

Red de Boyas Oceanográficas para Observación y Alerta de Parámetros Medioambientales

V. Araña, F. Cabrera, P. Dorta, E. Jiménez, I. Villar,
A. Déniz, A. Miranda, J. Berges
Grupo de Ingeniería de Comunicaciones (GIC)
Departamento de Señales y Comunicaciones. ULPGC
Las Palmas de Gran Canaria. España
varana@dsc.ulpgc.es

C. Barrera, O. Llinás, M. Villagarcía
Instituto Canario de Ciencias Marinas (ICCM)
Gobierno de Canarias
Telde. España
carlos@iccm.rcanaria.es

Resumen—En este trabajo se presenta la RED ACOMAR (Red Experimental De Alerta, Control y Observación MARítima de Canarias) y se comentan las novedades más destacadas que incorpora frente a redes de similares características y los problemas que conlleva el desarrollo y mantenimiento de una red de este tipo expuesta a un medio tan hostil como es el mar. Se detallan las modificaciones realizadas en el diseño de la boya con el objeto de facilitar la instalación y el mantenimiento de los diferentes elementos que la componen. Además, se describe el sensor de hidrocarburos de bajo coste diseñado para la detección de los niveles umbrales de contaminación y su comportamiento ante hidrocarburos de diferente naturaleza.

Palabras clave: boyas oceanográficas, observación, control, alerta, parámetros medioambientales, mantenimiento, contaminación, hidrocarburos

I. INTRODUCCIÓN

Las áreas costeras de los océanos mundiales son extremadamente importantes tanto por los recursos económicos y comunidades ecológicas que contienen como por ser áreas de una gran concentración de actividades humanas. Es aquí donde probablemente más que en ningún otro lugar cuando los componentes principales del ecosistema global y las actividades humanas entran en serio conflicto con el mantenimiento de la calidad medioambiental. A la zona costera llegan restos de la agricultura que se desarrolla tierra adentro, de la industria y desechos urbanos. Los desastres naturales en las regiones costeras (tormentas, inundaciones) producen un gran impacto en la vida humana y el bienestar. El área costera es una zona de convergencia de actividades en centros urbanos, como el movimiento de barcos en puertos grandes y los desechos generados por causas domésticas e industrias principales.

Los esfuerzos internacionales que se realizan actualmente están encaminados a enfocar la atención en la necesidad de obtener una gestión sostenible de los recursos costeros y en preservar la biodiversidad marina. Organizaciones como el IOC (Intergovernmental Oceanographic Commission) y el WMO (World Meteorological Organization) están poniendo en marcha programas como GOOS (Global Ocean Observing System), CLIVAR (Climate Variability and Predictability Programme), SOLAS (Surface Ocean-Lower Atmosphere Study) que han encaminado sus esfuerzos a nivel global para

lograr el entendimiento necesario para mantener equilibrio entre desarrollo y calidad medioambiental.

GOOS [1] es un programa internacional patrocinado por las Naciones Unidas y el Consejo Internacional de las Uniones Científicas; EuroGOOS promueve la oceanografía operacional haciendo que GOOS sea conocido en Europa y desarrollando la participación europea en el programa GOOS a escala global. EuroGOOS ha trabajado con otras Agencias Europeas para demostrar que la observación oceánica operacional así como el procesamiento de datos pueden ayudar a resolver muchos problemas que ya han sido identificados en sectores tales como la seguridad en el mar, navegación, gestión de calidad de aguas, producción de hidrocarburos y gas natural y gestión de los recursos vivos del mar. De acuerdo con esta política, en uno de sus últimas publicaciones se afirma que los servicios operacionales deben estar basados en instrumentos y transmisión de datos y sistemas de modelización que midan y procesen gran volumen de datos con el mínimo esfuerzo humano. También se afirma que es necesario el aumento en el número de boyas que puedan ser equipadas con más sensores oceanográficos que transmitan en tiempo real. Más aún, EuroGOOS dentro del plan estratégico que ha diseñado para la década 1996-2006, declara que la oceanografía operacional representa una gran oportunidad para la inversión y el desarrollo, lo que promete producir unos dividendos económicos muy importantes para Europa, produciendo amplios beneficios en la gestión del medio, la protección de la salud pública y la seguridad así como ayudando en la predicción del cambio climático.

En el aspecto más concreto de control de calidad de playas puede mencionarse como ejemplo el sistema puesto en marcha por once universidades californianas, el SCCOOS (Southern California Coastal Ocean Observing System), conscientes de la importancia que tiene la calidad de sus playas en su industria turística.

En cuanto a esfuerzos en España, La Red de Alerta y Observación del Medio Marino en las Aguas Costeras Españolas o proyecto RAYO es una iniciativa del Dpto. de Clima Marítimo de Puertos del Estado, cuyo objetivo es complementar la cobertura espacio-temporal de las redes de medida actualmente operativas y establecer un sistema de transferencia de la información generada ágil y automatizado a las Autoridades Portuarias, Sociedad de Salvamento Marítimo

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos de investigación I+D TEC2004-06915-C03 y TIC-2002-04569-C02-02.

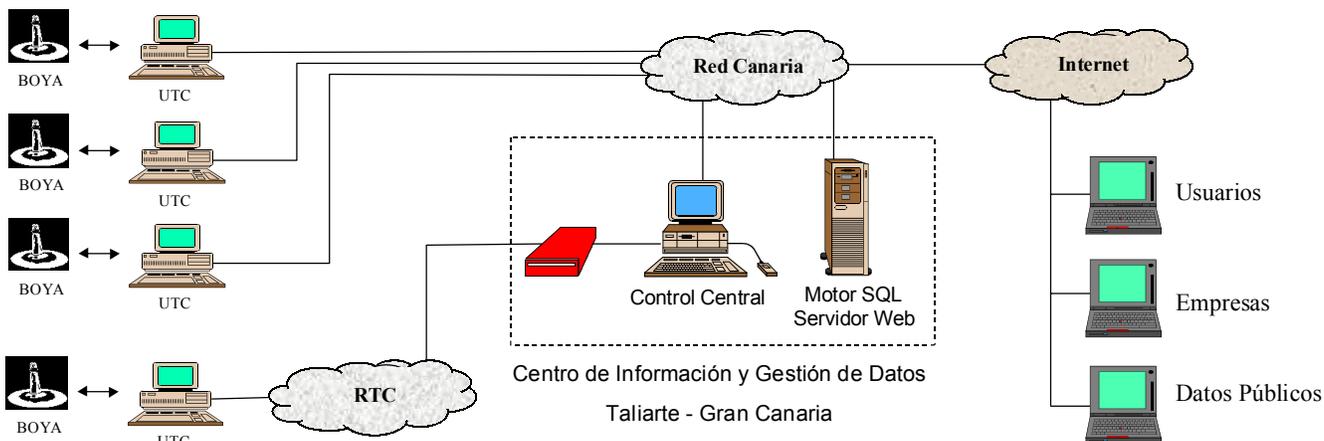


Figura 1. Esquema simplificado de la RED ACOMAR.

y restantes usuarios potenciales. Entre 1996 y 1998 se instalaron un total de 9 boyas oceanográficas complejas, 3 boyas oceanográficas simples (2 en Gran Canaria) y 3 radares en costa para medida de oleaje direccional. Los parámetros que se reciben cada hora de las boyas vía INMARSAT-C comprenden datos meteorológicos (velocidad y dirección del viento, temperatura y presión atmosférica), oleaje (altura de ola y dirección), corrientes (superficial y en profundidad) y temperatura y salinidad superficiales y en profundidad.

Todas estas redes están expuestas a un deterioro importante debido a las condiciones extremas que presenta el mar. Por ello, un aspecto fundamental en todas ellas es el mantenimiento que debe realizarse sobre los elementos integrados en la boya. Conocer a fondo cada uno de dichos elementos facilita el mantenimiento y reduce los costes derivados del mismo.

La RED ACOMAR nace para dar respuesta a todas estas inquietudes dentro de la directrices del programa GOOS. A continuación se explica resumidamente las partes que la componen y aquellos aspectos más relevantes de la misma. Se hace un especial hincapié en las modificaciones realizadas en la boya con el objeto de facilitar y reducir costes en la fase de mantenimiento. Por último, como muestra de los sensores más característicos que componen la boya, se describe el sensor de hidrocarburos de bajo coste desarrollado y evaluado bajo diferentes contaminantes y concentraciones.

II. LA RED ACOMAR. RED EXPERIMENTAL DE ALERTA, CONTROL Y OBSERVACIÓN MARINA DE CANARIAS.

Esta red es un sistema experimental y complejo de adquisición de datos de acuerdo con las directrices del programa GOOS (EuroGOOS en Europa). Esta red permite la realización de consultas externas a usuarios autorizados, así como notificar alarmas cuando los valores están fuera de los márgenes permitidos a través de SMS (Short Message System) o e-mail. Las diferentes partes que componen la red y que han sido diseñadas y desarrolladas son los sensores, boyas, red de transporte, unidades de control y base de datos [2,3]. Las tres partes principales que la componen, según se muestra en la

figura 1, son las boyas, UTCs (Unidad Terrena de Control) y CIGD (Centro de Información y Gestión de datos).

La boya (figura 2) posee un sistema de alimentación que contiene dos baterías, un aerogenerador y tres paneles solares. La *unidad de alimentación* controla el nivel de tensión, las sobrecargas producidas por excesivo viento o sol, las alarmas

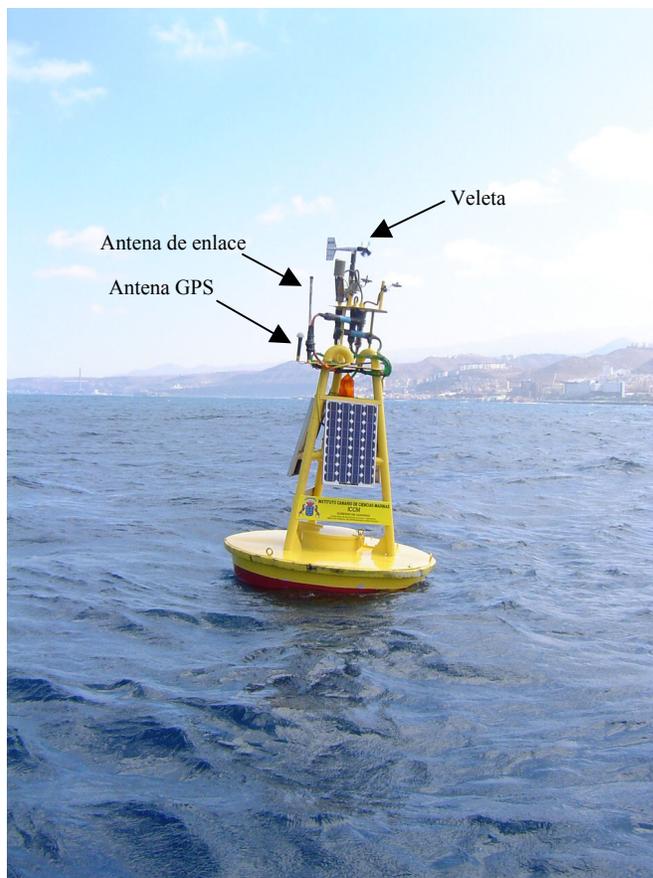


Figura 2. Primer diseño de boya basado en el modelo WHOI. En la parte superior izquierda puede observarse el GPS y la antena del enlace boya-UTC. En la parte superior sobresale la veleta junto al resto de los sensores atmosféricos.

causadas por defectos en las baterías o estabilizadores y la interfaz serie con el *control central de boya*.

El *control central de boya* está basado en la familia del microcontrolador 68HC11 cuyas funciones básicas son controlar el proceso de adquisición de datos, la interfaz radio con la UTC, las rutinas de comprobación del estado de la boya, el GPS (Global Positioning System) y los cambios de configuración. La *unidad Tx/Rx* está compuesta por un transceptor sintetizado a 433 MHz. Con el objeto de facilitar la incorporación de nuevos sensores y estandarizar la interfaz *control central de boya-sensores*, se ha usado un microcontrolador en cada uno de los sensores. Sus funciones básicas son controlar: la interfaz con el *control central de boya*, el intervalo del tiempo de adquisición, el tiempo de calentamiento de los sensores, los parámetros del convertidor A/D y el procesado de datos (si se requiere reducir el volumen de datos a transmitir). Todos los subsistemas están perfectamente aislados y próximos a los sensores. Actualmente, las boyas poseen sensores tales como: dirección y velocidad del viento, temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar, presión, compás, temperatura del agua, conductividad, oxígeno disuelto, pH, turbidez e hidrocarburos.

Las UTCs conectan las boyas al *Centro de Información y Gestión de Datos* (CIGD). Además, supervisan el periodo de instalación y el mantenimiento de la boya en modo local. El *Centro de Información y Gestión de Datos* está compuesto por el *Control Central* (CC) y las Aplicaciones del Servidor de la Base de Datos (ASBD). El CC permite la configuración y el mantenimiento de la red y controla la transferencia de datos a la *Aplicación del Servidor de la Base de Datos* y su acceso. La *Aplicación del Servidor de la Base de Datos* ha sido desarrollado usando MySQL [4] sobre Linux. La base de datos es accesible mediante una aplicación cliente desarrollada en Delphi [5].

Los ficheros de datos son recibidos por el CC mediante herramientas desarrolladas usando el protocolo FTP (File Transfer Protocol) que periódicamente conectan cada UTC para recoger los datos disponibles. Los ficheros recibidos están en formato ASCII y son enviados a la base de datos para un uso posterior. Puesto que el rango de valores de salida de cada sensor es conocido, la información es filtrada para evitar posibles errores. A continuación, en el siguiente nivel, los datos son almacenados con la magnitud correspondiente. En ocasiones, ciertas combinaciones de ellos, llamados datos de sensores virtuales, proporcionan nuevas magnitudes. Basados en esta información, algunas alarmas fueron programadas para que ciertos usuarios recibieran puntual información, vía SMS, de aquellas anomalías que pudieran producirse. La información es frecuentemente actualizada usando un servidor web de código abierto.

III. MEJORAS DEL DISEÑO DE LA BOYA. OPTIMIZACIÓN DE LA FASE DE INTEGRACIÓN Y MANTENIMIENTO

Uno de los aspectos a tener en cuenta en una red que trabaja en el mar es la fuerte degradación que sufren todos aquellos elementos que están expuestos a su corrosiva acción. Como muestra de la hostilidad que presenta este medio, puede observarse en la figura 3 el aspecto que tienen los sensores



Figura 3. Aspecto que presentan los sensores después de 1 mes de exposición al mar. De izquierda a derecha se encuentra el sensor de temperatura y conductividad.

oceanográficos situados en la parte inferior de la boya después de un mes de anclaje. Son numerosos los ecosistemas que pueden llegar a formarse alrededor de los sensores. Por ello, la detección de la degradación de un parámetro, así como la facilidad del posterior mantenimiento que puede requerir la boya, son aspectos importantes y que deben ser tenidos en cuenta en el diseño de una boya. La limpieza puede ser efectuada en el lugar de ubicación de la boya pero la calibración y ajuste deben ser efectuados en tierra, así como las posibles reparaciones que requiera.

En la primera boya fabricada se utilizó un diseño basado en el modelo WHOI [6] ampliamente utilizado en las redes de boyas oceanográficas. En una primera fase se pretendía asegurar la flotabilidad y estabilidad de la misma, sin valorar otro tipo de consideraciones. Sin embargo, se observaba que este diseño presentaba una complejidad innecesaria y que encarecía el proceso de fabricación. Por ello, se aborda el diseño de un segundo prototipo con el objeto de simplificar el proceso de fabricación y que permitiese un sensible abaratamiento de la misma. Además, se pretende mejorar los problemas de estabilidad y facilidad de anclaje derivados del sistema de contrapesado.

El segundo diseño se muestra en la figura 4 y es fácil observar la sencillez que presenta su forma cilíndrica. Además, el contrapesado es instalado posteriormente y adherido a la propia boya mediante un sistema de sujeción por bridas metálicas. Sin embargo, aunque se mejora la estabilidad y



Figura 4. Segundo diseño de boya de forma cilíndrica. Los paneles solares son más alargados manteniéndose la superficie útil del primer diseño. Además, se observa el montaje sobre los andamios de instalación y mantenimiento.

facilita el anclaje, la altura de la boya sigue requiriendo de un sistema de sujeción, mostrado en la misma figura, que dificulta la fase de instalación de los diferentes elementos, así como la realización de posteriores ajustes y mantenimiento de la misma. En muchas operaciones se hacía imprescindible la presencia de más de un operario para ayudar en dichas labores. En un intento de evitar estos inconvenientes, y aprovechando la estructura cilíndrica del cuerpo principal de la boya, se modifican los sistemas de sujeción de los compartimentos interiores para permitir trabajar de forma horizontal, gracias a un soporte que se ajusta a dicha estructura según se muestra en la figura 5. Este soporte nos permite girar sobre sí misma la boya gracias a las ruedas que están en contacto con ella y así, trabajar mucho más cómodos en la instalación de los diferentes elementos. Además, la ubicación de las ruedas inferiores, en contacto con el suelo, proporcionan una palanca suficientemente grande que permite orientar a voluntad la boya y con ello, que una sola persona pueda realizar todas las labores de integración y mantenimiento.

IV. SENSOR DE HIDROCARBUROS DE BAJO COSTE. INTEGRACIÓN Y CARACTERIZACIÓN.

El último sensor integrado en las boyas de la red ACOMAR ha sido el de hidrocarburos (HC). Este sensor está destinado a

la detección de presencia/ausencia de HC líquidos. Más concretamente, la aplicación que se le pretende dar es la detección de dichos hidrocarburos líquidos en agua de mar [7].

Físicamente, el detector está formado por un polímero con capacidad de variar su resistencia cuando detecta la presencia de hidrocarburo (figura 6). Dicho polímero está constituido por una parte exterior de color azul formada por un recubrimiento del tipo silicona y otra interior, cuya naturaleza es un negro de humo y que también está embebido en un tipo de silicona parecida a la anterior. Ambas muestran una naturaleza elástica, propio de la banda del enlace Si-O característico de las siliconas. Otras características del polímero se muestran en la Tabla I.

TABLA I
CARACTERÍSTICAS DEL POLÍMERO

Temperatura de operación	-20°C a 50°C
Dimensiones	diámetro: 1.8 cm.
Resistencia Nominal	(no presencia de HC), 1-3 KOhm/pie (presencia de HC), 30-200KOhms/pie

La respuestas del polímero en presencia de hidrocarburo es de tipo saturante, es decir, tiende hacia el valor de máxima resistencia de forma exponencial. El tiempo de respuesta depende del tipo de carburante, por lo que a partir del mismo



Figura 5. Boya basada en el segundo diseño con el armazón utilizado para el montaje y mantenimiento. Resulta mucho más seguro para el operario y la ubicación de las ruedas permite a un sólo operario mover toda la estructura con facilidad.



Figura 6. Detalle de la membrana utilizada en el sensor de hidrocarburos y unión al conector exterior.

podemos estimar su naturaleza. El aspecto que presenta el sensor una vez integrado puede observarse en la figura 7.

Para evaluar el comportamiento del sensor se han realizado pruebas con hidrocarburos de diferente naturaleza, desde muy volátiles (tipo gasolina de mechero, gasoil o gasolina de automóvil) hasta muy pesados (tipo crudo pesado, aceites), y se ha observado el tiempo de reacción para cada uno de ellos, permitiendo así calibrar el sensor y poder determinar de qué hidrocarburo se trata. De la figura 8 se desprende que cuanto mayor es la volatilidad del HC, menor es el tiempo de respuesta del sensor, siendo en el mejor de los casos, entre 3-4 minutos para gasolina de mechero y 6-7 minutos para gasolina de automóvil. En el caso de los HC más pesados, por ejemplo lubricante, el tiempo de reacción aumenta hasta los 60-70 minutos e incluso, en algunas ocasiones, el sensor ha llegado a saturarse sin poder llevar a cabo la detección de la sustancia de interés, como es el caso de aceite crudo.



Figura 7. Aspecto del sensor una vez integrado. El cilindro plástico inferior contiene la parte acondicionadora de la señal. En la parte superior se conectaría la membrana.

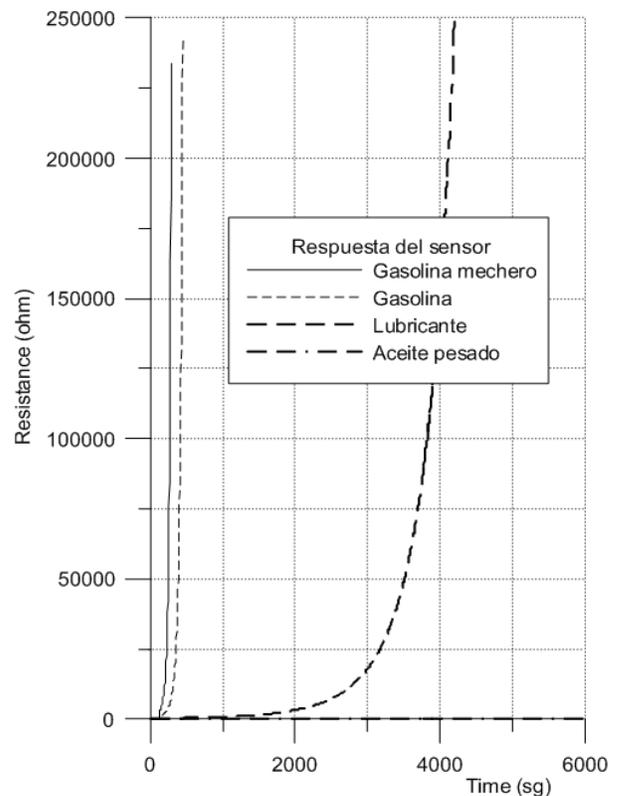


Figura 8. Gráfica que muestra la respuesta del sensor de hidrocarburos para diferentes productos contaminantes.

AGRADECIMIENTO

Al personal de los talleres del ICCM por el esmero empleado en la fabricación de los diferentes prototipos de boya, así como a D. Juan Domingo Santana por la ayuda prestada en el aislamiento de los diferentes elementos que componen la boya.

REFERENCIAS

- [1] "The Global Observing System. Prospectus 1998". GOOS Publication N° 42. UNESCO. IOC 1998, "The GOOS 1998" IOC, Paris, 168 pp.
- [2] V. Araña, R. Rodríguez, I. Villar, E. Holgado, R. Aguirre, J. Santana, F. Cabrera, E. Jiménez, P. Dorta, O. Llinás, "Red Experimental de Alerta y Control Marino de Canarias (RED ACOMAR): Módulo de Adquisición de Datos, Control de Boya y Unidad Terrena", Congreso URSI, incluido en sesión V-2, Madrid 2001.
- [3] F. Cabrera, A. Déniz, J. Berges, A. Miranda, V. Araña, E. Jiménez, P. Dorta, O. Llinás, "Red Experimental de Alerta y Control Marino de Canarias (RED ACOMAR): Módulo de Control Central y Base de Datos", Congreso URSI, pp. 283-284, Madrid 2001.
- [4] "MySQL Reference Manual" Tcx AB, Detron HB, MySQL Finland AB, 2001.
- [5] T. Blue, J. Caster, G. Lief, L. Scott, "Delphi Database Development", M&T Books, 1996.
- [6] Berteaux, H.O. "Coastal and oceanic byooy engineering". Woods Hole Oceanographic Institute, MA, USA. 1991.
- [7] Barton, A.F.M. "Applications of solubility parameters and other cohesion parameters in polymer science and technology". Journal of Pure and Applied Chemistry, cap. 57, pp. 905-912. 1985.