



DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS DE BAJO COSTO PARA
MEDICIONES DE TEMPERATURA EN EL OCÉANO

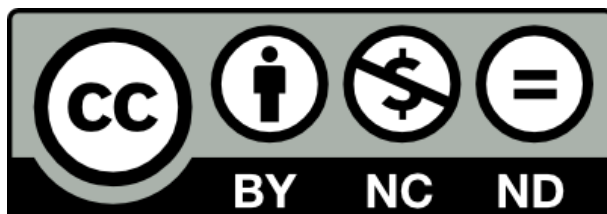
PRESENTADO POR:
CRISTIAN MARIANO HINCAPIÉ LOPERA
JADER YAMID OSORIO TABARES

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
Ingeniero Oceanográfico**

ASESOR:
VLADIMIR G. TORO VALENCIA

CO-ASESOR:
LENNIN RAFAEL FLOREZ-LEIVA

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
PREGRADO DE INGENIERIA OCEANOGRÁFICA
TURBO – ANTIOQUIA
2019



AGRADECIMIENTOS

Agradecemos principalmente a Dios y a nuestras familias (Hincapié Lopera y Osorio Tabares) por su apoyo incondicional en esta etapa de nuestras vidas, gracias ayudarnos a salir adelante.

A nuestros asesores Vladimir G. Toro y Lennin Florez-Leiva quienes, con su conocimiento y su guía, fueron una pieza clave para que pudiéramos desarrollar cada etapa del trabajo. Gracias por brindarnos su asesoría, tiempo, motivación, amistad y sobre todo por el apoyo económico que lograron conseguirnos para llevar a cabo este trabajo de grado.

A la seccional Urabá, sede Ciencias del Mar, por brindarnos los espacios necesarios para trabajar. Al proyecto de erosión costera Urabá, por permitir desarrollar nuestro trabajo de grado en él obteniendo los materiales necesarios para su desarrollo.

A Cesar Augusto Jaramillo Gutiérrez y Alexis David Quintero, por ayudarnos a mejorar el consumo energético, formas de transmisión y optimización de programación, permitiendo hacer un desarrollo eficiente y de gran calidad para trabajos relacionados con el océano.

A los maestros que compartieron con nosotros todos sus conocimientos a lo largo de la carrera, los cuales fueron cruciales para formarnos como ingenieros y personas. A Alfredo Jaramillo, Rossalyn Hoyos, Catalina Valencia, Dina Gómez Rave.

A todos los estudiantes de la Universidad de Antioquia quienes nos apoyaron, creyeron en nosotros y brindaron sus conocimientos para ayudarnos a salir adelante. A Lucero Campillo, Andrés Rojas, Annie Robledo, Wilmar Mosquera y todos los otros compañeros de Ingeniería Oceanográfica y Oceanografía.

Así, queremos mostrar nuestra gratitud a todas aquellas personas que estuvieron presentes en la realización de esta meta, de este sueño que es tan importante para nosotros, agradecer todas sus ayudas, sus palabras motivadoras, sus conocimientos, sus consejos y su dedicación.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	6
1 INTRODUCCIÓN	7
2 OBJETIVOS	9
2.1 Objetivo general	9
2.2 Objetivos específicos	9
3 MARCO TEÓRICO	10
4 METODOLOGÍA	12
4.1 Determinación de materiales	12
4.2 Proceso de Construcción de la Boya:	12
4.3 Descripción de la boya, anclaje y su funcionamiento:	14
4.3.1 Arduino MEGA	15
4.3.2 Adquisición de datos.	15
4.3.3 Acondicionamiento de la información	15
4.3.4 MicroSD	15
4.3.5 Envío GPRS	15
4.3.6 Dip-Switch	16
4.4 Software.	16
4.5 Pruebas ‘en seco’ laboratorio	17
4.6 Diseño y construcción del sistema de anclaje (unión al fondo marino)	18
4.7 Autonomía de la Boya (1 Batería 12v 9Ah)	20
5 RESULTADOS Y ANÁLISIS	21
5.1 pruebas en seco	21
5.2 pruebas en campo	24
<i>Arboletes:</i>	24
<i>Corregimiento de Uveros en San Juan de Urabá</i>	26
Martina-Turbo 1	28
Martina-Turbo 2	29
6 Conclusiones	31
7 Referencias Bibliográficas	32

Lista de figuras

Figura 1. Esquema de la conexión de los sensores de la cadena y la tarjeta Arduino.	13
Figura 2. Esquema de periféricos y unidad de medición, procesamiento y envío de datos.	14
Figura 3. Diagrama de funcionamiento de la cadena de sensores de temperatura.	14
Figura 4. Diagrama de flujo del sistema diseñado con el modo de ahorro de energía.	17
Figura 5. Prueba en “seco” con un CTD CastAway (izquierda) el prototipo y su cadena de sensores. Experimento realizado en columna de agua contenida en tubería PVC a temperatura semi controlada (derecha). Fuente (CTD): fondriest.com/ysi-castaway-ctd.htm	18
Figura 6. Esquemas de configuraciones y disposiciones de anclajes y pesos muertos. Fuente: Sandoval-Orozco, (2016).	18
Figura 7. Esquema básico de disposición del sistema de anclaje a la boya.	19
Figura 8 Esquema básico del lastre (peso muerto) utilizado.	19
Figura 9. Esquema básico de diseño del anclaje usado en playa la Martina.	20
Figura 10. Gráfica de temperatura medida durante la prueba en “seco”. Servidor www.thingspeak.com	22
Figura 11. Datos de temperatura CTD Castaway (línea negra) vs cadena de sensores a diferentes profundidades de la columna de agua. Temperatura inicial 30° C.	22
Figura 12. Datos de temperatura CTD Castaway (línea negra) vs cadena de sensores a diferentes profundidades de la columna de agua. Temperatura inicial 45° C.	23
Figura 13. Datos de temperatura CTD Castaway (línea negra) vs cadena de sensores a diferentes profundidades de la columna de agua. Temperatura inicial 60°C.	23
Figura 14. Datos de temperatura CTD Castaway vs cadena de sensores, en columna de agua a 60 grados B.	23
Figura 15. Sitio de fondeo de la boya Octopus en el municipio de Arboletes (8°52'41.99"N, 76°26'30.31"O). Fuente: Google Earth	24
Figura 16. Variación temporal de la temperatura municipio Arboletes. (a) Variaciones temporales de cada uno de los sensores de la cadena. (b) Perfiles de temperatura en función de tiempo.	25
Figura 17. Registro del valor del voltaje de la boya Octopus en función del tiempo. Campaña municipio de Arboletes.	26
Figura 18. Sitio de fondeo de la boya Octopus en el corregimiento de Uveros (8°45'38.50"N, 76°34'39.40"O). Fuente: Google Earth	26
Figura 19. Variación temporal de la temperatura corregimiento de Uveros. (a) Variaciones temporales de cada uno de los sensores de la cadena. (b) Perfiles de temperatura en función de tiempo.	27
Figura 20. Registro del valor del voltaje de la boya Octopus en función del tiempo. Campaña realizada en Uveros.	28
Figura 21. Sitio de fondeo de la boya Octopus playa la Martina (8°10'31.94"N, 76°45'35.37"O). Fuente: Google Earth.	28
Figura 22. (A) Electrónica luego de ser vandalizada la boya (B) Nuevo diseño de la electrónica.	29
Figura 23. Variación temporal de la temperatura en playa La Martina. (a) Variaciones temporales de cada uno de los sensores de la cadena. (b) Perfiles de temperatura en función de tiempo.	30

Lista de tablas

Tabla 1. Configuración Dip-Switch para tiempo de muestreo.....	17
Tabla 2. Ficha técnica boya Octopus. Fuente propia.....	22

RESUMEN

Actualmente las necesidades de medición de parámetros físicos en el campo de la oceanografía exigen mayores retos. Esto se debe en parte a que cada vez es más necesario realizar mediciones de alta frecuencia espacial y temporal. Sin embargo, los altos costos han no han permitido hasta ahora realizar monitoreos adecuados a zonas marinas biogeográficas de gran importancia. Con base en esto, este trabajo propone el diseño y construcción de un prototipo de bajo costo que permitan monitorear variables físicas del océano de manera telemétrica. Se realizó el diseño de una boya superficial con capacidad de medir la temperatura a diferentes niveles de la masa de agua y transmitir sus datos por medio de la red GPRS (General Packet Radio Service). Con la boya fueron realizadas mediciones en “seco”, y en varios sitios del golfo de Urabá (Caribe colombiano). Los resultados obtenidos muestran mediciones de los valores de temperatura a lo largo de la columna de agua, con temperaturas máximas de 32° y mínimas de 24° en Arboletes y para el caso de Uveros máximas de 30° y mínimas de 26°. Es de notar que las mediciones *in situ* permitieron comprobó la eficacia y la robustez del prototipo en condiciones adversas del océano.

Palabras claves: boya oceanográfica, prototipo, anclaje somero, temperatura del mar, golfo de Urabá.

1 INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia de la humanidad, el conocimiento de los fenómenos físicos del mar ha estado limitado por la tecnología que ha tenido cada periodo histórico. Las diversas culturas a través del tiempo han fomentado la exploración y medición en el océano, incentivando el desarrollo de herramientas que facilitan dicha labor. Por ejemplo, los fenicios, fueron pioneros en realizar mediciones en el mar Mediterráneo (año 1200 A.C), el mar Rojo y el Océano Índico. Después, el Capitán James Cook en el siglo XVIII, fue uno de los primeros navegantes en surcar los océanos con el objetivo primordial de conocer un poco más sobre algunos fenómenos físicos.

Luego Mathew Fontaine en 1855, hizo una importante contribución al estudio de los océanos a gran escala, con la publicación del libro la geografía del mar. Más tarde, en el siglo XIX se realizó la primera expedición en los océanos denominada "Challenger" con el propósito de estudiar el medio ambiente marino. Esta expedición permitió un acercamiento al conocimiento de la oceanografía y se evidenció la necesidad de crear nuevos y mejores instrumentos de medición oceanográficos, tanto para los buques como para sitios específicos del océano.

Ya en el siglo XX, y debido a los diversos avances tecnológicos, se comenzaron a diseñar, construir y emplear equipos oceanográficos para mediciones *in situ*. Uno de ellos son las boyas oceanográficas, las cuales permiten monitorear diversas variables físicas y almacenar/enviar datos durante un periodo de tiempo determinado (Liera *et al.*, 2016). En el caso de Colombia, el pionero en exploración y mediciones oceanográficas ha sido el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH) de la Dirección General Marítima (DIMAR). El CIOH ha ejercido labores desde 1969, y han realizado del orden de 41 cruceros oceanográficos tanto en aguas nacionales como internacionales (Soltau, 2014). En algunos de estos cruceros se han fondeado boyas oceanográficas en el océano Pacífico y en mar Caribe. Las boyas fondeadas han tenido como objetivo monitorear variables océano-atmosféricas, Aunque han sido ubicadas, relativamente, cerca del litoral colombiano, las boyas actuales tienen la capacidad de medir parámetros integrales del oleaje, y variables fisicoquímicas superficiales del océano (Iriarte, 2017). Sin embargo, muy pocas de estas boyas realizan monitoreos en toda la capa de agua sobre la cual están ubicadas.

Las mediciones de parámetros fisicoquímicos en la capa de agua son fundamentales y necesarias en estudios hidrodinámicos y de calidad de aguas. Así como en el seguimiento del blanqueamiento de corales (Witze, 2015). Normalmente, las mediciones de estos parámetros se realizan de manera lagrangiana con un CTD (equipo de medición que mide la Conductividad, Temperatura y Presión). A nivel lagrangiano el desarrollo de boyas de deriva ha permitido monitorear variables como corrientes superficiales y algunos parámetros fisicoquímicos. En el mercado actual existen boyas de deriva comerciales de casas fabricantes como metOcean (<http://www.metocean.co.nz/>) y Pacific Gyre (<https://www.pacificgyre.com/>). El costo promedio de las boyas que ofrecen están empresas es del orden de US 6000. Con el fin de reducir costos de estas boyas, Gómez *et al.* (2013) propusieron el diseño de un derivador superficial que permitió medir la temperatura superficial y calcular el valor de la corriente en superficie.

Mediciones eulerianas de estos, y otros parámetros, se realizan por medio de anclajes, algunos instalados a partir de varios metros debajo de la superficie por seguridad (en zonas someras hasta 30 m y en zonas profundas por debajo de 300 m). En zonas poco profundas, de manera

particular en zonas coralinas, es ideal monitorear de manera permanente las condiciones fisicoquímicas, y principalmente la temperatura. Esto con el fin de evidenciar las posibles condiciones de blanqueamiento de los arrecifes de coral.

En este trabajo se desarrolló un prototipo para zonas someras que permitió monitorear la temperatura en varios niveles de la capa de agua. Con este fin se diseñó/construyó una boya y su anclaje respectivo. Unido a la cadena (cable) del anclaje se dispusieron sensores de temperatura (termistores) en varios niveles de la columna de agua. La información medida por los sensores se almacenó en la boya en un módulo de tarjeta Secure Digital (SD). Luego esta información fue enviada de manera telemétrica a un servidor web para su posterior procesamiento. El equipo fue diseñado y construido de manera que sea de bajo costo y de manera modular, con lo cual en un futuro es posible acoplar otros sensores y módulos de manera sencilla.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Diseñar y construir un prototipo de bajo costo, que permita la medición de valores de temperatura a diferentes niveles de la capa de agua, mediante un anclaje somero que estará unido a una boya superficial.

2.2 Objetivos específicos

1. Determinar los materiales y elementos físicos y electrónicos adecuados para la construcción del prototipo del anclaje somero y de la boya.
2. Diseñar el código que controlará la frecuencia de medición de los componentes electrónicos, así como su gasto energético.
3. Realizar pruebas de impermeabilidad y funcionamiento del sistema físico y electrónico.
4. Realizar los ajustes mediciones con el prototipo en “seco” y en algún lugar del golfo de Urabá con el fin de comprobar su correcto funcionamiento.

3 MARCO TEÓRICO

La instrumentación oceanográfica, tiene por objeto el monitoreo de las variables físicas, químicas y biológicas del océano y la implementación de tecnologías que lo permitan realizar (Hernández *et al.*, 2008). Una de estas tecnologías son las boyas oceanográficas superficiales y los anclajes (cadenas de equipos dispuestos de manera lineal) someros y profundos. Una boya, es una plataforma u objeto flotante que puede estar unida al fondo y de esta manera ser utilizada para realizar mediciones eulerianas en una localidad específica. El diseño de la boya y de su unión al fondo requiere entre otras cosas, tener en cuenta la profundidad del agua, las variables oceanográficas que se desean medir y los instrumentos que harán esas mediciones. Este diseño incluye la determinación de elementos básicos como la esfera que estará en la parte exterior, electrónica que medirá/almacenará/enviará los datos, longitud y material del cable o cadena que unirá la boya al fondo, el peso de la estructura que estará en el fondo y en algunos casos los elementos flotantes que mantendrán al anclaje en su posición vertical (Physocean, 2013).

De otro lado un anclaje es una serie de instrumentos oceanográficos dispuestos sobre un cable. Estos anclajes son normalmente utilizados sin una boya superficial y ubicados por debajo de la superficie del agua por seguridad (marina y de los equipos). Sin embargo, los datos medidos por estos equipos son auto contenidos en cada uno de ellos, de tal manera que su análisis es posterior a la recuperación del anclaje.

En el caso de la boya superficial, dentro de ella se encuentra un sistema electrónico que permite la medición/almacenamiento/transmisión de parámetros mediante señales eléctricas. Estos sistemas constan de una etapa de entrada, en la que se incorporan los datos medidos por los sensores y de una etapa de proceso o control, donde se interpretan y gestionan los datos que activan o no los dispositivos de salida, que forman la última etapa (Franco-Galán, 2015). Todo este proceso permite controlar, la frecuencia de medición, el almacenamiento de datos y transmisión de estos.

Uno de los sistemas electrónicos más utilizados por su versatilidad es la tarjeta Arduino. Esta tarjeta está basada en una placa la cual tiene un microcontrolador que es posible manipular mediante un entorno de desarrollo de fácil programación. Esto permite diseñar códigos específicos para la tarjeta que permitan acoplar todos los sensores o elementos externos que se quieran adaptar (Universidad de Cádiz, 2012). Esta tarjeta puede realizar funciones de procesamiento de datos ya que tiene comunicación con todos los subsistemas y periféricos adicionales. Está compuesta por un procesador, una memoria RAM para guardar las instrucciones de programa, una memoria activa para el almacenamiento temporal de los datos censados y algunos pines digitales y analógicos (Dargie & Poellabauer, 2010).

Luego de obtener los datos con los sensores con la tarjeta Arduino, es necesario tener un *datalogger* que permita el almacenamiento de los datos, ubicación espacial (latitud, longitud) por medio de otros instrumentos y sensores conectados externamente. Para esto es necesario tener una memoria micro SD y realizar el envío de los datos (vía GPRS) de forma telemétrica mediante un módulo adecuado. Uno de los módulos más usados para esta transmisión de datos es el módulo sim900 compatible con Arduino. Este permite enviar los resultados de la medición de las características de un objeto (como la temperatura), a una estación distante donde son desplegados, guardados y analizados (Dodge, 2011). Este módulo puede trabajar en frecuencias GSM (Global System for Mobile communications)/GPRS (General Packet Radio Service) de 850/900/1800/1900 MHz, utilizadas de manera común para realizar

llamadas de voz, envío de mensajes SMS, entre otros. Estas frecuencias tienen un bajo consumo y un diseño pequeño. Se controla y configura mediante protocolo UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter), usando comandos AT (ATtention) .Esta última es la opción de configuración establecida para realizar la comunicación/transmisión de datos a Thingspeak (<https://thingspeak.com/>). Este es un servidor web, que nos permite mediante una API (Application Programming Interface), almacenar y transmitir datos usando el protocolo HTTP (HyperText Transfer Protocol). Thingspeak es de código abierto y permite instalar el código localmente e incluso realizar modificaciones en su API para atender a necesidades particulares. La transmisión de los datos funciona mediante canales, los cuales contienen datos medidos, ubicación y estado.

Otro elemento fundamental para funcionamiento autónomo de la boya son las características de las baterías De acuerdo con las recomendaciones de Gómez *et al.*, (2013), se utilizarán batería de ion-litio. Estas baterías tienen un buen rendimiento a altas temperaturas, son reciclables y además poseen una larga vida útil. Comercialmente la autonomía de las boyas se puede extender con la incorporación al sistema de paneles solares. Los paneles están constituidos por celdas que se exponen a la luz del sol directamente y producen corriente, la cual es dirigida hacia las baterías. Gómez *et al.*, (2013) sugiere que la autonomía de un derivador sin y con panel solar puede variar entre 2 días y un mes, respectivamente.

Para finalizar se debe tener en cuenta el tipo de boya (esfera o cubierta externa), la cual contendrá todo el sistema electrónico de la boya y lo protegerá de la intemperie y del vandalismo. De acuerdo con Sandoval-Orozco (2016), se deben tener en cuenta los siguientes factores a la hora de escoger una boya:

Corrosión: El medio ambiente marino es muy agresivo y requiere un nivel de protección adecuado para los dispositivos electrónicos.

Movilidad: Debe tenerse en cuenta el movimiento de los nodos (conexión entre la boya y la cadena) causado por las mareas y el oleaje.

Costo: el valor de los instrumentos electrónicos es significativamente más alto que la propia boya. Esto no quiere decir que la boya deba ser de mala calidad.

Impermeabilidad: En los sensores que se encuentran en la superficie o en la columna de agua, se debe asegurar que a los equipos electrónicos no les entre agua.

Tolerancia a fallos: Algunos sensores pueden dañarse o estar fuera de alcance debido a problemas energéticos, daños físicos por acción del ambiente. La falla de estos sensores no debe afectar el funcionamiento del resto de la electrónica.

4 METODOLOGÍA

4.1. Determinación de materiales

La compra de los materiales usados fue financiada por el proyecto “*Investigación para reversión del proceso de erosión en las costas del mar de Antioquia*” ejecutado mediante contrato interadministrativo entre la Gobernación de Antioquia y la Universidad de Antioquia. Para definir el tipo de materiales usados se siguió la metodología propuesta por Gómez *et al.* (2013) y la experiencia de los asesores, así como la colaboración del ICM de Barcelona y la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. El sistema electrónico está constituido por sensores de temperatura, un *datalogger*, un reloj, GPS, módulo GPRS, placa Arduino mega y controlador de voltaje, entre otros.

- 2 semiesferas inyectadas en polietileno de alta densidad cargado con fibra de vidrio.
- Junta tórica circular 36 cm.
- Tornillería de seguridad en aluminio.
- Plomo - peso muerto interno.
- Tarjeta Arduino mega 2560
- Shield GPRS sim900.
- Módulo micro SD.
- Dip-Switch.
- Sensores de temperatura tipo DS18B20.
- Modulo sensor de voltaje.
- Módulo reloj de tiempo real tipo DS3231.
- Tarjeta conexión para los sensores de temperatura y Dip-Switch.
- 2 baterías secas recargables 12v - 9A.
- Jumpers.

Respecto al sensor de temperatura el termómetro DS18B20, tiene una precisión de $\pm 0.5^\circ$ (C), con la posibilidad de medir en un intervalo entre -55°C y $+125^\circ\text{C}$ (Semiconductor, 2007). De acuerdo con los trabajos realizados en el golfo de Urabá, el intervalo de temperatura es 20 a 35° (C) (Barrientos y Mosquera, 2019). Teniendo en cuenta lo anterior, se considera que el intervalo de medición del sensor es adecuado para realizar las mediciones *in situ*.

4.2 Proceso de Construcción de la Boya:

En el diseño electrónico de la boya, se usó como núcleo central la tarjeta Arduino, debido al uso libre tanto el hardware como el software. Se realizaron experimentos con una placa tipo Arduino-UNO, con un micro controlador ATmega328P (Okafor *et al.*, 2017) y con una placa Arduino mega2560 con micro controlador ATmega2560 (Zandamela, 2017). Luego de analizar la capacidad de almacenamiento y el tiempo usado para el procesamiento de los datos se escogió la placa Arduino mega 2560.

Se utilizaron sensores digitales de temperatura DS18B20 impermeables (Semiconductor, 2007), los cuales son de bajo costo y utilizan como protocolo de comunicación con la tarjeta Arduino el *1-wire*. Este protocolo permite que en un solo pin digital de la tarjeta Arduino se puedan conectar hasta 100 sensores. Las principales características, de este sensor son:

- Energía de alimentación entre 3.0V a 5.5V.
- Precisión $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ entre: -10 y $+85^{\circ}\text{C}$.
- Resolución de 9 a 12 bits.
- Interfaz 1-Wire, la cual
- ID único de 64 bits en el chip.

Luego se construyó una cadena de 5 sensores de temperatura (termistores), separados entre ellos cada 1m y conectados en serie. El diseño en serie reduce considerablemente los pines utilizados en la placa, pero tiene una debilidad, si se corta la comunicación en el primer sensor, se pierde la comunicación en los demás sensores. Este inconveniente se solucionó realizando una distribución adicional de cables en la cadena de sensores (figura 1).

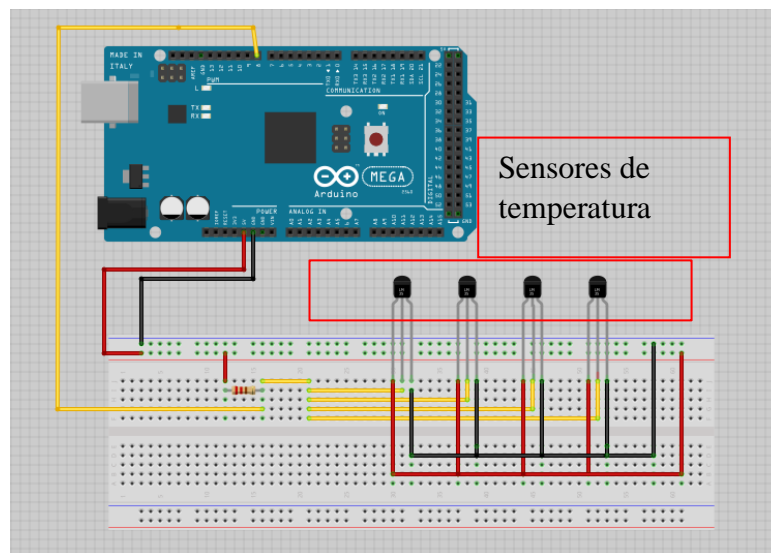


Figura 1. Esquema de la conexión de los sensores de la cadena y la tarjeta Arduino.

Como se observa en la figura 1, este diseño permitió independizar la comunicación de cada sensor, de tal manera que se evita cortar la comunicación de los sensores ubicados en los niveles inferiores debido a un corto eléctrico o a una ruptura de los cables en los sensores superiores. En nuestro caso la comunicación de la tarjeta Arduino y la cadena de sensores, se hizo por medio de un pin digital en este caso el pin número 8 (no importa que placa sea, está definido en el código y es elegido de manera aleatoria).

El módulo SD y la tarjeta Arduino (pines 10, 11 y 12) se conectaron entre de la siguiente manera: el pin *MOSI* al pin 11 (pin 50 en la Arduino Mega-AM), *MISO* al pin 12 (pin 51 en el AM), *CLK* al pin 13 (pin 52 en el AM) y *SS* al pin 10 (pin 53 en AM). En la figura 2 se observa el ensamble realizado con la tarjeta AM. El módulo SD se comunica con la placa base, por medio del protocolo de comunicación I²C (Inter-Integrated Circuit) o SPI (Serial Peripheral Interface), el cual optimiza la comunicación con otros sensores analógicos que podrían utilizarse más adelante.

El diseño además incluye un sensor de voltaje el cual no es más que un divisor de voltaje, configurado de 0 a 25v. La información de este divisor es digitalizada mediante el convertor

A/D de 10 bits, el cual por su resolución podrá proporcionar datos en cambios de voltaje de aproximados ± 20 mV, la cual es fundamental en el monitoreo de la autonomía del prototipo.

En este diseño también se incorporó un reloj DS3231, el cual se comunica con el microcontrolador bajo el protocolo I²C. Este reloj facilita el acceso a datos horarios y también posee registros que permiten la programación de alarmas o notificaciones. Además, se utilizó un Dip-switch por medio de cual se pueden realizar configuraciones de los tiempos de muestreo de manera manual. Por último, se agregó un módulo para el sistema de envío de datos de manera telemétrica tipo GPRS (sim900) compatible con las tarjetas Arduino.

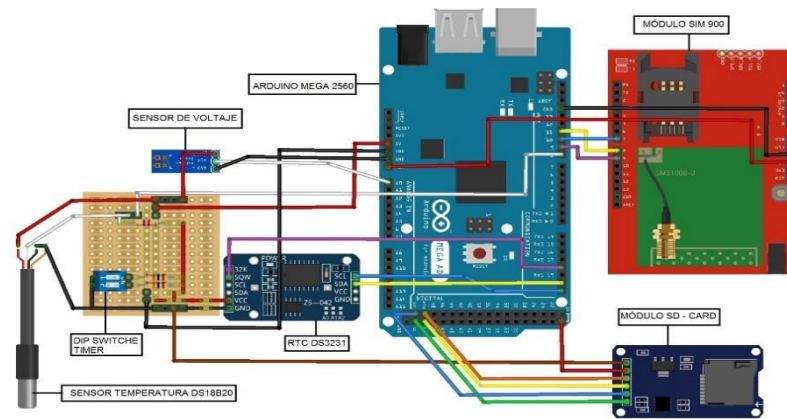


Figura 2. Esquema de periféricos y unidad de medición, procesamiento y envío de datos.

4.3 Descripción de la boya, anclaje y su funcionamiento:

Anclaje somero se denominó a la cadena de sensores de temperatura que proporcionan datos en diferentes niveles de la columna de agua. Este anclaje está unido a la boya mediante un conector de 3 pines. La boya en la parte superior tiene el sistema de medición y envío de datos descrito anteriormente, y tiene un sistema de anclaje al fondo. Con el objetivo de realizar una descripción clara sobre las componentes o periféricos antes mencionados y su interacción dentro del sistema completo, se presenta un diagrama resumido del funcionamiento de la boya (figura 3).

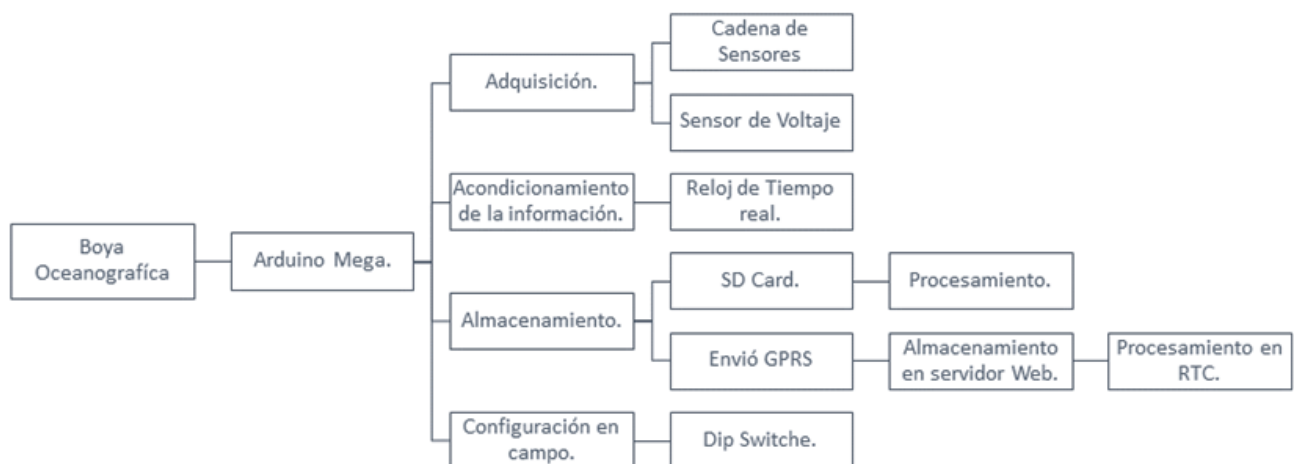


Figura 3. Diagrama de funcionamiento de la cadena de sensores de temperatura.

A continuación, se menciona en detalle las principales características de la tarjeta Arduino Mega, ya que es quien controla todos los periféricos de la boya diseñada. Posteriormente se abordan cada uno de los sensores encargados de las funciones de adquisición, acondicionamiento de los datos y almacenamiento.

4.3.1 Arduino Mega (AM)

Es una tarjeta de la familia Arduino, la cual posee puertos de entrada y salida tanto digitales como analógicas. Proporciona opciones de comunicación con un computador a través del protocolo estándar USB, el cual también es usado para su programación. Esta tarjeta tiene otros protocolos de comunicación como: USART, I²C, SPI. Esto le permite al AM conectarse con otros dispositivos, siempre y cuando estos cuenten con los mismos protocolos. La tensión de entrada se encuentra entre 7 y 12V, tiene dos puertos más que permite proporcionar energía a otros circuitos uno de 3V y el otro de 5V y una memoria flash de 256kb (Herrador, 2009). Por lo mencionado, esta tarjeta es la más versátil ya que permite la comunicación con numerosos sensores y bajo numerosos protocolos

4.3.2 Adquisición de datos.

La medición de las variables físicas es la etapa más importante de este desarrollo. En nuestro caso la temperatura es la variable objetivo y por ello los trabajos en la boya se concentraron principalmente en la obtención de los valores medidos por el sensor DS18B20.

4.3.3 Acondicionamiento de la información

Se llama etapa de acondicionamiento a la acción de proporcionar datos horarios y controlar la frecuencia del muestreo realizado. El periférico encargado de esta función es el DS3231, tiene como función ejecutar rutinas que controlan los muestreos del equipo y principalmente las tareas durante los periodos de inoperatividad del sistema.

4.3.4 Tarjeta micro SD

Este periférico realiza el almacenamiento de los datos medidos. Los datos almacenados en este dispositivo solo se podrán recuperar, cuando se pueda tener acceso directo a la tarjeta SD. La ventaja de incluir la tarjeta es el desarrollo, es la oportunidad de tener un respaldo de información medida en caso de presentarse problemas con el módulo de comunicación GPRS. Esta tarjeta cuenta con una función adicional la cual almacena la información de propiedad y contacto del equipo, para que, en caso de pérdida o hurto, el equipo pueda ser recuperado mediante la información contenida allí.

4.3.5 Envío GPRS

Como se dijo anteriormente, el protocolo utilizado para el envío de la información es GPRS el cual hace uso de la red de telefonía comercial del proveedor que proporciona la SIM card. Esto se realiza mediante el módulo SIM900, que permite la conexión TCP mediante el uso de la red GPRS. La información que es almacenada en la microSD también es enviada por medio del protocolo GPRS. La información enviada es almacenada en un servidor de acceso libre

llamado Thingspeak. Esta plataforma permite realizar consultas y solicitudes mediante el protocolo de comunicación HTTP.

4.3.6 Dip-Switch

Es una función que permite controlar el periodo de tiempo en el cual se realiza las mediciones. Para esto se utilizó un dispositivo análogo por medio del cual se fijaron las mediciones en intervalos de tiempo de 10, 20, 30 y 60 minutos. En caso de que se deba reiniciar el sistema estos intervalos darán inicio en el próximo minuto múltiplo de 10. De esta manera se garantizan datos equi-espaciados en el tiempo. En la tabla 1, se describe el funcionamiento del Dip-Switch utilizado.

DIP SWITCHE		
Pin 1	Pin 2	Intervalos (Min)
Off	Off	10
On	Off	20
Off	On	30
On	On	60

Tabla 1. Configuración Dip-Switch que permite el control del periodo de muestreo

4.4 Software.

Se diseñó un código en lenguaje Arduino por medio de cual se realizaron los diferentes procesos. Se utilizaron las librerías de configuración de los módulos y sensores mencionados. Para el sensor de temperatura, se utilizaron las librerías *Dallas temperature* y *1-Wire*; en el caso del módulo datalogger, la librería *SPI* y *SD*. Finalmente, para controlar el reloj interno (DS3231), se usaron las librerías *TimeLib* y *Ds323*. El código además se diseñó con una rutina de bajo consumo, la cual permite “apagar” los sensores entre periodos de medición con el fin de ahorrar energía. Respecto a la frecuencia de muestreo inicialmente se propuso una frecuencia de medición de 7 min, de los cuales 2 min son destinados para que se inicialice el sistema y luego se guarden los datos. En la figura 4, se muestra el diagrama de flujo del código realizado.

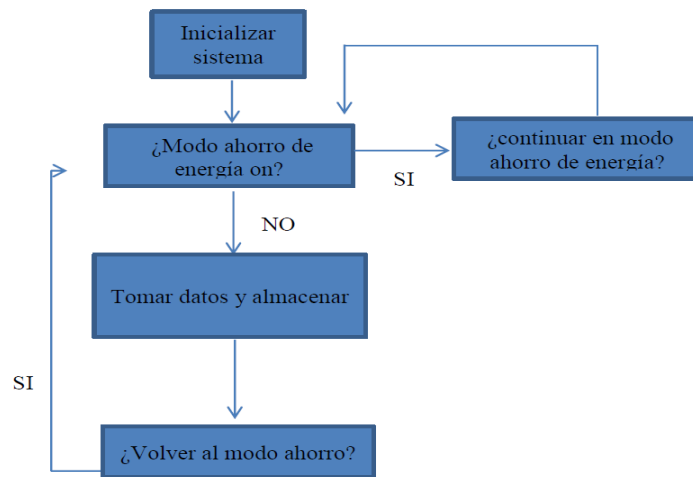


Figura 4. Diagrama de flujo del sistema diseñado con el modo de ahorro de energía.

Pruebas en “seco” de laboratorio.

Esta prueba consistió en evaluar el sistema electrónico que contrala la cadena de sensores, en un lugar con condiciones semi-controladas. Para esto se utilizó una tubería de 2.5” con una longitud de 3m, la cual se llenó con masas de agua con diferentes características de temperatura y salinidad. Dentro del tubo fue ubicado la cadena de termistores y la parte electrónica quedo en la parte exterior. Con el fin de comparar los datos medidos por el prototipo, se realizaron mediciones de manera simultánea con un CTD CastAway (figura 5).

En este experimento permitió evaluar el desempeño de todos componentes, así como su rendimiento y autonomía. Se monitoreo el consumo energético con el fin de comprobar la presencia o no de variaciones abruptas de energía y/o variaciones en la frecuencia de medición. Además, se verificó si los datos medidos se almacenaron de manera correcta en el servidor Thingspeak.



Figura 5. Prueba en “seco” con un CTD CastAway (izquierda) el prototipo y su cadena de sensores. Experimento realizado en columna de agua contenida en tubería PVC a temperatura semi controlada (derecha). **Fuente (CTD):** fondriest.com/ysi-castaway-ctd.htm

4.5 Diseño y construcción del sistema de anclaje (unión al fondo marino)

En este apartado llamaremos anclaje al sistema que permite que la boya permanezca unida al piso oceánico. Teniendo en cuenta que el sistema diseñado se compone de una boya y de una cadena de sensores, se buscaron opciones para la disposición de estos últimos desde la parte superior hasta el fondo. De acuerdo con Sandoval-Orozco (2016), existen varias opciones para el diseño completo del sistema boya-sensores-peso muerto (figura 6).

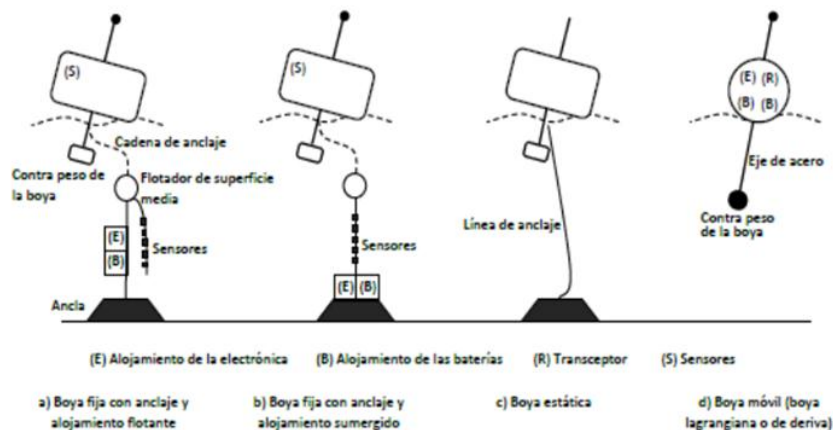
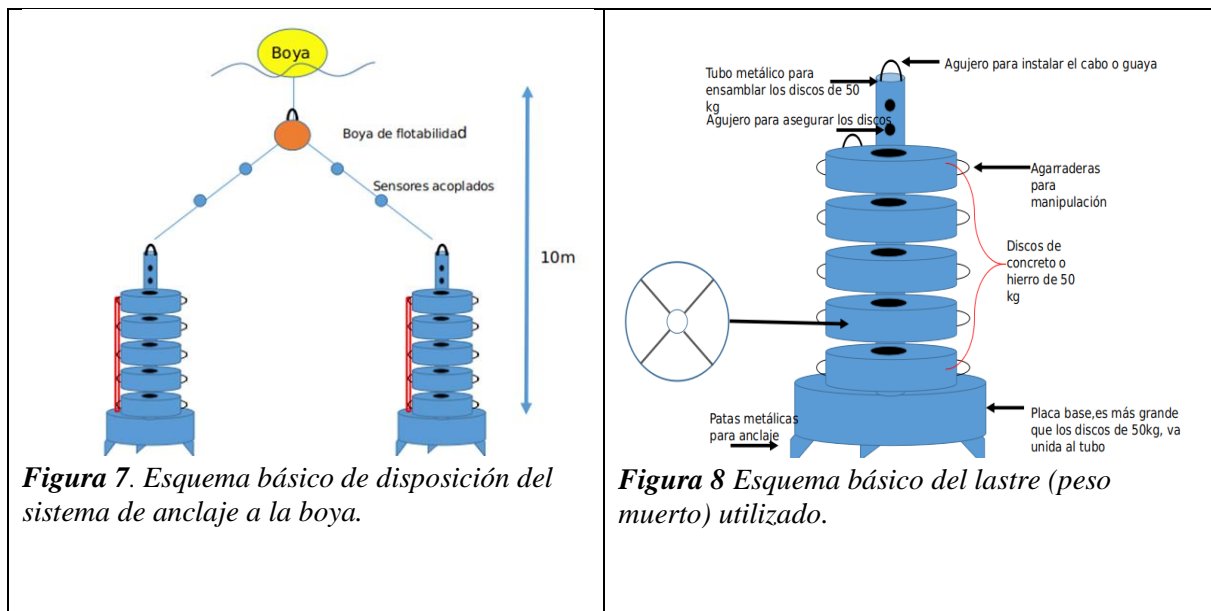


Figura 6. Esquemas de configuraciones y disposiciones de anclajes y pesos muertos. **Fuente:** Sandoval-Orozco, (2016).

Teniendo en cuenta que en el diseño propuesto en este trabajo los sensores están en la parte superior, se decidió adaptar la opción (A) de la figura 6. Además, de acuerdo con las condiciones de corrientes propuestas por Barrientos y Mosquera (2019) para algunos lugares

de la zona de estudio (corrientes que cambian de sentidos), se propone el sistema de anclaje mostrado en la figura 7.

Este anclaje propuesto tiene un cabo náutico de poliéster, recomendado para sistemas de anclaje para periodos de fondeo corto, una boya a media agua y grilletes que permitan realizar una unión adecuada al peso muerto. Es de notar que la boya a media agua permite disminuir la tensión en el cabo y contrarrestar la fuerza de empuje que este puede generar. En cuanto al peso muerto, su estructura está constituida por un esqueleto en acero inoxidable y discos en concreto reforzado de fácil colocación y extracción con los cuales se obtiene el peso total deseado del “muerto” (figura 8).



Aunque lo ideal es utiliza el sistema de doble anclaje mostrado en la Figura 7, se decidió utilizar un anclaje sencillo, pero con una boya a media agua. De un lado la boya estará unida al fondo por el peso muerto y de otro lado se dispondrá de la cadena de termistores. Esta decisión se tomó ya que la conexión que sale de la boya está en un lado y no abajo y que las variaciones continuas de la marea podrían hacer girar el cable de los datos hasta romperlo (figura 9).

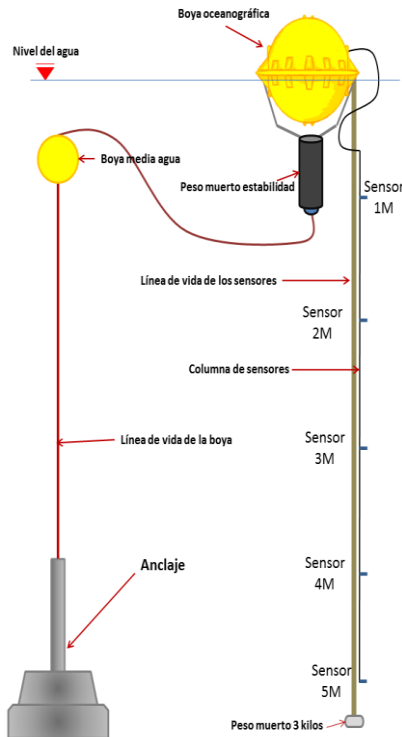


Figura 9. Esquema básico de diseño del anclaje usado en playa la Martina.

4.6 Autonomía de la Boya

Los experimentos realizados permitieron determinar el consumo energético del sistema, así como la disponibilidad de pines para futuras expansiones de sensores. Todos los módulos y sensores que se utilizaron en el desarrollo de este trabajo realizan consumos de energía lo cual tiene una repercusión en la autonomía del sistema.

Teniendo en cuenta que se debe usar batería completamente cargada se tiene: $12V \times 9A = 108W$. El consumo/hora del sistema es: $12V * 0.4A = 0.48W$. Si consideramos una batería con una duración ideal (despreciando fugas): $108W/0.48W = 225$ Horas que equivalen a aproximadamente a 9 días. Por lo tanto, con 2 baterías con las mismas condiciones iniciales se obtienen teóricamente 18 días de autonomía.

5 RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación, se muestra la ficha técnica del prototipo desarrollado en este trabajo. Este desarrollo contemplo la unión de una boya ubicada en superficie con una cadena de sensores de temperatura. Debido a esta configuración este prototipo lo denominamos boya Octopus (tabla 2).

Ficha técnica	Boya Octopus
Autonomía	2 baterías secas recargables 12v - 9A,
Almacenamiento	32 Gigabyte
Tarjeta y microcontrolador	-Tarjeta Arduino mega. -Microcontrolador ATmega2560
Cadena de sensores	-Energía de alimentación entre 3.0V a 5.5V. -Precisión $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ entre: -10 y +85 $^{\circ}\text{C}$. -Intervalo de temperatura: -55 a 125 $^{\circ}\text{C}$. -Resolución de 9 a 12 bits. -Interfaz 1-Wire, la cual sólo requiere un pin digital para la comunicación. -ID único de 64 bits en el chip. -Número de sensores, 1 por metro hasta 5 metros
Profundidad muestreo	5 metros - 20 metros
Envío de datos	Shield GPRS sim900
Frecuencia de muestreo	Entre 10 y 60 minutos
Material construcción de la boya (semi-esferas)	Polietileno de alta densidad virgen cargado con fibra de vidrio.
Dimensiones boya (semi-esferas)	40 cm diámetro

Tabla 2. Ficha técnica prototipo denominado boya Octopus

Al prototipo de la boya Octopus fue incorporado una carcasa inyectada en polietileno de alta densidad cargado con fibra de vidrio. Este material fue escogido por su durabilidad y resistencia ante eventos de máxima exigencia en entornos marinos.

La carcasa está constituida por 2 semiesferas, que permiten el almacenamiento de la electrónica en su interior. Este diseño permite además un fácil acople y maniobrabilidad al momento del transporte y ensamble y sellado adecuado de la boya. La carcasa cuenta además con un soporte externo de acero inoxidable que permite unir la boya con la cadena o cable que la mantendrá unida al fondo.

5.1 Pruebas en “seco”

Esta prueba se realizó en un ambiente semi-controlado, en el cual se dispusieron masa de agua de diferentes temperaturas. Con el fin de controlar la temperatura se utilizaron unos calentadores en ubicados a diferentes profundidades dentro de la tubería de PVC. La

temperatura fue monitoreada con la cadena de termómetros digitales que hacen parte de la boya Octopus). En el experimento se midieron de manera simultánea la temperatura con un termómetro analógico y un CTD Castaway con el fin de realizar la comparación de temperatura medida. Las características del CTD pueden ser consultadas en: <https://www.sontek.com/castaway-ctd>.

Se realizaron tres experimentos cada uno con temperaturas diferentes, 30, 45 y 60 grados medidas un sensor analógico. En cada uno de los experimentos se verificó que los datos se estuvieran almacenando en el datalogger y en el servidor. Esta prueba además sirvió para realizar la calibración a los sensores. En la figura 10 se observa el registro de los valores de temperatura para uno de los sensores de la boya Octopus en el servidor Thingspeak. El registro comprende valores medidos durante un día.

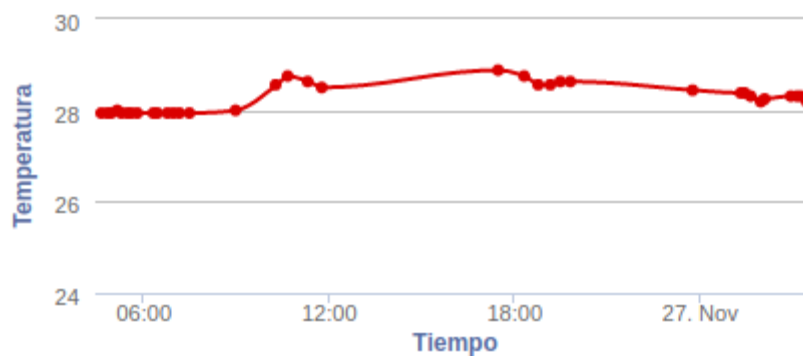


Figura 10. Gráfica de temperatura medida durante la prueba en “seco”. Servidor www.thingspeak.com.

En el primer experimento (figura 11), se estableció una temperatura inicial de 30° C en la masa de agua que estaba dentro del tubo. Las mediciones se realizaron durante 10 minutos con los sensores de la boya Octopus midiendo a diferentes niveles y haciendo “lances” continuos y lentos del CTD dentro del tubo. Se observa una diferencia máxima de 0.5° C entre cada uno de los sensores de la boya, probablemente debido a la ubicación dentro del tubo.

Los valores medidos por el CTD tienen un comportamiento ascendente, probablemente por el calentamiento del agua que está en el tubo. Aunque la precisión del sensor de temperatura del CTD es $\pm 0.05^\circ \text{C}$, la diferencia encontrada entre los sensores y con el CTD se considera que nos es significativa y que puede estar afectada por otros factores como el mismo material del tubo.

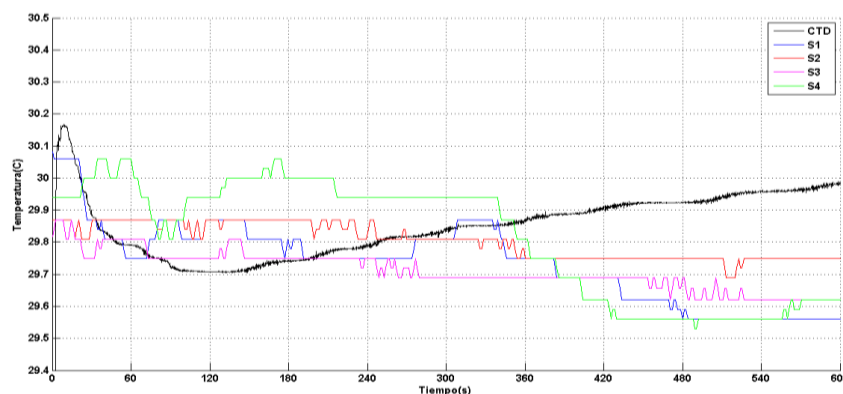


Figura 11. Datos de temperatura CTD Castaway (línea negra) vs cadena de sensores a diferentes profundidades de la columna de agua. Temperatura inicial 30° C.

Luego, y por medio de dispositivos térmicos, se calentó el agua dentro del tubo y se llevó hasta una temperatura de 45° C grados en el experimento dos (figura 12). Al igual que en el primer experimento la diferencia de temperatura entre los sensores de la boya fue a lo sumo de 0.5° C. Al inicio se presenta una diferencia significativa entre la boya y el CTD, que luego de 240 s se estabiliza, llegando a diferencias de hasta 0.3° C con una tendencia a disminuir.

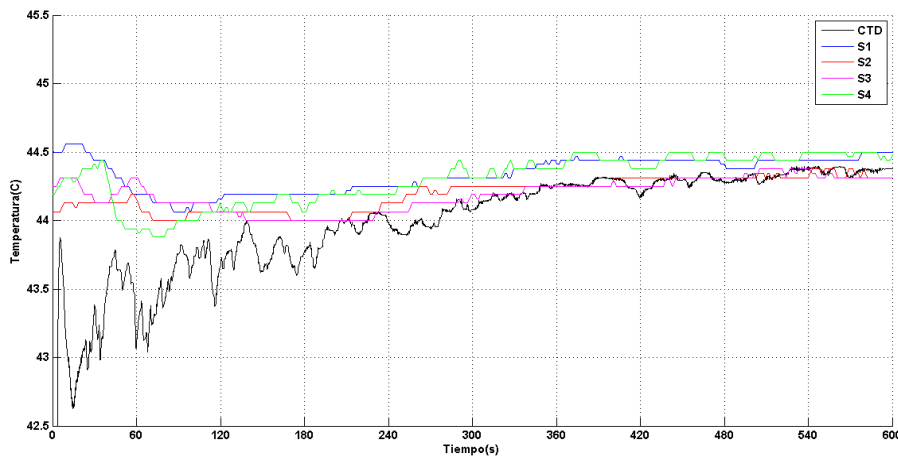


Figura 12. Datos de temperatura CTD Castaway (línea negra) vs cadena de sensores a diferentes profundidades de la columna de agua. Temperatura inicial 45° C.

Finalmente, en el experimento tres se llevó la masa de agua a una temperatura inicial de 60° C (figura 13 y 14), ambos instrumentos no alcanzaron a medir esta temperatura. La cadena de sensores llegó a valores cercano al inicial, con diferencias entre sus sensores entre 0.5° C. Respecto a las mediciones realizadas con el CTD (figura 14), se observaron valores por debajo del valor inicial medido con tendencia a aumentar. Luego de revisar las especificaciones este equipo nos percatamos que su intervalo de medición está entre -5 y 45° C, principalmente porque no valores por fuera de ese intervalo normalmente no se encuentran en el océano. Por lo tanto, los valores de esta prueba no fueron tenidos en cuenta al momento de realizar calibraciones de los sensores de la boya.

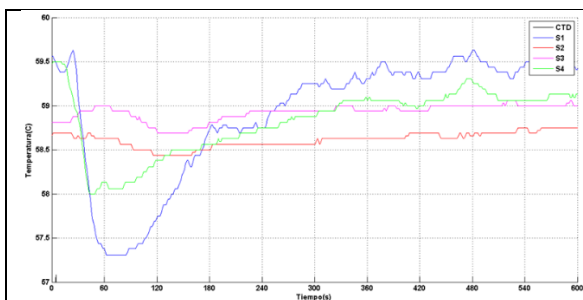


Figura 13. Datos de temperatura CTD Castaway (línea negra) vs cadena de sensores a diferentes profundidades de la columna de agua. Temperatura inicial 60°C.

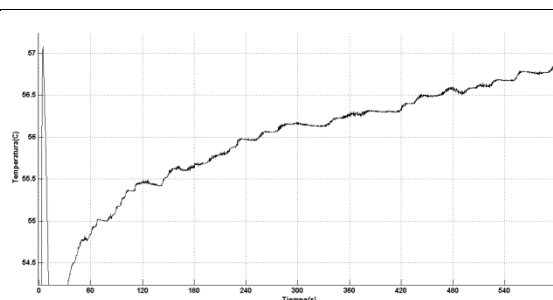


Figura 14. Datos de temperatura CTD Castaway vs cadena de sensores, en columna de agua a 60 grados B.

En general los sensores de temperatura de la cadena de termistores presentaron un desfase entre sí a lo sumo de 0.5°C. Este es el valor de error de los sensores DS18B20 de acuerdo a su ficha técnica. Por lo tanto, el experimento uno y dos sirvieron para analizar los intervalos de temperatura en los que trabaja los sensores, así como la posibilidad de calibración mediante software. Este tipo de experimentos son fundamentales para el trabajo posterior de la boya en campo.

5.2 Pruebas en campo

En marco del proyecto “*Investigación para reversión del proceso de erosión en las costas del mar de Antioquia*” realizado por la Universidad de Antioquia para la gobernación de Antioquia, se realizaron tres campañas de medición. En esas campañas, realizadas en diferentes sitios sobre golfo de Urabá, se hicieron mediciones con la boya Octopus.

Campaña 1: Arboletes

Este lugar donde se ubicó la boya Octopus, se definió con base en la cobertura de celular (GPRS), pues él envío de datos se realiza por este medio. El lugar que escogido se encontraba aproximadamente a 3 km de la costa del municipio de Arboletes (figura 15). Luego de establecer la zona óptima, se procedió con el fondeo de la boya. Lamentablemente el instrumento debió ser retirado del sitio ya que al segundo día la boya fue vandalizada. Las personas que hicieron esto intentaron soltar el grillete que sostenía el cabo a los anclajes, quedando la boya únicamente asegurada de la cadena de sensores al fondo. Esto generó un estrés en cadena de sensores, impidiendo así su correcto funcionamiento.

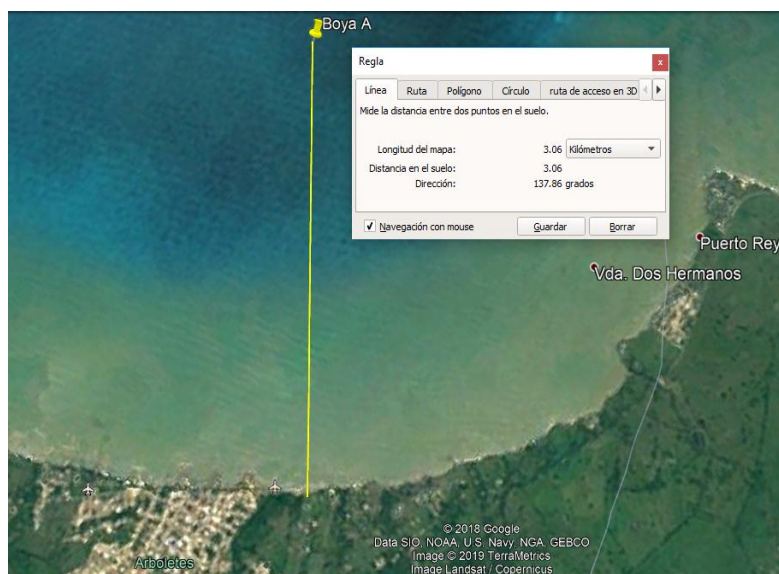


Figura 15. Sitio de fondeo de la boya Octopus en el municipio de Arboletes ($8^{\circ}52'41.99''N$, $76^{\circ}26'30.31''O$). Fuente: Google Earth

En la figura 16 se observa el registro de mediciones de los cinco sensores en función de tiempo y de la profundidad. El número de cada sensor corresponde a la profundidad a la que este se encuentra (*p.e.* S1, sensor 1 ubicado a un metro de profundidad). Se observa como en horas del mediodía del 19 de noviembre, 4 de los 5 sensores dejaron de funcionar esto se debió al corte de los cables internos que alimentaban los sensores. Esto generó una pérdida de datos durante 6 horas. Como se comentó anteriormente, el equipo fue retirado al día siguiente, para posteriormente en el laboratorio realizar reparaciones.

Luego de hacer un monitoreo en el laboratorio de forma continua, se evidenció como la cadena de sensores seguía presentando errores. Estos errores se presentaron por el corte de los cables ya mencionado. En la figura 17, se observa el registro del voltaje de la boya en función del tiempo. Se observa como una variación extrema del voltaje con una caída continua y posterior del mismo. Luego de esta variación se observa una desconexión de 3 de los 5 sensores en horas de la madrugada del día 21 luego de los cual la cadena de sensores en su totalidad dejó de funcionar.

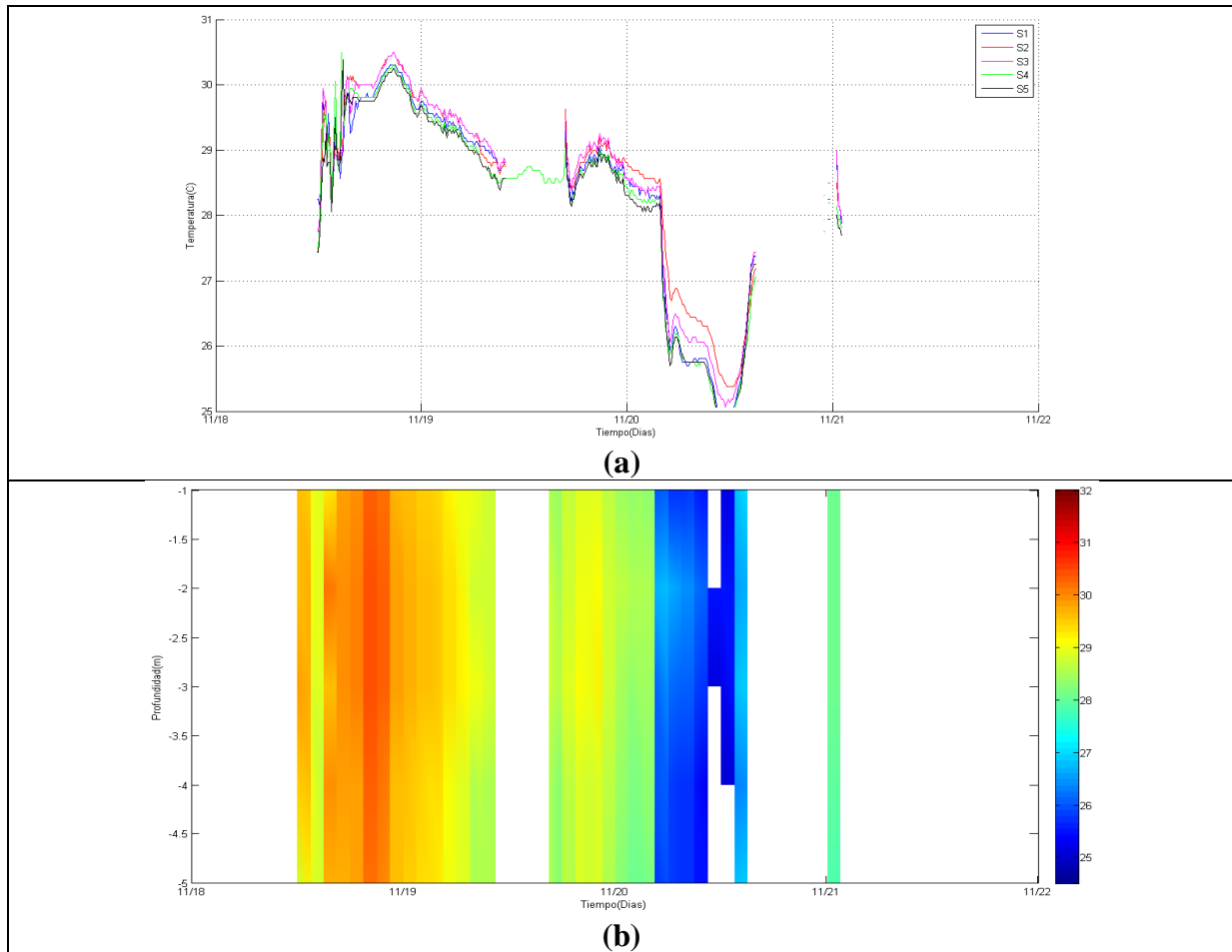


Figura 16. Variación temporal de la temperatura municipio Arboletes. (a) Variaciones temporales de cada uno de los sensores de la cadena. (b) Perfiles de temperatura en función de tiempo.

Los resultados mostrados al inicio de la figura 16A (alrededor del día 19) muestra una variación adecuada de los sensores en función del tiempo, con una variación similar en todos los sensores. La variación de la temperatura se debe a las diferencias de radiación solar a lo largo del día. En profundidad (figura 16B) se observan valores similares entre la superficie y el fondo, debido a la profundidad somera en la cual se realizó el experimento. Esta primera campaña nos permitió evidenciar el correcto funcionamiento de la cadena de termistores y el sistema electrónico en general, a pesar de los hechos vandálicos ocurridos.

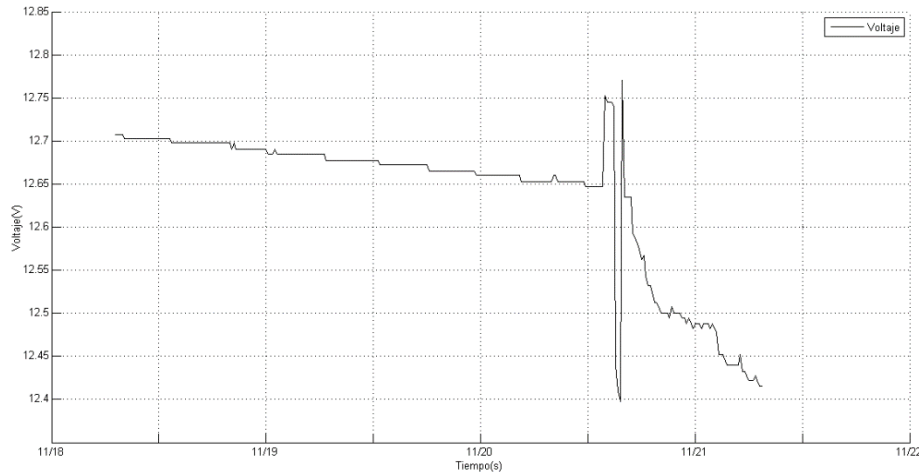


Figura 17. Registro del valor del voltaje de la boya Octopus en función del tiempo. Campaña municipio de Arboletes.

Campaña 2: Corregimiento de Uveros (San Juan de Urabá)

Para la segunda campaña se construyó una nueva cadena de sensores. Nuevamente, antes de ubicar la boya se definió la zona con cobertura de celular. La boya se fondeo a una distancia de 1.2 km de la línea de costa del corregimiento de Uveros (figura 18). Este experimento se realizó previa socialización con los pobladores del lugar con el objetivo que el equipo no fuera vandalizado como en la primera campaña.

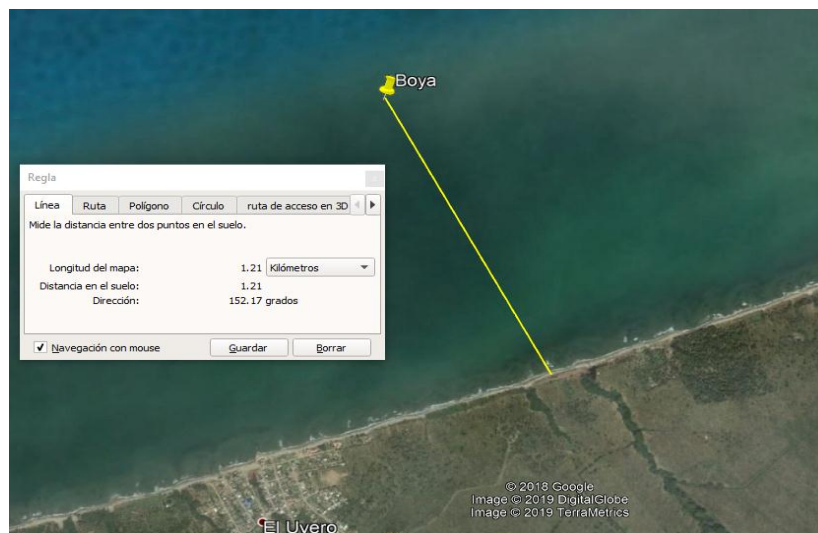


Figura 18. Sitio de fondeo de la boya Octopus en el corregimiento de Uveros ($8^{\circ}45'38.50''N$, $76^{\circ}34'39.40''O$). Fuente: Google Earth

En la figura 19 se observan las variaciones de la temperatura como función de la profundidad y del tiempo en el corregimiento de Uveros. Se observan variaciones simultaneas de los valores de temperatura entre cada uno de los sensores del orden de $0.2^{\circ}C$, que se mantienen en el tiempo. Los valores promedio de los sensores durante el periodo de medición se deben a las variaciones diurnas de la temperatura. En profundidad, los perfiles muestran valores similares entre la superficie y el fondo. Esto es más notorio en horas de la noche donde la temperatura es menor debido a..... Se muestran variaciones entre 0.2 y $0.4^{\circ}C$ entre la superficie y el fondo en horas de la tarde. Este comportamiento homogéneo, nuevamente se relaciona con la profundidad, relativamente somera donde estuvo la boya Octopus.

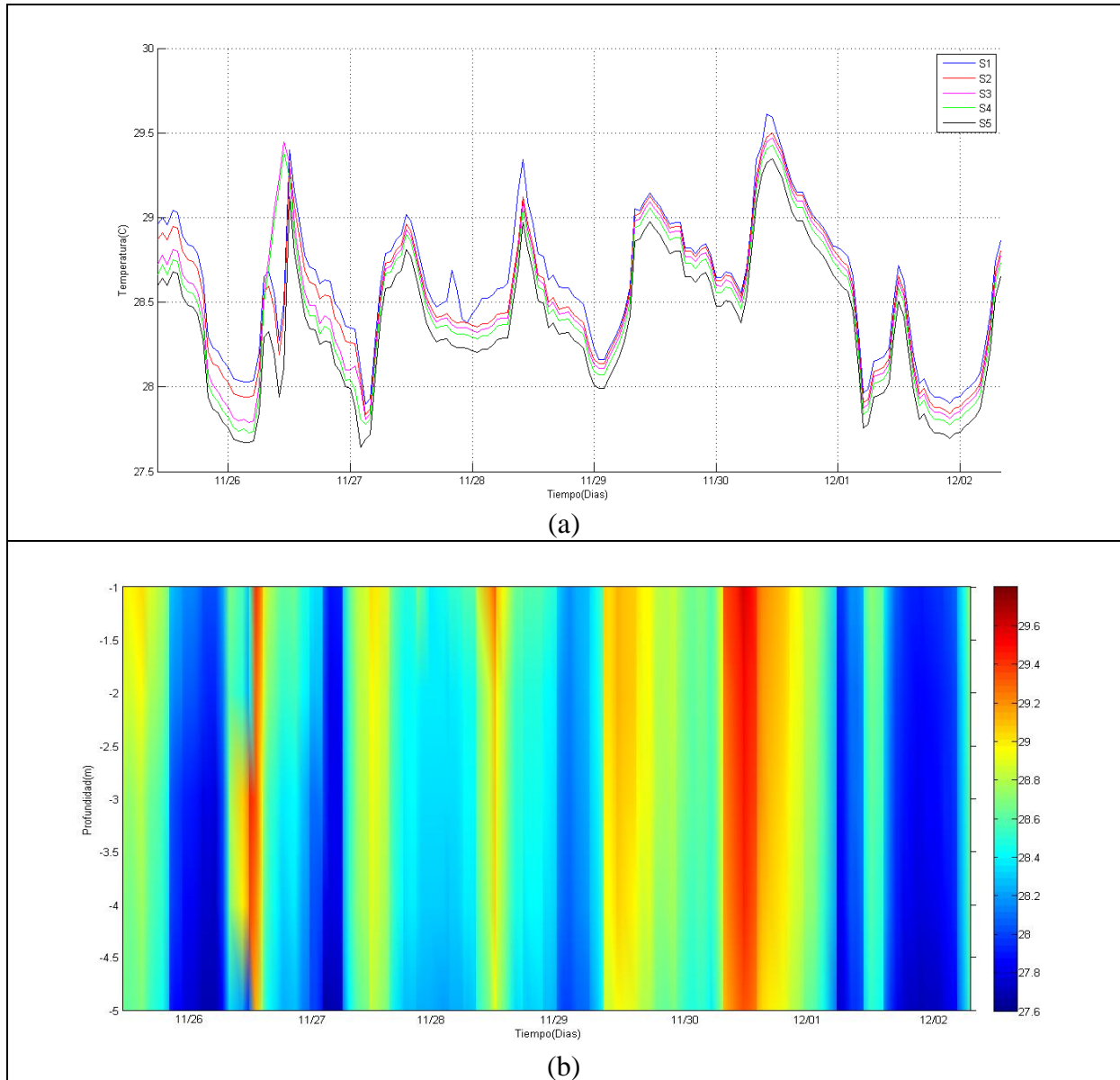


Figura 19. Variación temporal de la temperatura corregimiento de Uveros. (a) Variaciones temporales de cada uno de los sensores de la cadena. (b) Perfiles de temperatura en función de tiempo.

Las variaciones del voltaje del sistema, durante la segunda campaña se muestra en la figura 20. En general se observa una caída gradual a lo largo del tiempo. Los valores significativos de caída de voltaje (ver día 27), podrían estar influenciados por el funcionamiento incorrecto del sensor del voltaje. Suponemos que esta es la razón, debido a que los datos medidos por los sensores de temperatura no presentaron ningún inconveniente eléctrico o funcional.

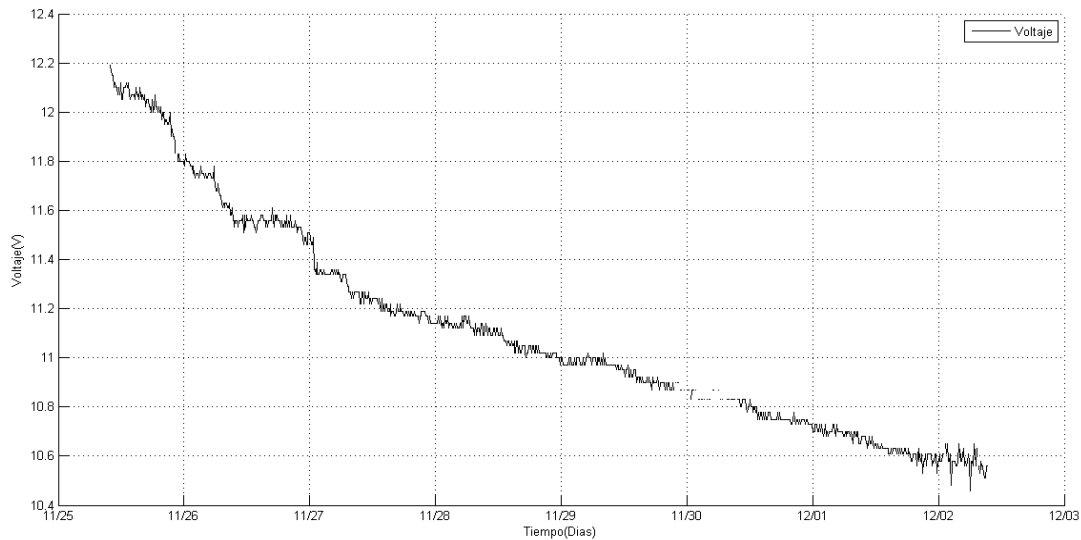


Figura 20. Registro del valor del voltaje de la boya Octopus en función del tiempo. Campaña realizada en Uveros.

Campaña 3: La Martina - Turbo (parte 1)

Esta campaña se realizó en un lugar que se encortaba 2 km aproximadamente de la línea de costa (figura 21). Se utilizó una configuración diferente entre la boya y el anclaje (figura 9), esto con el fin de luego comparar el desempeño y seguridad que ofrecen cada una de las configuraciones utilizadas. La campaña estaba planteada para realizarse durante una semana. Sin embargo, se presentó un percance durante el primer día de fondeo ya que nuevamente la boya fue vandalizada. En este caso la boya fue abierta lo cual permitió ingreso de agua, lo cual generó un corto circuito en la electrónica principal (figura 22A) y con ello la pérdida de algunos datos.

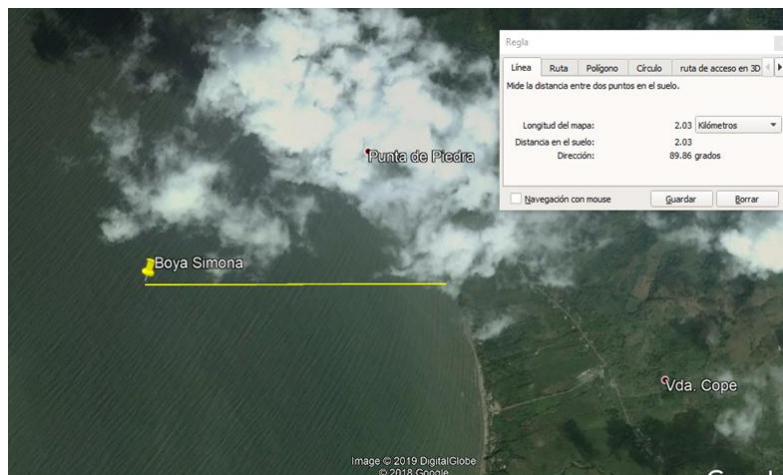


Figura 21. Sitio de fondeo de la boya Octopus playa la Martina ($8^{\circ}10'31.94''N$, $76^{\circ}45'35.37''O$). Fuente: Google Earth.

Luego de retirar la boya del agua se procedió a armar y programar una segunda boya, con modificaciones internas que ofrecieran más seguridad en términos electrónicos y físicos. Con este fin la electrónica se encapsulo dentro de una tubería de PVC sellada para la cual fue necesario crear una nueva distribución de circuitos internos (figura 22B).

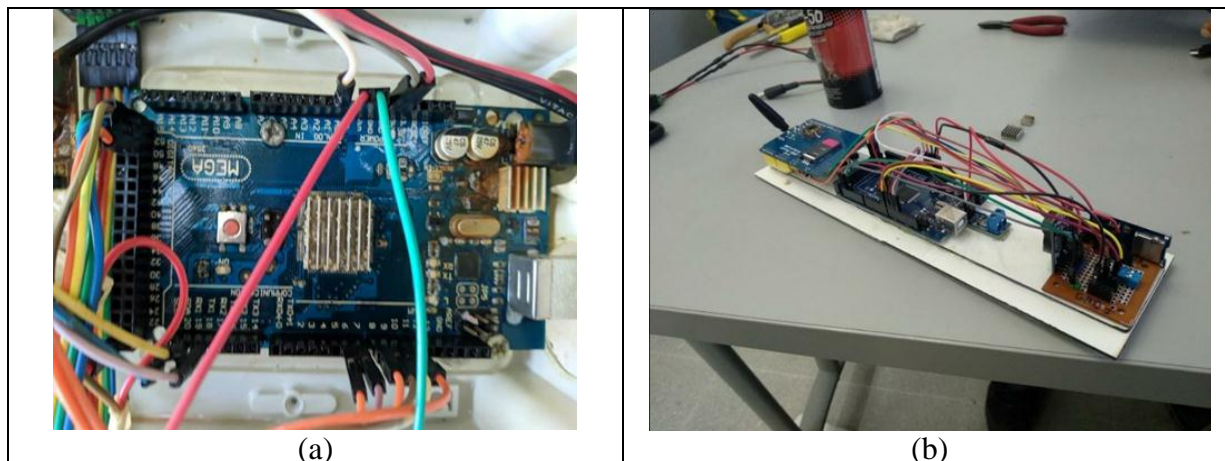


Figura 22. (A) Electrónica luego de ser vandalizada la boya (B) Nuevo diseño de la electrónica

Campaña 3: La Martina - Turbo (parte 2)

Para esta segunda parte de la campaña realizada en la Martina, se instaló un puesto de vigilancia cerca de la boya y así evitar que fuera vandalizada. Se utilizó el diseño electrónico mostrado en la figura 22B y se fondeo de nuevo la boya en el sitio mencionado en la figura 21. Se realizaron mediciones continuas durante 3 días en los cuales se midieron los datos reflejados mostrados en la figura 23A.

Los datos sugieren variaciones instantáneas para los sensores 2 a 5. Estos sensores muestran una variación diurna de la temperatura, evidenciado un comportamiento similar al obtenido en Uveros. El sensor ubicado cerca de la superficie muestra valores, al parecer anómalos, con valores que disminuyen y aumentan por debajo de los demás sensores y con un aparente desfase temporal.

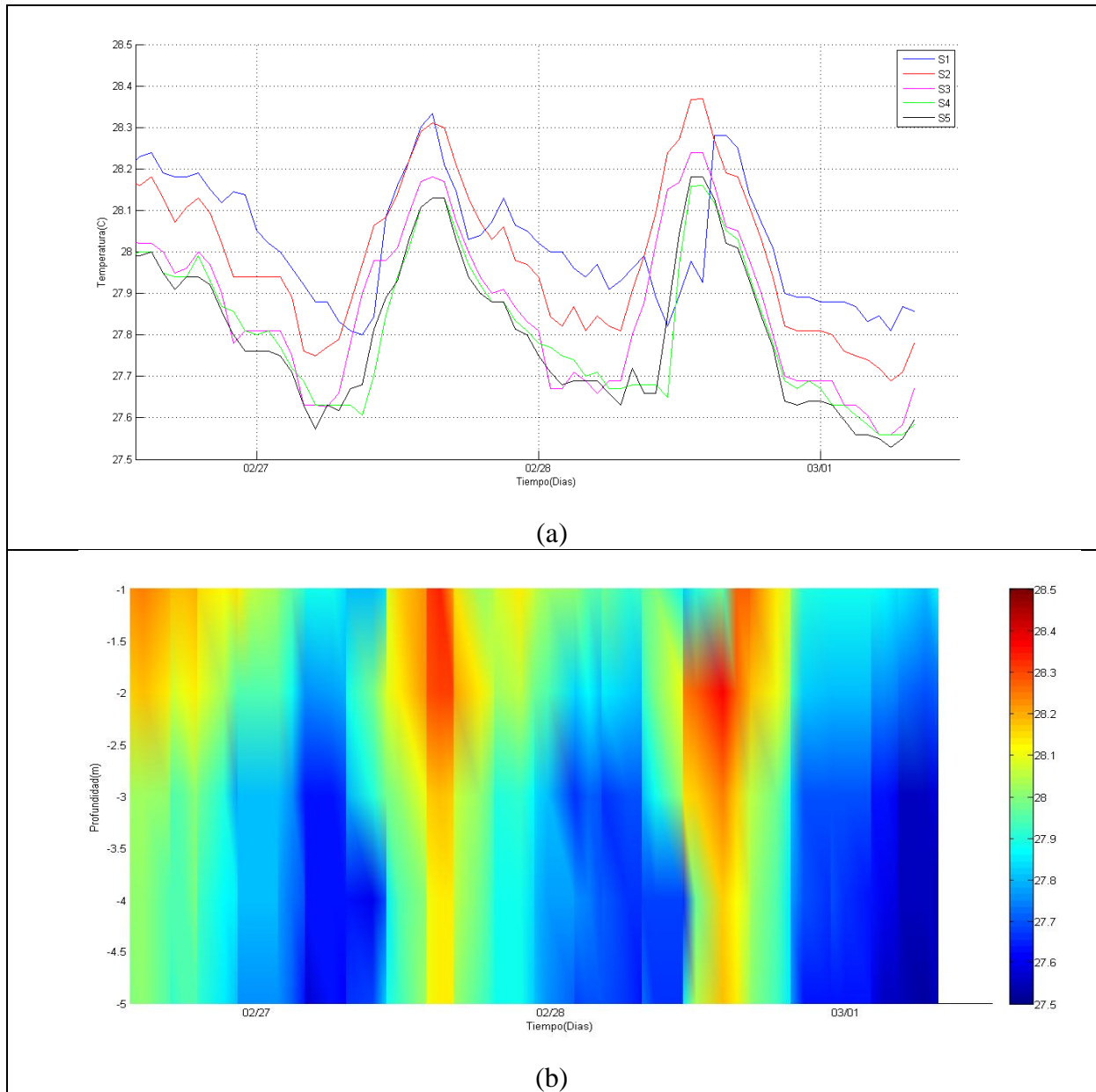


Figura 23. Variación temporal de la temperatura en playa La Martina. (a) Variaciones temporales de cada uno de los sensores de la cadena. (b) Perfiles de temperatura en función de tiempo.

En cuanto a los valores en el perfil de temperatura, en la figura 23B se observa un comportamiento similar a los sitios de fondeo anteriores. Las variaciones de temperatura entre la superficie y el fondo es del orden de 0.3°C . Teniendo en cuenta que el lugar es somero y la presencia de un fuerte oleaje producto de los vientos alisios en la época que fueron realizadas las mediciones, se genera una mezcla en la columna de agua y por lo tanto un perfil de temperatura con ligeras variaciones, además se evidencia que los puntos máximos de temperatura están relacionados a las horas de mayor incidencia del luz solar y los puntos de menor temperatura corresponden a las horas nocturnas.

6 CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó una boya unida a un anclaje somero con la capacidad de medir la temperatura en diferentes niveles de la columna de agua. La boya cuenta con un datalogger interno que permite el almacenamiento *in situ* de los datos, así como con un sistema de envío de datos de forma telemétrica por medio de la red GPRS.

Las campañas realizadas en tres sitios del golfo de Urabá mostraron valores adecuados de la temperatura. De acuerdo con las evidencias obtenidas en los diferentes sitios, se observan cambios diurnos de temperatura. Aunque entre la superficie y el fondo no se observaron diferencias significativas debido en parte a las zonas someras donde estuvo la boya y a la mezcla generada por el oleaje en época de inicio de año.

Se demostró que el uso de tarjetas electrónicas de Arduino con sensores y módulos compatibles a él resulta eficiente para desarrollar prototipos como la boya Octopus. Esto permite entre otras cosas tener un instrumento versátil al cual se le pueden agregar sensores como pH, conductividad y oxígeno disuelto. Los sensores de temperatura elegidos cumplieron su respectiva labor, pero pueden ser remplazado por otros con un margen de error menor según el caso de estudio. Aunque no se realizó una comparación adecuada de costos, entre boyas comerciales y este prototipo, es de notar el bajo costo de la boya Octopus (\$ 3'000.000).

Se logró desarrollar un código versátil y de fácil entendimiento, para el funcionamiento de la boya. Este código puede ser modificado según las necesidades del estudio a realizar y los sensores que se quieran acoplar.

De acuerdo con las campañas realizadas, este equipo tiene en la actualidad una autonomía de hasta una semana. Se recomienda avanzar en mejorar el diseño electrónico de la boya de tal manera que se pueda aumentar su autonomía. Se recomienda además realizar estudios en profundidades mayores 15 m con el fin de verificar el correcto funcionamiento de los sensores de temperatura.

Referente a los sensores de temperatura se demostró que son adecuados para medir las variaciones en las capas de agua con un error de 0.5 °C.

7 REFERENCIAS

- Barrientos, N., Mosquera, W. (2019). Análisis de la modulación a la circulación oceánica en el golfo de Urabá por la ocurrencia de eventos atmosféricos de baja y alta frecuencia, a través de simulación numérica. Universidad de Antioquia. Tesis de pregrado en Ingeniería Oceanográfica. En proceso.
- Dargie, W., & Poellabauer, C. (2010). Fundamentos de redes de sensores inalámbricos: teoría y práctica . John Wiley & Sons.
- Dodge, Mario. (2011). Telemetría usando redes de datos de telefonía celular. *Ingeniare*, 67-78, 2011.
- Franco-Galán, José. (2015). Diseño de un sensor para una boya oceanográfica de bajo coste. Universidad de la Laguna. 67 pp.
- Gómez-Liera, J. A., Flores-Vidal, X., Domínguez Preciado, F., García Guerrero, E. E., Inzunza González, E., & Navarro Olache, L. F. (2013). Manual de un sistema de telemetría GSM/GPRS acoplado a sensores oceanográficos. Technical report ref: DORIS_RT122013. Autonomous University of Baja California, Ocean Research Institute UABC-IIO , 101.
- Hernández Jaimes, J. L., Ortiz Martínez, R. V., Ochoa Torres, R. C., Landínez Mayorga, J. A., Rodríguez Rubio, E., Mogollón Díaz, A., ... & Darío, H. (2008). Gestión de datos e información oceanográfica colombiana.
- Herrador, R. E. (2009). Guía de usuario de arduino. Universidad de Córdoba, 8.
- Iriarte, José David. (2017). Red de boyas oceanográficas. Recuperado el 04 de octubre de 2018 de <http://www.cccp.org.co/index.php/component/content/article/204-monitoreo-oceano-atmosferico/209-red-boyas-de-oleaje>. 2018>.
- Liera, Cesar A., Sandoval, Andrés., Flores, Xavier., Perez, Paula. (2016). Diseño y construcción de boyas de deriva de bajo costo para mediciones de corrientes marinas superficiales en el Golfo de México. Reporte técnico. Baja California. México. 71 pp.
- Menjívar, Palma.(2013). Estación meteorológica multiparamétrica sincronizada con GPS y monitoreada a través de internet. Universidad de El Salvador.
- Ohlmann, Jaime. (2005). GPS–cellular drifter technology for coastal ocean observing systems. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 22(9).
- Pérez Chavarría, M., & Estudillo Zamora, E. (2009). Development of a data acquisition system for an oceanographic buor. *Journal of applied research and technology*, 7(2), 193-201.
- Physocean. (2013). Curso una introducción a la oceanografía física, España. Recuperado el 26 de noviembre de 2018 de <http://www.physocean.icm.csic.es/IntroOc/lecture13-es.html>>

- Programable Resolution 1-Wire Digital Thermometer, (2015) Maxim Integrated Products, Inc. recuperado de <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>. 2018
- Restrepo, Nora. (2011). Instrumentación para la medición de salinidad, temperatura y corrientes en océanos. Revista Educación en Ingeniería. 2011.
- Rosales, A. H., Arellano, F. M., & Cruz, D. S. (2015). Diseño y construcción de una boya oceanográfica con Arduino. Instituto Politécnico Nacional, ESIA Ticomán, México, Distrito Federal. 6 pp.
- Sandoval-Orozco, José de Jesús. (2016). Implementación de un prototipo electrónico para la monitorización y transmisión inalámbrica de variables ambientales marinas en boyas de deriva. Universidad de Colima. 154 pp.
- Soltau, Juan Manuel. (2014). Libro Construyendo país marítimo. Comisión Colombiana del Océano. Bogotá, Colombia. 210 pp. Recuperado el 14 de febrero de http://www.cco.gov.co/docs/publicaciones/libro_construyendo_pais_maritimo.pdf
- Universidad de Cádiz. (2012). Comenzando con Arduino. Recuperado de http://www.uca.es/recursos/doc/Unidades/Unidad_Innovacion/Innovacion_Docente_2018/ANEXOS_2011_2012/22232441_310201212102.pdf.
- Witze, A. (2015). Corals worldwide hit by bleaching. Nature [http://dx. doi. org/10.1038/nature](http://dx.doi.org/10.1038/nature).