

Desarrollo de un sensor de molinete inalámbrico para la medición de caudales en cuerpos de aguas naturales: estudio preliminar

Development a wireless sensor windlass for flow measurement in natural bodies of water: preliminary study

Carlos Eduardo Díaz Gutiérrez¹, Felipe de Jesús García Gutiérrez² , Alma Barón Guadarrama³
Universidad Tecnológica del Valle de Toluca. Dirección de Carrera de Mecatrónica y Sistemas Productivos. Km. 7.5 carretera del Depto. del D.F. Ejido de Sta. María Atarasquillo, Lerma, Estado de México, México.

E-mail: carlos_eduardo_dg@yahoo.com.mx; felipe Garcia_36@hotmail.com; abarong@hotmail.com

PALABRAS CLAVE:

Caudal, aforo, sensor-molinete, comunicación-inalámbrica, robot-aforador

RESUMEN

En México, el muestreo y aforado (medición de caudales) de cuerpos de agua naturales es una tarea compleja, en virtud del riesgo físico y a la salud que existen para el personal encargado de desarrollar esta actividad. En una primera etapa de investigación, se desarrolló el sistema de aforo SA-1, el cual es un robot acuático teleoperado. Ahora, se pretende desarrollar y acoplar un sensor de molinete inalámbrico para que sea transportado por el SA-1 y, de esta forma, tomar las lecturas requeridas por el usuario sin que éste se tenga que introducir al cuerpo de agua. En el presente artículo, se describe un estudio preliminar acerca de los diferentes factores a considerar para el desarrollo del sensor antes mencionado.

KEYWORDS:

Caudal, gauging, flowmeter-sensor, wireless-sensor, gauging-robot

ABSTRACT

In México, sampling and flow measurement of natural water bodies, is a complex task due to the physical and health risk that exist for the people responsible to perform this activity. A first stage of investigation was the development of the flow measurement system called SA-1, which is a teleoperated aquatic robot. Now was developed and implemented a wireless flowmeter sensor and, of this form, obtain readings requested for the user. In this paper, is described a preliminary study about the different factors to consider for the development of the flowmeter sensor above mentioned.

Recibido: 9 de junio de 2015 • Aceptado: 10 de septiembre de 2015 • Publicado en línea: 29 de febrero de 2016

1 INTRODUCCIÓN

El deterioro del ambiente es uno de los principales problemas a los cuales se enfrenta la sociedad moderna. La contaminación del agua no es ajena a esta situación. Ante este hecho, organismos mexicanos tales como el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), el Instituto Tecnológico de Toluca (ITT) y la Universidad Tecnológica del Valle de Toluca (UTVT), entre otras instituciones, realizan operaciones de aforo de los diversos cuerpos de agua naturales que integran las diferentes cuencas hidrológicas del país, a fin de establecer el grado de contaminación que éstos guardan y también conocer la disponibilidad de los recursos hídricos [1].

Con el fin de facilitar el aforo de cuerpos de agua, se ha creado el Sistema de Aforo SA-1, que es un vehículo acuático teleoperado [2]. Para que el SA-1 opere de manera adecuada y a fin de medir la velocidad del agua y la profundidad del cuerpo de agua, se requiere adaptar un sensor de molinete universal, el cual debe operar de manera inalámbrica y en donde el principal obstáculo a vencer son los distintos fenómenos que se presentan en las comunicaciones inalámbricas bajo el agua.

Actualmente, el uso de comunicaciones inalámbricas es muy común en un amplio rango de dispositivos terrestres [3]. En cuanto a las comunicaciones inalámbricas bajo el agua, se han desarrollado tecnologías tales como [3, 4]:

a) Comunicaciones inalámbricas subacuáticas acústicas (underwater wireless acoustical communication)

b) Comunicaciones inalámbricas subacuáticas electromagnéticas (underwater wireless electromagnetic communication)

c) Comunicaciones inalámbricas subacuáticas ópticas (optical underwater wireless communication)

De los tres tipos de comunicaciones inalámbricas bajo el agua la más empleada es la acústica, debido a la baja atenuación del sonido en el agua. A pesar de que la comunicación acústica puede ser empleada para cubrir grandes distancias bajo el agua, presenta desventajas tales como [5]:

a) El ancho de banda es limitado.

b) Existen frecuentes pérdidas de conectividad.

c) Bajo el agua, existe un retraso en la propagación de la señal cinco veces más alta, en comparación con la radiofrecuencia terrestre y, además, es extremadamente variable.

d) La turbidez, ruido ambiental, salinidad y gradientes de presión afectan la calidad de la señal, además de que existe evidencia, de que este tipo de tecnología, puede dar lugar a un impacto adverso a la vida marina [12].

Las comunicaciones ópticas bajo el agua han sido tratadas a través de diferentes estudios teóricos tales como los llevados a cabo por Jaruwatanadilok [6], Lanbo [5], Kedar [7]. Algunas pruebas experimentales han sido efectuadas por Feng Lu [8], Hanson y Radic [9]. En realidad, no existen muchas investigaciones relacionadas con las comunicaciones ópticas bajo el agua y existen pocos módems ópticos comerciales diseñados para este fin, pero es bien sabido, que la principal desventaja de las comunicaciones ópticas bajo el agua es que la señal es rápidamente absorbida por el agua [10]. De igual forma, la dispersión óptica causada por partículas, tales como el plancton, por ejemplo, es significativa [4, 10].

Una desventaja importante de las dos comunicaciones inalámbricas antes mencionadas, es el hecho de que no pueden realizar una buena transición a través de la frontera agua-aire o aire-agua [11], a diferencia de las señales electromagnéticas.

El uso de señales electromagnéticas ha sido valorado de nuevo, en virtud de los nuevos desarrollos tecnológicos que se han venido dando [13]. Dentro de las ventajas en el uso de la radiofrecuencia, se pueden citar cuatro ventajas principales [11]:

a) Las ondas electromagnéticas pueden cruzar la frontera aire-agua y viceversa, con cierta facilidad, en comparación con las ondas acústicas y ópticas.

b) La señal electromagnética sigue el camino de menor resistencia; es decir, se puede tener la facultad de propagar la onda en aire o en agua.

c) Las transmisiones bajo el agua, que emplean ondas electromagnéticas, son tolerantes a la turbulencia causada por las mareas o bien, por actividades humanas.

d) Las ondas electromagnéticas pueden operar

en condiciones en las cuales el agua está sucia o que presenta un alto grado de turbidez, situación que no sucede con las ondas acústicas u ópticas.

Sea cual sea el tipo de comunicación inalámbrica que se utilice, el principal objetivo es el desarrollo de sensores que permitan monitorear las condiciones ambientales de océanos, ríos o lagunas. La creación de nodos y redes (node sensor networks), sobre todo cuando se deben cubrir grandes distancias bajo el agua, es hoy en día, una de las principales estrategias que se están siguiendo para tal fin. En este sentido se pueden citar por ejemplo, los estudios realizados por Wells y Xianhui [11], Goh y Shaw [10], Partan, Kurose y Brian [14], Kelley, Manoj y Jamshidi [15] o Hoferitza [16].

La mayoría de los estudios mencionados, hacen referencia al uso de nodos, los cuales forman una red de comunicación inalámbrica y cuyo fin es el de cubrir grandes distancias bajo el agua. El caso que se describe en el presente artículo, presenta algunas variantes considerables en virtud de que no se requieren cubrir grandes distancias para la obtención de las velocidades y profundidades del cuerpo de agua. Con la obtención de los datos antes citados, se está en condiciones de calcular el caudal del cuerpo de agua.

En el presente escrito se establece el estudio preliminar para convertir un sensor de molinete convencional, en un sensor de molinete inalámbrico a través del uso de la radiofrecuencia como medio de comunicación.

2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AFORO SA-1.

Tal y como se ha mencionado al inicio del presente artículo, existe interés de diferentes instituciones mexicanas para llevar a cabo el muestreo y aforado de cuerpos de agua naturales. El ININ, el ITT, y la UTVT, han desarrollado una plataforma acuática teleoperada denominada Sistema de Aforo 1 (SA-1) y la cual se ilustra en la figura 1.



Figura 1. La imagen de la izquierda muestra al SA-1 en pruebas de maniobra y flotación. La imagen de la derecha muestra al SA-1 en su concepción inicial.

Para que el SA-1 pueda realizar la tarea para la que fue diseñado, requiere que le sea adaptado un sensor de molinete. El sensor de molinete mostrado en la figura 2, es uno de los sensores utilizado en México para medir caudales en cuerpos de agua naturales.

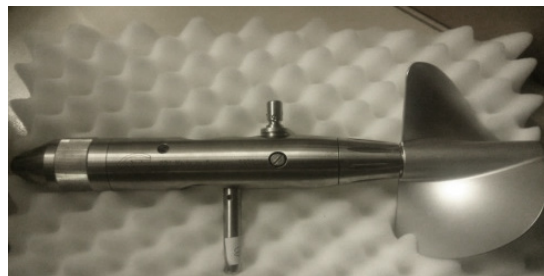


Figura 2. Sensor de molinete universal

El sensor de molinete es provisto con un largo cable (4 m o más, según la profundidad requerida por el usuario) a fin de que el aforador se introduzca en el cuerpo de agua y realice las mediciones respectivas, tal y como se muestra en la figura 3.



Figura 3. La imagen de la izquierda muestra el proceso de aforamiento con un sensor de molinete universal y en el cual se puede apreciar el cable que requiere en la imagen de la derecha.

El sensor de molinete es adaptado al SA-1, acorde a lo mostrado en la figura 4. A través de un sistema de cables y poleas es la forma en que el sensor de molinete se hace subir y bajar de acuerdo a los requerimientos de medición del usuario, el cual controla al SA-1 desde una computadora ubicada en tierra. Para mayor información sobre el funcionamiento de este sistema, se puede consultar la referencia [1].

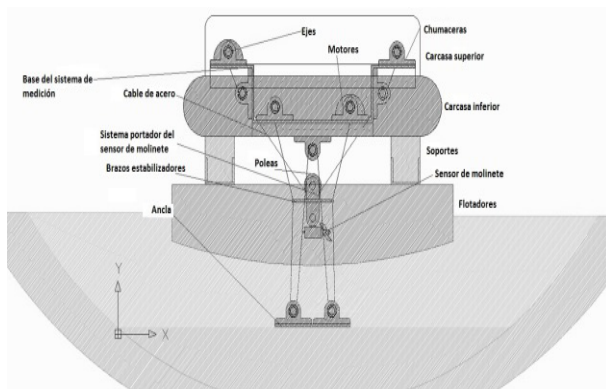


Figura 4. El SA-1 y el sensor de molinete.

En la figura 5, se muestra un acercamiento del dispositivo que tiene el SA-1 para portar el sensor y también se muestra la forma en que se evita que éste gire y la cual es a través de los cables guía y brazos estabilizadores que este sistema posee.

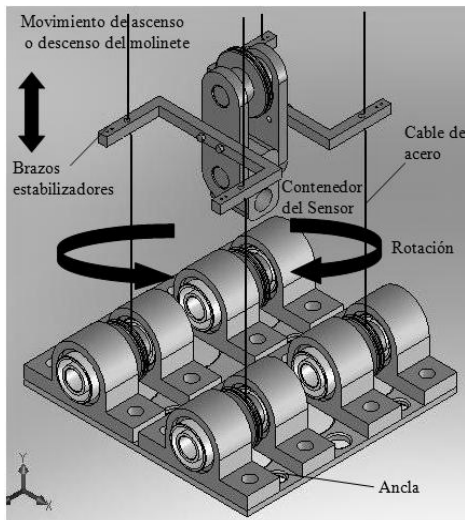


Figura 5. Dispositivo que contiene al sensor de molinete.

En virtud de los cables propios que tiene el sensor de molinete para operar de manera convencional, y los cables con los que cuenta el SA-1 para hacer funcionar el sistema de medición, se hace necesario adaptar el sensor de molinete convencional a un sensor de molinete inalámbrico a fin de convertir al SA-1 en un equipo más versátil y omitir, a través del establecimiento de la comunicación inalámbrica bajo el agua, los cables del sensor convencional para realizar la medición de caudales en cuerpos de aguas naturales.

3 ETAPAS DE DESARROLLO DEL SENSOR INALÁMBRICO

Se desea aprovechar las bondades de la radio frecuencia a fin de establecer la comunicación entre los diferentes sistemas electrónicos con los que cuenta el SA-1 y el sensor de molinete. Es de hacerse notar que la profundidad máxima a la cual descenderá el sensor, por el momento, son 8 m, distancia que puede ser cubierta fácilmente por las ondas electromagnéticas inmersas en el agua. Para lograr el cometido anterior, se están considerando las siguientes etapas:

1. Estudio del funcionamiento del sensor de molinete convencional. Este proceso tiene como finalidad comprender los principios de funcionamiento del sensor de molinete a fin de lograr realizar los diferentes modelos matemáticos que rijan su comportamiento. Dicho estudio comprende a su vez, la obtención de las diferentes señales emitidas por el sensor.

2. Establecimiento de la comunicación inalámbrica usando el aire como medio de propagación de las ondas electromagnéticas. Esta etapa comprende la realización de toda la ingeniería necesaria para establecer la comunicación inalámbrica en aire y verificar, con otro sensor de molinete que se tiene como medio de comparación, los datos arrojados por el sensor modificado.

3. Establecimiento de la comunicación inalámbrica bajo el agua. Una vez que se ha logrado establecer la comunicación inalámbrica usando el aire como medio de propagación de las ondas electromagnéticas, se podrá probar el sensor modificado en condiciones acuáticas y, de esta forma, ajustar los diferentes parámetros, como la frecuencia y la velocidad de la transmisión de datos, por ejemplo.

4. Validación y pruebas. Ya realizados todos los ajustes necesarios en el sensor modificado y verificado la calidad de la transmisión, entre otros datos, se estaría en situación de realizar las pruebas necesarias a fin de validar tanto los modelos matemáticos como los datos obtenidos a través de la comparación con otro sensor de molinete universal de las mismas características al sensor modificado.

4 ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR DE MOLINETE UNIVERSAL

Como ya se ha mencionado, el molinete universal sirve para medir la velocidad de agua en ríos, canales abiertos, tuberías, etc. Puede ser sujetado en barra, en torno de cable (sistema utilizado por el SA-1) o en cable grúa.

Las partes que conforman el sensor de molinete [17] se muestran en la figura 6.

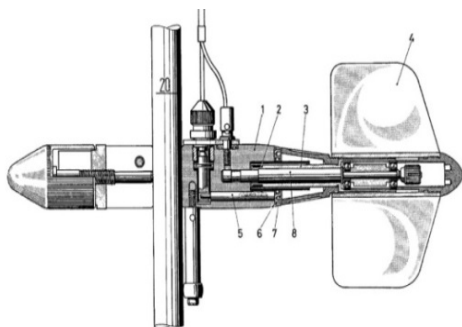


Figura 6. Partes del sensor de molinete

De acuerdo con la figura 6:

- 1)Cuerpo del molinete.
- 2)Imán.
- 3)Casquillo del husillo.
- 4)Hélice.
- 5)Emisor de impulsos
- 6)Aro.
- 7)Unión roscada.
- 8)Eje.
- 9)Tornillo.
- 10)Rodamientos de precisión.

Los contactos eléctricos se producen prácticamente sin consumir energía, por un emisor de impulsos para cuyo accionamiento se encuentra un imán montado sobre el casquillo del husillo de la hélice. Por cada revolución de la hélice, actúa el emisor de impulsos una vez; es decir, por cada revolución de la hélice se produce un contacto [17]. El emisor de impulsos está incorporado al cuerpo del sensor, de tal forma que se encuentra completamente libre de presiones y de la influencia del agua. El sensor de molinete tiene la facultad de realizar mediciones en aguas químicamente agresivas, intensamente sucias o conductoras de arenas u otras materias de arrastre [17].

Para poder visualizar las lecturas obtenidas con el sensor, se requiere de un contador, como el mostrado en la figura 7 [18].

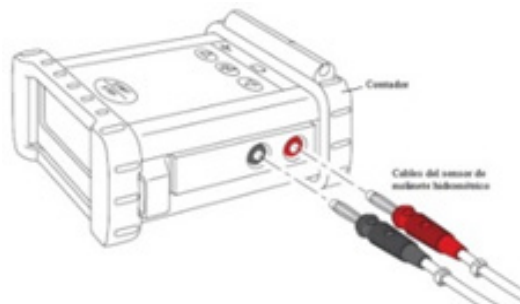


Figura 7. Contador empleado con el molinete universal.

El contador sirve, junto con el molinete hidrométrico, para determinar la velocidad de fluidez del agua cuando se mide el caudal de aguas al aire libre. Con este fin el aparato mide, por ejemplo, el número de vueltas de la hélice del sensor de molinete en un intervalo de tiempo fijado (un impulso por vuelta de la hélice) [18]. De igual forma, en la figura 7, se aprecia que existen dos cables que vienen del sensor de molinete hacia el contador. Cuando dichos cables no son conectados al contador y se mide la señal emitida con un osciloscopio, se obtiene la imagen en la figura 8.

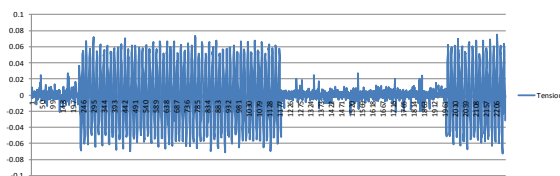


Figura 8. Señal obtenida con el osciloscopio y sin conectar al contador.

Como se observa en la figura 8, cuando el emisor hace contacto con el imán se obtiene un impulso, por cada revolución de la hélice del sensor. Cuando el sensor de molinete se conecta al contador, la señal obtenida es cuadrada, tal y como se muestra en la figura 9.

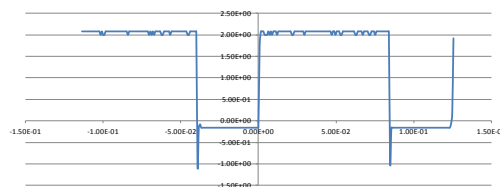


Figura 9. Señal cuadrada obtenida con el osciloscopio y cuando el sensor es conectado al contador.

De hecho y acorde a lo mostrado en la figura 9, es el mismo tipo de señal que se debe obtener de manera inalámbrica.

5 PROPUESTA

En la figura 10 se muestra un esquema general de la propuesta planteada para lograr la comunicación inalámbrica, primero usando como medio el aire y, después, usando como medio de transmisión de ondas electromagnéticas el agua.

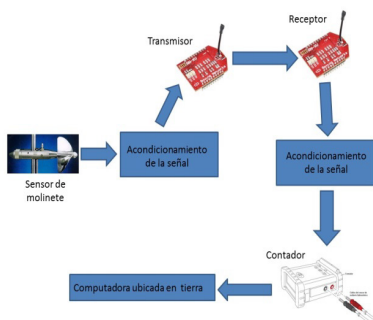


Figura 10. Configuración para la transmisión inalámbrica de datos. Tanto el transmisor como el receptor mostrados son meramente ilustrativos.

El sensor de molinete no sufre cambio alguno en cuanto a su forma de operación o estructura. De hecho, los cables con los que cuenta (uno negro, negativo, y uno rojo, positivo) se conectan al transmisor (previa electrónica) y el cual se encuentra sumergido junto con el sensor de molinete. El sensor de molinete emite pulsos los cuales son acondicionados y enviados al transmisor; del transmisor la señal pasa al receptor, se acondiciona la señal antes de que llegue al contador, y del contador la señal se transmite a la computadora de tierra, que es la computadora que tiene el operador cuando está en funcionamiento el SA-1. Es probable que, posteriormente, no sea necesario el contador, en virtud de que los datos obtenidos se pueden leer directamente en la interface de operación desarrollada para el SA-1.

Para lograr lo anterior Wells Xianhui y Dickers [11], recomiendan utilizar bajas frecuencias (cerca de 3 kHz) con una velocidad de transmisión de 100 bps. Por otro lado Goh, Shaw y Shamma'a [10], entre otros, mencionan el uso de frecuencias del orden de los megahertz. Por lo

tanto, el transmisor y el receptor seleccionados deberán estar trabajando a frecuencias variables, en cuyo caso se están considerando tres tipos de transmisores y receptores: un par de baja frecuencia; un par de media frecuencia y un par de alta frecuencia a fin de analizar los resultados que, bajo estas condiciones, se obtienen. Enseguida, se explica el fundamento de lo expuesto anteriormente.

La velocidad de propagación de una onda electromagnética en el vacío es de $[10] 3 \times 10^8 \text{ m/s}$. La velocidad de una onda electromagnética en el agua dulce (medio en el cual trabajaría el sensor de molinete) es afectada por el factor: $\sqrt{(\epsilon_r \mu_r)}$, donde ϵ_r es la permitividad relativa y μ_r es la permeabilidad magnética relativa. El valor de ϵ_r para el agua es de aproximadamente 81, $\mu_r = 1$. Por lo tanto, la velocidad de una onda electromagnética en el agua es [10]:

$$c_{\text{agua}} = c_{\text{vacío}} / \sqrt{(\epsilon_r)(\mu_r)}$$

Sustituyendo los valores antes mencionados, se obtiene:

$$c_{\text{agua}} = 3 \times 10^8 / \sqrt{(81)(1)} = 3.33 \times 10^7$$

El coeficiente de absorción α para la propagación de ondas electromagnéticas en el agua dulce se puede aproximar mediante la expresión [19, 20]:

$$\alpha = \sigma / 2 \sqrt{(\mu / \epsilon)}$$

Siendo:

α , coeficiente de absorción para la propagación de ondas electromagnéticas en agua dulce.

σ , es la conductividad eléctrica,

ϵ , es la permitividad del material

$$\mu = \mu_r \mu_0 \dots$$

μ , es la permeabilidad magnética

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$ es la permeabilidad magnética en el espacio libre,

Cuando se trata de agua dulce, el coeficiente de absorción permanece constante [20], tal y como se observa en la figura 11. En la figura 12, se muestra la velocidad de propagación de la onda. Como se logra apreciar en este último gráfico, la velocidad de propagación para el agua dulce, también permanece constante. Se puede concluir entonces que en las frecuencias altas, hay un mayor coeficiente de absorción (que permanece constante en agua dulce, pero su valor aumenta), por lo que es mejor trabajar a bajas frecuencias, mientras que a las frecuencias más altas se tiene una velocidad de propagación más elevada (cuyo valor aumenta y permanece constante al aumentar la frecuencia para el agua dulce).

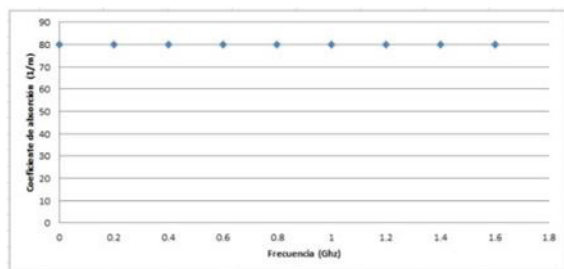


Figura 11. Coeficiente de absorción

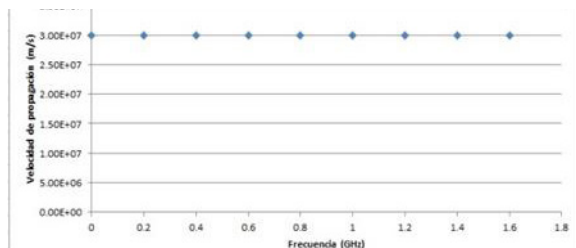


Figura 12. Velocidad de propagación

Por lo tanto, es importante contar con los 3 tipos de transmisores ya antes mencionados, a fin de obtener la mejor comunicación y calidad en cuanto al envío y recepción de datos proporcionados por el sensor.

6 RESULTADOS ESPERADOS

El producto final esperado es un sensor de molinete modificado que funcione de manera inalámbrica y que permita llevar a cabo el aforado de ríos mediante su acoplamiento al SA-1, sin necesidad de que el operador humano tenga contacto directo con el cuerpo de agua y que además proporcione las siguientes ventajas:

- a) Rapidez en las medidas,
- b) Comodidad de trabajo,
- c) Medidas independientes de la trayectoria,
- d) Operación a distancia,
- e) Precisión y consistencia en las medidas,
- f) Aprovechamientos de entornos existentes,
- g) Mediciones en ambientes de difícil acceso,

Para lograr las ventajas anteriores se deben cumplir los siguientes alcances planteados:

- a) Que el sensor cumpla las funciones para las que fue diseñado.
- b) Que las mediciones realizadas mediante el sensor modificado sean precisas y consistentes.

7 CONCLUSIONES

El muestreo y aforado de ríos es una tarea bastante compleja sobre todo cuando estos son de gran tamaño y presentan altos grados de contaminación, por lo que el contar con una plataforma acuática robotizada para estos fines es de gran utilidad. Para lograr el objetivo anterior, se requiere de la modificación de un sensor de molinete convencional para que transmita las señales de manera inalámbrica.

De acuerdo con el análisis realizado, se considera factible desarrollar el sensor de molinete inalámbrico, partiendo de un sensor de molinete universal, y empleando la radiofrecuencia como medio de comunicación y con las características planteadas. De igual forma se tiene la ventaja de que la profundidad de operación del sensor no es mucha, en comparación con las distancias que se suelen manejar en las redes inalámbricas bajo el agua (alrededor de 40 m) y en las cuales, también se ha usado con éxito la radiofrecuencia.

REFERENCIAS

1. Carlos Eduardo Díaz Gutiérrez, José Armando Segovia de los Ríos, Mayra Patricia Garduño Gaffare, Samurel Tejada Vega. Medición de Caudales Mediante la implementación de un vehículo acuático teleoperado. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* volumen 28. No. 1, febrero de 2012. 73-91 pp.
2. C.E. Díaz-Gutiérrez, M.P. Garduño-Gaffare, J.A. Segovia-De los Ríos, J.S. Benítez-Read. Design of a Teleoperated Aquatic Vehicle for the Gauging of Water Bodies. *Journal of Applied Research and Technology*. Vol. 9. No. 3. December 2011. 394-418 pp.
3. Davide Anguita, Davide Brizzolara, Giancarlo Parodi. Prospects and Problems of optical diffuse wireless communication for underwater wireless sensor networks (UWSNs): application. Chapter 1. Ed. InTech, 2010. 1-14 pp.
4. Lanbo Liu, Shengli Zhou and Jun-Hong Cui. Prospects and problems of wireless communication for underwater sensor networks. Special Issue on underwater sensor networks Wiley WCMC. 2010. 1-24 pp.
5. Lanbo, L., Shengli, Z., Jung-Hong, C. Prospects and problems of wireless communication for underwater sensor networks. *Wirel. Commun. Mob. Comput.* 2008. 255-260 pp.
6. Jaruwatanadilok, S. Underwater wireless optical communication channel modeling and performance evaluation using vector radiative transfer theory. *Select Areas in Communications, IEEE Journal*, 2008. 1620-1627 pp.
7. Kedar, D. Underwater sensor network using optical wireless communication. SPIE Newsroom-The International Society for Optical Engineering. (2007).
8. Feng Lu, Sammy Lee, J. M. C. S. Low cost medium range optical underwater modem. *WUWNET* 2009. Vol. 1. 928-934 pp.
9. Hanson, F. y Radic, S. High bandwidth underwater optical communication. *Applied optics*. 2008. 277-283 pp.
10. J. H. Goh, A. Shaw, A. I. Al- Shamma'a. Underwater Wireless communication System. *Sensors & their applications. Journal of physics: Conference Series* 178. 2009. 1-6 pp.
11. Wells, I., Xianhui, C., Gordon, D. Frame design for a prototype underwater RF electromagnetic communication sensor system. *Journal of Ad Hoc networks*. Elsevier. 2012. 317-327 pp.
12. W. Au, P. Nachtigall and J. Pawloski. Acoustic effects of the ATOC signal (75 Hz, 195 dB) on Dolphins and Whales. *J. Acoustical Society of America*. Vol. 101, pp. 2973-2977. May 1977.
13. M. Rodhes. Electromagnetic propagation in sea water and its value in military systems. *Proc. 2nd SEAS DTC technical conf.*, 2007.
14. Partan, J., Kurose, J., Neil, B. A Survey of Practical Issues in Underwater Networks. *WUWNet'06*, September 25, 2006, Los Angeles, California, USA.
15. Kelley B., Manoj, K., Jamshidi M. Broadband RF communications in underwater environments using multi-carrier modulation. *IEEE transactions*, 2009.
16. Hoferitza, M. Radio waves: how RF technology can be used to form a wireless network underwater. Technical article. *Austriamicrosystems*.
17. OTT. Instrucciones de manejo molinete universal C31. Kempton, Alemania.
18. OTT. Manual de instrucciones contador OTT Z400.
19. C. A. Balanis, *Advanced Engineering Electromagnetics*. John Wiley & Sons, New York, NY, 1989.
20. Sendra C. S. Comunicaciones inalámbricas subacuáticas a 2.4 GHz para la transmisión de datos con altas tasas de transferencia. Tesis para obtener el grado de Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación, Sonido e Imagen. Universidad Politécnica de Valencia. Gandia, 2011.

Acerca de los autores



El Dr. CARLOS EDUARDO DÍAZ GUTIÉRREZ es originario de la ciudad de Toluca. Estudió la carrera de Ingeniería Mecánica y la Maestría en Ingeniería en Sistemas de Manufactura en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México. El Doctorado lo realizó en el Instituto Tecnológico de Toluca y en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. Actualmente es Profesor de Tiempo Completo en la Universidad Tecnológica del Valle de Toluca. El Dr. Díaz ha publicado artículos en revistas de arbitraje nacional e internacional como la Revista Internacional de Contaminación Ambiental, la Revista Investigación e Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, el Journal of Applied Research and Technology e Industrial Robots. También ha participado como ponente en congresos nacionales e internacionales, como el "Electro de Chihuahua" o el Congreso Internacional de Cómputo y Optimización (CICOS 2015), exponiendo diversos resultados de sus trabajos de investigación. De igual forma, el Dr. Díaz ha dictado algunas conferencias en institutos y Universidades de reconocido prestigio y es miembro del Sistema Nacional de Investigadores.



Alma Barón Guadarrama es Ingeniera en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Toluca y Maestra en Ciencias de la Educación por la Universidad del Valle de México. Profesor de Tiempo Completo en la Universidad Tecnológica del Valle de Toluca en la Carrera de Mecatrónica. La M. Barón ha realizado diversos informes técnicos y manuales para diversas empresas del sector industrial. De igual forma es miembro activo del Cuerpo Académico de Mecatrónica de la Universidad Tecnológica del Valle de Toluca.



Felipe de Jesús García Gutiérrez, es Ingeniero en electrónica y comunicaciones y Maestro en Educación por la Universidad del Valle de México. El M.en E. García ha realizado estancias de investigación en Quebec, Canadá, desarrollando sistemas de inspección visual. A su vez, ha desarrollado diversos informes técnicos para diversas empresas. Ha sido docente en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México y de la Universidad del Valle de México, en las carreras de Ingeniería en Computación e Ingeniería en Mecatrónica. Forma parte del Cuerpo Académico de Mecatrónica de la Universidad Tecnológica del Valle de Toluca.