

INSTRUMENTACIÓN PARA LA MEDICIÓN DE SALINIDAD, TEMPERATURA Y CORRIENTES EN OCÉANOS

INSTRUMENTATION FOR THE MEASUREMENT OF SALINITY, TEMPERATURE AND CURRENTS IN OCEANS

Norha Ligia Posada Restrepo, Carlos Alejandro Zuluaga Toro, Raúl Adolfo Valencia Cardona, Julio César Correa Rodríguez, Diego Andrés Flórez Londoño, Cristian David Arias Jaramillo

Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín (Colombia)

Resumen

Este artículo presenta una recopilación sobre el estado del arte de la instrumentación oceánica de las variables temperatura, salinidad y corrientes. Para cada una de estas variables se expone la influencia en procesos como el cambio climático y la generación de energía eléctrica a partir del potencial energético marino. Además, se documentan los métodos más representativos para la medición de estas variables mencionando antecedentes, principio de funcionamiento y actuales desarrollos.

Palabras clave: instrumentación, interferometría, CTD, dieléctrico, radiometría

Abstract

This paper presents a compilation about the state of the art instrumentation variables oceanic temperature, salinity and currents. For each of these variables explained the influence of processes such as climate change and electricity generation from ocean energy potential. In addition, documenting the most representative methods for the measurement of these variables include a history, working principle and current developments.

Keywords: instrumentation, interferometry, CTD, dielectric, radiometry

Introducción

El crecimiento de la población y las industrias a nivel mundial ha traído consigo múltiples complicaciones. Una de las más significativas es el agotamiento de los recursos no renovables en el planeta, los cuales tienden a ser insuficientes para abastecer la demanda existente y la de generaciones futuras. Como

respuesta alternativa los científicos han concentrado sus esfuerzos en generar energía eléctrica a partir del potencial energético de los océanos y en la predicción de cambios climáticos en el mundo. En consecuencia, la medición de variables como salinidad, temperatura y corrientes marinas, se han convertido en una necesidad esencial para el cumplimiento de estos objetivos, puesto que estas variables influyen

de forma directa en los cambios climáticos y en el potencial de generación de energía oceánica. Las mediciones de estas variables no es tarea fácil, debido a las condiciones adversas que se encuentran en las profundidades (presiones altas, niveles de corrosión y conductividad eléctrica) y en la superficie marina (el poder destructivo de las olas) que dificultan la instalación de sistemas de mediciones eficientes y económicamente viables.

Para dar cumplimiento a los objetivos propuestos se realizó un rastreo de información en artículos de autores reconocidos en el tema y de páginas WEB de fabricantes con los más altos estándares internacionales de calidad y el resultado de esta búsqueda se presenta en el cuerpo del artículo.

Métodos para la medición de la salinidad en el mar

La salinidad y la temperatura son características que determinan la densidad del agua de los océanos. La densidad del agua aumenta mientras más fría y más sal contenga, y se ve afectada por las precipitaciones dando como resultado la estratificación del océano. La salinidad es relevante en algunos procesos del cambio climático como las formaciones de aguas densas en las altas latitudes o en la circulación atmosférica en latitudes tropicales.

En la actualidad, para medir salinidad, se utilizan sensores de conductividad, sensores ultrasónicos, interferometría radiométrica con satélites, y sensores CTD (*Conductivity, Temperature and Depth*).

Sensores de conductividad

La conductividad eléctrica se define como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución (electrolitos) para conducir la corriente eléctrica. Los iones cargados positiva y negativamente son los que conducen la corriente, y la cantidad conducida dependerá del número de iones presentes y de su movilidad (Rosón, 2006). Para medir la conductividad de un fluido existen tres grupos de sensores: inductivos, capacitivos y celdas de dos o más electrodos (Striggow, 1985)

Sensores Inductivos

Consisten en dos bobinas toroides, una transmisora y otra receptora, ambas bobinas se sumergen en el líquido de forma paralela. A la bobina transmisora se le aplica un voltaje de corriente alterna, lo que produce un flujo electromagnético en el fluido proporcional a su conductividad. A su vez, este flujo induce un voltaje en la bobina receptora, entonces la conductividad se determina con la constante del sensor y el voltaje medido en bobina receptora. La empresa FSI (*Falmouth Scientific, Inc.*) en el año 2000 desarrolló un dispositivo que funciona bajo este principio. En este nuevo diseño corrigieron varios defectos que presentaban los sensores inductivos ya que, hasta ese momento, estos sensores debían ser expuestos directamente al agua salada reduciendo su durabilidad y precisión. Además, debían tener protecciones para operar a grandes profundidades marinas para evitar efectos no deseados en los parámetros eléctricos del transformador. La FSI desarrolló durante varios años diferentes métodos para proteger este sensor de degradaciones biológicas y de las influencias del entorno. El nuevo prototipo protege las bobinas con tubos cerámicos y su geometría cambió totalmente para lograr que este dispositivo no presente campo eléctrico externo (Fougere, 2000). En el 2009 la línea de productos de medidores CTDs de la empresa FSI fue vendida a la compañía Teledyne-RDI quienes hoy en día fabrican sensores inductivos de conductividad robustos y confiables (Citadel CTD-ES, 2009).

Algunos fabricantes de estos sensores son: DPF Sensor con modelos como ST 3254.X y ST 315.21 (Guemisa, 2006) y Rosemount Analytical con sus modelos 200 los cuales tienen incorporados medidores de temperatura RTD (*Resistance Temperature Detector*) para compensar los errores en las mediciones (*Emerson Process Management, 2009*).

Sensores capacitivos

Los sensores capacitivos funcionan a partir de la variación de la permitividad del dieléctrico que en este caso el dieléctrico es el agua del océano (Endress + Hauser, 2005).

Heerens en 1982 realizó un aporte significativo a este tipo de instrumentos al diseñar sensores

capacitivos multiterminales que permitían realizar mediciones no sólo en los laboratorios sino también en las industrias con una precisión mayor a los sistemas de laser interferométricos y en áreas más reducidas inclusive algunas veces menores a un nanómetro.

Aravamudhan, *et al.* en 2005 diseñaron y fabricaron un MEMS (*Micro Electro Mechanical System*) basado en sensores CTDs en el cual se medía la conductividad del océano a partir de un sensor capacitivo.

Sensores de celdas de dos o más electrodos

Es posible diferenciar los sensores de conductividad con electrodos según el método de medición que se utilice, amperimétrico (2 electrodos) o potenciométrico (4 electrodos). El sistema amperimétrico diseñado por Neil Brown en 1974 consiste en dos cables paralelos de platino espaciados unos pocos milímetros de diferencia (Hill *et al.*, 1988). En estos conductores se aplica una diferencia de potencial conocida y se mide la corriente que pasa a través de ellos. Finalmente se calcula la resistencia según la ley de Ohm (Lawson, *et al.*, 2001). La resistencia, sin embargo, depende de la distancia entre los dos electrodos y sus superficies, las cuales pueden variar debido a posibles depósitos de sales u otros materiales (electrólisis). Por esta razón, se recomienda limitar el uso del sistema amperimétrico para soluciones con baja concentración de sólidos disueltos (Brown, 2005). En la práctica no se mide la conductividad entre electrodos de igual geometría sino con electrodos de diferente tamaño, rectangulares o cilíndricos, porque al hacer la medición, en lugar de la conductividad, se mide la conductancia.

Brown describe principalmente dos fuentes de errores en este dispositivo. La primera debido a la mayor sensibilidad de los electrodos en los extremos, esto hace que el electrodo no presente una distribución de corriente uniforme, lo que implica una frecuente calibración y limpieza de los electrodos. La segunda fuente es la contaminación de los electrodos por sustancias que se adhieren a ellos, en su mayoría no conductoras, lo que aumenta el diámetro y aísla el electrodo, produciendo errores en la conductividad medida (Brown, 1988).

El sistema de 4 electrodos está basado en el principio de inducción lo que elimina los problemas comunes asociados al amperimétrico. A los dos electrodos externos va aplicada una corriente alterna, mientras que en los dos internos se mide la diferencia de potencial inducida por el flujo de corriente, que depende de la conductividad de la solución donde se ha sumergido la sonda. En este dispositivo sólo las variaciones en la geometría interna del dispositivo pueden afectar la constante (Brown, 1988).

En la actualidad *Emerson Process Management* fabrica sensores de conductividad de 4 electrodos como el *Rosemount Analytical Model 410VP* que son recomendados para medición en alimentos y procesos industriales. Estos sensores tienen un rango de 1uS/cm hasta 1400mS/cm y además tienen una Pt1000 para realizar compensaciones por efectos de la temperatura (*Emerson Process Management, 2008*).

Sensores ultrasónicos de densidad y salinidad

En los años setenta la forma estándar para medir la salinidad era por medio de sensores de conductividad y sensores inductivos. Pero ambos sensores eran afectados por las suciedades que se incrustaban en ellos y no era posible obtener una precisión y estabilidad aceptable en la medición a largo plazo. Sabiendo que la densidad del agua del océano depende de la temperatura, presión y salinidad y basados en teorías como la propuesta por W. Wilson, 1960 en las cuales se afirma que la velocidad del sonido en el océano depende de estas variables, se desarrollaron sensores ultrasónicos de densidad para medir la salinidad (Gytte, 1976).

La densidad de un líquido es obtenida dividiendo su impedancia acústica entre la velocidad del sonido. La velocidad del sonido en el líquido es calculada con el tiempo de transmisión de un pulso ultrasónico a lo largo de una distancia conocida y la impedancia acústica puede ser calculada a través de mediciones del coeficiente de reflexión del sonido en la interfaz entre un material conocido y el líquido (Puttmer *et al.*, 2000). En el año 2001, Higuti y Adamowski introdujeron un nuevo método para medir este coeficiente, a partir de la energía de la señal reflejada. Este método corrigió los inconvenientes que presentaba el método

anterior ya que es robusto al ruido y a la frecuencia de transmisión (Higuti, *et al.*, 2001).

Sabinin y Kudryashov muestran un modelo que permite relacionar el cambio de la velocidad del sonido con respecto a la salinidad y la temperatura del medio, basados en datos tomados por aeronaves en los años setenta con ultrasonidos. Este modelo usa métodos de tomografía acústica para calcular la velocidad del sonido demostrando que a partir de este procedimiento la salinidad en la superficie del océano puede ser calculada obteniendo resultados aceptables (Sabinin *et al.*, 1998). En los últimos años los sensores ultrasónicos son utilizados para mediciones de densidad o salinidad de fluidos que van a través de tuberías y para mediciones marinas a través de tomografías acústicas.

Sensores CTD

En década del treinta fueron diseñados dispositivos como los batitermógrafos que permitirían lograr grandes avances en lo que a mediciones marinas concierne. Pero no fue sino hasta el año 1968 que estos batitermógrafos fueron realmente aprovechados con el desarrollo del primer CTD realizado por Brown.

Hoy en día, los instrumentos CTD son la manera más importante para medir las características del agua. Estos miden directamente 3 variables: conductividad, temperatura y profundidad (Lawson, *et al.*, 2001).

Las mediciones con CTD se realizan de dos formas, en buques de investigación o usando boyas ancladas. En el caso de los buques el dispositivo es sumergido en el océano y los datos son almacenados y procesados en tiempo real desde la sala de cómputo en el buque. Y en el caso de las boyas el dispositivo es sumergido junto con un sistema de alimentación y almacenamiento autónomo. Las mediciones desde los buques incluyen rosetas con botellas de Niskin para recolectar muestras de agua a diferentes profundidades para analizar sus propiedades químicas en laboratorios (Ocean Instrument, 2006). Las ventajas más importantes de este dispositivo son:

- Sensado remoto
- Peso ligero (1 kg en el agua)
- Se pueden utilizar a grandes profundidades

Algunas limitaciones que presentan son:

- Requiere calibración periódica.
- El retardo entre los cambios físicos y las respuestas de los sensores se convierte en un problema relevante, ya que los cálculos de salinidad y densidad se basan en las mediciones de las tres variables principales (Ocean Instruments, 2006).

Interferometría radiométrica misión SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity)

Las mediciones satelitales dan la posibilidad de medir diversas variables que permiten mejorar la comprensión de fenómenos climáticos. El satélite SMOS, lanzado al espacio el 2 de noviembre del 2009, es el primer satélite que tiene como objetivo medir la salinidad en los océanos y la humedad en los suelos desde el espacio (Font, *et al.*, 2010).

La misión SMOS de la ESA (*European Space Agency*) porta un único pero muy complejo instrumento, MIRAS (*Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis*), que observará periódicamente toda la superficie terrestre midiendo la temperatura de brillo, enviando a tierra información que se podrá convertir en mapas de humedad de suelo y de salinidad. El proceso de convertir los datos recibidos de MIRAS en mapas que puedan analizar los científicos, lo realizará el Centro de Procesado de Datos de SMOS en ESAC (*European Space Astronomy Center*), (Buenadicha, 2009).

SMOS utilizará técnicas de teledetección pasiva de microondas desde el espacio con el objeto de captar la energía electromagnética que emiten las superficies terrestres. La forma en que estas emiten radiación a una determinada frecuencia depende de algunas de sus características físicas, e.g. color de la superficie, temperatura, humedad entre otros. En el caso de SMOS, a la frecuencia de 1413,5 MHz se obtiene una correlación especial entre el patrón de la energía emitida por la superficie terrestre y la salinidad en zonas oceánicas o la humedad del suelo en zonas continentales (ESA, 2008). La teledetección se utiliza para caracterizar la firma espectral de las superficies observadas, para ello se utiliza un radiómetro que capta desde una posición alejada, la energía radiada por las superficies en donde se desea medir. La

energía radiada se recibe dentro de un determinado rango de frecuencias en el que se sabe, por estudios previos, que la característica física que se quiere monitorear influye directamente sobre la forma en que se emite la radiación.

Uno de los principales problemas al momento de diseñar el radiómetro fue la frecuencia de trabajo, ya que la antena que se requería para captar la energía a dicha frecuencia era muy grande para lanzarla en uno de los cohetes existentes, por lo que la idea se había desechado. Solamente cuando se decidió adaptar el radiómetro interferométrico (MIRAS) se pudo pensar en una misión espacial viable. Este instrumento interferométrico posee un arreglo de antenas mucho más pequeñas que miden las señales emitidas por un mismo objeto, con esto se puede conseguir mucha más resolución angular que la que consigue cada antena individual de las que lo forman.

Métodos para la medición de corrientes marinas

Para determinar los movimientos que suceden en el mar se han diseñado instrumentos destinados a medir la velocidad y dirección de las corrientes marinas, denominados correntómetros (Cifuentes, 2006). Basados en el método usado para medir la intensidad de la corriente, se pueden distinguir cuatro clases de correntómetros los mecánicos, como el rotor de Savonius; los electromagnéticos, usados en satélites o in-situ; acústicos, como los perfiladores de corrientes por efecto Doppler; y los de deriva como son las boyas con GPS (*Global Positioning System*).

Rotor de Savonius

El rotor de Savonius es uno de los métodos directos más usados para medir las corrientes marinas. Fue inventado por S. J. Savonius en el año 1922 con el fin de medir la velocidad del viento, pero estos instrumentos han sido aceptados mundialmente para medir las corrientes en el océano gracias a su versatilidad, durabilidad y su bajo costo (Serkin and Kronengold, 1974). La característica principal de este rotor son sus aspas en forma de “S” que permiten un mejor arranque a velocidades más bajas. Además, comparado con otros rotores su construcción es

simple y de bajo costo. Una ventaja que tienen los rotores de Savonius es que su velocidad no puede ser mayor a la velocidad del fluido, por lo que es seguro para los peces presentes en el medio (Khan *et al.*, 2008).

En estos rotores la velocidad de giro es independiente de la dirección de incidencia de la corriente, ya que utilizan una paleta vertical para determinar la dirección de la corriente. Los correntómetros mecánicos miden la rapidez de la corriente contando las revoluciones de la hélice o rotor por unidad de tiempo y la dirección de la corriente determinando la orientación de la paleta a intervalos fijos. Ya que estos tiempos no son muy pequeños, los rotores de Savonius no son recomendables cuando hay cambios bruscos en la dirección de la corriente en intervalos pequeños de tiempo (Tomczak, 2000). En la actualidad existen en el mercado correntómetros que funcionan bajo este principio como los *Valeport 308* usados en el 2002 para medir las corrientes en el canal de Panamá (Baloyes, *et al.*, 2002) o los AEM213D de JFE Alec Co., Ltd. que traen sensores de presión y temperatura integrados, para compensar la interferencia de estas variables en la medición de las corrientes.

Boyas de deriva

Otra forma de medir las corrientes consiste en lanzar una boya y dejar que envíe su posición a un aparato receptor. Las boyas son plataformas diseñadas para llevar diferentes instrumentos. Sin embargo, todas las medidas obtenidas de las boyas son de poca utilidad a menos que puedan ser relacionadas con posiciones en el espacio. El Sistema de Posicionamiento Global (GPS), que transmite la localización de la boya vía satélite, es por lo tanto un instrumento esencial en cualquier boya y las habilita para la medición de corrientes oceánicas. El desempeño de la boya dependerá de su diseño, y en particular del tamaño y forma de su elemento de arrastre. La mayoría de las boyas de deriva flotan en la superficie, pero algunas están diseñadas para trabajar sumergidas a diferentes profundidades por varios días y luego volver a la superficie para transmitir su posición. Estas boyas proporcionan datos sobre las corrientes oceánicas profundas. A medida que las boyas suben y bajan, también miden la temperatura y salinidad. En la actualidad, miles de boyas están a la deriva en

los océanos del mundo y transmiten esos datos, para así analizar de manera global el comportamiento de las corrientes (Tomczak, 2000).

Perfiladores Acústicos de Corrientes Doppler (Por sus siglas en inglés ADCPs *Acoustic Doppler Current Profilers*)

Los correntómetros acústicos disponen de un arreglo de pequeños sensores piezoeléctricos que emiten pulsos en diferentes direcciones (Lee, 1996). Estos pulsos se dispersan en el océano y el eco que retrocede permite conocer las velocidades locales en todo momento. Midiendo el desplazamiento de frecuencias de cada una de estas señales dispersadas se obtienen las velocidades relativas a la posición del correntómetro a cada nivel de profundidad. Un quinto sensor, montado en el centro del arreglo de sensores y en dirección vertical, mide la profundidad (Endress + Hauser, 2005; Tomczak, 2000). Algunos ADCP están anclados al fondo marino y pueden medir la corriente en muchos niveles desde el fondo marino hasta la superficie. Independientemente de que estén instalados en boyas, plataformas petroleras o anclados al suelo marino, muchos correntómetros no generan datos en tiempo real, sino que mantienen un registro que se debe recuperar y descargar posteriormente.

Medición de corrientes por medio de satélites

Los satélites son muy útiles y eficientes cuando se trata de abarcar grandes superficies en el océano, gracias al uso de las microondas y a la posición estratégica a una altura considerable con respecto a la tierra. En el año 1978 fue lanzado el *Seasat*, equipado con un el primer radar de apertura sintética (SAR *Synthetic Aperture Radar*), el cual estaba podía medir la altura del satélite, velocidad y dirección del viento, temperatura del mar y ondas en la superficie marina (Chapman, 1998).

El funcionamiento básico del SAR, consiste en la modulación de varias señales que son transmitidas hacia la superficie oceánica donde las ondas se reflejan con diferentes retardos gracias a las condiciones marítimas y atmosféricas. Al llegar al satélite estas señales son combinadas obteniendo lecturas precisas en cuanto a posición espacial se refiere.

Para la medición de las olas y corrientes marinas se utiliza el ATI-SAR (*Along-track interferometric synthetic aperture radar*) que consiste en dos antenas separadas una distancia determinada y con una misma dirección, lo cual produce dos lecturas de la superficie marina analizada, de las que se puede extraer un plano de las olas producidas, y bajo el principio del efecto Doppler calcular la velocidad de las corrientes existentes y obtener un mapa de las mismas para un área cercana a las mediciones realizadas (Kim, *et al.*, 2003).

Métodos para medir la temperatura en el mar

Los cambios de temperatura de las aguas oceánicas no sólo influyen en la dinámica del mar y de la atmósfera, sino que constituyen uno de los factores principales que intervienen en la distribución de los organismos marinos, la forma de los seres vivos y la velocidad con que se llevan a cabo sus reacciones metabólicas, por esto es importante contar con mapas que describan las características de la temperatura de las aguas del océano. Para construir estos mapas, los oceanógrafos físicos han establecido las relaciones de la temperatura en diferentes áreas del océano, utilizando básicamente termómetros eléctricos (Termistores y RTD por sus siglas en inglés *Resistance Temperature Detector*) y batitermógrafos (Cifuentes, 2006).

Termómetros eléctricos

La RTD es un material conductor que varía linealmente el valor de la resistencia con la temperatura en forma lineal y el termistor es un material semiconductor que también varía resistencia, pero de forma no lineal. Los termistores pueden sensar cambios en la temperatura, del orden de 0.05°C. Algunos inconvenientes que presentan los termistores son la no linealidad y el acelerado envejecimiento (Omega-Engineering, 2010).

Gong, *et al.*, en el año 2008 desarrollaron un sensor capaz de medir la temperatura y la conductividad en el agua del océano, el cual posee 2 electrodos planos construidos en una PCB (*Printed circuit board*) para medir la conductividad, y un termistor de resistencia relativamente alta (30 K Ω a 25°C), logrando una exactitud en la medida de 0.003°C en

un rango de 0-30°C. Pero una alta resistencia puede causar “fugas” de corriente al medio marino como explica Dauphinee (1983) las cuales son problemas muy serios ya que esto afectaría directamente la precisión del termistor, para evitar esto Dauphinee sugiere que para una resistencia de termistor de 10 K Ω se debe usar un aislante de por lo menos 250M Ω para alcanzar una precisión de ± 1 m Ω .

Termómetros de inversión

Son medidores de temperatura basados en expansión volumétrica de un líquido que tienen la facultad de retener la lectura de la medición cuando su cuerpo se invierte 180°. Los termómetros de inversión son utilizados generalmente en sistemas de muestreo que usan botellas de Niskin o Nansen (Lanza, 1999). Para medir las temperaturas a profundidad en el océano, se utilizan termómetros no protegidos que están expuestos a la presión hidrostática para determinar la profundidad en la que se toman las muestras (Cifuentes, 2006).

Conclusiones

Cuando se busca instrumentación para la medición de salinidad, temperatura y corriente se encuentran

disponibles varias clases de sensores, los cuales se diferencian por su principio de funcionamiento, sus características estáticas y las aplicaciones donde se pueden utilizar. Por lo tanto en el proceso de selección, del instrumento más adecuado para realizar una determinada tarea, se debe conocer muy bien el medio donde se ubicaría el sensor y tener bien definidos los alcances y exigencias de la aplicación.

Los datos obtenidos por las mediciones en océanos se pueden almacenar en memorias que se recogen periódicamente o pueden ser transmitidos por medio de satélites a centros de control donde posteriormente se procesan. La forma de manejo de los datos es uno de los aspectos más importantes a la hora de la selección de los equipos de medición en océanos ya que de ella depende el tipo de anclaje de los mismos.

Las actividades de mediciones en el océano son conocidas por su utilidad a la hora de realizar predicciones climatológicas, pero de ellas también se puede obtener información muy útil para otras aplicaciones como la generación de energía a partir del recurso marino, donde la eficiencia de las tecnologías de generación se encuentra ligada a las condiciones.

Referencias

- 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., Pettitt 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 el 16 de septiembre de 2010 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. Consultado el 3 de septiembre de 2010 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

- Dauphinee, T. (1983). Deep ocean temperature profile measurements. *Oceanic Engineering, IEEE Journal of*, Vol. 8, N° 3, pp. 184–195.
- Emerson Process Management. (2008). Four-electrode sanitary flange conductivity sensor. Consultado el 27 de agosto de 2010 en <http://www2.emersonprocess.com/en-us/brands/rosemountanalytical/liquid/sensors/conduct/sanitary/410vp/Pages/index.aspx>
- Emerson Process Management. (2009). Toroidal conductivity sensors - rosemount analytical. Consultado el 26 de agosto de 2010 en <http://www2.emersonprocess.com/en-US/brands/rosemountanalytical/Liquid/Sensors/Conduct/Toroidal>
- Endress + Hauser (2005). Medición de Caudal. España.
- ESA (2008). Misión SMOS. Consultado el 30 de agosto de 2010 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 el 13 de septiembre de 2010 en <http://www.guemisa.com/ambien/docus/completo%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.
- 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, pp. 2821- 2832.
- 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. 641-644.

Sobre los autores:

Norha Ligia Posada Restrepo

Ingeniera en Instrumentación y Control, Magister en Ingeniería, Docente de la Universidad Pontificia Bolivariana, Circular 1 No. 70-01, Bloque 11 Of.311-17, Medellín, Colombia (Tel: +57(4)448 83 88 Ext. 14153 - Fax: +57(4) 411 87 79)
norha.posada@upb.edu.co

Carlos Alejandro Zuluaga Toro

Ingeniero Electrónico, Magister en Ingeniería, Docente de la Universidad Pontificia Bolivariana, Circular 1 No. 70-01, Bloque 11 Of.311-17, Medellín, Colombia (Tel: +57(4)448 83 88 Ext. 14092 - Fax: +57(4) 411 87 79)
carlos.zuluaga@upb.edu.co

Julio César Correa Rodríguez

Ingeniero Mecánico, PhD., Docente de la Universidad Pontificia Bolivariana, Circular 1 No. 70-01, Bloque 11 Of.311-17, Medellín, Colombia (Tel: +57(4)448 83 88 Ext. 14094 - Fax: +57(4) 411 87 79),
julio.correa@upb.edu.co

Raúl Adolfo Valencia Cardona

Ingeniero Textil, Magister en Ingeniería, Docente de la Universidad Pontificia Bolivariana, Circular 1 No. 70-01, Bloque 11 Of.311-17, Medellín, Colombia (Tel: +57(4)448 83 88 Ext. 13254 - Fax: +57(4) 411 87 79) raul.valencia@upb.edu.co

Diego Andrés Floréz Londoño

Ingeniero Mecánico, Candidato a Magister en Gestión Tecnológica, Docente de la Universidad Pontificia Bolivariana, Circular 1 No. 70-01, Bloque 11 Of.311-17, Medellín, Colombia (Tel: +57(4)448 83 88 Ext: 14092 - Fax: +57(4) 411 87 79)
diego.florez@upb.edu.co

Cristian David Arias Jaramillo

Ingeniero electrónico Universidad Nacional de Colombia, Estudiante de especialización en Automática Universidad Pontificia Bolivariana. Cra 84 # 44c-39 Edif. Vegas de la 84 Apto. 503 Medellín Colombia. cdariasj@hotmail.com

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.