



Dos soluciones para la digitalización de un mareógrafo de flotador y contrapeso”

Guyen Gil Collado¹, Reynol Brooks Reyes², Yenier Cartaya Fundora³, Alicia Polanco Risquet⁴, Gisselle Arias Labrada⁵

^{1,2,4,5}*Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría*

³*Empresa de Servicios Especializados y Dirección Integrada de Proyectos, Cuba, cartaya@dip2.netcons.com.cu*

⁴*alicia.polanco@electronica.cujae.edu.cu*

⁵*gisselle@electronica.cujae.edu.cu*

RESUMEN / ABSTRACT

El presente trabajo fue realizado por el Centro de Investigaciones en Microelectrónica (CIME) a solicitud del Instituto de Oceanología, con el objetivo de modernizar los mareógrafos mecánicos existentes en el país. Para ello se brindan dos soluciones de digitalización para las señales del mareógrafos Delta de la firma alemana Seba Hydrometrie, y del mareógrafo Leupold and Stevens que permitan monitorear en tiempo real la variabilidad de la altura del nivel del mar.

El sistema está compuesto por un transductor, que convierte la señal del sensor en una señal eléctrica, para ser procesada por un sistema de adquisición de datos controlado por un microcontrolador, cuya salida digital se transmite por puerto serie a una PC en la que se analizan los datos recibidos. Para esto se desarrolló un software interactivo capaz de interpretar, graficar y almacenar en una base de datos los resultados de la medición.

El beneficio fundamental que tiene la aplicación de este trabajo, es la obtención de forma rápida y sin pérdida, de las mediciones del nivel del mar en tiempo real o cada cierto tiempo. También se incluyen los puntos de interés situados en lugares remotos, logrando una vigilancia más estricta y mayor fiabilidad. Además, permite contar con el conocimiento necesario para llegar a diseñar una red mareográfica en Cuba.

Palabras Clave: Digitalización, mareógrafo mecánico, variabilidad del nivel del mar.

Abstract:

This work was developed by Microelectronics Research Center (CIME) at the request of Institute of Oceanology, with the aim of modernizing the existing mechanical instruments of this type in the country. This began with the digitization of german mechanical instrument Delta Seba Hydrometrie to monitoring in real time the variability of the height of sea level.

The system comprises a transducer which converts the sensor signal into an electrical signal to be processed by a data acquisition system controlled by the microcontroller PIC 16 F877A, its digital output is transmitted to a PC serial port to analyze the data received, for this an interactive software can interpret, graph and stored in a database of measurement result was developed.

The fundamental benefit of this work is obtain quickly and without loss of sea level measurements in real time or at each time interval, even on points in remote locations making stricter surveillance and greater reliability. Besides it possible to

advance in the necessary knowledge designing a future network of this instruments in Cuba
KeyWords: digitalizing, mechanical instruments, variability sea level

INTRODUCCION

En los últimos años la necesidad de conocer el nivel del mar ha cobrado gran importancia, debido a los cambios climáticos a los que se enfrenta hoy en día la población mundial. Cuba, por su condición de archipiélago y por su posición geográfica en el mar Caribe, es azotada anualmente por diferentes eventos hidrometeorológicos como son los frentes fríos, ciclones tropicales y bajas extra-tropicales. Los ciclones tropicales por ejemplo, pueden producir vientos, olas extremadamente grandes y fuertes, tornados, lluvias torrenciales, inundaciones, corrimientos de tierra y marejadas ciclónicas en áreas costeras¹.

A continuación se relacionan algunos de los principales impactos del incremento del nivel medio del mar durante el presente siglo en Cuba²:

- Disminución gradual de la superficie emergida.
- Reducción de la variabilidad espacio temporal de la temperatura y la salinidad en la parte sur de la plataforma insular cubana.
- Incremento de la erosión costera, con consecuencias muy graves para las playas.
- La barrera de arrecife, que antecede a la costa, sería menos efectiva en su labor de detener los trenes de olas y corrientes marinas, especialmente en períodos de tormenta o ciclones, llegando con más fuerza a la costa provocando mayor destrucción.
- Amenaza para las tortugas marinas y las poblaciones de aves que anidan en los cayos bajos.

Con el objetivo de lograr un adecuado monitoreo de las variaciones del nivel del mar, se utilizan los mareógrafos también conocidos en la literatura técnica como limnógrafos que son instrumentos que miden, grafican y registran la altura del nivel del mar. Recomendaciones internacionales aconsejan que los países dispongan de una red de mareógrafos única y de un centro de control, coordinación y sistematización de los datos registrados³. En Cuba existen actualmente 19 estaciones permanentes de monitoreo⁴ y muchas de ellas utilizan mareógrafos de flotador y contrapeso acoplados a un sistema mecánicos de plumilla. Estos limnógrafos o mareógrafos, aunque disímiles en su diseño en cuanto a variables a registrar, tienen en común el hecho de graficar mecánicamente los cambios de una variable en función del tiempo. La base de datos se obtiene de forma manual, interpretando el trazo en el papel mareograma y luego almacenando los valores en una tabla, o introduciéndolos a un banco de datos en una computadora. Este proceso resulta extremadamente lento y engorroso, requiere de la interpretación de un especialista, lo cual eleva sensiblemente los costos, e introduce innumerables errores que atentan contra la calidad de las observaciones y la veracidad de los resultados de las investigaciones que se realizan. Ante esta problemática, el Instituto de Oceanología junto a la Empresa Geodesia GeoCuba, se han visto en la necesidad de modernizar las estaciones mareográficas y sus redes. De ahí que el objetivo principal de este artículo es presentar dos soluciones de digitalización, para adaptarse al mareógrafo mecánico de flotador y contrapeso, es decir, construir un sistema de adquisición de datos para el análisis, procesamiento y almacenamiento de los datos en tiempo real.

MAREÓGRAFO DE FLOTADOR Y CONTRAPESO

El principio de operación de este registrador se basa en un sistema de flotador y contrapeso acoplado a una polea a un lado del mismo como se muestra en la Figura 1. Incluye un reloj de cuarzo y de cuerda que posibilitan el desplazamiento del papel mareograma a través de un sistema de piñones y un eje que fija la velocidad del movimiento del tambor. La oscilación del nivel del mar es plasmada en el papel por medio de una plumilla.

De esta forma, cuando el nivel del mar sube, por ejemplo, se elevará el flotador y moverá la polea a través del cable que lo une con el contrapeso. Este sistema transmitirá el movimiento a un tornillo sinfín. El movimiento del tornillo desplaza la plumilla hacia la izquierda o la derecha del equipo permitiendo que se grafique en el papel el ascenso o descenso del nivel del mar.

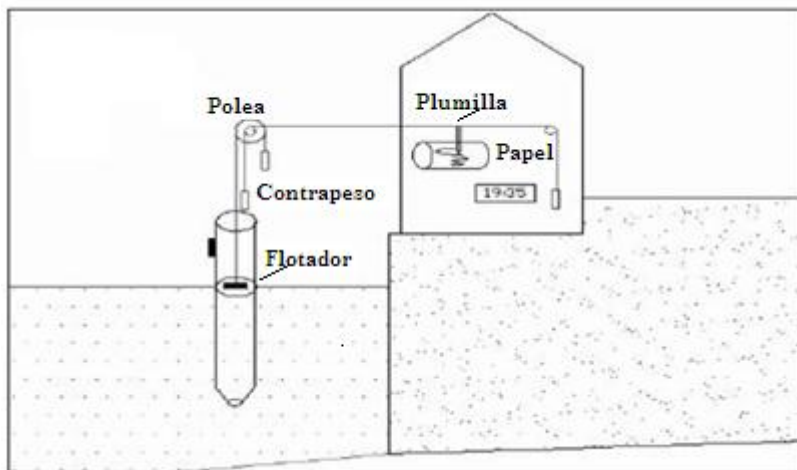


Figura 1. Mareógrafo de flotador y contrapeso

Con el avance de la tecnología, los fabricantes de equipos electrónicos se han visto en la necesidad de diseñar instrumentos registradores llamados *Datalogger* que permiten procesar y almacenar los datos del sensor. En este trabajo se utilizan dos formas reportadas para digitalizar el mareógrafo de flotador y contrapeso teniendo en cuenta el elemento sensor y el circuito acondicionador asociado:

- Utilizando un sensor potenciométrico
- Utilizando un sensor Encoders

De forma general, el sistema de adquisición de datos para ambas soluciones contará de tres bloques fundamentales como se muestra en la Figura 2,



Figura 2. Diagrama de bloques general del sistema de adquisición de datos

El sensor, con su circuito acondicionador, integra el canal de medición entregando a su salida una señal analógica que responde a las variaciones del nivel del mar. En el Microcontrolador estas señales son digitalizadas y almacenadas enviándola por puerto USB hacia una computadora personal que en lo adelante denominaremos PC, permitiendo mostrar de forma continua los valores transmitidos por el mareógrafo.

Ambas soluciones de digitalización se describen a continuación:

Digitalización del mareógrafo Leupold and Stevens

El mareógrafo tradicional de la firma norteamericana Leupold and Stevens, es un instrumento que data desde 1912 y se utiliza para medir y registrar las variaciones en el nivel del mar. La medición se basa en el principio del mareógrafo de flotador y contrapeso como se muestra en la Figura 3

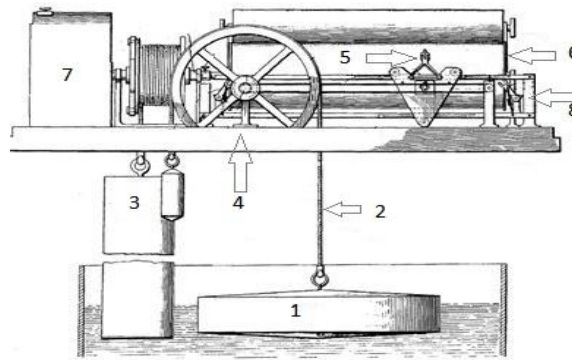


Figura 3. Mareógrafo tradicional Leupold and Stevens

1 – Flotador, 2 – Cuerda, 3 – Contrapeso, 4 – Polea, 5 – Plumilla, 6 – Papel de mareograma, 7 – Reloj de cuerda, 8 – Mecanismo de inversión

Una solución de digitalización propuesta para el mareógrafo Leupold and Stevens consistió en incorporar al mecanismo de desplazamiento de la plumilla (5 en la Figura 3) una resistencia variable, para lograr que las variaciones de resistencia fueran proporcionales a la variación del nivel del mar registrados por el equipo.

La Figura 4, muestra una representación de la resistencia potenciométrica construida con alambre bobinado de Nicrom, donde se tuvo en cuenta que el ancho del brazo deslizador (1 mm) garantizara siempre el contacto con la pista resistiva. Esto evita, como puede suceder en los potenciómetros comerciales, que en algunas posiciones el brazo deslizador no haga contacto con la pista resistiva, creando discontinuidades en la medida de voltaje. Esta solución resulta una nueva aplicación en los mareógrafos.

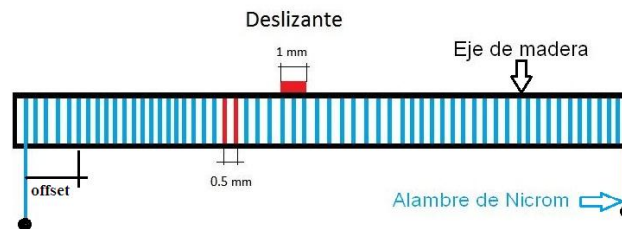


Figura 4. Representación de la resistencia potenciométrica R

Los valores de resistencia son detectados por un amplificador operacional de bajo offset. En este caso se utilizó el amplificador TL 082, y su pequeño voltaje de offset resultó eliminado a través del diseño de la resistencia, porque se hizo caer en la parte de la resistencia que no se utiliza para la medición, denotada por offset en la Figura 4.

El canal de medición incluyó un transmisor de corriente 4 a 20 mA, mostrado en la Figura 5, para convertir las variaciones de voltajes sobre la resistencia RV1 en variaciones de corriente sobre la resistencia R1. La simulación eléctrica del circuito se realizó en Proteus versión 7.8 obteniéndose una variación de corriente $I_{min} = 4.001 \text{ mA}$, $I_{max} = 20.00 \text{ mA}$ y $V_{min} = 1 \text{ V}$, $V_{max} = 5 \text{ V}$.

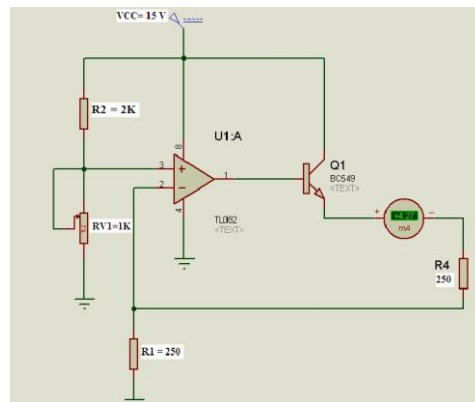


Figura 5. Transmisor 4 a 20 mA

Estas variaciones de corrientes y de voltajes ocurren en la resistencia R1, en la entrada del microcontrolador que se muestra en la Figura 6. El microcontrolador utilizado es de la familia PIC18F2550 y su función es recibir la información transmitida por corriente, digitalizarla mediante un convertor A/D y enviarla por puerto USB hacia la PC.

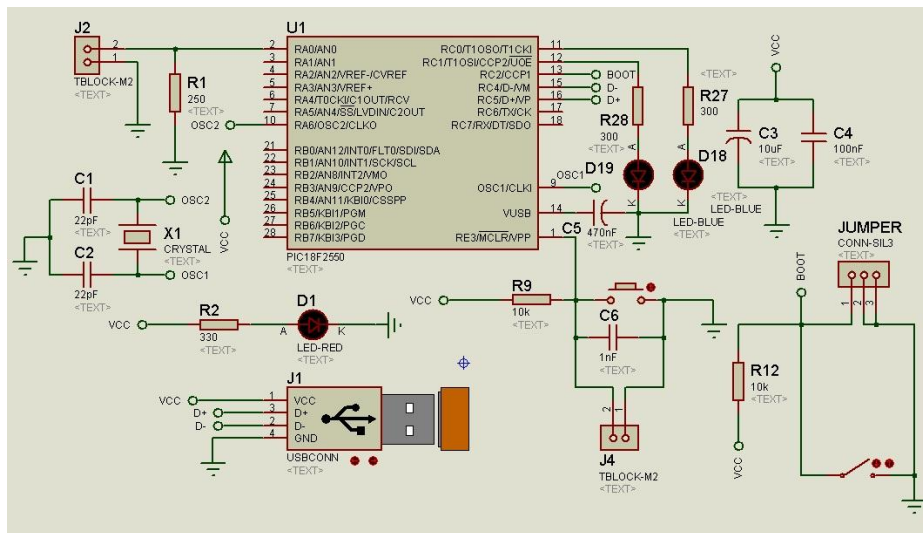


Figura 6. Diagrama circuital del PIC18F2550

En la Figura 6, la resistencia R1 de 250 ohm se conecta al pin (2) del microcontrolador, para provocar una diferencia de potencial cuando la corriente proveniente del transmisor circule por ella. Los valores de voltajes a través de R1, varían de 1 a 5 voltios en dependencia del valor de corriente transmitida. Estos valores de voltaje, mediante un convertor A/D de 10 Bits interno en el microcontrolador, son enviados por USB hacia la PC.

El diseño cuenta además con cuatro diodos LED: D1 indica que el dispositivo está conectado al puerto USB. D18 y D19 son diodos intermitentes indicadores de que en el PIC se puede grabar o borrar información (modo Bootloader) y D19 indica que el PIC está enviando y recibiendo datos.

En el pin 1 de la Figura 6, se conectó un interruptor para resetear el sistema en caso que fuera necesario. Se incluyó además un cristal de cuarzo de 4 MHz y dos capacitores de 22 pF, para generar la frecuencia de trabajo del microcontrolador.

En los pines 15 y 16 se conecta el toma USB (D+ y D-) que será conectado a la PC.

Digitalización del mareógrafo Seba Hydrometrie

El mareógrafo modelo DELTA, a diferencia del mareógrafo Leupold and Stevens, está diseñado con una carcasa de aluminio esmaltado resistente a la intemperie como se muestra en la Figura 7, para protegerlo de la acción de la lluvia, el salitre del mar y otros efectos que puedan ocasionar el deterioro del instrumento. El interior está protegido por una puerta maciza con ventana de inspección para observar el papel, donde se registra el comportamiento de la marea, al igual que el funcionamiento del mecanismo. La medición, de la misma forma que en el mareógrafo Leupold and Stevens, también se realiza mediante un flotador con contrapeso acoplado a través de una cuerda a una polea, que hace desplazar sobre la horizontal una plumilla que escribe sobre un papel dicha trayectoria



Figura 7. Mareógrafo de flotador y contrapeso SEBA Hydrometrie modelo Delta

Para obtener una señal eléctrica proporcional al movimiento vertical del flotador provocado por las mareas, se utilizó un diodo emisor de luz infrarrojo, un encoder incremental y un fotodiodo, los cuales fueron adaptados a la carcasa del mareógrafo para actuar como transductor. Esta solución se encuentra aplicada en muchos de los llamados ratones de las computadoras personales.

En el diseño se construyó para el disco del encoder, una rueda plástica con 18 ranuras para dejar pasar la luz infrarroja. Este disco se acopla al eje de rotación del mecanismo de registro mecánico como se muestra en la Figura 8.



Figura 8. Disco rotatorio del *encoder* acoplado al eje de rotación del mareógrafo.

El disco del encoder puede ser intercambiado por otro con más o menos ranuras en dependencia de la aplicación que se desarrolle; para este caso, se obtuvieron 200 frentes de pulso (100 de bajada y 100 de subida) por metro, o sea, un frente cada 5 mm. Si se utiliza un disco con una mayor cantidad de ranuras, se corre el riesgo de tener más oscilaciones en los datos, ya que, aunque el flotador se encuentra dentro de un tubo sumergido en el agua, presentará pequeñas variaciones de su posición relativa producto del mismo oleaje.

Para que la señal del encoder sea interpretada por el microcontrolador se requiere de una etapa acondicionadora como se muestra en la Figura 9. La señal de ambos canales del encoder es amplificada por medio de transistores (BC337) teniéndose en el colector de ambos, niveles de corriente y voltaje válidos para digitalizar la señal mediante una configuración Schmitt trigger (7414) a la salida del circuito.

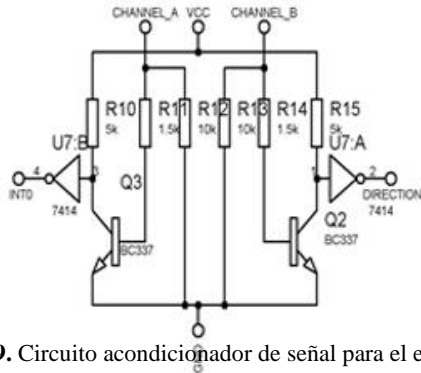


Figura 9. Circuito acondicionador de señal para el encoder

En la Figura 10 se muestra el esquema eléctrico completo donde aparecen sombreados los principales bloques funcionales del sistema de adquisición. Estos bloques funcionales son los siguientes: encoder incremental y su circuito acondicionador, el bloque del microcontrolador (incluye el PIC18F4553) y el bloque visualizador o PC. También aparecen los botones e interfaces de entrada-salida.

En el esquema eléctrico se incluyen la interfaz de comunicación serie RS 232, y la interfaz RS 485, que define un estándar para conexiones multipunto a largas distancias, con una alta inmunidad al ruido, quedando a elección del diseñador para implementar redes mareográficas

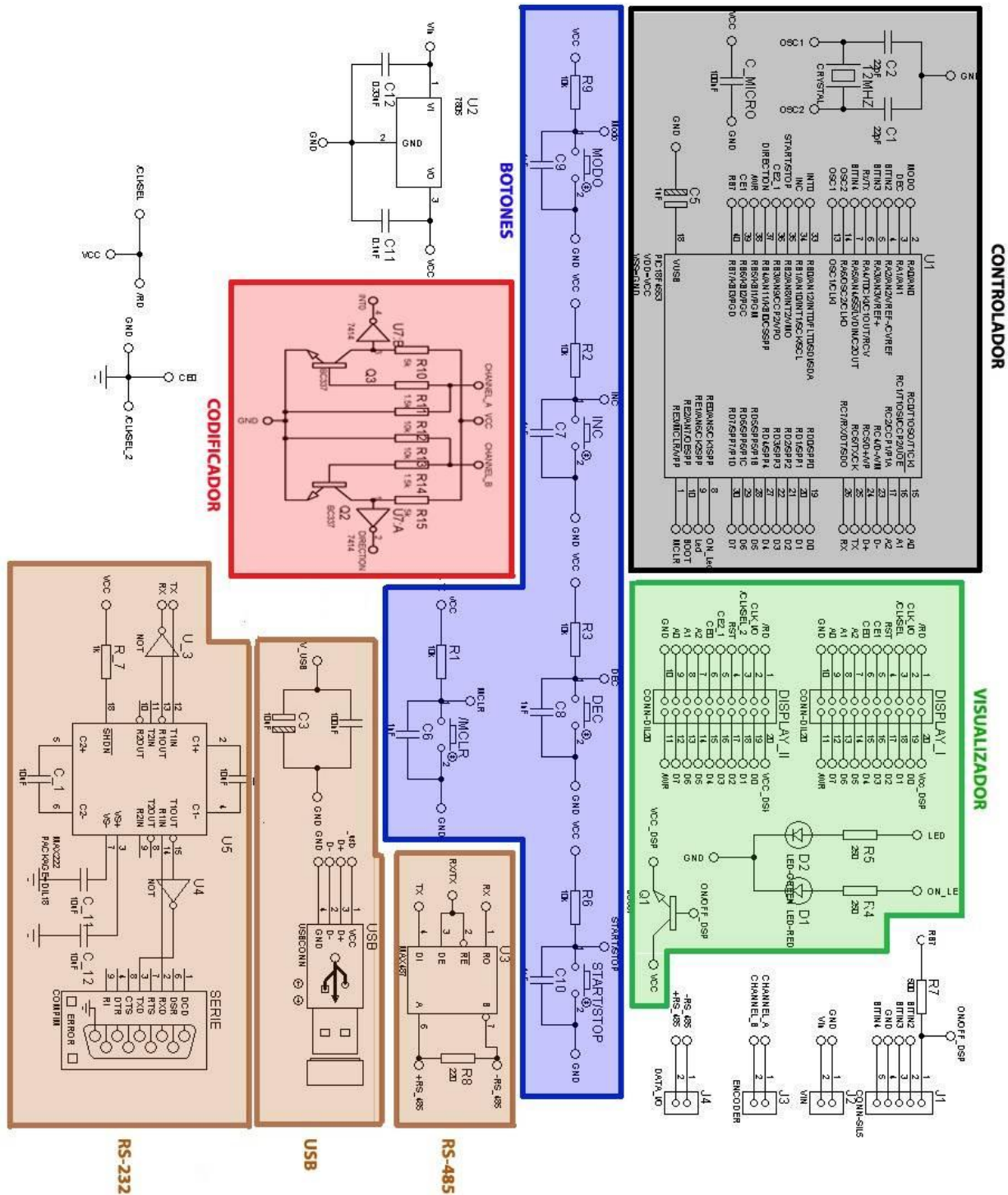


Figura 10. Esquema eléctrico para la digitalización del mareógrafo Seba Hydrometric

Validación de las soluciones de digitalización

Las pruebas para comparar las dos soluciones de digitalización dadas al mareógrafo de flotador y contrapeso se realizaron en la rada del Instituto de Oceanología. Para estas se consideraron las normas establecidas por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental, las normas cubanas y otras publicaciones de prestigiosas instituciones y organismos internacionales^{5,6} dedicados al estudio de las variaciones del nivel del mar y el desarrollo de sistemas de observación regionales y globales de este parámetro.

Se pudo comprobar la validez de ambas soluciones en tiempo real, con la información registrada por el mareógrafo en el papel registrador durante un período de 24 horas, en condiciones de mar en calma y marejada. No se apreciaron desfases en tiempo y altura y, por el contrario, la aplicación mostró buena captación de las señales incluso a frecuencias más altas que las permitidas por el registro en papel (mareograma). Los datos se visualizaron en tiempo real mediante la aplicación como se muestra en la Figura 11.



Figura 11. Comportamiento de la altura del nivel del mar

Las mediciones realizadas con el mareógrafo mecánico mostraron una altura máxima de 96 cm con un error de ± 1 cm, lo que representa un 2% de error. Sin embargo con las dos soluciones digitalizadas la altura máxima siempre fue mayor de 96 cm con un error $< 1\%$, si se compara con las mediciones manuales realizadas.

El tiempo de adquisición de datos especificada por los fabricantes de los microcontroladores utilizados es de 1,4 μ s por los que la frecuencia típica de muestreo que se utilizó en la conversión de los datos analógicos en digitales fue de 0,7 MHz muy superior a la frecuencia de 2 Hz de la señal analógica, de esta forma se pudo dar seguimiento a las variaciones del nivel del mar en tiempo real.

Debe destacarse que el sector costero, en el cual se efectuaron las pruebas, aunque no presentaba sinuosidades de la línea de costa, sí presentaba accidentes en su área sumergida frente al litoral lo cual puso a prueba la efectividad de la aplicación.

El acoplamiento directo del mecanismo de la plumilla con el mecanismo de desplazamiento de la resistencia variable constituye una ventaja para el sistema, ya que constituye una transferencia directa entre las variaciones del nivel del mar y las variaciones de resistencia.

CONCLUSIONES

La necesidad de modernizar y recuperar los mareógrafos de plumilla y contrapeso condujo a la digitalización de los mareógrafos Leupold and Stevens norteamericano y Seba Hydrometrie modelo delta, alemán. Para ello se diseñaron e implementaron dos soluciones por primera vez aplicadas en los mareógrafos.

Ambas soluciones de digitalización fueron validadas mostrando un error menor del 1 %, un incremento en la resolución así como una mejor receptibilidad de las mediciones cuando se comparan con las variantes mecánicas tradicionales.

La digitalización de ambos mareógrafos puede resultar de gran interés al país, al ser más económica y ofrecer más posibilidades de inversión en nuevos desarrollos con respecto a aquellos mareógrafos modernos que se ofertan en el mercado internacional con el mismo objetivo.

Agradecimientos

El colectivo de autores desea agradecer todo el apoyo brindado por el Instituto de Oceanología durante el período de mediciones y especialmente la asesoría recibida en el tema por el Dr. Marcelino Hernández.

REFERENCIAS

1. Strahler N, Arthur: *Geografía física*. Tercera edición, Barcelona, España: Ediciones Omega, 2005.
2. (NOAA), N.O.A.A: Tides and water levels. How are tides measured? The new system. Cited 2011; available from: http://oceanservice.noaa.gov/education/kits/tides/tides11_newmeasure.html, March 25, 2008.
3. Elorz, J.F., "Estudio de la amplitud de marea en los puertos españoles del Mediterráneo"; Universidad Politécnica de Cataluña, 2011.
4. Cartaya Fundora Y, Polanco Risquet A, Areas Labrada G., "Digitalización de un mareógrafo de flotador y contrapeso", *IV Simposio Internacional de Electrónica: Diseño, Aplicaciones, Técnicas Avanzadas y Retos Actuales*, La Habana, Cuba, 2013.
5. IOC, *Manual on sea level measurement and interpretation*, 1985. p. 14, .78.
6. Guerman, V.J.y.L., S.P, *Tendencia lineal del nivel medio del mar*. 2004: p. 42

AUTORES

Alicia Polanco Risquet, Ingeniera en Telecomunicaciones, Doctora en Ciencias Técnicas, Centro de Investigaciones en Microelectrónicas de la CUJAE, Habana, Cuba, alicia.polanco@electronica.cujae.edu.cu

Gisselle Arias Labrada, Ingeniera en Telecomunicaciones, Instructora, Centro de Investigaciones en Microelectrónicas de la CUJAE, Habana, Cuba, gisselle@electronica.cujae.edu.cu

Yenier Cartaya Fundora, Ingeniero en Automática, Empresa de Servicios Especializados y Dirección Integrada de Proyectos, Cuba, cartaya@dip2.netcons.com.cu

Guyen Gil Collado, Ingeniero en Automática graduado en junio del 2013 en la Ciudad Universitaria José Antonio Echeverría.

Reynol Brooks Reyes, Ingeniero en Automática graduado en junio del 2013 en la Ciudad Universitaria José Antonio Echeverría.