

Evaluación Del Potencial Energético En El Canal De La Isla Beata

Otoniel Vélez Reyes, Jose Luis Moreno San Juan, Javier Gonzales Aquino, Angel Manuel Boret Lebron, Joel Macea Selmo, Brian García y Omar Fortuna.

• Resumen

La energía cinética generada por la velocidad de la corriente marina que circula por el canal de la isla Beata puede ser convertida en energía eléctrica mediante la utilización de la tecnología apropiada. La determinación del perfil de velocidad de la zona estudio es imprescindible para evaluar el potencial energético de las corrientes. El objetivo de este proyecto consiste en determinar los perfiles de velocidad de la región de investigación mediante simulaciones numéricas por método de elementos finitos. Las velocidades de los contornos y condiciones iniciales del modelo computacional serán medidas en diferentes áreas y en distintas profundidades del canal. Para ello se utilizarán instrumentos de medición de velocidad y dirección de las corrientes marinas, denominados correntómetros o correntógrafos, con los que se pueden registrar las características de las corrientes de manera instantánea. Con esta información se llevarían a cabo diferentes modelaciones para obtener las velocidades medias de la zona según las horas del día y la temporada del año. Se pretende además, generar un mapa de potencial energético para el canal, que serviría de base para continuar las investigaciones en torno al aprovechamiento y tecnologías adecuadas para la explotación energética de este tipo de potencial fuente de energía renovable.

• Introducción

En la actualidad el aprovechamiento de corrientes marinas en zonas de aguas poco profundas, como la del canal Beata resulta de mucho interés determinar el potencial energético de la fuerte corriente que se observa en el mismo a nivel superficial, pues se comprobó una velocidad de

la corriente similar a lo largo de toda la sección perpendicular a la misma, sería suficiente para asegurar rentabilidad económica de su uso, constituyéndose de esta forma, la referida corriente, en un nuevo recurso de energía primaria utilizable para la generación de electricidad en la República Dominicana; siendo el determinar esto el objetivo de la investigación que proponemos realizar. Con la valoración del potencial energético es posible concebir y diseñar el dispositivo capaz de aprovechar de manera útil dicho potencial.

Las corrientes que cruzan el canal lo hacen debido a la Energía Cinética que actúa sobre grandes porciones de agua marina. Al determinar el perfil de velocidad, la viscosidad y otras propiedades del fluido, es posible crear un modelo matemático, con el cual se puede simular el comportamiento de este y obtener el potencial energético. Además, con la valoración del potencial energético es posible concebir y diseñar el dispositivo capaz de aprovechar de manera útil dicho potencial. Para valorar dicho potencial se debe determinar los movimientos que suceden en el mar, para ello se han diseñado instrumentos destinados a medir la velocidad y dirección de las corrientes marinas, denominadas correntímetros o correntómetro, con los que se pueden registrar las características de las corrientes de manera instantánea.

En la actualidad existen 3 tipos:

- Los mecánicos (molinete)
- Los electromagnéticos
- Los electrónicos (tecnología Doppler).

El objetivo de este proyecto consiste en determinar los perfiles de velocidad de la región de investigación mediante la utilización de CFD (Computational Fluid Dynamics). Mediciones puntuales

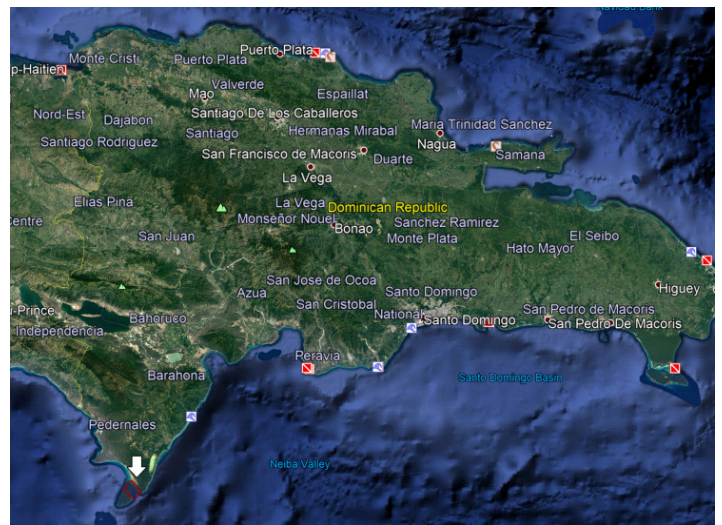
de velocidad serán realizadas en diferentes áreas y en distintas profundidades del canal mediante la utilización de instrumentos destinados a medir la velocidad y dirección de las corrientes marinas. Los valores obtenidos en estas mediciones serán utilizados como condiciones iniciales y de frontera para la construcción del modelo computacional que permita obtener los perfiles de velocidad en la zona de estudio. Con esta información se elaborará un mapa de potencial energético para esta zona.

El modelo va a realizarse por el método de elementos espectrales utilizando las ecuaciones de Navier-Stoke. Para ello se construirá un malla de estructurado con las condiciones de frontera y condiciones iniciales según los datos obtenidos de las mediciones en sitio.

- **Área De Estudio**

Este proyecto se realiza en la Isla Beata la cual está localizada en el extremo Suroeste del país. Pertenece a la provincia Pedernales. Posee una superficie de unos 42 km² es la segunda isla dominicana, en cuanto a su tamaño se refiere. El origen geológico de la isla Beata data del periodo Pleistoceno de la era Cuaternaria, y está constituida por rocas calizas arrecifales con algunas cavernas. Por su importancia ecológica ha sido incluida dentro del Parque Nacional Jaragua, en el extremo sur del país, a pesar de que la marina de Guerra Dominicana mantiene en ella una guarnición militar. La separa de la Isla de la Española un canal de una profundidad media de 10 metros, la zona de valoración se extiende por unos 2.5 kilómetros entre el extremo norte de la isla y el cabo Beata en el extremo sur de la isla de la Española.

La isla Beata es una Isla perteneciente a la República Dominicana y está ubicada en el mar Caribe, 7 km al suroeste del Cabo Beata. El área de estudio corresponde al canal de la isla Beata que cruza entre esta isla y la isla Hispaniola. El canal tiene unos 7 km en el lado este y 8 km por el oeste, con profundidades variables.



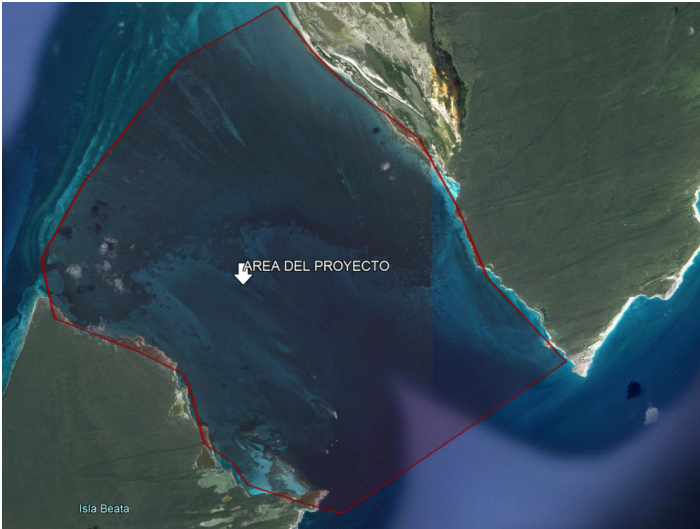


Figura 1: Mapas de República Dominicana, indicando la ubicación del canal Beata.

- **Antecedentes**

En la zona del Caribe se han realizado numerosos estudios sobre corrientes marinas, destacando entre ellos los realizados en torno a la isla de Cuba, en el Canal de Yucatán, [Pillsbury (1890)]. Además de estudios empíricos, se han realizado estudios aplicando herramientas de simulación, como es el caso del estudio en la zona del Golfo de Batabano, donde aplicaron la herramienta operacional Simulación de corrientes (SIMCO), la cual se basa en un modelo físico-matemático, modelado en el software MATLAB.

En la República Dominicana se han realizado estudios para el diseño de espigones, conocido como Duque de Alba, para servir de atracaderos de barcos transportadores de combustible. Las expectativas en la zona del canal de Beata son de una corriente con una velocidad superior

cualquier otro punto del litoral dominicano, por las singularidades que se presentan en la zona la plataforma insular, algo que es notable por simple observación de la corriente a nivel de la superficie, que produce una deriva al oeste de unos 150 cm/s. Por lo que se estima que podría presentar un gran potencial para su aprovechamiento como fuente primaria de energía.

- **Nociones Sobre Fluidos**

Una sustancia existe en tres estados básicos: sólido, líquido y gas. Además, a temperaturas muy elevadas también existe como plasma. Por su parte se tiene que la materia estado líquido o gaseoso se conoce como fluido. Por otro lado, la diferencia entre un sólido y un fluido se hace con base en la capacidad de la sustancia para oponer resistencia a un esfuerzo cortante aplicado que tiende a cambiar su forma. Un fluido se deforma de manera continua bajo la influencia del esfuerzo cortante, sin importar lo pequeño que sea. Además, en los fluidos el esfuerzo es proporcional a la razón de deformación.

4.1 Condición de no-deslizamiento

El flujo de fluidos con frecuencia se encuentra limitado por superficies sólidas y resulta importante entender de qué manera la presencia de estas superficies afecta el flujo. Se conoce que el agua en un río no puede fluir a través de rocas grandes y las rodea. Es decir, la velocidad normal del agua hacia la superficie de la roca debe ser cero y el agua que se aproxima a esa superficie en forma normal llega a detenerse por completo en ésta. Lo que no es tan obvio es que el agua que se aproxima a la roca, desde cualquier ángulo, también llega a detenerse por completo en la superficie de ella y,

por consiguiente, la velocidad tangencial del agua en la superficie también es cero.

Considérese el flujo de un fluido en un tubo estacionario o sobre una superficie sólida que es no porosa. Todas las observaciones experimentales indican que un fluido en movimiento llega a detenerse por completo en la superficie y adquiere una velocidad cero con relación a ella. Esto es, un fluido en contacto directo con un sólido “se pega” a la superficie debido a los efectos viscosos y no hay deslizamiento. A esta característica se le conoce como la condición de no-deslizamiento.

4.2 Flujo laminar en comparación con el turbulento

Algunos flujos son suaves y ordenados en tanto que otros son considerados caóticos. El movimiento intensamente ordenado de un fluido, caracterizado por capas no-alteradas de éste se refiere como laminar. La palabra laminar proviene del movimiento de partículas juntas adyacentes del fluido, en “láminas”. El flujo de los fluidos intensamente viscosos, como los aceites a bajas velocidades, por lo general es laminar. Por otro lado, el movimiento intensamente desordenado de un fluido, que suele estar presente a velocidades altas y se caracteriza por fluctuaciones en la velocidad se llama turbulento. El flujo de fluidos de baja viscosidad, como el aire a velocidades altas es por lo común turbulento.

El régimen de flujo influye significativamente en la potencia requerida para el bombeo. Un flujo que se alterna entre laminar y turbulento se conoce como de transición. Los experimentos conducidos por Osborn Reynolds en la década de 1880 dieron como resultado el establecimiento del número adimensional de Reynolds, Re , como el parámetro clave para determinar el régimen de

flujo en los tubos. Re se define como la relación entre la fuerza inercial y la fuerza de viscosidad, como lo expresa la ecuación siguiente:

4.3 Cinemática de los Fluidos

En la dinámica de fluidos, la cinemática de fluidos es el estudio que explica cómo fluyen los fluidos y cómo describir su movimiento. Desde un punto de vista fundamental existen dos maneras de describir el movimiento. El primer método consiste en seguir la trayectoria de los objetos por separado. Cuando se aplica este método a un fluido fluyente, se le llama descripción lagrangiana del movimiento de fluido, es decir, se sigue una masa fija.

El segundo método es la descripción euleriana del movimiento de fluidos. En esta descripción del flujo de fluidos, se define un volumen finito, llamado dominio del flujo o volumen de control, a través del cual un fluido fluye hacia dentro y hacia fuera. Un gran número de problemas de ingeniería se modelan como volúmenes de control. Con este método, no es necesario seguir el rastro de la posición y la velocidad de una masa fija de partículas de fluido. En lugar de ello, se definen variables de campo, funciones del espacio y el tiempo, dentro del volumen de control.

4.4 Navier-Stokes

En física, las ecuaciones de Navier-Stokes son un conjunto de ecuaciones en derivadas parciales no lineales que describen el movimiento de un fluido viscoso, nombradas así en honor al ingeniero y físico francés Claude-Louis Navier y al físico y matemático angloirlandés George Gabriel Stokes. Dichas ecuaciones se aplican a cada punto en el campo de flujo y por lo tanto permiten resolver los

detalles del flujo en todas partes en el dominio del flujo.

La ecuación de Navier-Stoke se trata de un modelo de flujo de fluidos que incluye varias aproximaciones inherentes (fluido newtoniano, propiedades termodinámica, de transporte constantes, etcétera). Para el caso de estudio, el concepto de aproximación consistirá en la expresión de la solución como una combinación lineal finita de funciones bases ortogonales en nodos convenientes (GaussLobatto) del dominio de interés. Además, se considerará otro elemento condicionante de la exactitud de la aproximación de la solución del problema Navier-Stokes, el error producido en las operaciones matriciales intermedias por los truncamientos computacionales de los valores manejados.

Las ecuaciones de Navier-Stoke que se deduce son las siguientes:

Donde: ρ es la densidad, μ es la viscosidad; a es la aceleración del cuerpo y P es la presión.

4.3 CFD

La dinámica de fluidos computacional (CFD) es el proceso de modelar matemáticamente un fenómeno físico que involucra el flujo de fluidos y resolverlo numéricamente utilizando la destreza computacional.

Se utiliza un modelo matemático del caso físico y un método numérico, normalmente usando un software CFD, herramienta para analizar el flujo de fluidos. Por ejemplo, las ecuaciones de Navier-Stokes (NS) se especifican como el modelo matemático del caso físico. Esto describe los cambios en todas esas propiedades físicas tanto

para el flujo de fluidos como para la transferencia de masa. .

La verificación de la implementación del modelo matemático y la veracidad de los datos de entrada es extremadamente importante resolver el problema de forma confiable. Para esto, hemos ya realizado benchmarking con otros artículos científicos de la misma naturaleza (khan2014, mohamed2019 y Idesman2019).. El análisis CFD es un elemento clave para generar un proceso de desarrollo de producto sostenible, ya que se puede reducir drásticamente el número de prototipos físicos y en consecuencia reducción de costos de investigación.

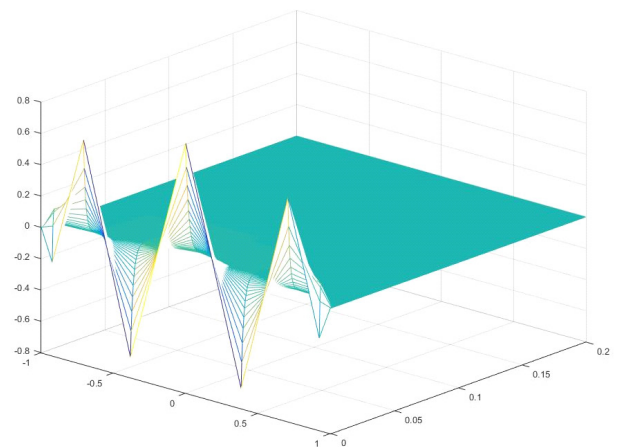


Figura 3. Referencia resultados pruebas de Benchmarking

- **Metodología**

La investigación se maneja mediante la aplicación de métodos funcionales de trabajo según la etapa de desarrollo de este. Dividiendo el proyecto de investigación en las siguientes

etapas:

- Etapa 1: Investigación.
- Tecnologías de generación de electricidad a partir de las corrientes marina.
- Material bibliográfico científicos.
- Etapa 2: Equipos de medición.
- Análisis, cotización y adquisición de equipos.
- Etapa 3: Adquisición de datos
- Determinación de los puntos de medición.
- Capacitación de personal.
- Medición en campo.
- Etapa 4: Análisis de resultados e informes final.
- Extracción de los datos.
- Determinar el perfil de velocidad mediante un modelo computacional.
- Formular la valoración del potencial energético.

5.1 Etapa 1, investigación.

Se utilizaron las revistas y portales de publicación para obtener información detallada de autores prestigiosos que han publicado trabajos similares. En la actualidad, existen diversos métodos para la obtención de energía en la superficie, como las olas, que aprovechan los pequeños desniveles de altura. Asimismo, se utiliza la energía de las mareas, que provoca una gran diferencia de nivel del mar entre el día y la noche. Y, por último, están los métodos que se enfocan en los movimientos submarinos para producir energía eléctrica.

5.2 En la etapa 2: Equipos de medición.

En la búsqueda del equipo más adecuado para la realización de la medición se considera utilizar un perfilador de corriente Doppler acústico (ADCP).

debido a diversas características encontradas. Para el proceso de selección del medidor se consideraron las siguientes cualidades:

- Exactitud y precisión de las mediciones.
- Capacidad de medir las variables de control.
- Soporte de las condiciones ambientales.
- Seguridad.
- Precio.
- Disponibilidad del equipo.
- Capacitación sobre el equipo.
- Facilidad de instalación.
- Autonomía energética.
- Almacenamiento de los datos.
- Manejo de los datos.

Según las características definidas el ADCP elegido para la adquisición de los datos es FlowQuest iFlow RP 600/1200. Este permite cumplir con creces los parámetros definidos, además permite la comunicación remota en tiempo real.

5.3 Etapa 3: Adquisición de datos

En el proceso de determinación de los puntos de medición, se diseñó una malla a partir de los puntos Gauss-Lobato, estableciendo la cantidad de puntos de medición necesarios para el modelo computacional a desarrollar. Con esto se puede lograr la interpolación nodal basada en polinomios ortogonales de Chebyshev, como funciones de prueba, y condiciones de Dirichlet.

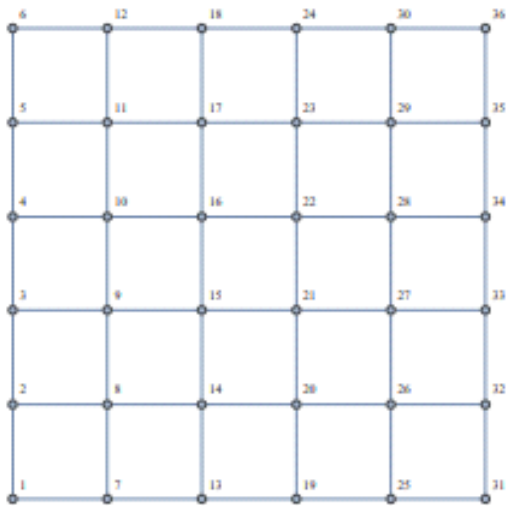


Figura 2: Malla de referencia. Esta es la malla para la instalación de los equipos. Pero no así la malla para el modelo de CFD. Tenemos que hablar con Joel para actualizar y generar esa malla, la cual deberá tener más de 500,000 nodos.

Por otro lado, se considera que la observación de correntómetros euleriana fija se prolongará por un período mínimo de 30 días en cada punto, estableciendo un punto fijo de referencia y un punto variable. En este sentido, se medirá un periodo de 3 a 6 meses. Además, el instrumento para emplear en la correntómetros euleriana será automático con registro gráfico o digital y el intervalo de muestreo no podrá exceder de 10 minutos.

Durante el desarrollo de los trabajos de medición se requería la cooperación de la armada dominicana con base en esa zona, por lo que se tramitó un acuerdo institucional entre el Ministerio de Defensa y la universidad.

La medición de los puntos está pendiente.

Corridas del Modelo computacional, esta pendiente

5.4 Etapa 4: Análisis de resultados e informes final.

Está pendiente.

Referencias Bibliográficas

- A.S. Bahaj, L.E. Myers, Fundamentals applicable to the utilisation of marine current turbines for energy production, Renewable Energy 28 (2003) 2205–2211
- Centro Europeo de Energía Marina <http://www.emec.org.uk>
- Renewable UK The voice of wind & marine energy “Marine Energy in the UK, State of the industry report 2012” March 2012. http://www.bwea.com/pdf/publications/SOI_2012.pdf
- Centro Nacional de Energías Renovables de Reino Unido <http://www.narec.co.uk/>
- Pedro Fernández Díez, Apuntes de Energía Mareomotriz. <http://es.libros.redsauce.net>
- Atlas of UK Marine Renewable Energy Resources: Atlas Pages. A Strategic Environmental Assessment Report. March 2008 www.renewables.atlas.info/downloads/documents/Renewable_Atlas_Pages_A4_April08.pdf
- Pedro Fernández Díez, Apuntes de Energía de las Corrientes Marinas <http://libros.redsauce.net>
- Artículo de Renewable UK http://www.bwea.com/pdf/28proceedings/Tues_Lomond_Verdi.pdf
- Ayuntamiento de Cardiff <http://www.cardiff.gov.uk>
- Juan Manuel Juanes González, tesis doctoral
- Bienvenido Alonso Pardo, profesor ETSINO de la UPCT. “Apuntes Hidrodinámica, Resistencia y Propulsión, 5º Curso Ingeniería Naval y Oceánica de UPCT, Tema 17: Diseño de hélices por cálculo directo”.

- Arriaza, L., Rodas, L., Simanca, J. & Ochoa, J. (2004). Propiedades hidrográficas de La Habana a Key West y transporte de sal y calor: una medición reciente. Contribución a la educación y la protección ambiental X Taller.
- Carrillo, F. (2001). Caracterización de las corrientes de marea en el canal de Yucatán, México, Ensenada, Baja California, Departamento de Oceanografía, CICESE. Tesis de Maestro en Ciencias (Oceanografía Física)
- Emery, W. J. & Thomson, R. E. (1997). *Data Analysis Methods in Physical Oceanography*. Pergamon Press
- Emilsson, Y. & Tápanes, J. (1971). Contribución a la hidrología de la plataforma Sur de Cuba, Ser. Oceanol. 9:1-22
- Emilsson, I. & Gómez, J. (1971). La red de estaciones fijas alrededor de Cuba y notas sobre los resultados de los tres primeros Cruceros (abstract).
- Gómez, A. J. (1979). Corrientes geostróficas alrededor de Cuba, Rev. Cub. Inv. Pesq. 4(3): 89-102.
- García, G. C., Chirino, L. A. & Rodríguez, P. J. (1991). Corrientes geostróficas en la ZEE de Cuba, Revista Investigaciones Marinas. (12) 29-37
- Johns, W. E., Townsend, T. L., Frantantoni, D. M. & Wilson, W. D. (2002). On the Atlantic inflow to the Caribbean, Deep-Sea Res. I, 49, 211-243.
- Maul, G. A., Mayer, D. A. & Baig, S. R. (1985). Comparison between a continuous three-year current meter observation at the sill of Yucatan Strait, satellite measurements of Gulf Loop Current area, and regional sea level. J. Geophys. Res.
- Maul A. G. & Vukovich F. M. (1993). The Relationship between Variations in the Gulf of Mexico Loop Current and Straits of Florida Volume Transport. J. Phys. Oceanogr.
- Merino, M. (1992). Afloramiento en la plataforma de Yucatán, estructura y fertilización. México, UNAM, ICMYL Tesis doctoral
- Ochoa J., Sheinbaum H., Badan A., Candela J. & Wilson D. (2001). Geostrophy via potential vorticity inversion in the Yucatan Channel. Journal of Marine Research.,(59)725-747.
- Ochoa, J., L. Arriaza (2004). Observación de estadísticas no gaussianas en corrientes próximas a Cabo San Antonio, Cuba. Rev. Invest. Pesq. (1)
- Oey, L.-Y., H.-C. Lee, and W. J. Schmitz Jr. (2003). Effects of winds and Caribbean eddies on the frequency of Loop Current eddy shedding: A numerical model study. J. Geophys. Res., 108(C10), 3324
- Pillsbury, J. E. (1890). The Gulf Stream - A description of the methods employed in the investigation, and the results of the research. USCC-Geodetic Survey, Silver Spring. MD. 461-620.
- Rossov, V. V. El Sistema de Corrientes del Mediterráneo Americano. Pág. 35-45 En: Ucrania. Instituto de Biología de los Mares del Sur. A. O. Kovalievkovo. (1966) Investigaciones de Mares Centroamericanos (por los materiales de las Expediciones Sovietico-Cubanas. Kiev, Editorial Conocimiento Científico. Parte I (en ruso)
- Sukhovei, V. F. (1986). Mares del Océano Mundial, URSS Leningrado, Editorial Hidrometeoizdat, Sukhovei, V. F., Korotaev, G. K. & Shapiro, H. B. (1980). Hidrología del mar Caribe y el Golfo de México. URSS, Leningrado, Editorial Hidrometeoizdat,
- Aravamudhan, S.; Bhat, S.; Bethala, B.; Bhansali, S. and Langebrake, L. (2005). MEMS based conductivity-temperature-depth (CTD) sensor for harsh oceanic environment. OCEANS 2005, Proceedings of MTS/IEEE. Vol. 2.

- Baloyes, O.; Leis, G. y García, T. (2002). Medición de corrientes marinas en la bahía de Panamá. Autoridad del canal de Panamá, División de Administración Ambiental.
- Brown, N. (1988). New generation CTD system [conductivity-temperature-depth sensor]. *Oceanic Engineering, IEEE Journal of*, Vol.13, N°3, pp.129-134.
- Brown N., Schmitt R.W., Petitt R. and Thwaites F. (2005). A fouling protected conductivity sensor for long-term salinity measurements in the upper ocean. *OCEANS 2005. Proceedings of MTS/IEEE*, Vol. 2.
- Buenadicha, G. (2009). La ESA lanza en noviembre el primer satélite para medir la salinidad del océano. *Diario El País*, Octubre 1.
- Chapman, B. (1998). *Seasat mission 1978*. Jet propulsion laboratory. Consultado en <http://southport.jpl.nasa.gov/scienceapps/seasat.html>
- Cifuentes, J. L.; Torres, L. and Frías, M. (2006). XIII Instrumentos y métodos de investigación en oceanografía física. El océano y sus recursos: III. Las ciencias del mar oceanografía, matemáticas e ingeniería. Varias consultas en la página en - <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/17/htm/oceano.htm>
- Citadel, CTD-ES (2009). Robust, reliable, and rugged CTD. Consultado el 28 de septiembre de 2010 en http://www.rdinstruments.com/pdfs/citadel_ctd-es.pdf *Revista Educación en Ingeniería* • N° 11 • 2011 42 Copyright © 2011 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería Heerens, W.C. (1982). Multi-terminal capacitor sensors. *Journal of Phys. E: Sci. Instrum.* Vol. 15, N°1, pp. 137.
- Higuti, R.T.; De Espinosa, F. and Adamowski, J. C. (2001). Energy method to calculate the density of liquids using ultrasonic reflection techniques. *Ultrasonics Symposium 2001 IEEE*. Vol.1, pp. 319-322.
- Hill, K. and Woods, D. (1988). The dynamic response of the two-electrode conductivity cell. *Oceanic Engineering, IEEE Journal of*. Vol. 13, N° 3, pp. 118–123.
- Khan, M. N. I.; Iqbal, M.T. and Hinchey, M. (2008). Submerged water current turbines. *OCEANS 2008*, pp.1-6.
- Kim, D., Moon, W.M., Moller, D. and Imel, D. A. (2003). Measurements of ocean surface waves and currents using L- and C-band along-track interferometric SAR. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*. Vol.41, N° 12.
- Lanza, G.; Cáceres, C.; Adame, S., y Hernández, S. (1999). *Diccionario de Hidrología y ciencias afines*.
- Lawson, K. and Larson, N.G. (2001). CTD. *Encyclopedia of ocean Science*, pp. 582-589.
- Lee, R. (1996). Principles of operation. A practical primer. *Acoustic Doppler current profiler, Second Edition*.
- Ocean Instruments. (2006). *Conductivity, Temperature and Depth (CTD) Sensors*. Consultado el 1 de septiembre de 2010 en <http://www.who.edu/instruments/viewInstrument.do?id=1003> *Omega-Engineering* (2010). *Temperature*. Consultado el 20 de septiembre en <http://www.omega.com/temperature/Z/-pdf/z036-040.pdf>
- Puttmer, A.; Hauptmann, P. and Henning, B. (2000). Ultrasonic density sensor for liquids. *Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, IEEE Transactions on*. Vol.47, N° 1, pp. 85-92.
- Rosón, V. (2006). Humidificación isotérmica v/s humidificación adiabática. *Revista Frío y Calor* N° 87.
- Sabinin, K.D.; Kudryashov, V.M. and Kozoubskaia, G.I. (1998). *Acoustic tomography*

- as a tool for the Arctic Ocean salinity monitoring: feasibility and perspectives. OCEANS '98 Conference Proceedings. Vol.1, pp. 138-142.
- Serkin, H.C.; Kronengold, M. (1974). The Effects of tilt on a Savonius rotor exposed to a turbulent flow regime. Geoscience Electronics, IEEE Transactions on. Vol. 12, N°. 2, pp. 55-69.
 - Striggow, K. and Dankert, R. (1985). The exact theory of inductive conductivity sensors for oceanographic application. Oceanic Engineering, IEEE Journal. Vol.10, N°. 2, pp. 175-179.
 - Tomczak M. (2000). Medidas de propiedades dinámicas. Instrumentación Oceanográfica.
 - Wilson W.D. (1960). The speed of sound in sea water as a function of temperature, pressure and salinity. Acoustical Society of America. Vol. 32, pp. 641- Endress + Hauser (2005). Medición de Caudal. España.
 - ESA (2008). Misión SMOS. Consultado en http://www.cp34-smos.icm.csic.es/mision_smos/mision_smos.htm
 - Font, J.; Camps, A.; Borges, A.; Martín – Neira, M.; Boutin, J.; Reul, N.; Kerr, Y. H.; Hahne, A. and Mecklenburg, S. (2010). SMOS: The challenging sea surface salinity measurement from space. Proceedings of the IEEE. Vol. 98, N°. 5, pp. 649-665.
 - Fougere, A.J. (2000). New non-external field inductive conductivity sensor (NXIC) for long term deployments in biologically active regions. OCEANS 2000 MTS/IEEE Conference and Exhibition. Vol.1, pp. 623-630.
 - Gong, W.; Mowlem, M.; Kraft, M. and Morgan, H. (2008). Oceanographic sensor for in-situ temperature and conductivity monitoring. In OCEANS 2008 - MTS/IEEE Kobe Techno-Ocean, pp. 1–6.
 - Guemisa, (Electrónica Guerra y Miró Guemisa S.I.), (2006). Conductividad.
 - Consultado en <http://www.guemisa.com/ambien/docu / cpleto%20conductividad.pdf>
 - Gytre, T. (1976). The use of a high sensitivity ultrasonic current meter in an oceanographic data acquisition system. Radio and Electronic Engineer. Vol. 46, N°.12, pp. 617-623.
 - SIMSCALE software de simulación. https://www-simscale-com.translate.goog/docs/simwiki/cfd-computational-fluid-dynamics/what-is-cfd-computational-fluid-dynamics/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc