Sistema autónomo de medición de altura, temperatura y conductividad del agua en cauces hídricos con transmisión de datos en tiempo real

Christian Javier Torres Hermosa, Fabián Lobos Maciel, Fernando Pio Barrios, Carolina Recalde, Carlos Alberto Romero y Claudio Rodrigo Chávez

Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción

E-mail: cjtorresh@gmail.com, fbn.lobos@gmail.com, barrios.fernando@gmail.com, carolinarecalde@gmail.com

RESUMEN: El sistema autónomo de medición, consiste en un prototipo de operación íntegramente remota y autónoma, cuya función es recabar datos de nivel, temperatura y conductividad del agua en cursos hídricos del territorio paraguayo, con transmisión de datos en tiempo real vía GPRS. Instalado en la Administración Nacional de Navegación y Puertos (ANNP) situado en el Puerto de Asunción, sobre el margen izquierdo del Rio Paraguay, para el mismo se desarrolló una interfaz de usuario, disponible vía WEB, la que se encarga de la gestión de los datos recolectados y la presentación de las mediciones en tiempo real, como así también de los registros históricos almacenados en la base de datos.

INTRODUCCIÓN

En el Paraguay, para la determinación de la altura de agua se utilizan, mayormente, medidores no registradores del tipo escala limnimétrica vertical graduada, la cual consiste en una escala o regla vertical, graduada, fija sobre un poste o una obra que permite medir el nivel de agua, para ello se debe encontrar parcialmente sumergida en el río, lago o laguna que se desee medir, un operario se encarga de hacer las mediciones, llevar registro de las mismas e informar al Departamento de Meteorología e Hidrología (DMH) de la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil (DINAC).

El principal inconveniente que presenta el sistema actual, es la escasez de datos recolectados, debido principalmente a la falta de puestos de medición en ríos, lagos y lagunas a lo largo de todo el territorio paraguayo, así como la falta de modernización de los equipos y métodos de medición empleados.

El constante avance tecnológico nos posibilita desarrollar nuevas herramientas, para mejorar las mediciones, masificar la información obtenida y transmitida, además de reducir la intervención del hombre en estos procesos, por esta razón consideramos de suma importancia el desarrollo de un sistema autónomo de medición y transmisión de datos en tiempo real; de manera a crear una red nacional de medición hidrológica que combata la carencia de datos con los que contamos en la actualidad.

OBJETIVOS

2.1 *Objetivo General*

Implementar un prototipo autónomo de medición de altura, temperatura y conductividad en cauces hídricos del territorio paraguayo con transmisión de datos en tiempo real, utilizando sensores electro-físicos.

2.2 *Objetivos específicos*

- Estudiar los parámetros de calidad de agua como la temperatura y conductividad, así como los métodos empleados para su medición.
- Desarrollar el software encargado de realizar todas las tareas de medición, almacenamiento y envió de datos.
- Utilizar apropiadamente los lenguajes de programación WEB tales como HTML, CSS, JavaScript y PHP para el desarrollo de una página WEB como interfaz para que el usuario final consulte datos en tiempo real, así como registros almacenados en la base de datos.
- Implementar el lenguaje de programación MySQL para el manejo de base de datos.
- Diseñar, modelar en 3D y simular piezas mecánicas, eléctricas y electrónicas de manera a estudiar los posibles comportamientos del dispositivo de medición en diferentes condiciones climáticas a las que se vea expuesto.
- Registrar, transmitir en tiempo real y almacenar las mediciones obtenidas en una base de datos.

MÉTODOS

El proyecto consistió en desarrollar un sistema autónomo y robusto capaz recolectar datos del nivel del agua, conductividad eléctrica y temperatura, así como la humedad y temperatura en los cuales operan los componentes del prototipo en su contenedor hermético.

Estos datos son almacenados localmente en una memoria *flash* y a su vez transmitidos vía *GPRS* a un servidor en el cual los mismos son almacenados en una base de datos y a través del cual son exhibidos en una página *WEB*, teniendo acceso a datos en tiempo real, así como datos históricos.

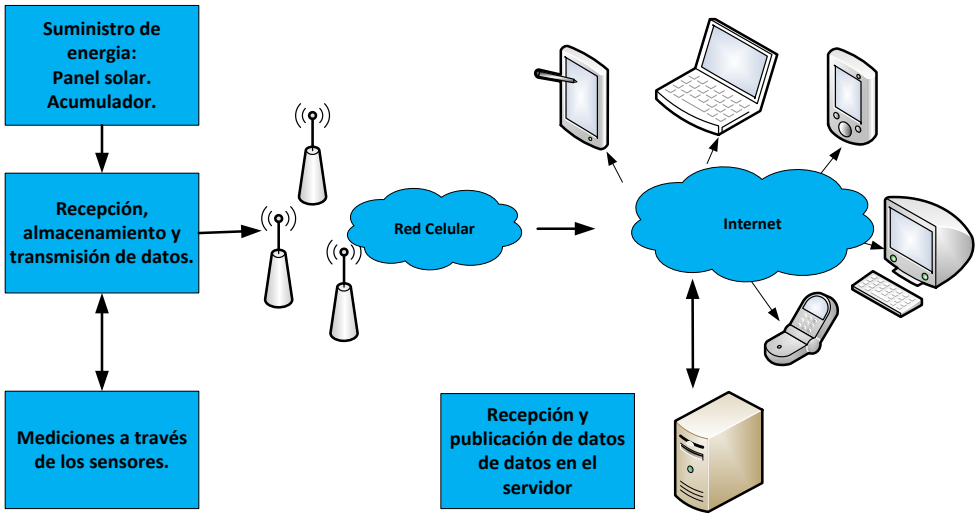

Figura 1: Esquema general del proyecto
Fuente: Elaboración propia

El prototipo

Como solución se desarrolló un dispositivo de medición de nivel, temperatura y conductividad del agua que funciona de manera totalmente autónoma, gracias a un sistema de alimentación compuesto por un panel solar y una batería de ciclo profundo, capaz de garantizar una autonomía de hasta 7 días.

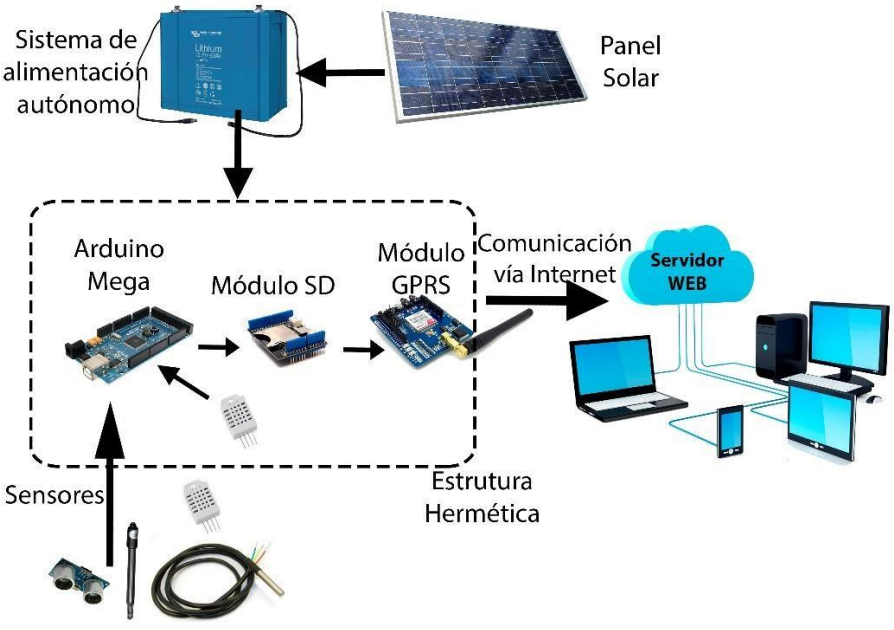

Figura 2: Esquema del proyecto

Fuente: Elaboración propia

Diagrama en bloques.

En el siguiente diagrama se representan los diferentes bloques que componen al sistema

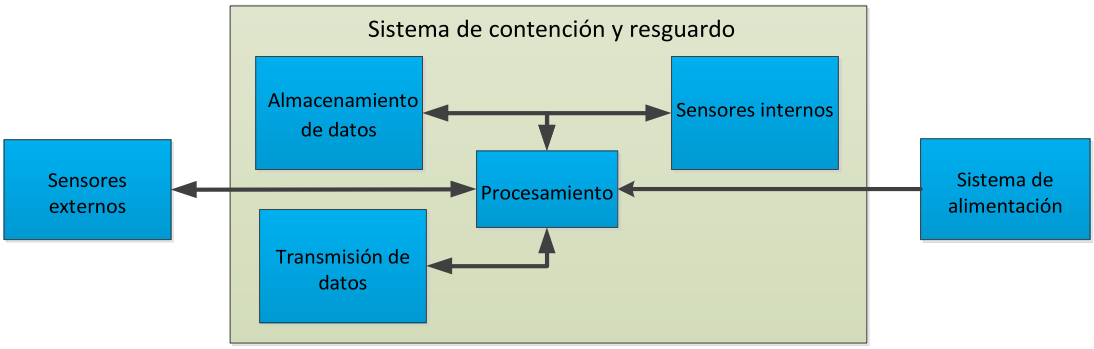

Figura 3: Diagrama del proyecto

Fuente: Elaboración propia.

Sistema de contención y resguardo

De manera a proteger los dispositivos electrónicos se diseñó y elaboró un sistema hermético de contención, el mismo fue hecho en aluminio 355-T6 para garantizar que todo el sistema funcione dentro del rango de temperatura ideal de trabajo. De la figura 3 a la figura 6 se detallan las dimensiones del dispositivo de contención y en la figura 7 se puede observar al dispositivo ya terminado.

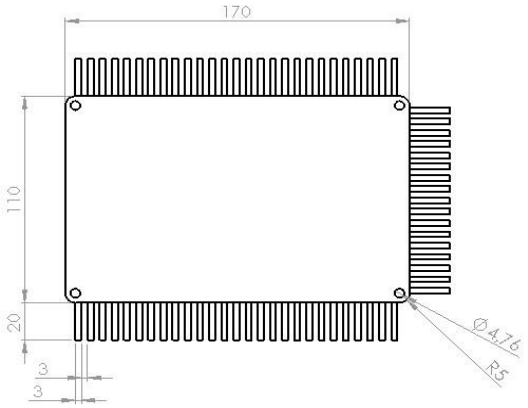

Figura 4: Vista superior del dispositivo de contención

Fuente: Elaboración propia

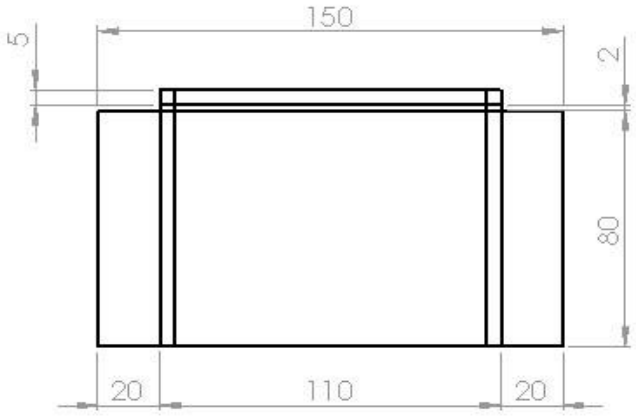

Figura 5: Vista frontal del dispositivo de contención

Fuente: Elaboración propia

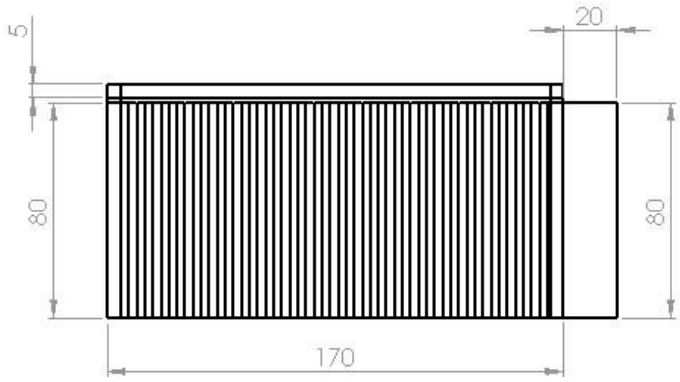

Figura 6: Vista lateral del dispositivo de contención

Fuente: Elaboración propia

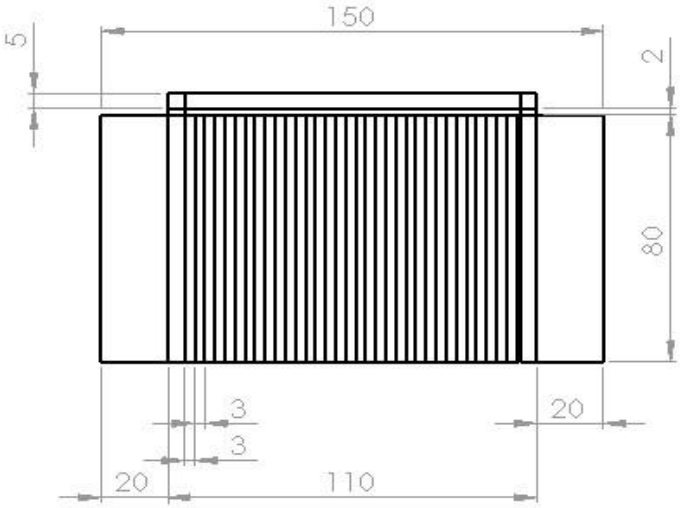

Figura 7: Vista posterior del dispositivo de contención

Fuente: Elaboración propia

Figura 8: Dispositivo de contención

Fuente: Elaboración propia

Procesamiento

Es el bloque central, el mismo esta interconectado con todos los demás bloques, es el encargado de alimentar a los sensores internos y externos así como de tomar los datos medidos por cada uno de ellos, luego se encarga de guardar en memoria estos datos con la ayuda del módulo SD para posteriormente remitirlos al servidor WEB con ayuda del módulo GPRS, el encargado de realizar todas estas tareas es la placa de desarrollo Arduino Mega a través de sus diferentes puertos de comunicación ya sean digitales, analógicos o seriales según la necesidad de cada componente conectado al mismo. Cabe resaltar que las interconexiones entre todos los bloques y componentes se llevan a cabo a través de la placa de circuito impreso especialmente diseñada para este sistema.

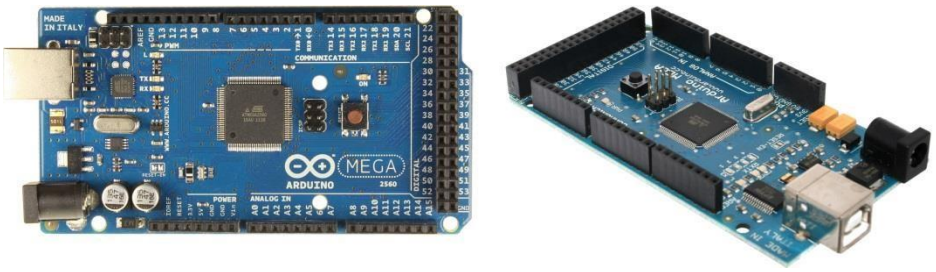

Figura 9: Arduino mega 2560

Fuente: Arduino MEGA 2560 - Página web oficial de Arduino

Sistema de alimentación

Este bloque es el encargado de suministrar energía eléctrica a la placa de Arduino a través de la cual son alimentados los demás dispositivos, el sistema de alimentación fue diseñado para ser capaz de mantener operando al prototipo durante 7 días; para ello se realizó un análisis del consumo total del equipo por día, con lo cual se determinó la capacidad de la batería, las dimensiones del panel y de los reguladores de carga de batería, como así también el suministro de tensión para el sistema.

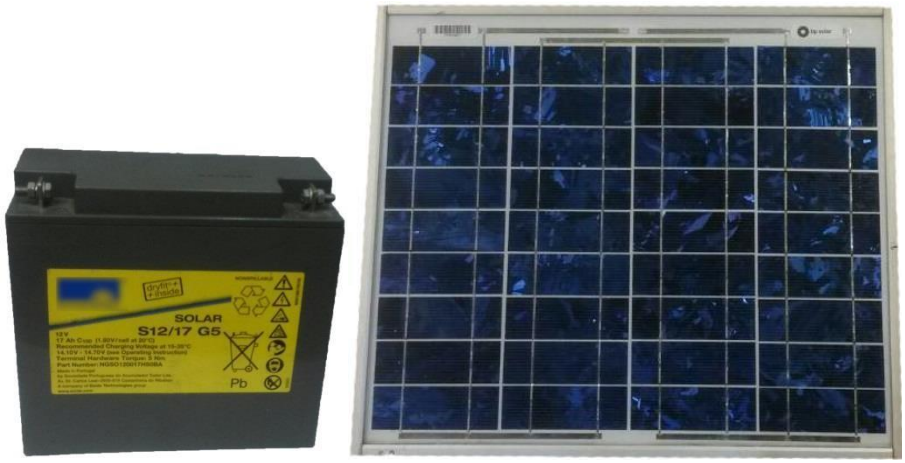

Figura 10: Batería y panel solar

Fuente: Elaboración propia

Sensores externos e internos

Aquí se contemplan los sensores utilizados a nivel externo, como el conductivímetro, el sensor de temperatura sumergible, el sensor ultrasónico para medir el nivel y el sensor de humedad y temperatura del ambiente. Internamente en el sistema de resguardo y protección se cuenta con un sensor de humedad y temperatura a fin de monitorear las magnitudes en las cuales opera el prototipo.

Tabla 1: Sensores utilizados

Componente	Imagen	Descripción
Sensor Ultrasónico US-020		Sensor seleccionado para la medición de nivel de agua
Sensor de temperatura DS18B20		Sensor encargado de la medición de temperatura del agua.
Sensor de conductividad		Sensor utilizado en la medición de la conductividad del agua.
DHT22		Sensor de humedad y temperatura.

Fuente: Elaboración propia

Almacenamiento de datos

Este bloque es el encargado de tomar los datos que los sensores, que luego remiten al Arduino para guardarlos en la memoria SD; en la misma, existen 2 archivos, uno que corresponde al total de las mediciones tomadas, y otro en el cual se guardan los datos a ser enviados y que en caso que el envío no se haya concretado permanecerá en memoria para posteriormente volver a intentar enviarlo, esto con el fin de que no se pierdan datos de medición.

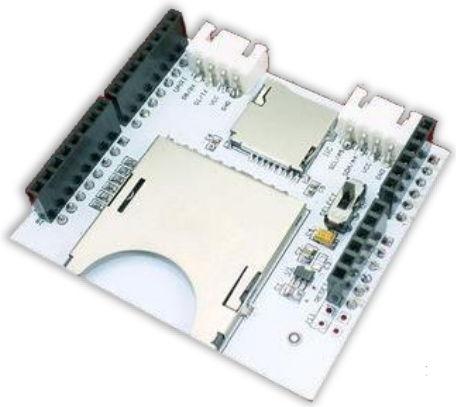

Figura 11: Modulo SD

Fuente: Elaboración propia

Transmisión de datos

Para la transmisión de datos se utiliza un módulo GSM, el cual nos brinda la posibilidad de acceder a la red GPRS utilizando la tarjeta SIM de alguna operadora de telefonía celular, este módulo es controlado a través del Arduino por medio de comandos AT, los cuales son como un estándar de comandos abiertos utilizados para configurar y parametrizar módems, es a través de él que los datos llegan al servidor WEB en el cual se encuentra alojada la base de datos y la página WEB y la encargada de procesar y presentar los datos en un entorno amigable y practico.

Figura 12: Modulo GSM

Fuente: Arduino GPRS Shield – Geeetech Wiki

Página WEB

De manera a exhibir las mediciones almacenadas en la base de datos, se desarrolló una página WEB que gestiona toda la información contenida en la misma y las expone de manera a que pueda ser fácilmente interpretada por los usuarios. Dicha página se encuentra alojada en los servidores del Laboratorio de Mecánica y Energía de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción, cuya dirección URL es http://201.217.40.2/hidrometro.

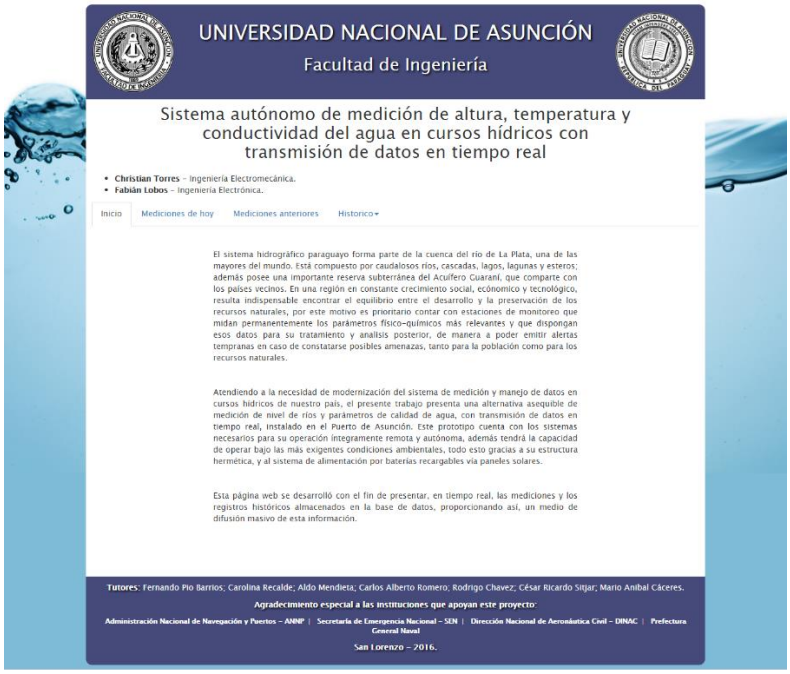

Figura 13: Página de inicio de la WEB del proyecto

Fuente: Elaboración propia

La página cuenta además con una sección llamada “Mediciones de hoy”, en la cual se muestran, en forma gráfica, las mediciones de nivel y de temperatura del agua, realizadas por el dispositivo, exponiéndolas en promedios por cada hora. Las mediciones de nivel de río, van acompañadas por valores del máximo histórico correspondiente para la fecha, así como también los valores percentiles de los históricos.

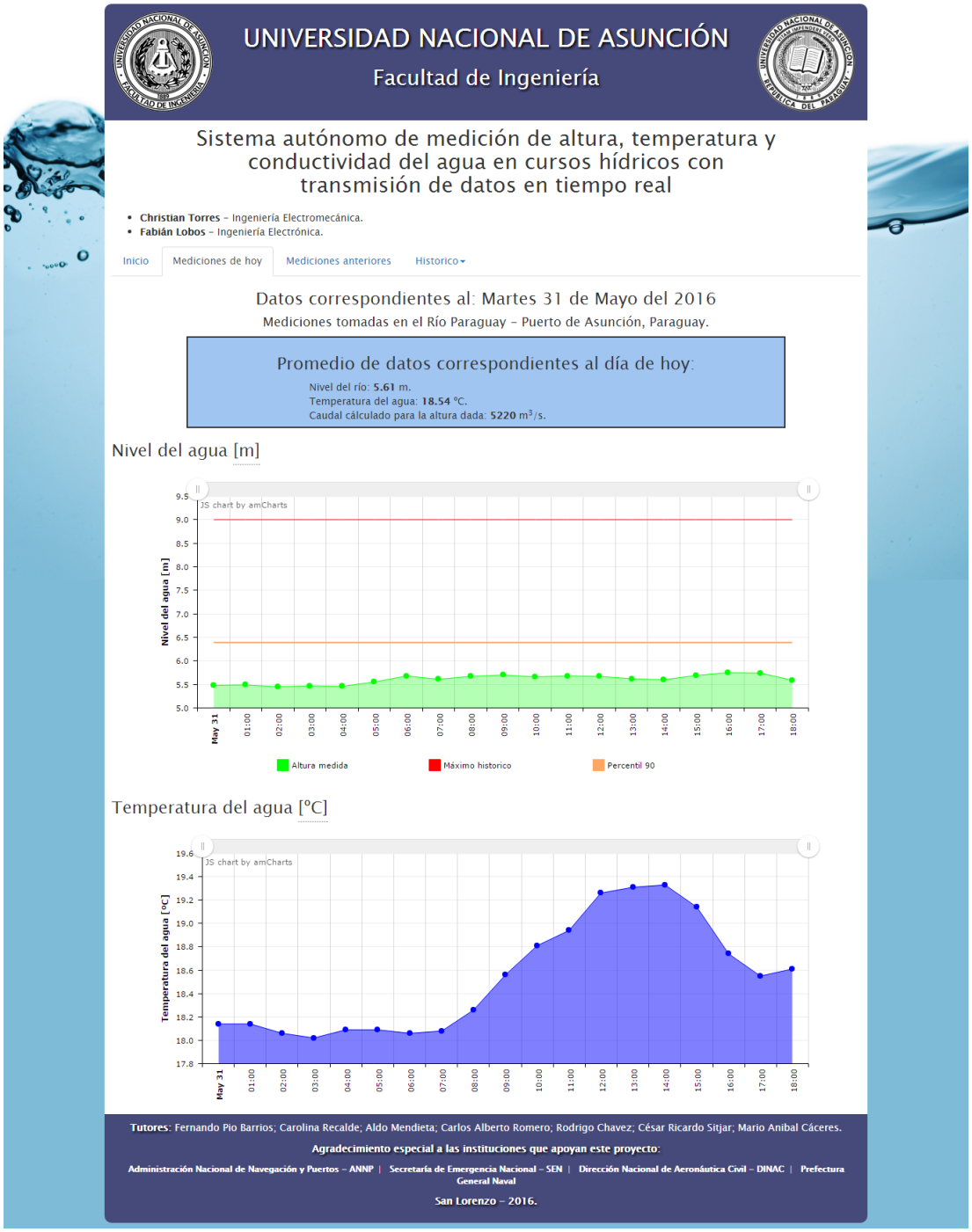

Figura 14: Página de mediciones del día, de la WEB del proyecto

Fuente: Elaboración propia

En la sección Mediciones anteriores, de la página WEB, se muestran en forma gráfica todas las mediciones anteriores realizadas por el prototipo y estas se exhiben en promedios diarios de manera a facilitar su interpretación

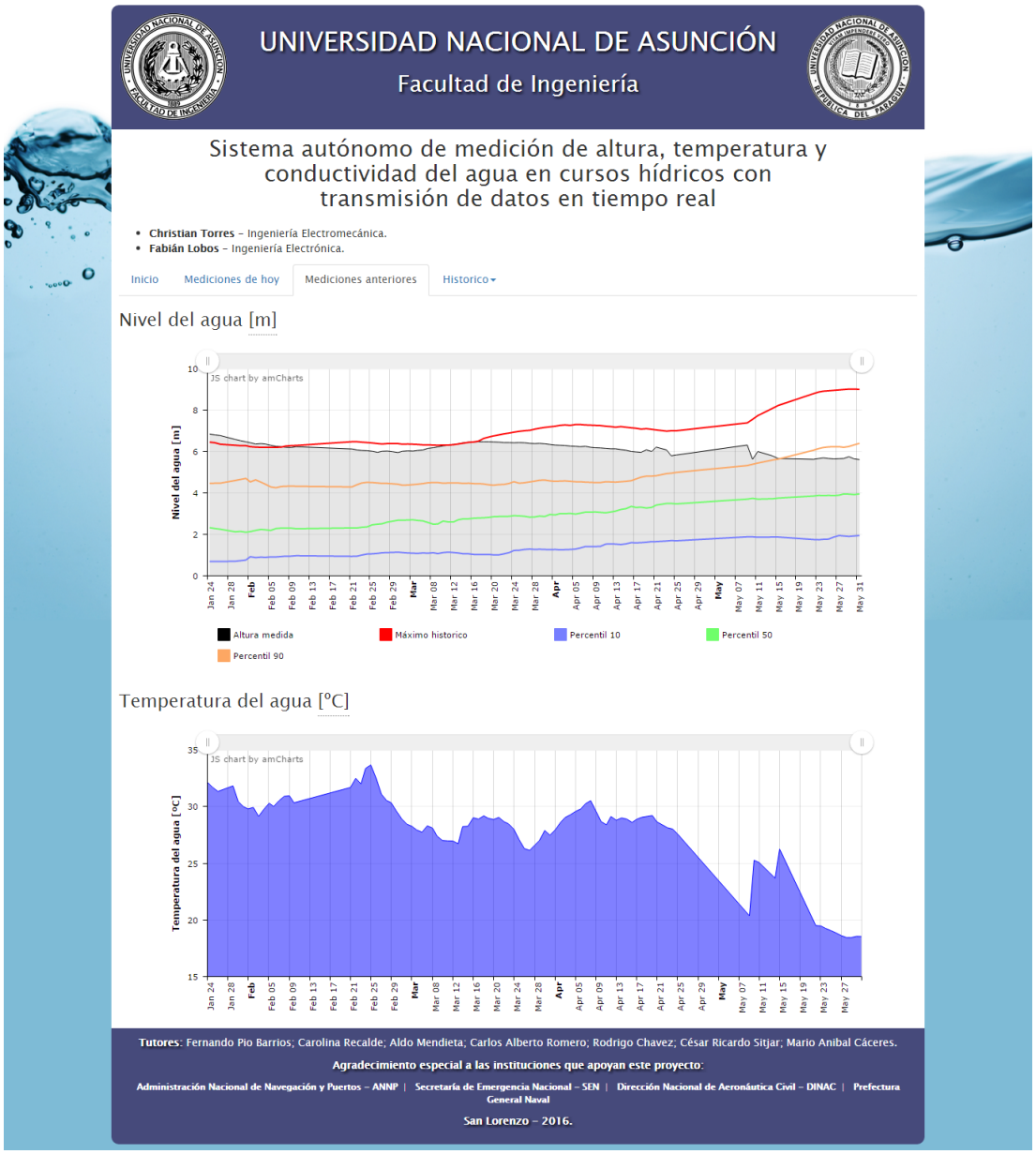

Figura 15: Página de mediciones anteriores, de la WEB del proyecto

Fuente: Elaboración propia

Finalmente en la página WEB se presentan los datos históricos proveídos por la DINAC, en los que se muestran tanto los máximos y mínimos históricos, así como los percentiles y la media de los datos almacenados en la base de datos tb_historicos.

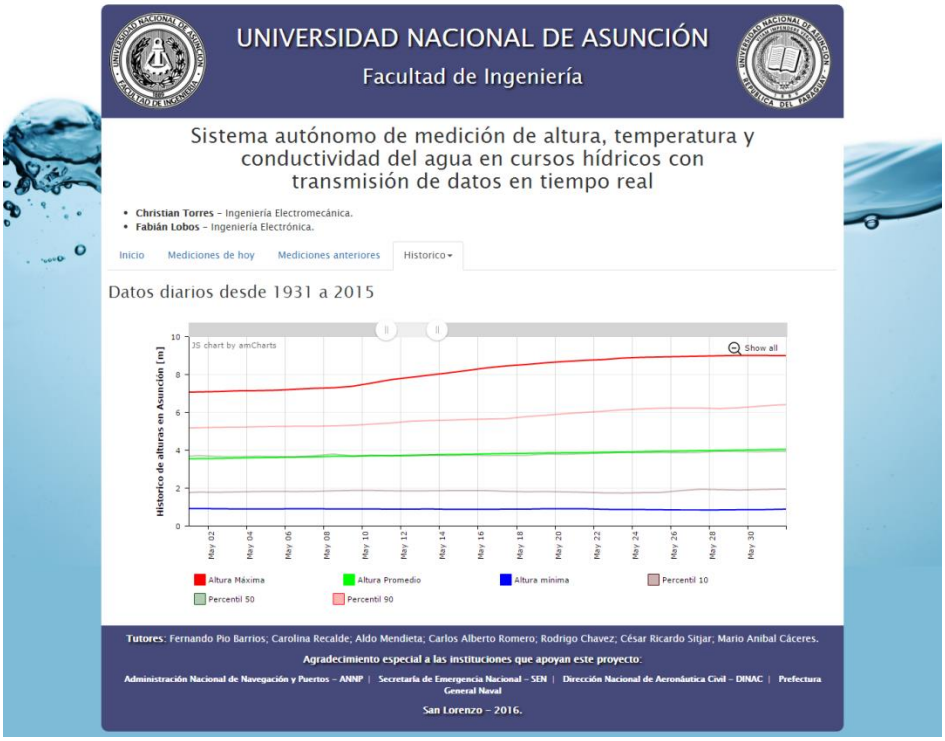

Figura 16: Datos históricos diarios presentados, de la WEB del proyecto

Fuente: Elaboración propia

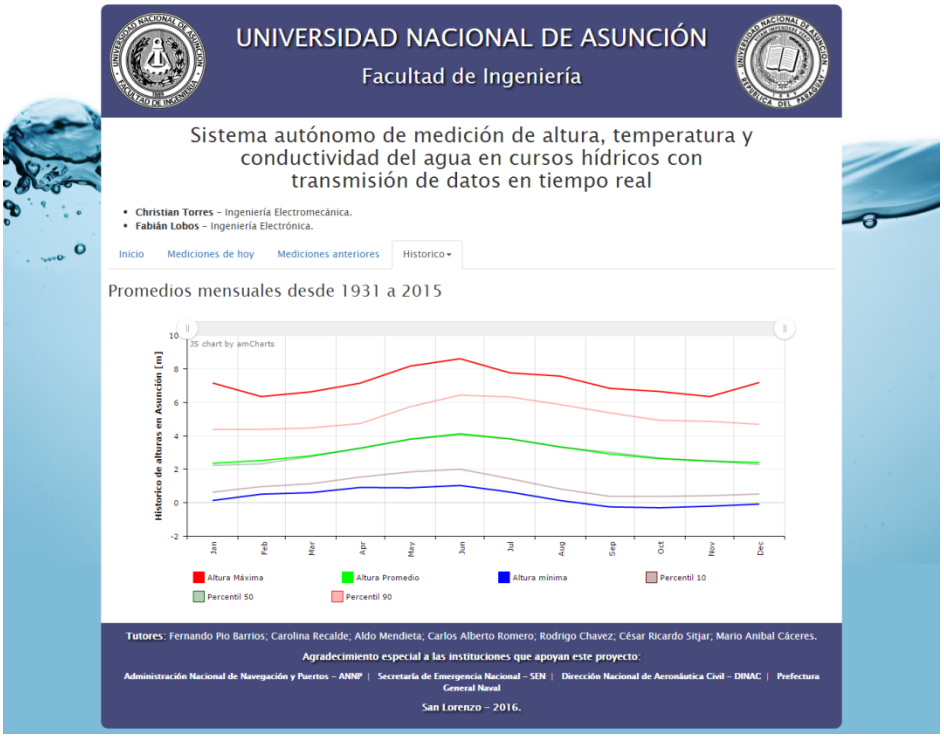

Figura 17: Datos históricos mensuales presentados, de la WEB del proyecto

Fuente: Elaboración propia

El sistema autónomo de medición, fue montado el 24 de enero de 2016 en el puerto de Asunción, donde se encuentra tomando datos hasta la actualidad, llegando a más de 10.000 datos almacenados exitosamente en la base de datos.

Figura 18: Módulos montados en la placa de circuito impreso

Fuente: Elaboración propia

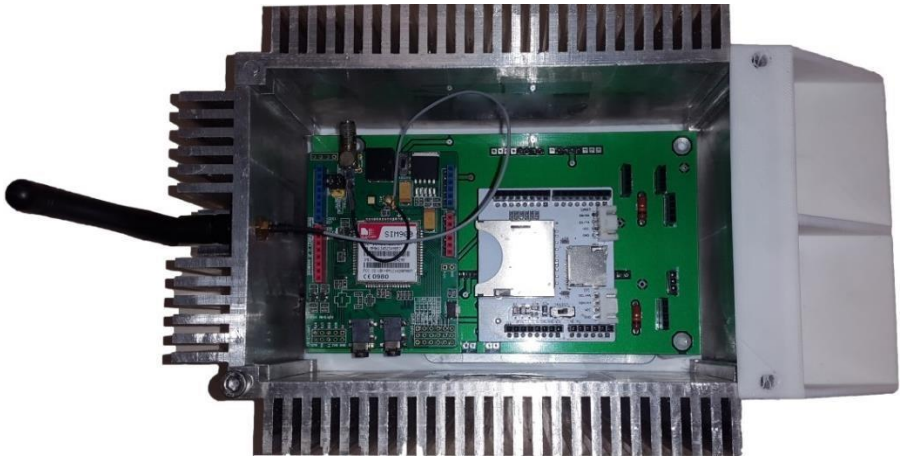

Figura 19: Prototipo montado en el sistema de contención y protección

Fuente: Elaboración propia

Figura 20: Ubicación del sistema, puerto de Asunción - ANNP

Fuente: Elaboración propia

Figura 21: Prototipo sellado antes del montaje

Fuente: Elaboración propia

Como medio de comparación para el cotejamiento de las mediciones se toman datos diarios de nivel del Río Paraguay provistos por la Dirección de Meteorología e Hidrología de la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil (DINAC) en su página web oficial (Niveles de los ríos – Dirección de Meteorología)

RESULTADOS

Teniendo en cuenta que el prototipo desarrollado en el presente trabajo en promedio almacena y envía 144 mediciones por día, producto del promedio de 200 mediciones realizadas en un intervalo aproximado de 10 minutos, es necesario hallar el promedio de todas estas mediciones para poder compararlas con los datos oficiales de la DINAC, a continuación, se presenta un gráfico comparativo entre el promedio de mediciones tomadas por el sistema autónomo de medición y los datos oficiales de la DINAC. Se realiza además un breve análisis de los datos obtenidos de manera a determinar el error relativo medio de las mediciones realizadas por el prototipo desarrollado.

Figura 22: Comparación de los datos medidos por el prototipo y los datos oficiales del puerto de asunción medidos por la DINAC

Fuente: Elaboración propia

El análisis estadístico de los resultados presenta el siguiente resultado:

- Diferencia media de mediciones: 0,051 ± 0,063 m
- Error medio: 0,009 ± 0,0116

CONCLUSIONES

El presente trabajo consistió en el desarrollo, elaboración e implementación de un sistema autónomo de medición de nivel, temperatura y conductividad del agua con transmisión de datos en tiempo real, el mismo fue instalado en el puerto de Asunción, específicamente en el predio de la ANNP.

Se realizó un estudio estadístico que permitió concluir que existe una correlación exitosa, entre los datos obtenidos por el prototipo instalado y los datos brindados por la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil (DINAC).

El sistema de control y procesamiento de datos seleccionado fue la placa de desarrollo Arduino Mega para la cual se desarrolló el software encargado de realizar todas las tareas de medición y envío de datos. Como parte de la solución se utilizaron los lenguajes de programación HTML, CSS, JavaScript, PHP y MySQL en base a los cuales se desarrolló una interfaz de usuario disponible en la WEB, alojada en los servidores del Laboratorio de Mecánica y Energía de la Facultad de Ingeniería UNA, en la que se gestionan las bases de datos que albergan todas las mediciones realizadas por el prototipo, además se exhiben, en tiempo real, las mediciones realizadas, así como también los registros históricos de datos recolectados por el sistema autónomo de medición.

Desde el punto de vista electromecánico, se diseñó un sistema de protección y contención de los circuitos electrónicos de manera a garantizar el correcto funcionamiento de los mismos, para ello se modelaron en 3D todas las piezas y se simuló el comportamiento térmico de cada una de ellas, de manera a garantizar la correcta respuesta ante las condiciones ambientales más adversas.

REFERENCIAS

Hidrografía del Paraguay – ABC Color 30 de abril 2013 -URL: http://www.abc.com.py/edicionimpresa/suplementos/escolar /hidrografía-del-paraguay-566610.html

Dirección Nacional de Aeronáutica Civil – Dirección de Meteorología e Hidrología - URL: http://www.meteorologia.gov.py/institucion.php

Arduino MEGA 2560 - Página web oficial de Arduino - URL: http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560

Arduino GPRS Shield – Geeetech Wiki - URL: http://www.geeetech.com/wiki/index.php/Arduino_GPRS_ Shield

Niveles de los ríos – Dirección de Meteorología – URL: http://www.meteorologia.gov.py/nivel/