

## PROPAGACIÓN DE RUIDO PRODUCIDO POR TURBINAS HIDROGENERADORAS EN EL CANAL DE COZUMEL

Claudia Polanco Arias<sup>1</sup> e Ismael Mariño Tapia<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Ingeniería UNAM, polancocla@yahoo.com

<sup>2</sup> Escuela Nacional de Estudios Superiores UNAM, imarino@enesmerida.unam.mx

### Motivación

La mayoría de las especies marinas, como los peces usan el sonido para comunicarse, orientarse, alimentarse, huir del peligro, reproducirse y navegar (Popper 2003). Es por esto que la polución acústica o ruido afecta de manera significativa principalmente a los cetáceos (ballenas, delfines y marsopas). Por lo anterior y atendiendo a la necesidad global de desarrollar sistemas de energías limpias, es importante estudiar el impacto que éstas puedan tener sobre la fauna. En particular en éste trabajo se muestra de qué manera ocurre la propagación del ruido producido por turbinas hidrogenadoras.

### Sitio de Estudio

Se estudiarán en particular dos transectos en el Canal de Cozumel (ver Figura 1).

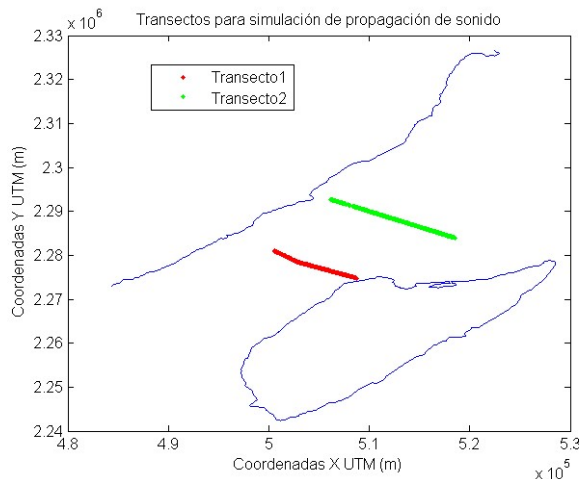


Figura 1. Transectos.

La razón por la cual se escogieron estos transectos en particular es porque es una zona tentativa donde podría ser adecuada la instalación de turbinas hidrogenadoras debido a la velocidad de la corriente (>1 m/s) lo que la hace adecuada para la extracción

de energía. Se asume el punto de rango cero al extremo sureste del transecto, donde es ubicada la fuente.

### Modelo numérico

El modelo numérico que se utilizó es el Acoustic Toolbox User-interface & Post-processor (AcTUP v2.2) que es un modelo 2D capaz de correr diferentes códigos de propagación de ondas que resuelven la ecuación de Helmholtz (ver eq 1) con simetría cilíndrica que varía lentamente en la dirección azimutal donde la posición  $\mathbf{r}=(r,z)$ , donde  $r$  es el rango horizontal y  $z$  la profundidad:

$$\nabla^2 P(\vec{r}) + k(\vec{r})^2 P(\vec{r}) = f(\vec{r}) \quad (1)$$

donde  $k(\vec{r}) = \frac{\omega}{c(\vec{r})}$  es el número de onda acústico,  $f$  el forzamiento (fuente de sonido) y  $P$  la presión. Esto reduce el problema a 2 variables independientes, lo cual sigue exigiendo demasiado esfuerzo numérico, por lo que se usan diferentes métodos para su resolución (ver desarrollo matemático en Jensen et al, 2000):

Bounce & Bellhop: Bounce calcula los coeficientes de reflexión y Bellhop usa éstos coeficientes para calcular los caminos de los rayos y la pérdida de transmisión. Puede depender de la batimetría, pero no de la velocidad del sonido.

Kraken, KrakenC & Field: Kraken calcula los modos normales para el modelo de propagación usando aritmética real y estimando la atenuación con una técnica de perturbación, KrakenC es similar, pero usando el plano complejo y Field calcula la pérdida de transmisión usando los modos normales calculados.

Scooter & Fields: Scooter calcula la función de Green del modelo y Fields integra ésta función

resultante para calcular la pérdida de transmisión usando Transformada Rápida de Fourier.

RAM: Modelo acústico de rango-dependiente, es un código de la ecuación parabólica (PE) que utiliza el algoritmo de Pade para lograr una alta eficiencia para modelar la propagación a ángulos grandes de la horizontal. Este método asume una solución en la forma de una onda cilíndrica saliente:

$$p(\vec{r}) = \psi(\vec{r}, z)H_0^{(1)}(k_0 r) \quad (2)$$

donde  $\psi$  es una función que varía lentamente con el rango y  $k_0$  es el número de onda de referencia. Sustituyendo en (1) se obtiene la ecuación parabólica:

$$2ik_0 \frac{\partial \psi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} + k_0^2 \left( \left[ \frac{c_0}{c} \right]^2 - 1 \right) \psi = 0 \quad (3)$$

donde  $c_0$  es la velocidad del sonido de referencia correspondiente a  $k_0$ . Además de ser altamente eficiente, éste método es capaz de modelar la propagación donde el rango depende de su entorno, i.e., de la batimetría y la velocidad del sonido, por lo que fue el código que se eligió para las simulaciones.

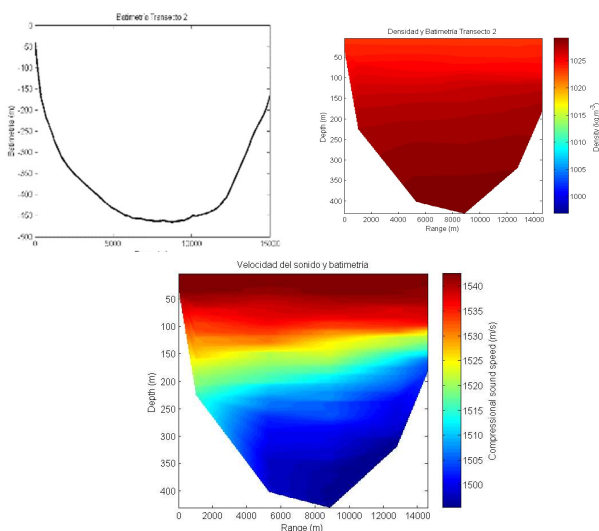


Figura 2. Datos transecto 2. Arriba a la izquierda la batimetría, a la derecha la densidad y abajo la velocidad del sonido.

Para la modelación se usaron los siguientes datos de batimetría, velocidad del sonido y densidad, tomados durante el Crucero Oceanográfico CEMIE en Cozumel, transecto 2 (ver Figura 1).

### Resultados

La turbina se encuentra a una profundidad de 10m y se toman las frecuencias de generación de ruido producido por una turbina ideal encontrados por (Guerra, 2011) en el transecto 2:

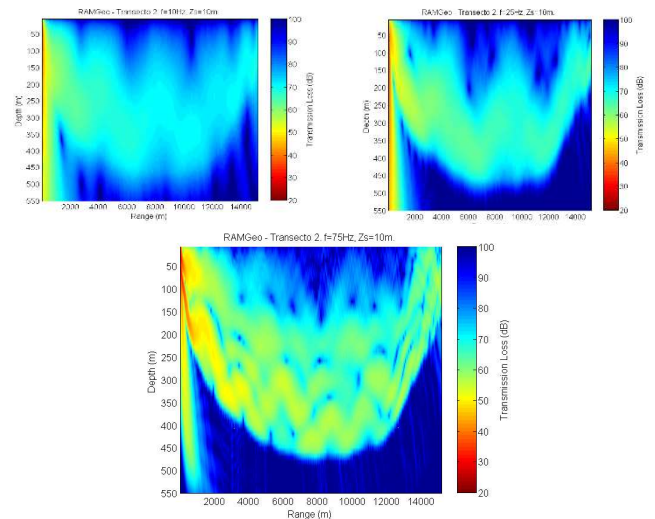


Figura 3. Pérdidas de transmisión del ruido con una frecuencia de 10, 25 y 75 Hz de una turbina hidrogenadora.

Se puede observar que a medida que un punto se encuentra más cercano a la fuente las pérdidas de transmisión son menores, al igual que en la parte inferior, probablemente debido a la reflexión de la onda en el límite con el fondo. Se puede ver también de forma general que la pérdida de transmisión es mayor cuando la velocidad del sonido es mayor y viceversa, sin embargo domina la interferencia de las ondas que muestra un patrones de interferencia positiva y negativa.

### Referencias

Guerra, j. (2011). Estimates of Water Turbine Noise Levels, Tesis de maestría, Florida Atlantic University, Boca Ratón, Florida.

Jensen, F., Kuperman, W., Porter, M., & Schmidt, H. (2000). Computational Ocean Acoustics. New York: Springer-Verlag.

Popper, A. (2003). The effects of anthropogenic sounds on fishes. *Fisheries*, 28: 24-31.



1er Congreso Internacional  
**CEMIE-Océano**



