos provocan la formación de ozono. Es un gas de color azulado, más pesado que el aire, de olor fuerte y penetrante, que se encuentra en estado natural diluido en grandes masas de oxígeno, es el causante del color azul del cielo.

Presenta las siguientes características:

- Punto de ebullición a 1 atm: -112 °C
- Punto de congelamiento: -251,4 °C
- Punto de fusión a 1 atm: -192,5 °C
- Densidad: 22,2 g/l a 0°C e 1atm
- Masa específica del gas en las CNTP: 2,14 g/l

### 5.3 Características

Es un agente oxidante extremadamente fuerte, siendo más débil apenas que el flúor, reaccionando mucho más rápidamente que el O<sub>2</sub>. Su alta reactividad es transformada en elemento tóxico capaz de atacar proteínas, destruir microorganismos y perjudicar el crecimiento de los vegetales. Es un gas a temperatura ambiente, de coloración azul pálida, debido a la



intensa absorción de la luz roja, llegando a la coloración azul oscura cuando transita para el estado líquido, situación en que adquiere propiedades explosivas (MACEDO, 2002).

El O<sub>3</sub> tiene olor fuerte característico, que es asociado frecuentemente a las chispas de los equipos eléctricos. Cuando adicionado a compuestos orgánicos insaturados a la temperatura ambiente se forma ozonatos (LEE, 1991). Dependiendo de la concentración el olor es ligeramente adocicado, olor con sensación de limpieza (HIDROLIMP, 2008).

Dependiendo de la calidad del medio en que se encuentra, el tiempo de vida promedio del ozono en el medio depende de diversos factores, de entre ellos, el pH merece especial atención una vez que los iones hidroxilo inician el proceso de descomposición del ozono, como mostrado en las ecuaciones a seguir (ART 1, TRATAMIENTO DE EFLUENTES).

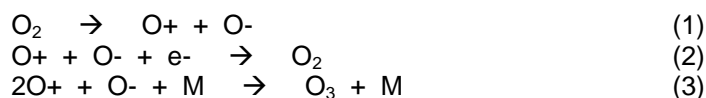
La demanda de O<sub>3</sub> es muy influenciada por la presencia de materia orgánica, siendo que los dosajes usuales son del orden de 0,3 a 2,0 mg/L (MAYER, 2007).

#### 5.4 Generador de Ozono por descarga eléctrica

En este método, el ozono es generado por el paso de aire u oxígeno puro entre dos electrodos sometidos a una elevada diferencia de potencial. El rendimiento de este proceso varía entre 1 a 4 % y entre 6 a 14% para sistemas alimentados por aire y oxígeno puro respectivamente (ART 1 TRATAMIENTO DE EFLUENTES).

El Ozono es producido por el paso de aire seco o de oxígeno (O<sub>2</sub>) puro por una cámara donde sufre una descarga eléctrica arriba de 5000 V. La molécula de oxígeno (O<sub>2</sub>) se divide formando dos átomos de oxígeno (O<sub>1</sub>), el cual se combina con la molécula de oxígeno (O<sub>2</sub>), formando el ozono (O<sub>3</sub>) (HIDROLIMP, 2008).

Según Meyer (2007), en este método el ozono es generado, haciendo pasar el aire (o oxígeno) a través de descargas eléctricas de alto voltaje, con corriente alternada.



(M indica la molécula de gas utilizado para retirar el exceso de energía estabilizando la molécula de ozono, puede ser O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, etc.). Se produce de esta manera, una mezcla de aire y ozono. La reacción (2) es predominante, volviendo a formar O<sub>2</sub> y la reacción (3), productora de ozono, se verifica en menor proporción. Por eso, en los equipos comerciales de generación a concentración de O<sub>3</sub> en la mezcla es de 1 a 2% en peso (frecuentemente 1,7%) (MAYER, 2007).

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

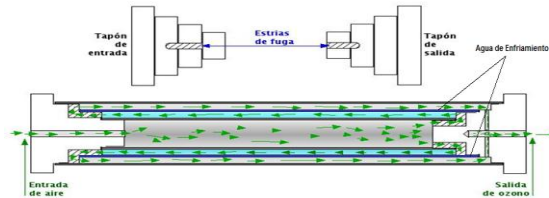


Fig. 09 – Formación del Ozono en una columna

Es necesario considerar que solamente 5% de la energía eléctrica aplicada es efectivamente usada en la conversión de O<sub>2</sub> para O<sub>3</sub>, siendo la mayor parte convertida en calor lo que implica en la necesidad de sistemas de refrigeración para aplicaciones en escala real (BASSANI, 2003).

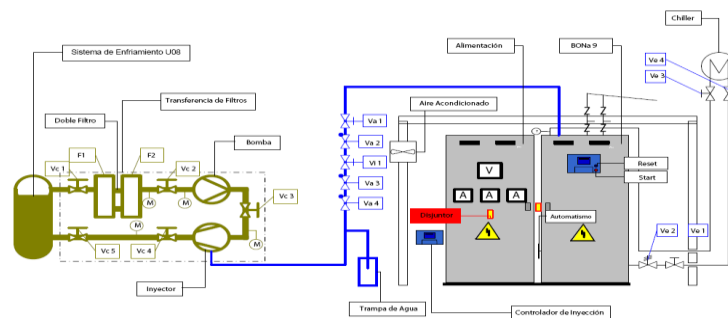


Fig. 10 – Diagrama esquemático del ozonizador instalado en la UG08

### 5.5 Aplicaciones

Es un poderoso germicida, empleado en ingeniería sanitaria para la desinfección del agua potable y en la remoción de sabores y olores indeseables, además de servir como agente blanqueador para compuestos orgánicos.

El ozono producido por equipos destinados a su generación es utilizado para: Tratamiento de agua en general como piscinas, torres de refrigeración, procesos industriales, tratamiento de efluentes, agua mineral embotellada, irrigación, lado de frutas, verduras y legumbres, también es utilizado para purificación de aire, remoción de color, eliminación de olores, remoción de metales, lugares destinados para almacenamiento de alimentos (sanitización de ambientes) y hospitales. Actualmente las investigaciones con ozono han avanzado en innumerables aplicaciones pues es una tecnología de fácil operación y excelente costo x beneficio financiero y para la salud. (HIDROLIMP, 2008)

En el caso de la utilización de O<sub>3</sub> como desinfectante para purificación de agua potable, la ventaja en relación al cloro es la ausencia del olor y gusto desagradable en el agua tratada con





IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

---

cloro (LEE, 1991). Una vez, disuolvido en el agua, el exceso de ozono ( $O_3$ ) es rápidamente convertido de vuelta al oxígeno ( $O_2$ ), por tanto la producción de ozono por generadores es insignificante para la atmósfera en que vivimos lo que incrementa su ventaja en su utilización.

El ozono posibilita innumerables aplicaciones visando el medio ambiente como reducción de los metales a sus formas insolubles (normalización), rompe la cadena de los hidrocarbonatos (disociación) y solidifica los compuestos orgánicos disuolvidos causando su coagulación y precipitación (mineralización).

## 6. AREA DE ESTUDIO

Visando la evaluación del ozono como método de tratamiento químico en el combate a la incrustación del molusco en los tubos de los diversos sistemas de refrigeración fue instalado en la unidad generadora UG08 de la Itaipu Binacional un ozonizador de ozono de 720 gramos/hora. Con el fin de un estudio desde el aspecto biológico fueron instalados dos bioboxes uno con  $O_3$  y otro sin, visando el estudio del comportamiento de la población de individuos; también fue realizado una investigación del comportamiento de la corrosión de los metales del Sistema de Enfriamiento de la Unidad Generadora a través de la colocación de cupons y evaluados la cantidad de desechos orgánicos dentro del Sistema de Enfriamiento de la Unidad generadora a través de análisis de DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) realizados en laboratorio. Mensualmente fueron abiertos intercambiadores de calor de las unidades generadoras UG08 (con ozono) y UG06 (sin ozono) para su evaluación visual y cuantitativa.

Cada unidad generadora es refrigerada con agua bruta captada de la caja espiral, es filtrada en el Cuno Flo, para luego ser distribuida en los siguientes sistemas de refrigeración:

- Caja de Vedación, Filtro Hidro-ciclónico
- Cojinete Guía Turbina
- Cojinete Combinado
- Cojinete Guía Superior
- Regulador de Velocidad
- Sistema de Refrigeración del Generador
- Sistema de Agua Pura
- Sistema de Excitación
- Transformadores elevadores

## 7. MÉTODOS DE EVALUACIÓN Y RESULTADOS

### 7.1 Mediciones de Tenor de Ozono.

Con la finalidad de valorar el tenor de  $O_3$  dentro del circuito de refrigeración de la U08, fueron instalados 28 puntos de colecta

### 7.2 Control Biológico -Bio-boxes

Visando una evaluación biológica del ozono como método de tratamiento químico en el combate a la incrustación del molusco en la tubería del sistema de refrigeración, fue adoptado la simulación de un ambiente, a través de dos cajas bio-box acopladas al sistema, el cual posibilitó un número mayor de colectas, calidad de datos, viabilidad de comparación, llevando en consideración que las variables de presión y caudal son diferentes en este ambiente creado. Los bioboxes fueron instalados en la cota 92, UG 08, los puntos de captación fueron la Caja espiral (agua bruta sin ozonizar) y la Válvula 07 GT (agua bruta ozonizada).



Fig. 11 – Instalación de Bio-boxes Ozonizada



Fig. 12 – Captación del Agua Bruta



Fig. 13 – Captación del Agua Ozonizada

Los resultados obtenidos indican una reducción en la cantidad de individuos en el bio-box con ozono que varían entre 94,7 a 100,0 %.

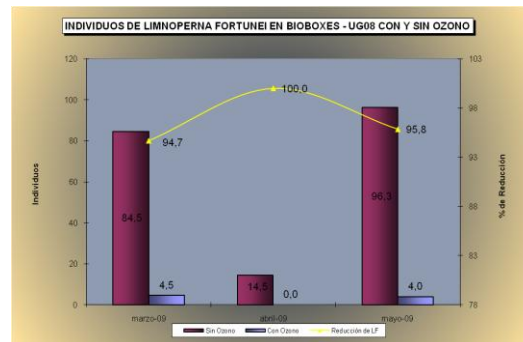


Fig. 14 – Índices de L. Fortunei en los Bio-boxes

### 7.3 Control Biológico –Índice Poblacional de L Fortunei en los TC's del Cojinete Guía Turbina

Otro método adoptado para la evaluación biológica del sistema de ozonización fue la abertura de un intercambiador de calor (frecuencia mensual) de la UG08 (con ozono) y otro UG06 (sin ozono) para su comparación. La colecta fue realizada retirando todo el material biológico contenido en los ambos intercambiadores, para luego ser discriminado por componente (briozoa y L. Fortunei) y peso. Una vez calculado el área de cada intercambiador de calor es posible conocer el índice individuos/m<sup>2</sup>,

Los resultados obtenidos en el periodo de muestreo presentan un índice de 31.750 a 53.208 ind/m<sup>2</sup> en la UG06 (sin ozono) y de 37 a 48 ind/m<sup>2</sup> en la UG08 (con ozono) lo que indican una

reducción en el índice de ind/m<sup>2</sup> en los intercambiadores de calor que varían entre 99,88 y 99,91 %

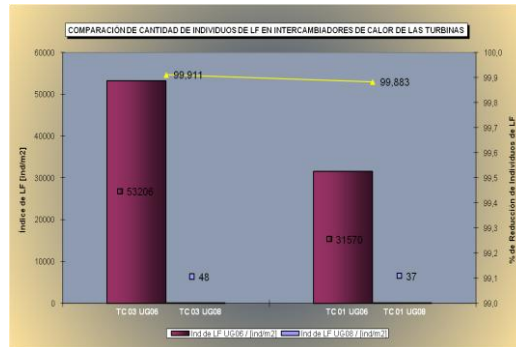


Fig. 15 – Comparación de la Cantidad de Individuos en los TC´s de la Turbina con (UG08) y sin ozono (UG06)

#### 7.4 Control de la corrosión (cupones)

La técnica utilizada para medir la tasa de corrosión en las UG's de la Itaipu Binacional fue la de pérdida de masa. Fueron insertados cupones de metal en los TC04 y FH1/2 (UG08 - con ozono) y TC04 (UG06 - sin ozono); luego de un tiempo de aproximadamente 30 días de colocados en el proceso, los cupones fueron retirados, y fue realizada la medición de su pérdida de masa en ambos cupones, de esa manera se estimó las velocidades de corrosión en mm/año.



Fig. 16 – Instalación de cupones en el FH



Fig. 17 – Instalación de cupones en los TC's

Los ensayos de corrosión realizados indican que debido a la mejora de la calidad del agua dentro del Sistema de Enfriamiento ozonizado, la tasa de corrosión mejora como mínimo un 50% comparada con otra unidad generadora sin ozonizar.

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

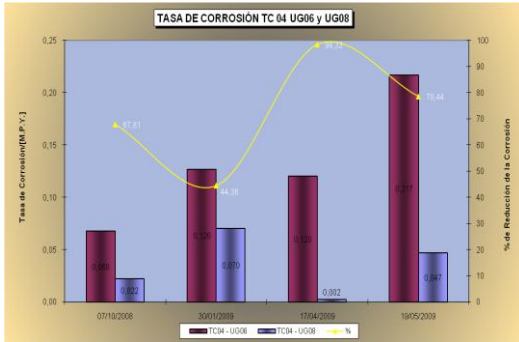


Fig. 18 – Tasa de Corrosión TC's Turbina

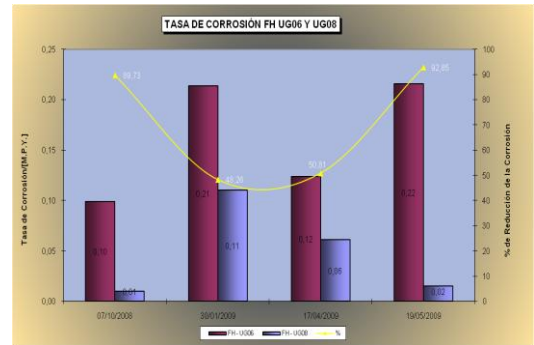


Fig. 19 – Tasa de Corrosión FH



Fig. 20 – Cupón TC04 UG06 (sin ozono)



Fig. 21 – Cupón TC04 UG08 (con ozono)

### 7.5 Control Biológico - DBO

El objetivo de esta experiencia fue la de investigar la cantidad de desechos orgánicos dentro del Sistema de Enfriamiento de la Unidad Generadora a través de análisis de laboratorios. El procedimiento realizado fue el de retirar una cantidad de agua del sistema de enfriamiento, sin ozono (caja espiral) y con ozono (a diferentes distancias en la tubería de enfriamiento) y llevar a un laboratorio externo acreditado para su análisis.



Fig. 22 – Colecta de agua para DBO

Los análisis de DBO realizados indican que el ozono disminuye los la cantidad de desechos orgánicos en orden 70%.

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

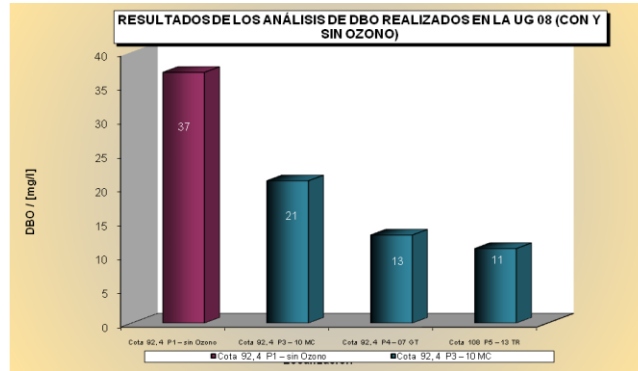


Fig. 22 – Resultados de Análisis de DBO realizados en la UG08 (con y sin ozono)

### 7.6 Control Visual

A cada mantenimiento programado fue realizada una inspección visual en los diferentes sistemas de refrigeración visando la verificación de la eficiencia del ozonizador, dicho control arrojó los siguientes resultados.



Fig. 23 – FH / UG06 (sin ozono)



Fig. 24 – FH / UG08 (con ozono)



IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

---



Fig. 25 – TC Turbina/ UG06 (sin ozono)  
ozono)



Fig. 26 – TC Turbina/ UG08 (con ozono)



Fig. 27 – TC Turbina/ UG06 (sin ozono)



Fig. 28 – TC Turbina/ UG08 (con ozono)



Fig. 29 – TC Agua Pura / UG06 (sin ozono)



Fig. 30 – TC Agua Pura / UG08 (con ozono)





Fig. 31 – TC Aire/Agua Gen/UG06 (sin ozono)



Fig. 32 – TC Aire/Agua Gen/UG08 (con ozono)

### 7.7 Acompañamiento de las Variables – Posición Distribuidor [%] vs. Potencia [MW]

El gráfico de acompañamiento de variables de la posición del distribuidor en función de la potencia obtenidos del Sistema SCADA/SIRI, de las UG 01 – 09, en el periodo comprendido de 03/2009 hasta 08/2009, se observa que estando las máquinas en conjunto, la UG08 (con ozono) tiene aproximadamente 2,0% de apertura del distribuidor a menos que las demás unidades.

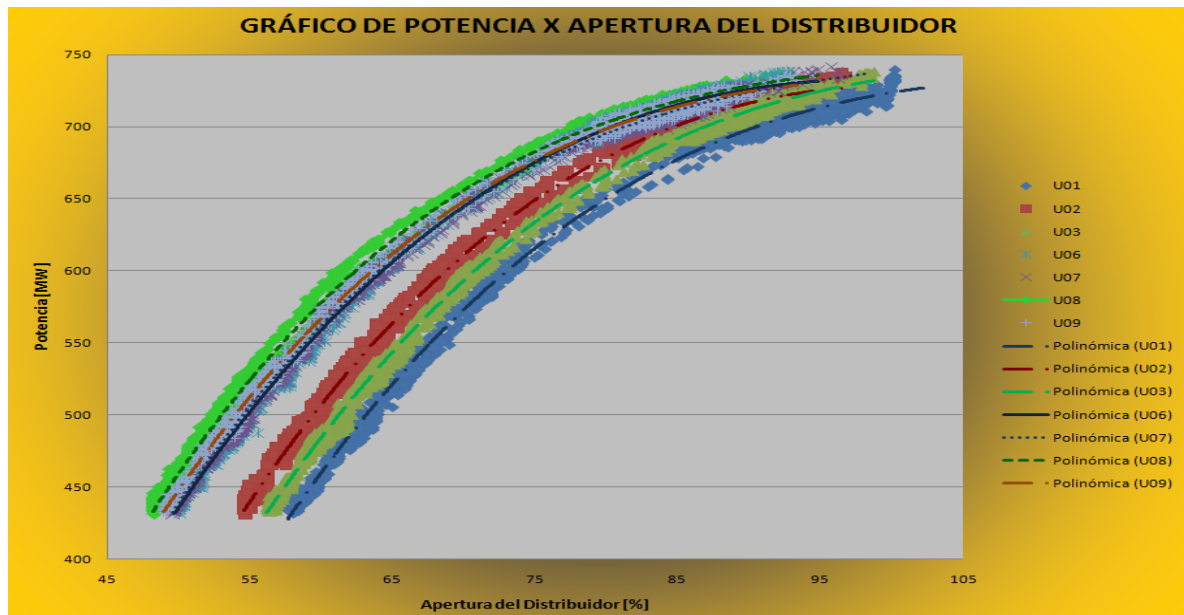


Fig. 32 – Gráfico de potencia en función de la apertura del distribuidor



IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

---

## 8. CONCLUSIONES

El L. Fortunei no ocasiona paradas intempestivas en las Unidades Generadoras, sin embargo produce en conjunto con los bio-fouling una disminución en la eficiencia de las máquinas y en ciertas hasta un mal funcionamiento.

La implantación del sistema generador de ozono en una unidad generadora no implica en la interrupción de la producción de energía de la CHI. Todos los parametros importantes del sistema fueron supervisados durante la experiencia y estuvieron dentro de los rangos permitidos por normas internacionales, incluyendo las de seguridad.

La corrosión existentes en las instalaciones de la IB está dentro de los valores previstos en el proyecto. Con la presencia del L. Fortunei, la corrosión se acentua en las instalaciones, en mayor o menor gravedad.

El O<sub>3</sub> mezclado con el agua, en sus concentración adecuada, no solo mejora la tasa de la corrosión como tambien protege las superficies ensayadas prolongando sensiblemente la vida util de tuberías, válvulas, y todos dispositivos en general y mejorando la eficiencia de las unidades generadoras.

El O<sub>3</sub> aplicado durante toda la experiencia en la IB, actua por tan poco tiempo en las instalaciones, que no llega a ser letal para ningún ser vivo "En circulación". Siendo este sistema inocuo al medio ambiente y mejorando la calidad del agua dentro del sistema de refrigeración.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- BASSANI, L. Desinfecção de efluente sanitário por ozônio: parâmetros operacionais e avaliação econômica. Florianópolis, 2003. Dissertação (mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.
- CATALDO, D.; BOLTOVSKOY D.; Y POSE, M. Control del molusco incrustante *Limnoperna fortunei* mediante el agregado de moluscicidas al agua
- DARRIGRAN, G. 1997. Introduction of harmful aquatic organisms bivalves, River Plate. M.E.P.C.,40/10/1: 1-17. International Maritime Organization (ed.).
- DEPARTAMENTO DE QUÍMICA UFPR. Ozônio, o que é o Ozônio, como o ozônio é produzido. Disponible en: <<http://bohr.quimica.ufpr.br/~dallara/camada.html>>. Accesado el 27 de maio de 2009.
- HIDROLIMP, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUA. Tratamento ozônio. Disponible en: <<http://www.hidrolimp.com.br/diretorios/>>. Accesado el 10 de abril de 2009.
- GIORDANI, S.; NEVES, P. S.; ANDREOLI, C. V. *Limnoperna fortunei* ou mexilhão dourado: impactos causados, métodos de controle passíveis de serem utilizados e a importância do controle de sua disseminação. (MS/BRASIL) In: 23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2005.
- LEE, J. D. Química inorgánica não tão concisa. Grupo VI – calcogênios. Cap. 15. Tradução da 4ª ed. Inglesa, p. 226 – 232, copyright, 1991.



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

**IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ**  
**13, 14 y 15 de Octubre de 2010**

---

MACÊDO, J. A. B.; Introdução a Química Ambiental. Química & Meio Ambiente & Sociedade. Minas Gerais, 2002.

MAYER, I. Apostila: Considerações gerais sobre tratamento de água. UTFPR, 2007.

SILVA, J. S. V.; SOUZA, R. C. C. L. Água de lastro e bioinvasão. Rio de Janeiro: Interciencia, 2004.

TRATAMIENTO DE ÁGUA E EFLUENTES. Snatural Meio ambiente, ozônio. Disponible en <<http://www.snatural.com.br/Ozonio.htm>>. Accesado el 20 de mayo de 2009.