

Sistema de adquisición y registro de datos autónomo con aplicación de hidrófono

Alvaro Callejas-Tavera^{1,a}, Erik Molino-Minero-Re^{2,b}

¹Facultad de Matemáticas, Universidad Autónoma de Yucatán

²Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas sede Mérida, Universidad Nacional Autónoma de México

Fecha de recepción: 14 de mayo de 2018 — Fecha de aceptación: 12 de febrero de 2019

Resumen

En este trabajo se presenta el diseño, construcción y caracterización de un sistema de adquisición y registro de datos con aplicación de hidrófono. Se emplea la tecnología de microcontroladores Microchip para el control durante el proceso de configuración, adquisición y registro. Además, se diseña un módulo de memoria y un módulo de comunicación con la PC para la configuración de parámetros operativos. Se utiliza una cerámica piezoeléctrica como elemento sensor para la adquisición de la acústica subacuática. También se describen herramientas de software para la decodificación y visualización de la información registrada. Las pruebas del equipo se realizan primero en el laboratorio para caracterizar y observar los límites de operación del sistema de adquisición. Posteriormente se realizan pruebas de campo para validar la funcionalidad de éste. El sistema desarrollado es robusto, autónomo y los componentes utilizados son de fácil adquisición en el mercado.

Palabras Clave: microcontroladores, sistema de almacenamiento de datos, cerámicas piezoeléctricas, acústica subacuática, sistema autónomo.

Autonomous data acquisition and registration system with hydrophone application

Abstract

This paper presents the design, construction and characterization of a data acquisition and registration system with hydrophone application. A Microchip microcontroller technology is used for control during the configuration, acquisition and registration process. In addition, a memory module and a communication module with the PC were developed. A piezoelectric ceramic is used as the sensor that acquires the underwater acoustics. Also, here we describe the software tools for decoding and visualizing the information. Tests to the equipment were performed first in the laboratory to characterize and observe the operating limits of the acquisition system. Subsequently, field tests were performed to validate its functionality under real conditions. The developed system is robust, configurable, autonomous and with off-the-shelf components.

^acallejasta@gmail.com

^berik.molino@iimas.unam.mx

Keywords: microcontrollers, data storage system, piezoelectric ceramics, underwater acoustics, autonomous system.

Introducción

Los especialistas e investigadores en distintos campos de la ciencia miden parámetros provenientes de la naturaleza de manera directa o indirecta, haciendo uso de sensores especializados según lo que se desea medir. La adquisición de datos se realiza a través de sistemas que capturan y almacenan la información en lo que comúnmente se conoce como registradores de datos, o bien como “data-loggers” (en inglés). Estos sistemas de adquisición cuentan con diferentes características en cuanto a su capacidad de registro, forma, funcionalidad, configuración de parámetros internos, entre otras.

Un campo de aplicación para los *data-loggers* es el registro de señales acústicas submarinas (hidrófono), donde el elemento sensor comúnmente es una cerámica piezoeléctrica, sensible a la vibración mecánica de las ondas subacuáticas, las cuales son transformadas en una carga eléctrica (Cúpich y Elizondo 2000).

El estudio del ruido subacuático es un campo de investigación activo y con mucho interés para conocer las características de la contaminación acústica que hay en distintos cuerpos de agua y su posible efecto sobre la vida marina (National Research Council 2005). Para realizar estos estudios es necesario contar con sistemas de adquisición y *software* de análisis especializados para el registro de la acústica subacuática, requiriendo sensores caracterizados y calibrados, lo que se traduce en equipos con un costo elevado, que puede limitar su aplicación.

Por ello, en este trabajo se describe una propuesta de sistema de adquisición y registro

de datos acústicos que opere como hidrófono. También se describen las pruebas de caracterización realizadas para conocer sus límites de operación. El sistema que se propone se ha pensado para que sea de bajo costo puesto que utiliza componentes estándares, que opere de manera autónoma, que sea configurable por el usuario y pueda operar y adquirir datos hasta por varios días siendo alimentado por baterías.

Metodología

Hardware del sistema de adquisición y registro de datos

El control central del sistema de adquisición se encuentra a cargo del microcontrolador (Pallas y Valdés 2007), que permite programar distintas funciones tales como la adquisición de datos mediante su convertidor analógico digital, adquisición de la hora y fecha por medio de su módulo interno RTCC (por sus siglas en inglés *Real Time Clock Calendar*), configuración de parámetros de operación, entre otras más. En este caso, se seleccionó la familia de los microcontroladores Microchip. Éstos poseen características importantes en el desarrollo del proyecto ya que son de tamaño reducido, de bajo consumo, cuentan con una amplia gama de funcionalidades con apoyo de *hardware* interno y están provistos de un vasto conjunto de instrucciones, que los hacen muy atractivos. Para el diseño y construcción del sistema de adquisición se utiliza un microcontrolador de la familia PIC24, en específico el PIC24FJ64GB002 (Microchip 2010). En la Figura 1 se observa las conexiones de manera general del microcontrolador con sus módulos que lo integran.

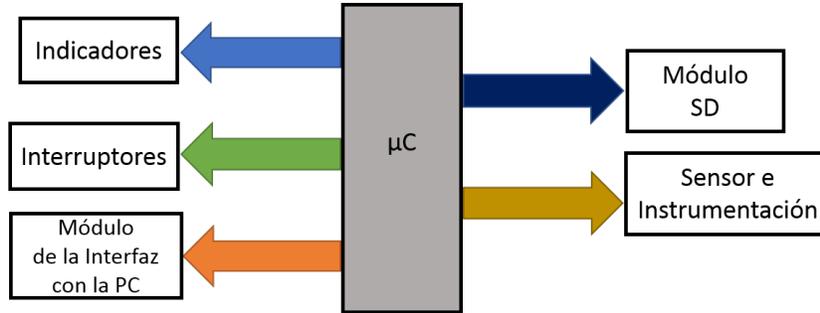


Figura 1. Bosquejo de conexiones entre el microcontrolador y sus módulos (Callejas 2018).

El sistema cuenta con una memoria micro SD para el almacenamiento de la información. Para establecer la comunicación entre el microcontrolador y la memoria se requieren dos módulos. El primero consta de un adaptador comúnmente utilizado en el mercado para aplicaciones de almacenamiento de información entre los microcontroladores y las memorias micro SD, el cual opera bajo el

protocolo SPI, además cuenta con un zócalo para la tarjeta facilitando la extracción e inserción de la memoria, ver Figura 2. El segundo módulo es un cambiador de nivel bidireccional que permite comunicar al microcontrolador con la tarjeta de memoria, en la Figura 2 se observa la conexión de los módulos y la memoria micro SD.

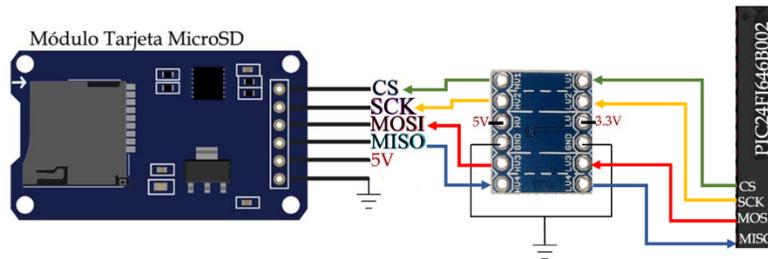


Figura 2. Diagrama general de la conexión entre el microcontrolador y el módulo de memoria (Callejas 2018).

Con el módulo mostrado en la Figura 2, el usuario configura los parámetros de adquisición del sistema. La configuración del microcontrolador se llevó a cabo mediante el protocolo serial, ya que el PIC cuenta con el soporte de *hardware* y *software* para la transmisión y recepción de datos, basado en el estándar RS-232. Una vez realizada la

configuración se desconecta el módulo de comunicación con la PC, ya que el sistema opera sin necesidad del ordenador, haciendo el *data-logger* autónomo, además de reducir el consumo eléctrico. En la Figura 3 podemos observar el bosquejo general del *hardware* del sistema de adquisición y sus módulos.

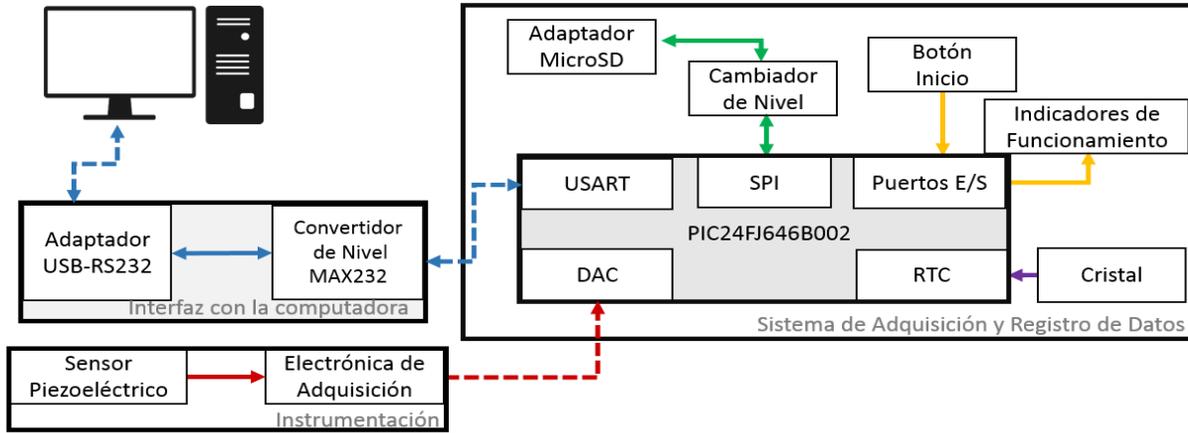


Figura 3. Esquema general del *hardware* del sistema de adquisición y sus módulos (Callejas 2018).

Sensor piezoeléctrico y electrónica de adquisición

En este trabajo se seleccionó un sensor piezoeléctrico para detectar las vibraciones acústicas subacuáticas, para su operación como hidrófono. En particular, se utilizan las cerámicas piezoeléctricas que se encuentran en los zumbadores en forma de disco (RS Pro 2007), los cuales producen vibraciones cuando se les aplica un voltaje en sus terminales, lo que les da una funcionalidad electromecánica como sucede en una bocina. Estos zumbadores se

pueden aprovechar como sensores gracias a que el efecto piezoeléctrico es reversible, es decir, se pueden generar señales eléctricas a partir de las vibraciones aplicadas a la cerámica (Sherman y Butler 2007).

Para la elección del sensor más adecuado se encapsuló la cerámica piezoeléctrica en un globo con aceite de vegetal dieléctrico, esto para lograr un adecuado acoplamiento de impedancias y evitar que el aire atenúe las ondas subacuáticas que se desean medir, ver Figura 4.

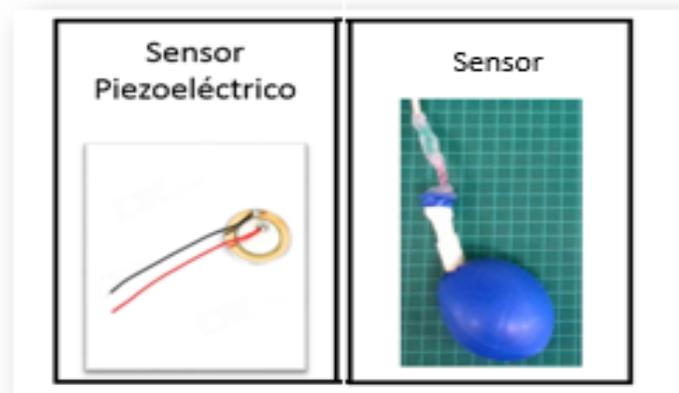


Figura 4. Sensor desarrollado para el hidrófono (Callejas 2018).

Se diseñaron también las etapas de la electrónica de adquisición para obtener la señal de la cerámica piezoeléctrica y de esta manera el microcontrolador pueda registrar la información mediante su convertidor A/D. En la Figura 5 se observa el flujo de la electrónica de adquisición donde la señal entra al amplificador de carga diferencial, el cual convierte la carga entregada por la cerámica piezoeléctrica en sus terminales a voltaje (Massarotto et al. 2007).

Después de adquirir la señal, está es filtrada dentro del ancho de banda de interés (1 Hz a 10 kHz) y la señal es amplificada (Márquez 2013) y colocada mediante un voltaje de *offset* para que el microcontrolador aproveche el rango de voltaje de medición y capture mediante su convertidor analógico digital que va de 0 V a 3.3 V la señal proveniente del sensor (Coughlin y Driscoll 1999).

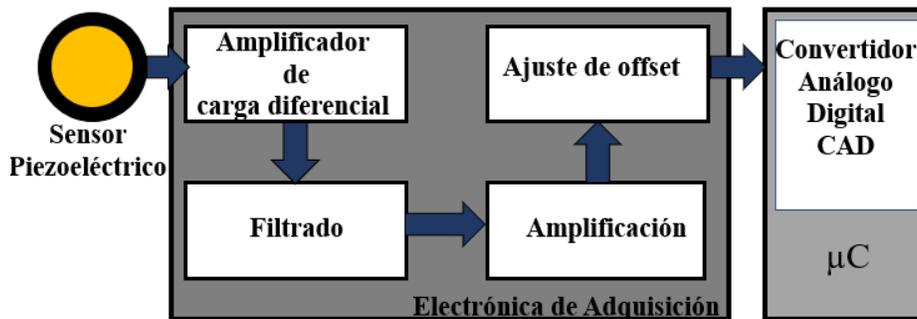


Figura 5. Flujo de la electrónica de adquisición y sus etapas entre el convertidor y el sensor.

El sensor se probó siguiendo esta metodología: se colocaron los sensores en el recipiente con agua y con ayuda de otro *buzzer*, que actúa como fuente acústica, conectado a un generador de funciones se le aplicó una señal sinodal y se observó la respuesta del sensor en el osciloscopio. Se observó que la forma de onda presenta fluctuaciones en el orden de milivolts (+-15 mV) debido al canal de agua, pero la respuesta en frecuencia se mantenía. El sensor detectó cambios de intensidad de

manera proporcional a los cambios generados por la fuente.

Software del sistema de adquisición

En este trabajo se propone como medio de control una máquina de estados para realizar todas las tareas de adquisición, registro y seguimiento del sistema, la cual se observa en la Figura 6 con sus estados y transiciones.

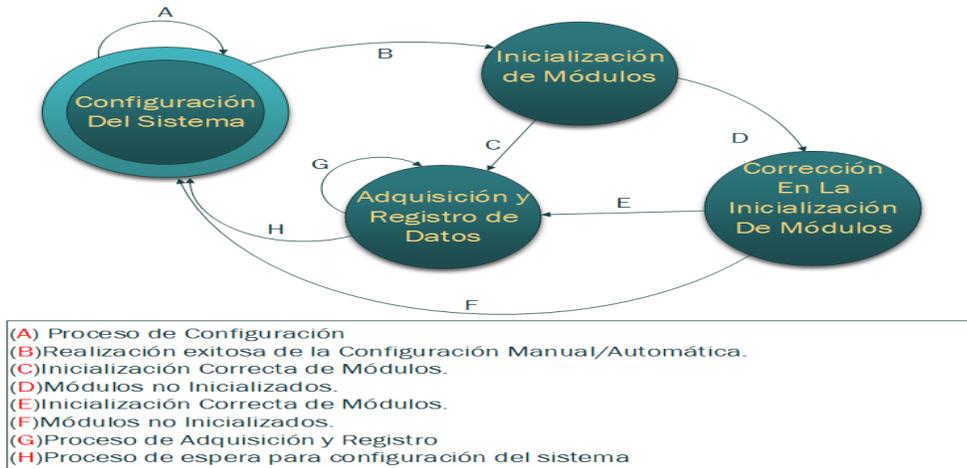


Figura 6. Flujo de la máquina de estados del algoritmo de control general.

Comenzando por el primer estado el sistema debe ser configurado antes de capturar y guardar cualquier tipo de datos. Para esta primera etapa, el *data-logger* desarrollado cuenta con tres modos de configuración, que son iniciados por distintos eventos: Configuración automática de parámetros de usuario, adquisición y de tiempo por defecto; configuración manual modificando el tiempo de adquisición; y configuración manual modificando todos los parámetros.

La forma automática de configuración inicia si no hay ningún evento a lo largo de los primeros

dos minutos después de que el sistema fue energizado. Si este es el caso, se ejecuta la configuración de forma automática y secuencial cargando los datos por defecto guardados en la memoria del PIC. Con respecto a las dos configuraciones manuales, el usuario debe oprimir un interruptor específico en el exterior del sistema, y a través de la PC el usuario elegirá entre reconfigurar solamente el tiempo que el sistema adquirirá información, o si desea realizar la configuración completa de los parámetros a configurar. En la Tabla 1 se observan los parámetros de la configuración por defecto almacenada en el microcontrolador.

Tabla 1. Parámetros de configuración del sistema de adquisición.

Configuración del sistema de adquisición de datos	
Campo	Parámetro por defecto
Usuario	IIMAS
Institución	UNAM
Ciudad	MEXICO
Fecha y hora	01/01/2018 12:00:00

Tiempo para archivos	1 MINUTO
Frecuencia de muestreo	50 kmps
Letra inicial	A
Número inicial	000000
Horas de adquisición	24 Horas

Concluida la configuración de los parámetros de operatividad del microcontrolador, la información es enviada a los módulos internos para que se inicialicen y ejecuten las funciones programadas. Una vez que el usuario configura el sistema, estos datos se almacenan en registros temporales antes de ser escritos en el libro de registros llamado LOGBOOK.TXT, en la memoria micro SD, que funciona como la hoja de registro de la medición en curso.

Posteriormente el microcontrolador ejecuta la secuencia de inicialización de la memoria micro SD (Hernández y Santiago 2009), en donde se calcula también la capacidad de la memoria y se guarda en el libro de registro. El lapso de tiempo en el cual se crean archivos nuevos con los datos de la adquisición, así como la frecuencia de muestreo para la adquisición se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Configuración del tiempo para archivos y frecuencia de muestreo.

Parámetros de configuración	
Tiempo para generación de archivos	Frecuencia de muestreo
1 MINUTO	250 kmps
	125 kmps
10 MINUTOS	80 kmps
	50 kmps
1 HORA	25 kmps
	10 kmps

Al iniciar el proceso de adquisición el sistema comienza a capturar y guardar los datos de manera automática y secuencial. En este proceso es necesario mantener controlados los tiempos de la ejecución de tareas, puesto que si no existe sincronía durante el desarrollo los datos se pueden perder mientras ocurre la escritura a la memoria micro SD. Para este proceso se utiliza la técnica de guardado de la información en bloques temporales para después ser escritos a memoria. Este proceso es conocido como *buffering* en inglés, el cual permite guardar la información al mismo tiempo que nueva información se va generando.

El proceso funciona de la siguiente manera: cada 16 conversiones realizadas en el módulo A/D se avisa al microcontrolador para que las lea, luego éstas se almacenan en un *buffer* temporal. Mientras este *buffer* no esté lleno el convertidor sigue capturando más muestras. El microcontrolador espera una bandera de estado que indica que el *buffer* temporal está lleno y puede empezar a transferir la información de éste a un segundo *buffer* auxiliar, en el cual se codifica la información y posteriormente se envía en bloques de datos a la memoria micro SD. Este proceso es iterativo hasta que el lapso de tiempo programado de adquisición termine

o el tiempo entre creación archivos haya transcurrido.

El bloque de datos almacenado en el *buffer* auxiliar se codifica como se muestra en la Figura 7 para aprovechar el espacio disponible en la memoria, ya que las muestras adquiridas son de 10 bits y la memoria está conformada por registros múltiples de 8 bits, por lo que se procede a la codificación de información siguiendo un patrón que permite posteriormente la decodificación de ésta. El proceso inicia tomando las primeras 4 muestras del bloque de datos cada una de 10 bits y dividiendo estas muestras de forma secuencial bit a bit en 5 bytes. Debido a que cada muestra es de 10 bits para acumular 4 muestras se requieren 40 bits. Iniciando con la codificación se almacena en el primer byte los 8 bits menos significativos de la muestra 1, seguidamente la muestra 1 y 2 recorren su bits almacenando en

el segundo byte los seis bits menos significativos de la muestra 2 en la parte alta y los dos bits más significativos de la muestra 1 en la parte baja, se corren los bits en las muestras 2 y 3 almacenando los cuatro bits menos significativos de la muestra 3 en la parte alta del tercer byte y los cuatro bits más significativos de la muestra 2 en la parte baja, se realiza otro corrimiento entre las muestras 3 y 4 almacenando los 2 bits menos significativos de la muestra 4 en la parte alta del cuarto byte y los seis bits menos significativos de la muestra 3 en la parte baja, por último en el quinto byte se almacenan los 8 bits más significativos de la muestra 4. Esta secuencia se repite con las siguientes 4 muestras y así sucesivamente hasta terminar de codificar el bloque completo de datos de 512 bytes, esta codificación requiere que el bloque de datos que almacena las muestras sea divisible entre 4.

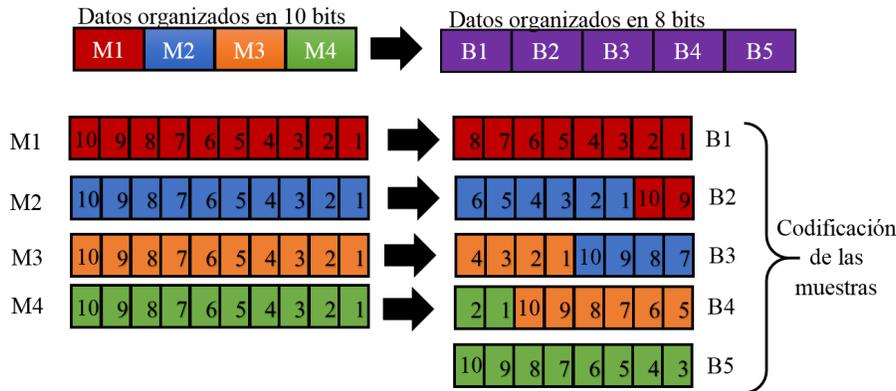


Figura 7. Proceso de codificación de las muestras en el sistema de adquisición y registro de datos (Callejas 2018).

Herramientas de software para la decodificación y visualización de la información

Cuando el proceso de adquisición de datos concluye, el usuario necesita de herramientas de *software* para poder decodificar, visualizar

y analizar los datos almacenados en la memoria micro SD, ya que estos se encuentran guardados en el formato de codificación que se muestra en la Figura 7. Por lo tanto, se desarrolló un programa en la interfaz de Zinjal (Novara 2001) en lenguaje C para la decodificación de la información. Los archivos decodificados se crean en formato separado por

comas llamado *.CSV, y con salto de línea. Los datos se almacenan en formato numérico ASCII para ser analizados posteriormente.

Para obtener los datos decodificados el programa lee primero la cabecera del archivo,

la cual contiene una cabecera la cual le brinda información extra de la adquisición y el estado del archivo a decodificar. Cada cabecera de archivo está conformada por 13 bytes, ver Figura 8.

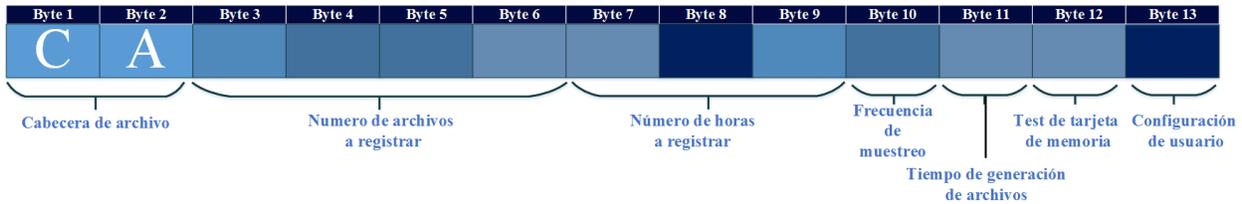


Figura 8. Cabecera de archivos codificados en la memoria (Callejas 2018).

Los datos están codificados de la siguiente manera: los primeros dos bytes son identificadores de inicio, es decir, el primer byte contiene la letra “C” y el segundo byte la letra “A”, los cuales indican cabecera de archivo. Posteriormente en los siguientes cuatro bytes se almacena la cantidad de archivos que se generan por cada adquisición, en los tres siguientes bytes se guarda el número de horas del registro, después en el siguiente byte se guarda la frecuencia de muestreo elegida durante la configuración de usuario, de igual manera se guarda la información sobre el estatus de la tarjeta de memoria y la forma de configuración de usuario en los dos últimos bytes.

Pruebas y resultados

Después de la integración del hardware y software del sistema de adquisición y registro de datos se realizaron diversas pruebas. Primero se llevaron a cabo pruebas en el laboratorio bajo condiciones de temperatura controlada a 21°C. Después se validó el sistema a través de pruebas de campo, en un cenote y en la costa. Las pruebas están

divididas en cuatro secciones: (i) pruebas de caracterización del sensor piezoeléctrico, (ii) pruebas de funcionalidad y operatividad realizadas al *hardware* y *software* del sistema, (iii) pruebas de funcionalidad al sistema durante la adquisición y (iv) las pruebas realizadas en el campo. A continuación, se presentaran los resultados de dichas pruebas.

Prueba de respuesta en frecuencia.

Con esta prueba se busca obtener el rango operativo del sensor en frecuencia manteniendo una señal de entrada fija en amplitud, así también como identificar su frecuencia de resonancia. Para ello se situó el sensor al extremo de un recipiente rectangular de 25 cm de ancho x 30 cm de largo y 12 cm de alto con agua, procurando que este quede flotando y al otro extremo se colocó la fuente emisora un zumbador sumergido en aceite vegetal envuelto con una cubierta plástica dentro del agua. Después mediante un generador de funciones se le suministró a la fuente una señal sinusoidal de 3 V pico-pico con una frecuencia inicial de 100 Hz. Durante la prueba se mantuvo la amplitud de voltaje de

la señal fija y se varió la frecuencia realizando un barrido con el generador con incrementos de 250 Hz hasta llegar a un 1kHz y después con incrementos de 100 Hz hasta llegar a 4 kHz.

Los resultados obtenidos se observan en la Figura 9 donde la frecuencia de resonancia se encuentra a 2.6 kHz.

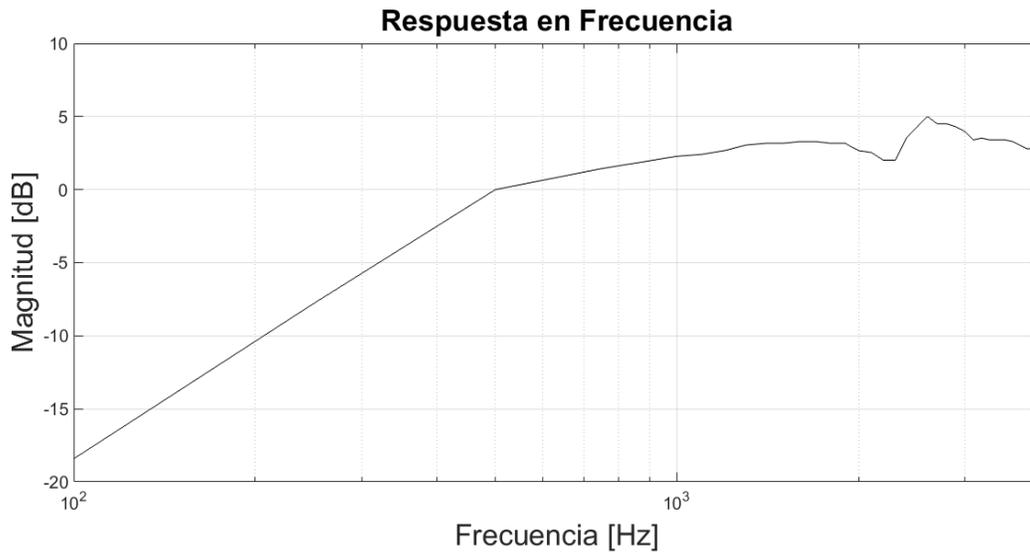


Figura 9. Respuesta en frecuencia del sensor del sistema, el pico de resonancia aparece a 2.6 kHz.

Prueba de adquisición de datos en un barrido en frecuencia

Con esta prueba se busca adquirir por medio del sensor piezoeléctrico dos barridos en frecuencias y analizar la información. Para ello se colocó el sensor y la fuente sonora a 15 cm de distancia siguiendo la misma metodología que en la prueba anterior. Después se programó el generador de funciones para suministrar al zumbador en dos lapsos de tiempo distintos

barridos en frecuencia de una señal sinusoidal de 4 V pico-pico. Las configuraciones de las pruebas realizadas al sistema son: Barrido 1: tiempo 2 segundos, rango de frecuencia de 400 Hz a 2.1 kHz. Barrido 2: tiempo 1 segundo, rango de frecuencia de 100 Hz a 5 kHz. Los resultados se muestran en la Figura 10, en donde la señal en azul es la registrada por el sensor y la roja representa la salida de la señal filtrada digitalmente. Se eligió esta banda de frecuencias ya que cubren el ancho de banda del sensor.

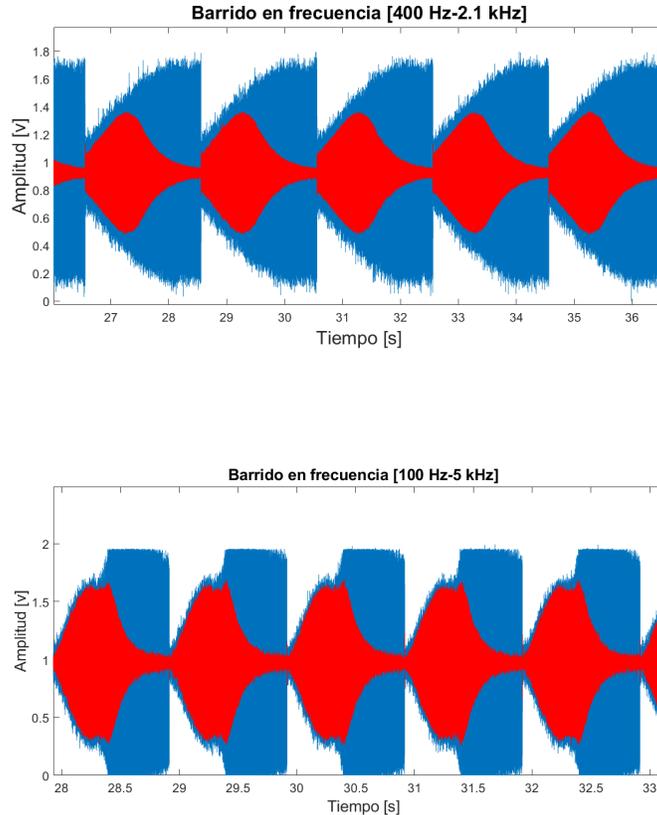


Figura 10. Señal registrada por el sistema de los barridos en frecuencia de 400 Hz a 2.1 kHz y de 100 Hz a 5 kHz (azul) y después del filtrado digital (roja) (Callejas 2018).

Prueba de adquisición en un cenote (campo)

Con esta prueba se busca registrar por medio del sistema de adquisición la acústica en un cenote, donde las fuentes de ruido son mínimas, además registrar las perturbaciones que se generan cuando se arrojan objetos o se golpea la superficie del cenote con una rama. Para la prueba se eligió el cenote de Chen Há el cual se encuentra ubicado entre los poblados de Dzitya y Cheumán en Yucatán, México. El sensor se sumergió dos metros en el agua del

cenote y el sistema de adquisición fue iniciado de forma automática generando archivos de 50 kmps en intervalos de 1 minuto de adquisición, durante el proceso se generaron de forma artificial perturbaciones a 5 m metros del sensor y a 10 cm del sensor. Se adquirieron 19 archivos de un minuto de duración para la prueba en el cenote. Un ejemplo de los resultados se muestra en la Figura 11. Primero se muestra la adquisición del sensor en el cenote sin ruido y luego una adquisición con ruido artificial generado al golpear la superficie del agua con una rama a 5 m de distancia.

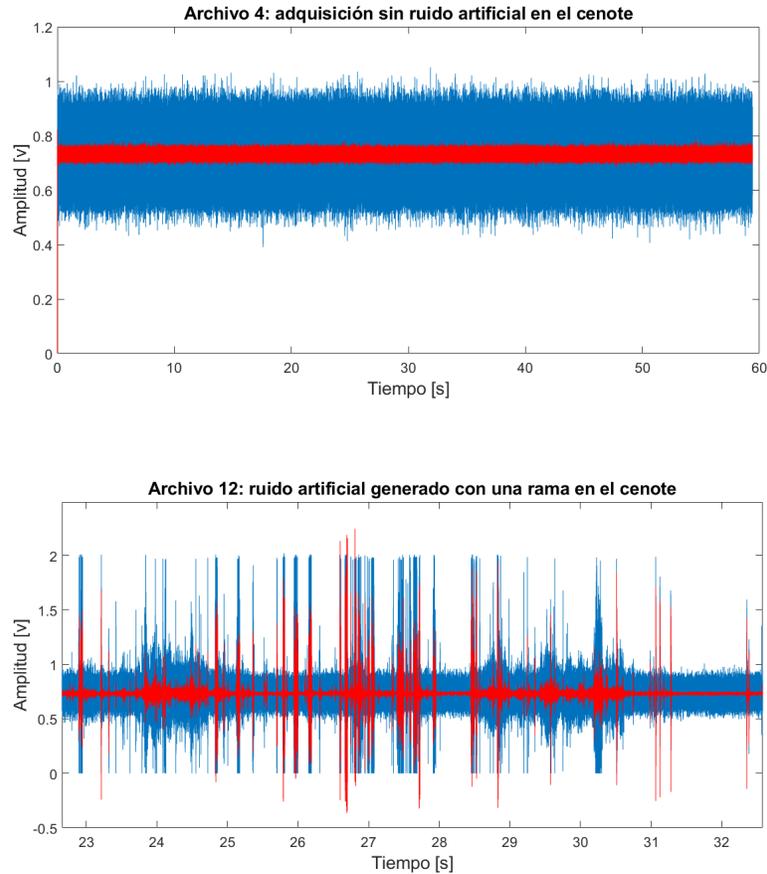


Figura 11. Archivo 4 y 12 de adquisición de la acústica subacuática en el cenote con fuentes de ruido artificiales y sin fuentes de ruido. La señal original es la azul y la filtrada digitalmente es la roja (Callejas 2018).

Prueba de adquisición en el mar (campo)

Con esta prueba de busca registrar por medio del sensor la acústica subacuática generada en el mar en el muelle del poblado de Chicxulub Yucatán. Este muelle está provisto de escaleras a sus extremos donde se instaló el equipo y el sensor se sumergió a dos metros de profundidad en el mar. Después se inició el

sistema de forma automática con frecuencia de adquisición a 50 kmps en intervalos de adquisición de 1 minuto durante un periodo de 15 minutos. Un ejemplo de los resultados se muestra en la Figura 12, que consta de dos adquisiciones en el mar donde las fuentes de ruido son de diversa índole. Se observó que la señal presenta varias alteraciones en la amplitud.

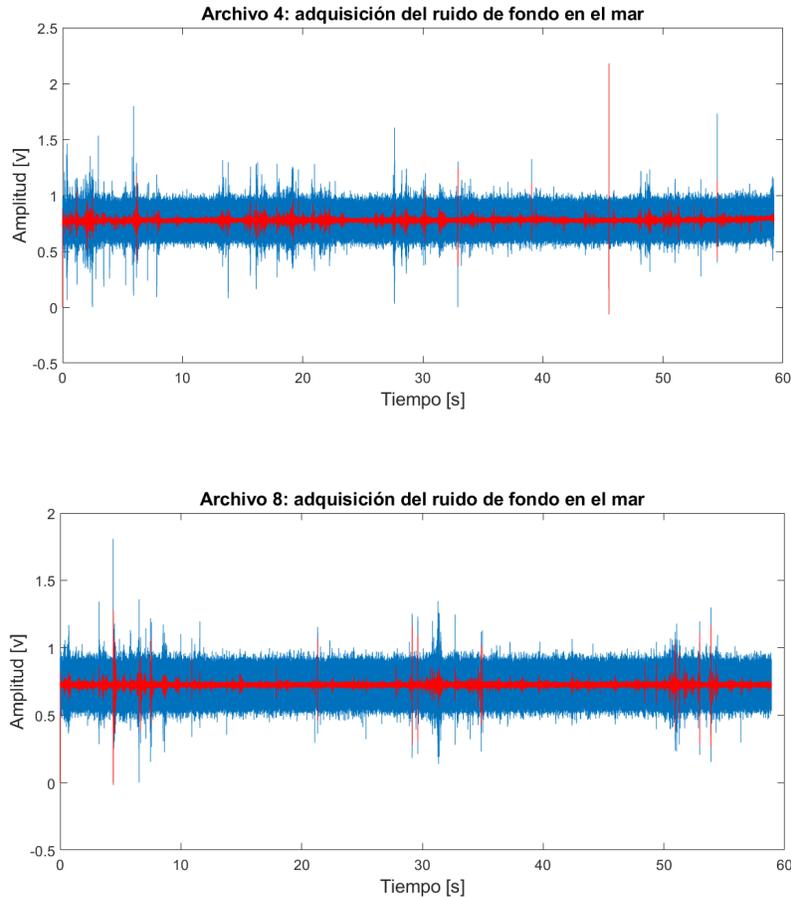


Figura 12. Archivo 4 y 8 adquiridos durante un minuto de la acústica subacuática en el mar con diversas fuentes de. La señal original es la azul y la filtrada es la roja (Callejas 2018).

Discusión

Como se observa en la Figura 9 el sensor piezoeléctrico utilizado para la adquisición presenta su frecuencia de resonancia en 2.6 kHz, la cual se identifica en la gráfica como el valor más alto en magnitud. Antes de llegar a la frecuencia de resonancia se observa una zona de amplitud más o menos (plana) en el intervalo de 500 Hz a 2 kHz la cual representa la zona de operación en frecuencia del sensor, es decir, el ancho de banda útil del sensor. Además, se presenta una disminución en la

amplitud previo a la frecuencia de resonancia causada debido a la geometría y el material con el cual está elaborado el piezoeléctrico lo cual se reflejado en su respuesta.

En la Figura 13 se muestra el espectrograma de ambos barridos en frecuencia de la señal filtrada. En el espectrograma se muestra una ventana de tiempo en donde se observa el crecimiento en frecuencia (línea roja) al transcurrir los tiempos programados en el generador de funciones para cada uno coincidiendo con la adquisición mostrada.

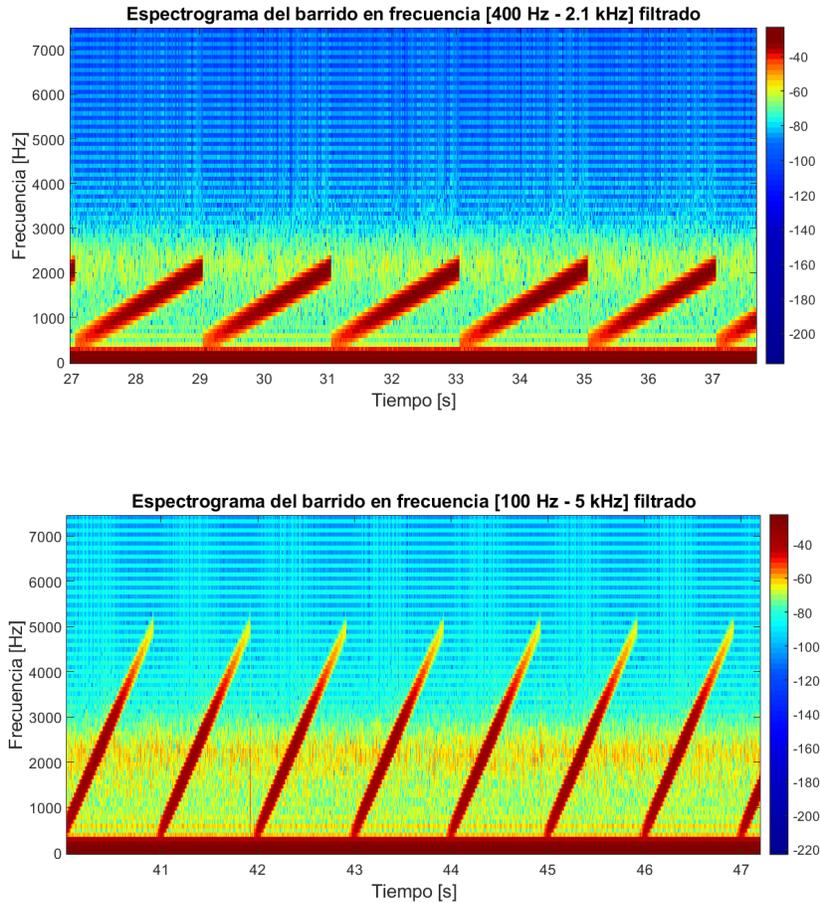


Figura 13. Espectrogramas de los barridos en frecuencia realizados, en color rojo podemos observar el crecimiento durante los intervalos generados (Callejas 2018).

Se llevaron a cabo las pruebas de campo en dos ambientes distintos: un cenote y el mar. En la Figura 11 se observa una adquisición con amplitud constante manteniéndose sin variaciones considerables, ya que el cenote al ser un cuerpo con un oleaje casi nulo y sin fuentes de ruido cercanas no muestra cambios bruscos en la amplitud. Posteriormente se generaron perturbaciones artificiales de la misma forma e intensidad durante un lapso de 2 segundos con una rama golpeando la superficie del agua en un rango de distancia de

entre 50 cm a 8 m del sensor, en donde se observa la intensidad de aquellas perturbaciones cercanas a -40 dB mientras que las más alejadas a -50 dB el cambio en la amplitud reflejada por los golpes generados durante dos segundos de adquisición.

En la Figura 14 se observa el espectrograma filtrado de la perturbación artificial durante un lapso de tiempo y en 3D durante el minuto de adquisición.

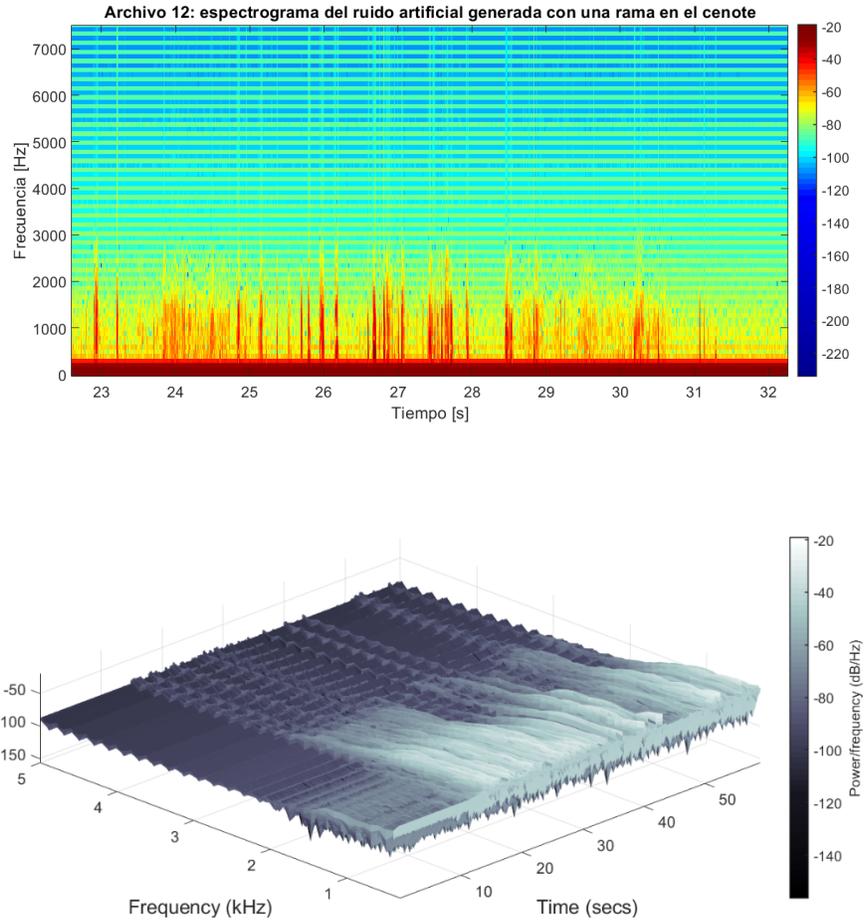


Figura 14. Espectrogramas del archivo 12 adquirido en el cenote, en la primera imagen es durante un lapso de tiempo y en 3D durante el minuto completo de adquisición (Callejas 2018).

La segunda prueba de campo se realizó en el mar, en la Figura 12 se observa una adquisición con ruido capturado de diversas fuentes como: viento, oleaje, golpeteo con el muelle, embarcaciones, motores, entre otras. Estos

eventos registraron distintas intensidades y espectros ya que las fuentes de ruido como se observa en los espectrogramas del archivo número 4 que se muestra en la Figura 15 detectaron distintas frecuencias y energía.

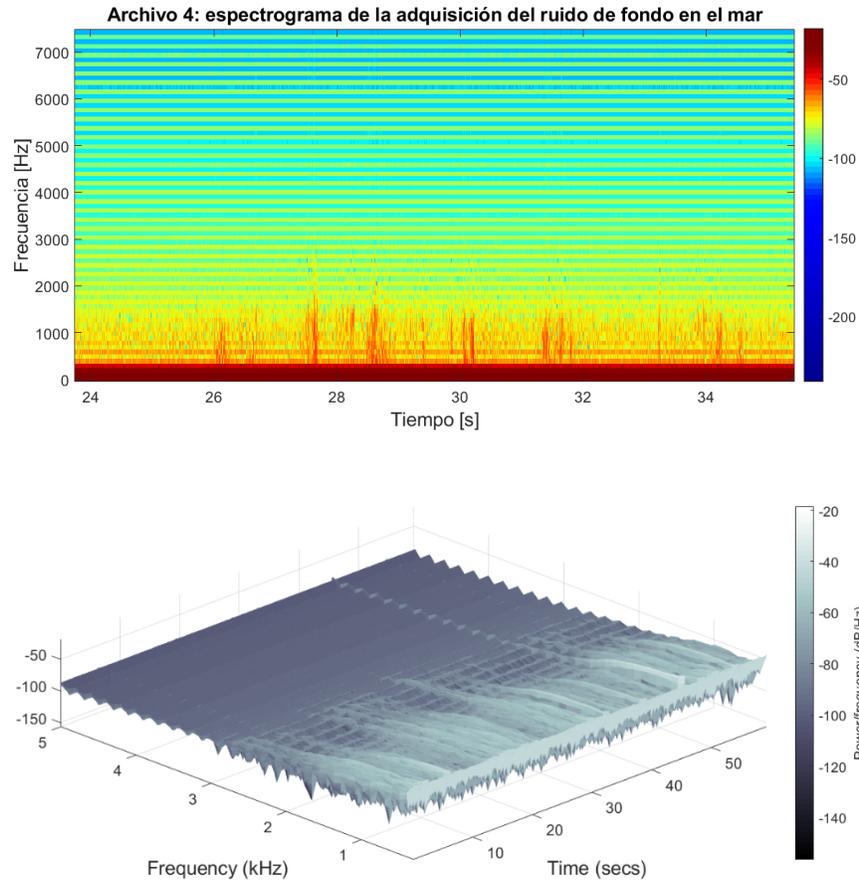


Figura 15. Espectrogramas del archivo 4 adquirido en el mar con varias fuentes de ruido, en la primera imagen es durante un lapso de tiempo y en 3D durante el minuto completo de adquisición (Callejas 2018).

Conclusiones

En este trabajo se planteó el diseño, construcción y caracterización de un sistema de adquisición de datos. Para lograr el objetivo se siguió la metodología aquí desarrollada diseñando y construyendo el *hardware* del sistema así como la electrónica de adquisición y posteriormente programando el software de control, generando una serie de pruebas de funcionalidad para garantizar su operatividad durante el tiempo programado. El sistema es autónomo y cuenta con una interfaz para la

configuración de parámetros. Además, se caracterizó el ancho de banda del sensor utilizado para registrar la acústica subacuática. Cabe agregar que el *data-logger* puede ser adaptado para adquirir señales de otros tipos de sensores analógicos ajustando los parámetros al microcontrolador, expandiendo el campo de aplicación para el sistema de adquisición.

Así también, el sistema de adquisición emplea un método de codificación de datos que ordena la información en memoria lo que hace más eficiente el uso del espacio disponible de la

memoria micro SD. Como parte del sistema se han desarrollado las herramientas para la decodificación y visualización de los datos que verifican la integridad de los archivos y generan documentos con extensión *.CSV los cuales pueden ser analizados con una amplia gama de programas.

El *hardware* y el *software* son modulares y permiten su adaptación y adecuación a diversas necesidades de adquisición de datos.

Agradecimientos

Este trabajo fue parcialmente apoyado por el programa UNAM-PAPIIT: IA102918. El autor ACT agradece a Fátima Yovana Cocom Nah por su labor en la edición de las imágenes y apoyo en las distintas pruebas de laboratorio y de campo.

Referencias

Callejas Tavera Alvaro. Diseño y construcción de un sistema de adquisición y registro de datos autónomo para un hidrófono. Tesis de licenciatura. Facultad de Matemáticas, Universidad Autónoma de Yucatán, 2018.

Coughlin Robert F., Driscoll Frederick F., Amplificadores Operacionales y Circuitos Lineales Integrados. Prentice Hall, Inc, 1999.

National Research Council. Marine Mammal Populations and Ocean Noise: Determining When Noise Causes Biologically Significant Effects. Washington, DC: The National Academies Press. 2005.

Cúpich Rodríguez Miguel, Elizondo Garza Fernando J. Actuadores piezoeléctricos. Ingenieras, Vol. III (6):22–28, Enero-Marzo 2000.

Hernández López A., Santiago Cruz L., Registro de datos en tarjetas de memoria sd card implementando los sistemas de archivos fat16 y fat32. Tesis de maestría, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, 2009.

Márquez Flores Jorge. Amplificadores operacionales. Reporte técnico, CCADET-UNAM, 2013.

Massarotto Marco, Carlosena Alfonso, Lopez-Martín Antonio J., Two-stage differential charge and transresistance amplifiers. IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, 57:309–320, 2007.

Microchip Technology Inc. PIC24FJ64GB004 Family Data Sheet, 2010.

Novara Pablo, Interfaz de programación ZinjaI, 2001.

Pallas Areny, Ramón, Valdés Pérez E. Fernando. Microcontroladores: Fundamentos y aplicaciones con PIC. ALFAOMEGA, 2007.

RS Pro. Piezo Electric Transducer 15Vpp, 2007.

Sherman C., Butler J., Transducer as hydrophones. *Transducers and arrays for underwater sound*, Vol.II:152–212, 2007.