

# Evaluación del probable impacto de la descarga de una termoeléctrica en la comunidad de San Francisco, estado Zulia – Venezuela

**Gerardo Aldana**

Centro de Investigación del Agua  
Universidad del Zulia

**Karola Villamizar**

Planta Termoeléctrica Ramón Laguna  
CORPOELEC

gerardoaldana\_21@hotmail.com  
Venezuela

Fecha de recepción: 12 - 10 - 2015    Fecha de aceptación: 25- 11- 2015

## Resumen

Las aguas de descarga de una termoeléctrica tienen temperaturas superiores a 30 oC. Esto puede afectar la vida acuática tanto de los peces como en la vegetación. Un caudal de 200.000 m<sup>3</sup>/d produce una zona de turbulencia en el

lago de Maracaibo, la cual es disipada por las mareas. En ese sentido, este estudio tiene como objetivo, analizar el impacto de la descarga en la zona aledaña de la comunidad del Municipio San Francisco, estado Zulia. La metodología utilizada fue a través de la simulación computacional de la hidrodinámica de

la descarga y los efectos causados por la temperatura. Los resultados indicaron que los valores están por debajo de la norma y no hay impacto que dañe la ecología.

**Palabras clave:** temperatura; impacto; comunidad; termoeléctrica; hidrodinámica.

# Evaluation of probable impact of the discharge of a thermal in the community of San Francisco, Zulia state - Venezuela

## Abstract

The discharge waters of a thermoelectric plant have temperatures above 30 °C. This can affect the aquatic life of both fish and vegetation. A flow of 200,000 m<sup>3</sup>/d produces a zone of turbulence in Lake Maracaibo, which is

dissipated by the tides. In this sense, this study aims to analyze the impact of the discharge in the area surrounding the community of San Francisco Municipality, Zulia State. The methodology used was through the computer simulation of the hydrodynamics of the

discharge and the effects caused by temperature. The results indicated that the values are below the norm and there is no impact that damages the ecology.

**Keywords:** temperature; impact; community; thermoelectric; hydrodynamics.

## Introducción

La planta termoeléctrica Ramón Laguna de Corpoelec, dentro de su actividad productiva, utiliza agua como materia prima. La obtención de este importante recurso proviene de dos vías; primero, de Hidrolago, una planta desmineralizadora, esta agua sirve de reposición al ciclo y vapor de la planta, además de ser utilizada como agua de consumos y para el lavado y mantenimiento de equipos; el otro punto de alimentación viene desde el lago de Maracaibo, esta sirve como agua de enfriamiento a los condensadores dentro del proceso de la planta. La diferencia entre los modos de abastecimiento recae en las necesidades de las propiedades del agua para cada proceso y los recursos con los que se cuenta. En el caso del agua del lago de Maracaibo puede ser utilizada para el enfriamiento en estado líquido y no se corre el riesgo de depósito de sus contaminantes como ocurriría si se utilizara como vapor (Enlven, 2004). Es evidente que durante el recorrido del agua por el proceso de la planta, esta es contaminada con las sustancias químicas utilizadas en las diferentes actividades que se llevan a cabo en la misma. En función de atacar el impacto sufrido, los desechos industriales que llegan a la planta de efluentes son sometidos a tratamientos físico-químicos que disminuyen las propiedades que podrían perturbar el hábitat del lago de Maracaibo, lugar donde se descarga el agua tratada. Este tratamiento se realiza en cumplimiento con lo establecido en el Decreto 883 del Ministerio del Poder Popular del Ambiente (MPPA) acerca de: Las Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos

de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos efluentes líquidos. Lo anterior permite considerar esta agua tratada como un agua con características poco agresivas.

Por su parte, el agua del lago Maracaibo entra al proceso desde el lado sur de la planta, como agua de enfriamiento para el proceso productivo, sin que se afecten sus características y sin la adición de aditivos químicos. En el caso de los sistemas de las unidades RL-13/14, el agua entra al sistema por los coladores de copa donde se encuentra con barreras que recolectan los desechos sólidos que están presentes en esta fuente y evitan la entrada al sistema de la flora y la fauna características de este cuerpo de agua. Para el proceso de enfriamiento de las unidades RL-15/16/17, la entrada se realiza por los coladores de copa que funcionan como filtros atrayentes del agua, es decir, hacen pasar el afluente a una fosa de donde se extrae agua tanto para agua de servicio (enfriamiento de condensador) como para agua de circulación (enfriamiento para el circuito cerrado). Otro punto de alimentación se encuentra en el suroeste de la planta, el sistema de dilución, donde entra el agua a través de coladores de copa y tuberías que se extienden superficialmente hasta la salida de descarga en el lago de Maracaibo, como complemento del sistema de enfriamiento.

En este último punto se encuentran el agua tratada en la planta de efluentes, y el agua del sistema de dilución, del sistema de circulación de las unidades RL-13/14 y del sistema de circulación de las unidades RL-15/16/17. La descarga se realiza a través del canal de circulación de 13/14 y las 3 tuberías del

agua de circulación de las unidades RL-15/16/17, respectivamente. La primera de estas está conectada con la tubería del agua tratada y el sistema de dilución. Esta descarga significativa presenta un caudal promedio de 2.355 L/s. El proceso antes expuesto fue ejecutado debido a la necesidad del aprovechamiento del agua del lago de Maracaibo sin la afectación a este recurso, ya que para el proceso de generación es indispensable la utilización del agua de enfriamiento y resulta poco atractivo la utilización del agua potable para este procedimiento. Asimismo, el agua (Decreto 883, 1995); que promueve la vinculación que debe existir entre la calidad del agua del cuerpo receptor y los efluentes líquidos a ser descargados (relación causa-efecto).

Esto con el fin de conservar y mejorar la calidad de los cuerpos de agua mediante el control de los vertidos de potable debe ser utilizada por la comunidad de San Francisco y con este tipo de procedimiento se reduciría considerablemente la cantidad disponible para el consumo humano. El propósito de esta investigación es evaluar la descarga de la Planta Ramón Laguna PRL en la comunidad de San Francisco. Para su alcance, fue necesario estimar, a través de la simulación con diferentes programas especializados, el grado de afectación a las orillas del lago de Maracaibo. Los datos de la caracterización del efluente fueron tomados de la empresa Corpoelec, e introducidos en programas de simulación para generar un modelo calibrado y verificado que permita evaluar la afectación al lago de Maracaibo y a los habitantes de la comunidad por medio de la descarga desde PRL.

## Materiales y métodos

### La metodología de estudio consistió en:

#### Ecuaciones que gobiernan

El modelo de dinámica de fluido computacional se basa en las ecuaciones de movimiento de fluido tales como: continuidad, transporte de momentum en

3 direcciones y esfuerzo de Reynolds (Mike, 2007); a saber: ecuación de momentum en la dirección X, ecuación de momentum en la dirección Y y ecuación de momentum en la dirección Z. A continuación, se presentan las ecuaciones desarrolladas para el programa MIKE 3 en coordenadas cartesianas:

Ecuación de momentum en la dirección x:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial vu}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} = fv - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial x} \partial z + F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left( v_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s Q \quad (1)$$

Ecuación de momentum en la dirección y:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial wv}{\partial z} = -fu - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial y} \partial z + F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left( v_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s Q \quad (2)$$

Ecuación de momentum en la dirección z:

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial w^2}{\partial z} + \frac{\partial uw}{\partial x} + \frac{\partial vw}{\partial y} = -fw - g \frac{\partial \eta}{\partial z} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial z} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial z} \partial z + F_w + \frac{\partial}{\partial z} \left( v_t \frac{\partial w}{\partial z} \right) + w_s Q \quad (3)$$

t: tiempo (s)

x, y, z: coordenadas cartesianas en los ejes (m)

u, v, w: componentes de la velocidad del fluido (m/s)

Q: caudal (m<sup>3</sup>/s)

h: viscosidad de Eddy (1x10<sup>-4</sup> a 1x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s)

F<sub>w</sub>: fuerza de atracción en la dirección z (N)

P: presión del fluido (N)

ρ: densidad del fluido (N/m<sup>3</sup>)

g: constante de gravedad (9.81m/s<sup>2</sup>)

#### Zona de estudio y generación de la malla en 3D

La Planta Ramón Laguna (Google Earth, 2010) está ubicada en la costa del lago de Maracaibo y limita al norte con la cañada La Arreaga, al sur con una bahía de 300 m<sup>2</sup> aproximadamente, al este con el lago de Maracaibo y al oeste con diferentes urbanismos (figura 1).

La ubicación y distribución de las tuberías se obtuvo de un análisis anterior

realizado en la PRL por buzos de la empresa Maracaibo Underwater Service C.A. Los mismos determinaron que el área de estudio está constituida por 3 tuberías de acero inoxidable, con 100 metros de separación entre ellas, ubicadas al norte del rompeolas de 300 m de longitud. La más larga es la descarga de la Unidad RL-15, presente a 440 m de la costa y cuyo rasgo importante es que su ubicación desciende respecto al lecho, por lo que puede observarse desde la costa y se pierde de vista hasta una profundidad de 5m en el lago. La tubería más cercana a la costa estaría a 240 m. Lo anterior se encuentra en concordancia con las disposiciones legales de la Ley Forestal de Suelos y de Aguas que exige en su artículo 17 un radio de protección a los cuerpos de agua de 200 m de la costa. La temperatura promedio del agua de descarga industrial PRL varía entre 32 oC y 36 oC. En el modelo se consideró el radio de impacto de la descarga en el lago de Maracaibo, debido al caudal de 2.355 m<sup>3</sup>/s y la distancia de las tuberías, para abarcar un espacio simétrico y completo; además, se consideró el impacto que puede ejercer la descarga sobre la bahía ubicada al este. Para esto se definió un área de 650 m de ancho por 1.300 m de largo con tres condiciones de borde abiertas ubicadas en el lago y una cerrada ubicada en la orilla frente a PRL. Se dejó como único centro el punto de descarga y se tomó en cuenta 150 m de franja con una condición de borde abierta y cerrada que incluye parte del área de la bahía que se encuentra adyacente a la PRL del lado sureste y permite observar el impacto sobre la comunidad (figura 2).

Figura 1. Vista satelital Planta Termoelectrica Ramón Laguna PRL. Tomas y descargas



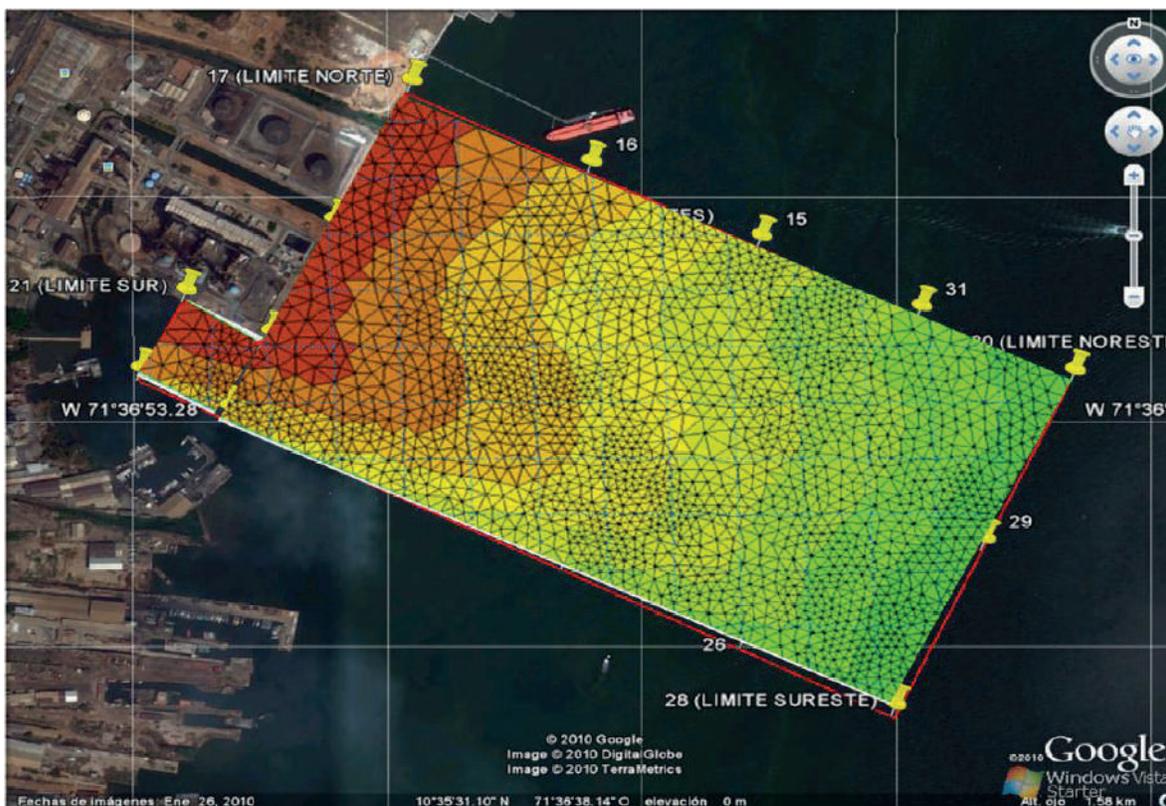
Fuente: Google Earth @ 2010

La herramienta de este software (Google Earth, 2010) permitió trazar diferentes líneas para delimitar el área de estudio y ubicar cada punto con marcas de posición y sus respectivas coordenadas para su posterior utilización (figura 2). Al ubicar el área de estudio en

los programas Mike 3 (Mike, 2007) y Google Earth (2010) se conocieron todas las coordenadas necesarias de los nodos. Por medio de este último se obtuvieron coordenadas en el sistema geográfico y para el caso de la generación de la malla de elementos finitos en 2D fue necesario

presentar las coordenadas en UTM 32 con la respectiva conversión para cada uno de los nodos. La malla generada en 2D presentó 2.006 nodos y 3.845 elementos, con una representación detallada del área de estudio realizada en una sola región y con determinación de espacios bastante definidos (figura 2).

Figura 2. Coordenadas área de estudio. Malla 3D superpuesta frente a PRL y el lago



Fuente: Google Earth @ 2010 y programa generador malla Mike Zero

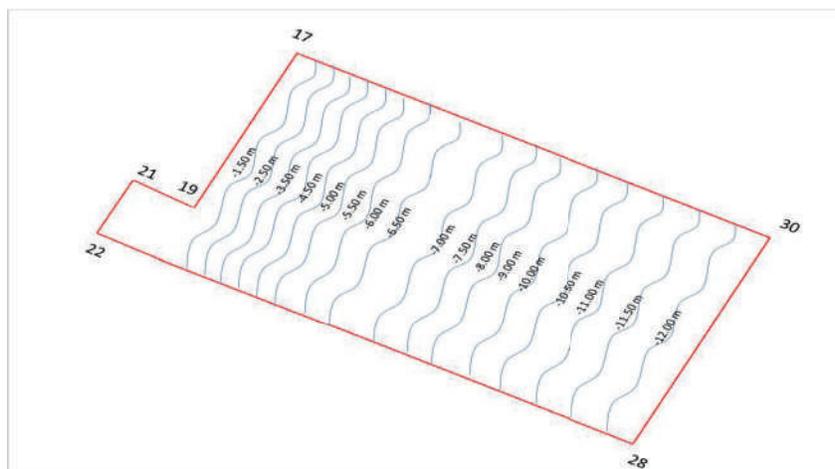
Para la creación de la malla en 3D mostrada en la figura 2 fue necesario partir de la malla en 2D y generar nuevos archivos incluyendo los datos de las profundidades de los niveles de agua. La degradación de los tonos indica la variación de la profundidad con respecto a la orilla, 1,50 m para el color más oscuro y 12 m para el claro. Los datos de profundidad para este estudio se obtuvieron extrapolando los datos reales de un estudio de batimetría (Enlven, 2006) realizado en la parte norte de la descarga de PRL, específicamente en el muelle para la recepción del combustible utilizado en PRL. Con los datos recolectados se construyó el marco referencial que se muestra en la figura 3.

La simulación del modelo de flujo del área de estudio permitió visualizar los vectores de dirección de las mareas y del flujo que se descarga de los efluentes de PRL para determinar su afectación en la comunidad. Este tipo de corridas refiere a los datos y parámetros básicos tales como: presión 3 atm, temperatura agua lago 29 oC, aire 32 oC, salinidad 7 mg/L, coeficientes de fricción: 50 mm fondo; de las mareas pleamar 0,90 m y bajamar 0,40 m registradas en las condiciones de borde abierta, así como las condiciones ambientales que la rodean, tales como magnitud del viento 2 m/s y dirección N30oE; solo de esta manera se pudo representar el movimiento interno

en 10 capas de profundidad dentro del cuerpo de agua.

El periodo de simulación que se utilizó fue el equivalente a la mitad de un periodo de marea para pleamar o bajamar 12 h (Aldana, 2004), el tiempo real será representado en tiempo de computadora por lo cual limita la capacidad de memoria. Para nuestro caso se delimitó la observación en tiempo real del comportamiento durante la mitad de un periodo 6 h y al convertir este término se describió un intervalo de unidades “time step” (pasos de tiempo) en el computador comenzando desde 0 hasta 720 y con intervalos de 30 s entre cada time steps.

Figura 3. Curvas de batimetría en el lecho del lago consideradas en el área de estudio



Fuente: Corpoelec, Gerencia de Proyectos y Servicios GPS, 2006

## Resultados y discusión

La corrida completa tomo 3,5 h para llegar al 100% de la simulación. Esto permitió reproducir los 720 time steps, cuyos resultados, a su vez, reproducen la capacidad de la descarga para integrarse al lecho del lago de Maracaibo. La demostración de todo lo antes explicado se observa en la figura 4, en el time step 720 y en la capa 4 equivalente a la mitad de la profundidad (aprox. 5 m) que fue la más característica, por lo que se puede observar mejor el fenómeno que ocurre en el área completa de estudio y con un detalle de acercamiento en la descarga, se puede visualizar el efecto del viento

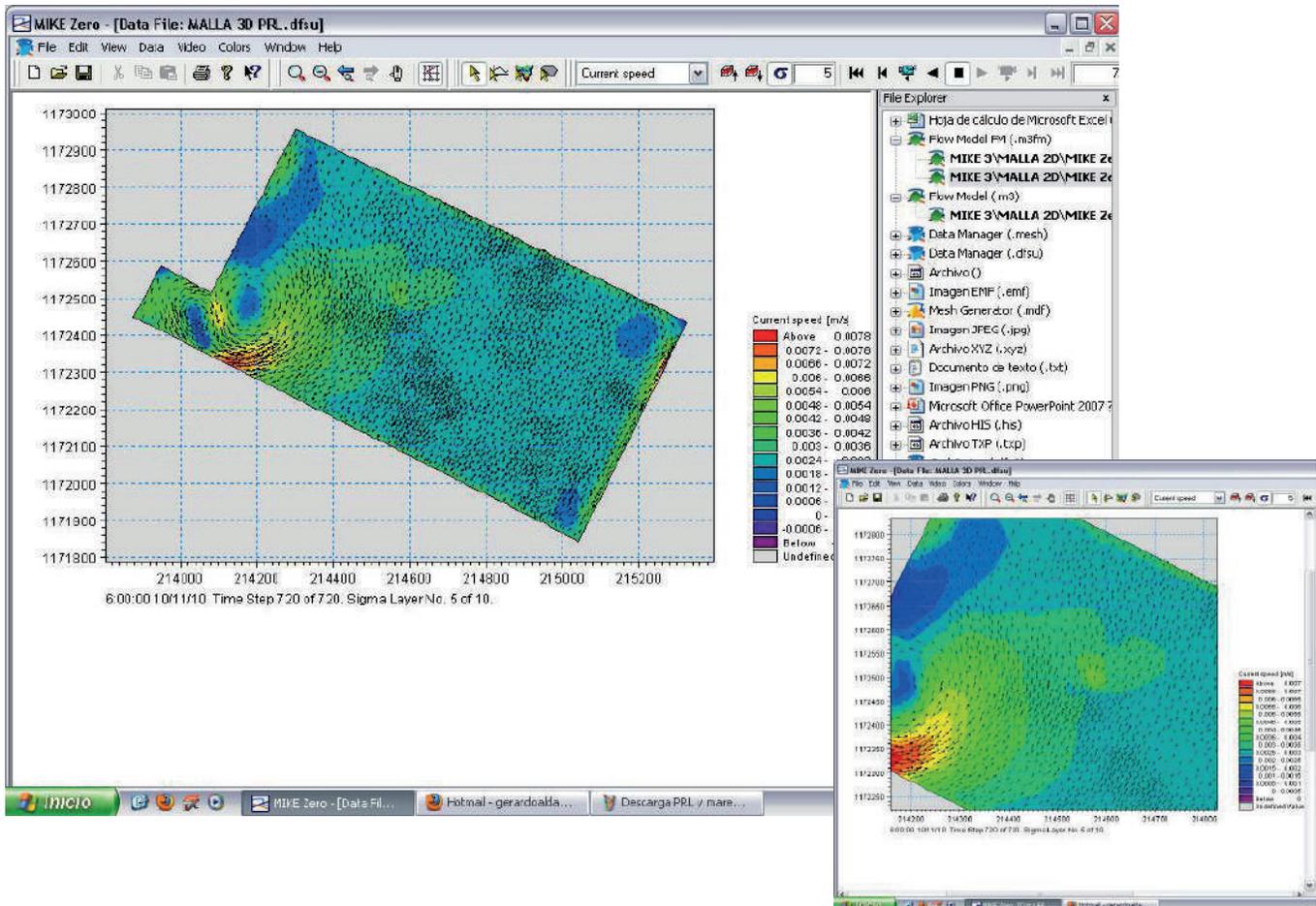
en la corriente de las mareas, que dirige la mayoría de los vectores en la dirección predominante, N 30 oE.

Obsérvese que el contenido de agua se traslada hacia la ubicación de la bahía, es allí donde se desarrolla la mayor turbulencia. Además, nótese que el área del lago que afecta es equivalente a un 50% de la zona de estudio (aproximadamente 45 Ha) y que el resto del cuerpo de agua mantiene su equilibrio u homogeneidad. En el área cercana a la bahía se desarrollan dos centros de turbulencia (Aldana *et al*, 2006), uno en el borde sur de PRL en la orilla de la playa y el otro en el interior de la misma. La descarga se observa

en las salidas de los corridos desde la capa 4 hasta la 7 y luego se desvanece hasta la capa de fondo como se aprecia en la secuencia de las figuras 4-7. Esto indica que el caudal de 2.355 L/s descargado se disipa rápidamente entre los niveles desde 5 a 8 m de profundidad. El efecto marea debido a la dirección de viento predominante en la superficie y de las corrientes debajo de ese nivel incrementa la velocidad en el plano z aproximadamente 100 veces (Mike, 2007).

La discusión de resultados de la presente investigación se realizó en función del análisis de los aspectos considerados más relevantes como dominio de la marea y condiciones climatológicas.

Figura 4. Vectores de corriente de la velocidad en la capa 4 (5 m profundidad)



En la medida en la que el nivel de agua va aumentando, las dos zonas de turbulencia permanecen a través de la columna de agua; es decir, todas concentraciones de contaminantes presentes en el fluido descargado a través de las tuberías son enviados a la zona de la bahía. En este caso en particular, los parámetros están controlados y dentro

de la norma, por lo tanto, no hay riesgo alguno de afectación a la fauna y la flora en la orilla y por ende a la comunidad.

La descarga produce una pluma en la dirección suroeste que se va ensanchando hasta alcanzar un ancho máximo de 200 m aproximadamente. Por su parte, una pequeña pluma de longitud 50 m

se dirige en sentido contrario. Luego, debido al efecto de remolino propio de la turbulencia del lago (viscosidad de Eddy  $1,6 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ) (9), impacta sobre la esquina sureste de PRL, produce la primera zona de turbulencia y en seguida la dirige a la bahía, donde la energía de la marea es disipada.

Figura 5. Vectores de corriente de la velocidad en la capa 1 (superficie)

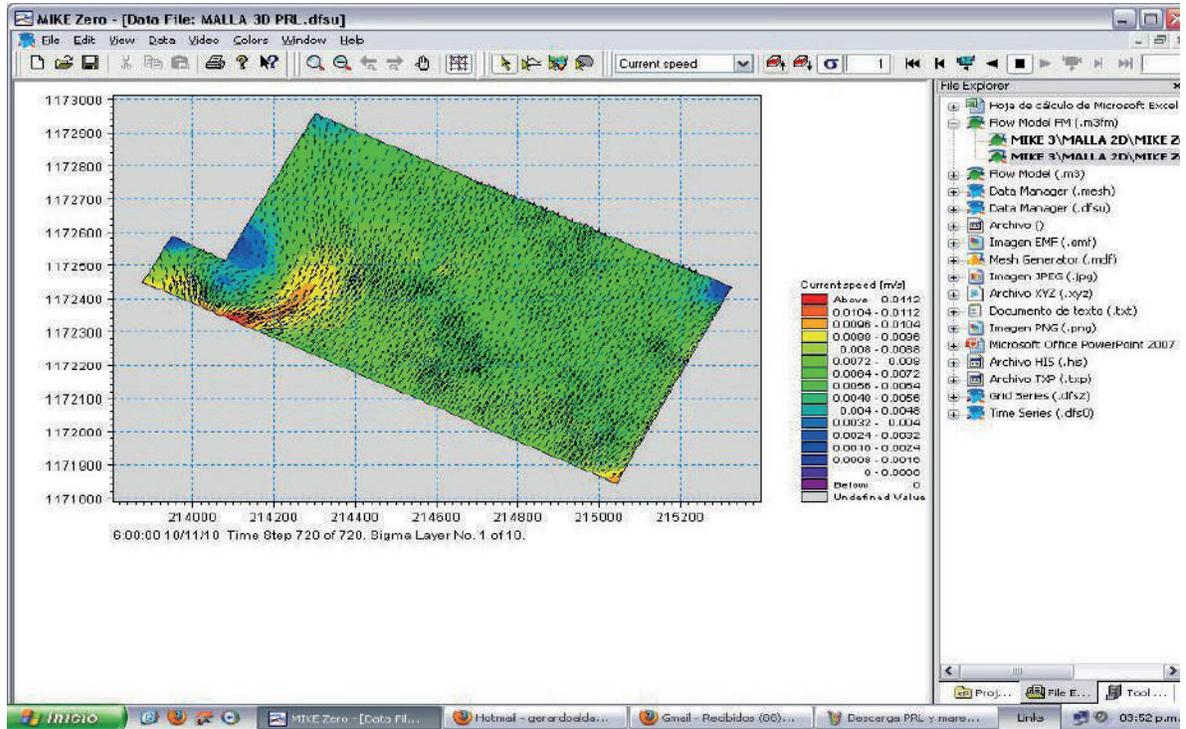


Figura 6. Vectores de corriente de la velocidad en la capa 7 (8 m profundidad)

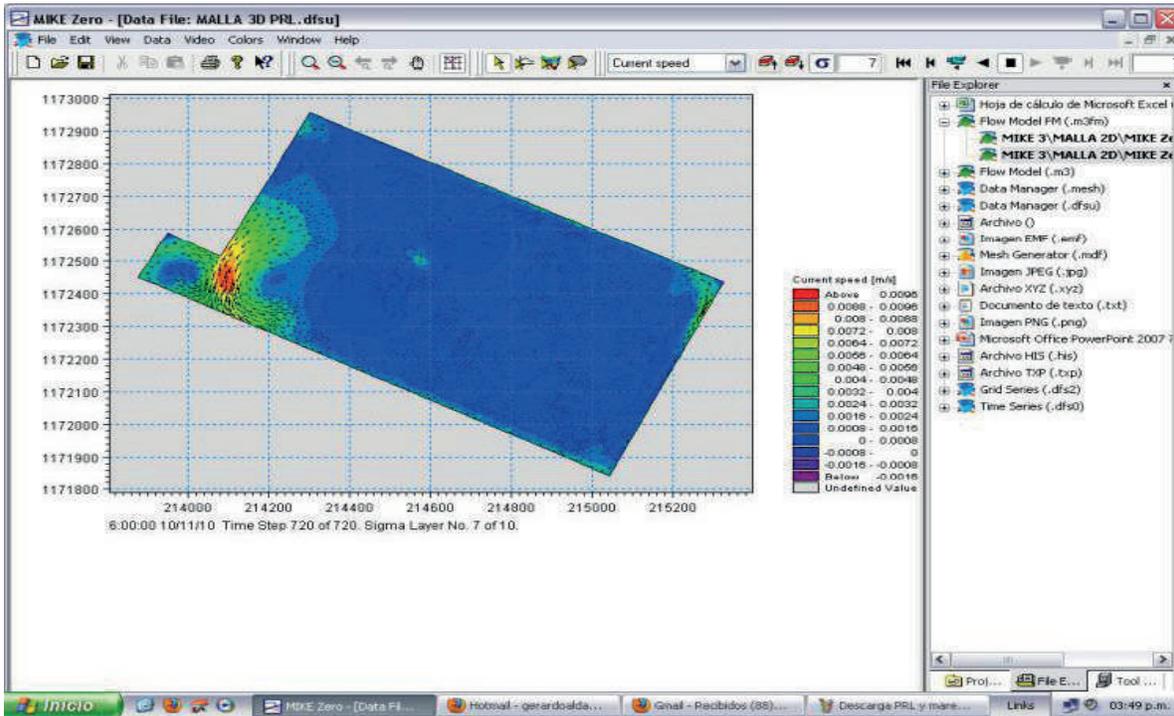
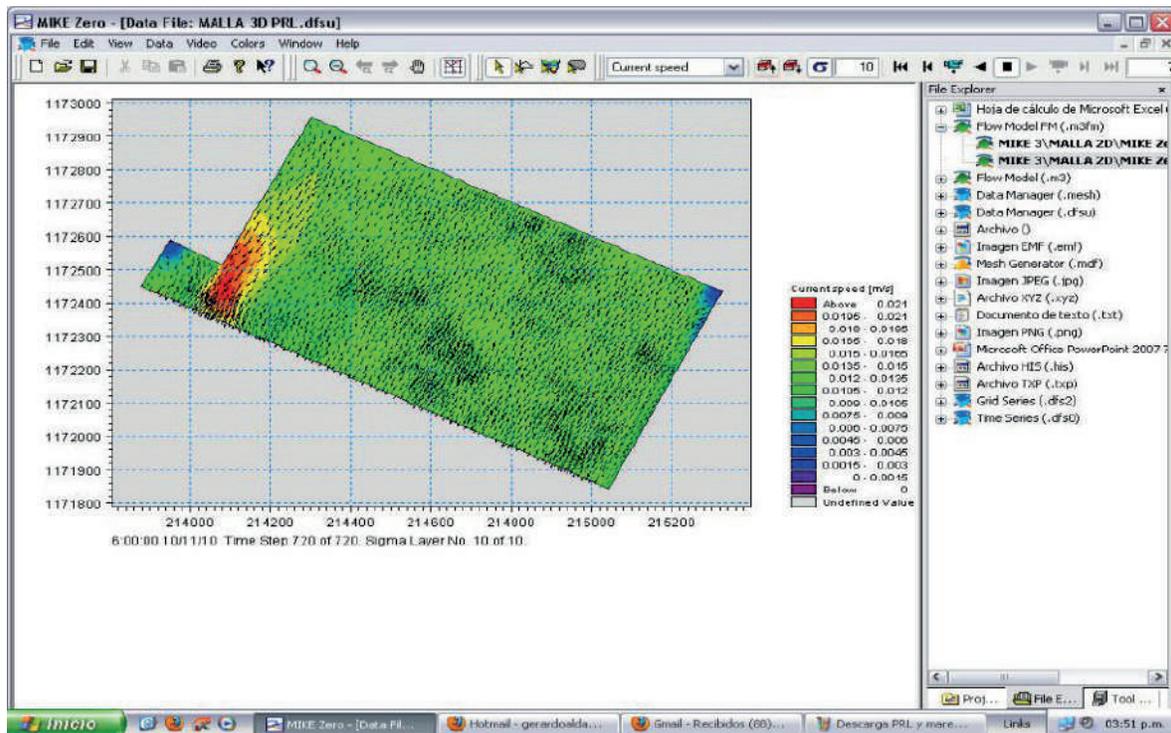


Figura 7. Vectores de corriente de la velocidad en la capa 10 (fondo, 12 m profundidad)



## Conclusiones

La descarga de energía del contenido de agua de las 3 tuberías de la PRL en el lago de Maracaibo se disipa y sigue el sentido del viento en el interior del lago donde convergen dos zonas. El flujo mayoritario es trasladado en forma de pluma hacia el suroeste y, por efecto de remolino característico de las aguas del lago, otra pluma de menor magnitud se forma en sentido contrario.

Este tipo de descarga fue llevado a cabo bajo las normas ambientales que no permiten un incremento mayor de temperatura de 3° C con respecto a la temperatura ambiente del lago, esto se ha logrado gracias a la adecuación de la longitud y diámetro de descarga. Sin

embargo, al ser una entrada ajena al lago, esta debe causar un efecto y debe adecuarse al espacio por una descarga tipo boquilla, para aumentar la disipación y disminuir la turbulencia. Se pudo detallar que el hecho de que en Corpoelec se utilice el agua del lago como recurso de enfriamiento, la cual es requerida para la introducción a las maquinarias industriales, colabora a su vez con la limpieza de este cuerpo, sin producir afectación en la vida ecológica ni en la comunidad.

## Referencias bibliográficas

- Aldana, G. (2004). Simulación y modelaje de la hidrodinámica en cuerpos de agua. Notas de tutorías de cátedra. Postgrado Ingeniería Ambiental. Universidad del Zulia. Venezuela.
- Aldana, G., Troncone, F., Ochoa, E., Márquez, R., Narváez, E. y Rivas, Z. (2006). Posible explicación al fenómeno de crecimiento masivo de *Lemna Obscura* (*Lemnaceae*) en el lago de Maracaibo estado Zulia, Venezuela. *Revista Ciencia*, 14(número especial 2): 7-21.
- Decreto 883. (1995). Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua vertidos

o efluentes líquidos. En Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 5.021 (Extraordinario). Poder Legislativo de Venezuela.

Enelven, C.A. (2004). Planta de tratamiento de efluentes. Curso preparatorio. Maracaibo, Venezuela. pp. 1-16.

Enelven, C.A. (2006). Estudio de la batimetría en el muelle de recepción de combustible ubicado al norte de la PRL. Gerencia de Servicios y Proyectos G.P.S.

Google Earth (2010). Programa de mapa de la tierra. US Department Geographer. Ubicación geográfica de la Planta Termoeléctrica Ramón Laguna.

Ley de Aguas (2007, 2 de enero). Leyes de Venezuela. Gaceta Oficial No 38.195. Maracaibo Underwater Service C.A. (2004). Estudio de buceo de las tuberías de descarga de PRL en el lago de Maracaibo.

MIKE3 (2007). Programa de computación Delft Hydraulic Institute, DHI Holanda Licencia Académica Tutorías.