



Ingeniería

ISSN: 0121-750X

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Quiala Llorens, Reinier; Hernández Montero, Fidel E.; Pérez Molinet, Ailén

Liquid Level Monitoring System in Big Deposits

Ingeniería, vol. 24, no. 1, 2019, January-April, pp. 29-48

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

DOI: <https://doi.org/10.14483/23448393.13837>

Available in: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=498864120003>

- How to cite
- Complete issue
- More information about this article
- Journal's webpage in redalyc.org

redalyc.org
UAEM

Scientific Information System Redalyc
Network of Scientific Journals from Latin America and the Caribbean, Spain and Portugal
Project academic non-profit, developed under the open access initiative

Liquid Level Monitoring System in Big Deposits

Sistema de Monitoreo de Nivel de Líquido en Grandes Depósitos

Reinier Quiala Llorens¹ Fidel E. Hernández Montero² Ailén Pérez Molinet²

¹Centro Investigación Desarrollo Producción “Grito de Baire” - Cuba, ²Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” - Cuba
correspondence: ailen@tele.cujae.edu.cu

Recibido: 04/10/2018. Modificado: 07/12/2018. Aceptado: 30/01/2019.

Abstract

Context: The objective of this work is to design and build a system capable of controlling the level of liquids stored in large tanks. The system is also oriented to its use in automatic control practices and the transmission of information from a distance.

Method: It consists of different stages that meet the fulfillment of the proposed objective. In addition, it is composed of sound and light alarms in case of spills in the tanks or lack of communication between its components. The realization of digital control within the system required a data acquisition procedure implemented by Arduino with XBee modules for communication, and a personal computer.

Results: This type of procedure to implement the control was chosen due to the ease of implementation, the benefits and the low costs of the system with respect to those existing in the market. Another task was the practical study of the different control techniques applied to a real system for monitoring the level of liquids in large capacity tanks.

Conclusions: The validation of the measurement system was made through a comparison between the real values obtained with the measurement instruments and the values shown by the system through the web application that was designed. The correct operation of this system allowed its subsequent installation in real deposits.

Keywords: Level Measurement, Arduino, XBee.

Language: Spanish

Open access



Cite this paper as: R. Quiala; A. Pérez and F. E. Hernández “Liquid Level Monitoring System in Big Deposits”, Ingeniería, vol. 24, no.1, pp. 29-48, Jan. - Apr. 2019.

© The authors; reproduction right holder Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

DOI: <https://doi.org/10.14483/23448393.13837>

Resumen

Contexto: El presente trabajo tiene como objetivo diseñar y construir un sistema capaz de realizar el control de nivel de líquidos que se encuentren almacenados en grandes depósitos, también está orientado a su utilización en prácticas de control automático y a la transmisión de la información a distancia. Una energía renovable, sostenible y amigable con el medio ambiente, usada como alternativa para mitigar el cambio climático causado por uso de energías provenientes de los combustibles fósiles; pensando en ello, es muy importante estudiar el comportamiento de los módulos fotovoltaicos en condiciones reales de funcionamiento.

Método: Consta de diferentes etapas que satisfacen el cumplimiento del objetivo propuesto, está compuesto por alarmas sonora y lumínica en caso de derrames en los depósitos o por falta de comunicación entre sus componentes. La realización del control digital dentro del sistema requirió de un procedimiento de adquisición de datos implementado por Arduino con módulos XBee para la comunicación, además de una computadora personal.

Resultados: Este tipo de procedimiento para implementar el control se escogió debido a la facilidad de ejecución, los beneficios y los bajos costos del sistema respecto a los existentes en el mercado; otra de las tareas realizadas fue el estudio práctico de las diferentes técnicas de control aplicadas a un sistema real para el monitoreo de nivel de líquidos en depósitos de gran capacidad.

Conclusiones: La validación del sistema de medición fue realizada a través de una comparación entre los valores reales obtenidos con los instrumentos de medición y los valores mostrados por el sistema a través de la aplicación web que fue diseñada; el correcto funcionamiento de dicho sistema permitió su posterior instalación en depósitos reales.

Palabras clave: Arduino, Medición de nivel, XBee.

Idioma: Español

1. Introducción

La calidad de un producto, seguridad de la instalación, eficiencia económica, entre otros, constituyen aspectos importantes en cualquier sistema de medición de nivel. Existen ejemplos de medición de nivel en todos los sectores industriales, tal como la industria petroquímica, farmacéutica, hidráulica, alimenticia y energética [1]; el cumplimiento de las expectativas económicas futuras y la fiabilidad bajo las condiciones de trabajo de cada aplicación en particular, son dos aspectos a tener en cuenta durante la elección de los sistemas de medición [2]. La medición de nivel permite conocer y controlar la cantidad de líquido almacenada en un depósito, durante la misma hay que tomar en cuenta algunas propiedades del líquido tales como la viscosidad del fluido, temperatura, densidad, corrosión, gránulos, etc. Para el tipo de medición y la calidad deseada se deben conocer las características del instrumento como campo de medición, exactitud, repetitividad, presurización o no del recipiente, mantenimiento, calibración y costo [1], [3].

Los sensores de medición de nivel son parte integral del control de procesos en muchas industrias [4], y diversos son los que han sido implementados para desarrollar esta función. En el mundo se emplean diferentes tipos de sensores para la medición de nivel [5]–[8] con innumerables fabricantes; Vega [4] es un ejemplo de los fabricantes de sensores a nivel mundial. Otro ejemplo lo constituye Siemens [2], quien se dedica al desarrollo y a la fabricación de productos, diseño e instalación de complejos sistemas y proyectos, también a la creación de una amplia gama de soluciones para afrontar los retos más complicados de sus clientes [4]. Los precios de los sensores ofrecidos

por el primer fabricante se encuentran entre 383 y 656 dólares, los cuales pueden variar teniendo en cuenta el tipo de sensor que se emplee; los precios de los sensores de nivel ofrecidos por Siemens en el mercado actual se encuentran oscilando entre los 1014 y 3623 dólares, valores que pueden variar dependiendo de los tipos y la complejidad de los sensores que se emplee en cualquiera de las aplicaciones para las que fueron diseñados [9].

En Cuba se emplea una amplia gama de sensores para la medición de nivel en diversas industrias y empresas que contienen grandes volúmenes de líquidos en sus depósitos, el Instituto Nacional de la Reserva del Estado y la Empresa Cubana de Aeropuertos y Servicios Aeronáuticos S.A. (ECASA) son algunos de los ejemplos donde realiza la medición de nivel con las características mencionadas. La empresa ECASA cuenta con un sistema de medición de nivel en tanques, este tiene como objetivo principal establecer un sistema de inventario para determinar la cantidad de líquido almacenado en el tanque; el sistema instalado está compuesto por transmisores de nivel por radar, sondas de temperatura y transmisores de presión, el cual se comunica mediante protocolo HART con los tanques correspondientes. El sistema para monitoreo y análisis de un solo depósito tiene un precio cercano a 2094 dólares, además de considerarse costoso, resulta difícil su adquisición en el mercado internacional.

Algunas de las empresas cubanas dedicadas a la medición de nivel no cuentan con un sistema de medición en particular para realizar dicha tarea, en dichas entidades la medición de nivel es realizada por los encargados de depósitos de forma manual y no se tiene en cuenta la dilatación ni contracción del tanque, lo anterior contribuye a errores tanto humanos en el proceso de lectura como técnicos; la no disponibilidad de un sistema de monitoreo de nivel imposibilita la obtención de la información necesaria y precisa sobre el estado de los líquidos almacenados en los depósitos. Otras, como es el caso del INRE, dedicada al almacenamiento de combustible en tanques de gran capacidad, cuentan con un sistema de medición de nivel obtenido de la extinta Unión Soviética para el control del llenado del tanque. Estos medios en la actualidad se encuentran obsoletos y en mal estado, y debido a los altos costos de estos sistemas en el ámbito mundial, se imposibilita la adquisición a algunas entidades que requieren de su empleo; además, como la medición de nivel de líquido de forma manual en algunas entidades conlleva a errores humanos y técnicos, su lectura no es continua y no tiene en cuenta la dilatación y contracción del tanque.

El objetivo de este trabajo consiste en diseñar y construir un sistema de bajo costo, capaz de monitorear de manera continua el nivel de líquido en tanques de 10 000 L de capacidad; dichos tanques presentan un diámetro de 1900 mm, un largo de 4000 mm y un peso de 2200 kg.

El trabajo está compuesto por cinco secciones: la primera sección se dedica a la presente introducción, donde se plantean las motivaciones del trabajo; posterior a ello, existe otra sección donde realiza el diseño del sistema de medición de nivel, especificándose los sensores de nivel y temperatura, el diseño de la tarjeta acondicionadora, el microcontrolador y transmisor empleados; además, consta de otras secciones referidas a la presentación de los resultados parciales y finales, análisis de estos y un análisis económico del sistema; por último, en la sección de conclusiones se muestran los aspectos relevantes del trabajo y sus debilidades, lo cual condujo a una sección de trabajo futuro.

2. Diseño del sistema de medición de nivel

Para la realización del diseño del sistema de medición de nivel se tuvieron en cuenta varias etapas, las cuales se muestran en la Figura 1, donde se visualiza el proceso comprendido desde la lectura de los datos hasta la transmisión de estos a un punto donde serán analizados por los especialistas.

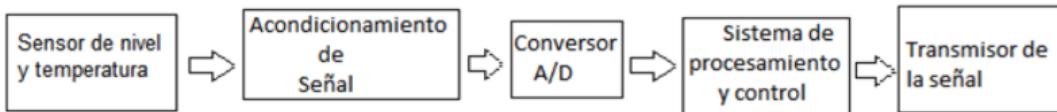


Figura 1. Esquema en bloque de un sistema de adquisición de datos para la medición de nivel.

Para el diseño del sistema de medición de nivel se tuvieron en cuenta los siguientes requerimientos técnicos:

- Se debe garantizar que en el lugar a implementar el sistema de medición para el trabajo en tanques de combustible no existan altas tensiones ni altos valores de corriente.
- La señal de entrada del amplificador debe ser de baja tensión.
- El amplificador instrumental debe amplificar al menos diez veces la señal de entrada.
- Se debe garantizar la cobertura en un terreno de aproximadamente de 450 m, por lo que se hace necesario el empleo de repetidores para el cumplimiento de este objetivo.



Figura 2. Combinación del flotador con potenciómetro.

2.1. Sensores de nivel y temperatura empleados

Para la realización del monitoreo de nivel del líquido se utiliza un sensor flotador, este presenta características como: fácil adquisición, bajo costo, durabilidad y es idóneo para este tipo de trabajo [10]. Sin embargo, el problema de su imprecisión durante la medición, propició que se le acoplara un potenciómetro lineal, como se muestra en la Figura 2, para obtener una mejor linealidad en la medición. Durante el desarrollo y calibración del sistema se decidió trabajar con un potenciómetro de $10\text{ k}\Omega$. Las pruebas aplicadas para su calibración fueron en el rango de $2\text{-}8\text{ k}\Omega$, por ser esta la

parte más lineal de este potenciómetro; lo anterior permitió la obtención de valores más exactos en la medición. Cuenta con capacidad de 20 mA, una exactitud de 10 mm, una longitud de 40 cm y un voltaje de alimentación de 10 V.

Por otra parte, como sensor de temperatura fue escogido el Pt100, el cual se encuentra dentro de la familia de los sensores de resistencia. Los sensores RTD de platino están considerados los más precisos y estables dentro de los sensores estándar; para fines profesionales, un sensor RTD de platino de alta calidad es el que presenta mayores prestaciones [11]. El platino es en gran medida el material más común de los RTD, sobre todo debido a su estabilidad a largo plazo en el aire. Entre los sensores RTD de platino que existen, el Pt100 se destaca dentro de los que más aplicaciones tienen, dicho sensor posee una estabilidad de mayor de 0,2 grados y su rango de medición de 0 a 100 grados.

2.2. Diseño de la tarjeta acondicionadora de señales

En este trabajo, la solución escogida para el procesamiento consiste en una tarjeta de acondicionamiento de señales analógicas, esta es diseñada para que trabaje de forma estable, empleando circuitos integrados para su miniaturización; brinda a la salida pequeños valores de voltajes, de forma tal que se puedan obtener, comprender y manipular con cualquier microcontrolador. Esta tarjeta acondicionadora se compone de un diseño sencillo, buscando que su tamaño no sea un obstáculo para su compartimentación, montaje, diseño estructural, mantenimiento y reparación; además, se diseñó con componentes de fácil adquisición en el mercado y fácil montaje, ya que no se trabaja con componentes de montaje superficial (SMD, por sus siglas en inglés). En la Figura 3 y la Figura 4 se muestra el esquema PCB y el diagrama en bloque de esta.

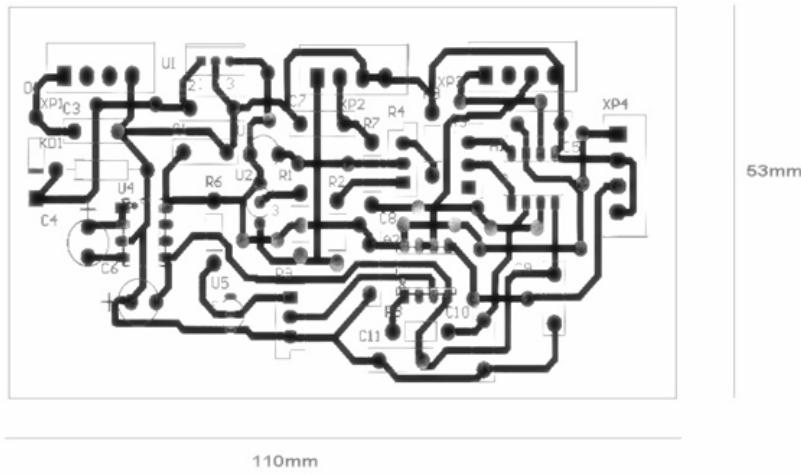


Figura 3. Esquema PCB de la tarjeta acondicionadora.

El diseño de esta tarjeta se basa en los siguientes requerimientos: la señal de entrada del amplificador debe ser de baja tensión, la resistencia de referencia a la entrada del amplificador instrumental debe ser baja, el amplificador instrumental debe amplificar la señal al menos diez veces la señal de entrada, debe poseer una ganancia de cinco a diez veces el valor de entrada y la corriente que circula por los sensores debe estar en el orden de 5-10 mA. Para poner en práctica los requerimientos

anteriores, durante el diseño de la tarjeta se tuvo en cuenta la aplicación de las siguientes condiciones: implementarla sobre la base de amplificadores instrumentales de alta precisión del tipo AD620 para lograr la linealidad de la respuesta, utilizar una fuente estable de corriente de referencia con un circuito de compensación de temperatura para estabilizar el offset, emplear potenciómetros para el acondicionamiento funcional que permita variar el intercepto y la pendiente de la señal de salida, introducir un transductor para convertir las variables físicas en variable eléctrica y emplear un circuito integrado del tipo LM334 [13] para la compensación de temperatura.

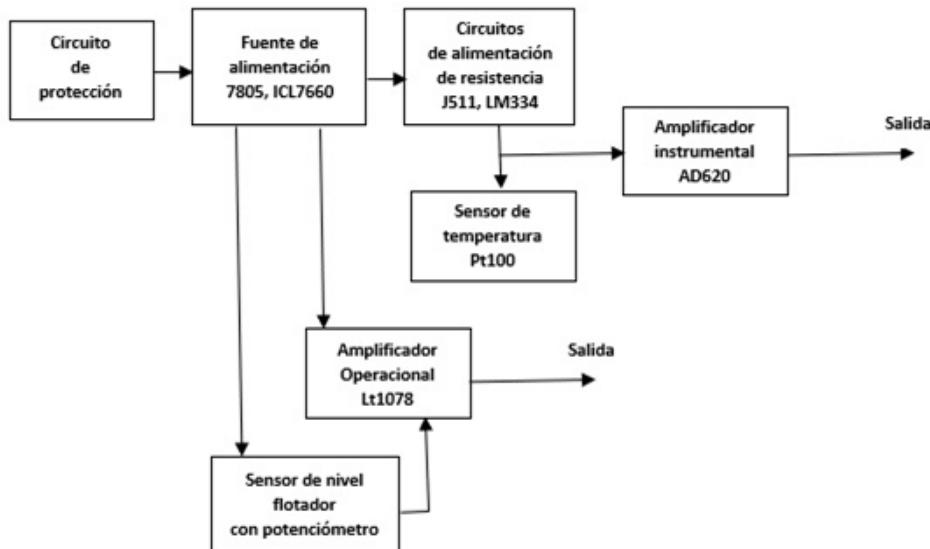


Figura 4. Diagrama en bloque de la tarjeta acondicionadora.

El diagrama que se muestra en la Figura 4 comprende los componentes de la tarjeta acondicionadora, estos son: circuito de protección, fuente de alimentación, circuito de alimentación, amplificador instrumental y amplificador operacional. El circuito de protección se diseñó de manera tal que pudiera proteger a la tarjeta contra la inversión de polaridad; además, el mismo elimina los picos transitorios mayores a de 18 V mediante los diodos P6KA18. La fuente de alimentación genera voltajes positivos mediante el regulador de voltaje 7805 y voltajes negativos mediante el circuito integrado ICL7660A [12]. Esta fuente fue seleccionada debido a la necesidad de obtener voltajes positivos (7805) y voltajes negativos (ICL7660), el circuito de alimentación de resistencia es el encargado de generar valores de corriente constante respecto a la temperatura del sensor de nivel PT100; así, cualquier variación de temperatura en el sensor se representa como variación de voltaje a la salida. Se seleccionó el J511 y el LM334 en tanto que en este circuito se manejan pequeños valores de corrientes, donde, para el caso del LM334, se realiza un ajuste de corriente positivo, y para el caso del J511 se realiza el ajuste de corriente negativo [13]. El amplificador instrumental AD620 fue elegido por su sensibilidad, lo que conlleva a una gran amplificación y también muestra una gran linealidad [14], exigencias que debía satisfacer la tarjeta diseñada. El amplificador operacional LT1078 [15] se emplea para amplificar la salida del sensor de nivel y brindar valores a la salida que correspondan con los valores de entrada del módulo Arduino, ya que el mismo trabaja con pequeños valores de corriente y voltaje, además de poseer una ganancia de 200 KHz que se acopla para el trabajo.

2.3. Microcontrolador Arduino UNO

A pesar de que en otros trabajos consultados para monitoreo remoto del nivel se emplean otros microcontroladores, como es el caso del microcontrolador de 8 bits PIC16LF886 [18], la plataforma Arduino ha sido empleada [17] arrojando muy buenos resultados.

La elección de la plataforma Arduino se debe a su empleo en diversas aplicaciones, simplificación del proceso de trabajo, su precio bajo en comparación con otras plataformas de microcontroladores, es una multiplataforma, un entorno de programación simple y clara y es un código libre y *software* extensible [18]–[21]. Dentro de Arduino será seleccionado el Arduino UNO, por ser una de las plataformas más sencillas, sus prestaciones son suficientes para la aplicación en concreta y es capaz de manejar el XBee fácilmente [22], [23]; esta plataforma cuenta además con un módulo interno analógico-digital y filtros encargados del acoplamiento de la señal obtenida de los sensores.

Para la programación del Arduino UNO se tuvieron en cuenta sus prestaciones y características. El diagrama de flujo presentado en la Figura 5, muestra cómo se concibió el software para poder monitorear los parámetros principales del sistema en el depósito.

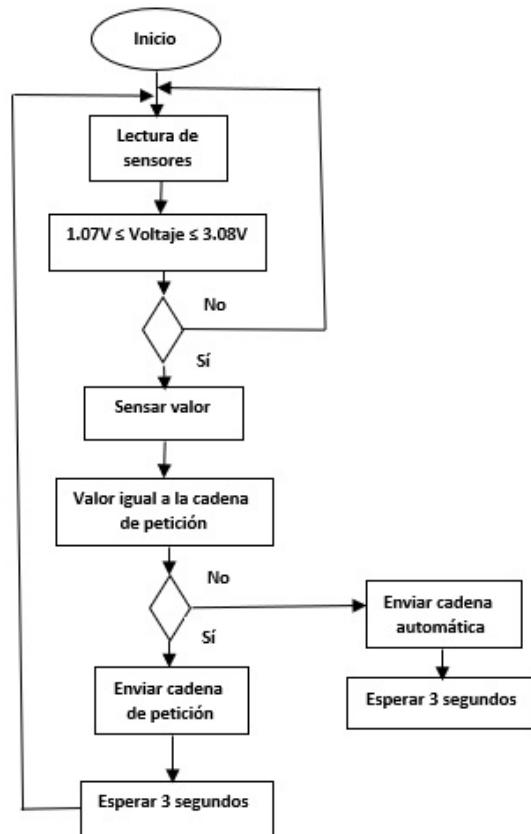


Figura 5. Diagrama de Flujo del programa en el depósito.

Los datos enviados por el transmisor son analizados y almacenados por el receptor. En la Figura 6 se muestra el diagrama de flujo que se implementó para la atención a este último en el punto de control.

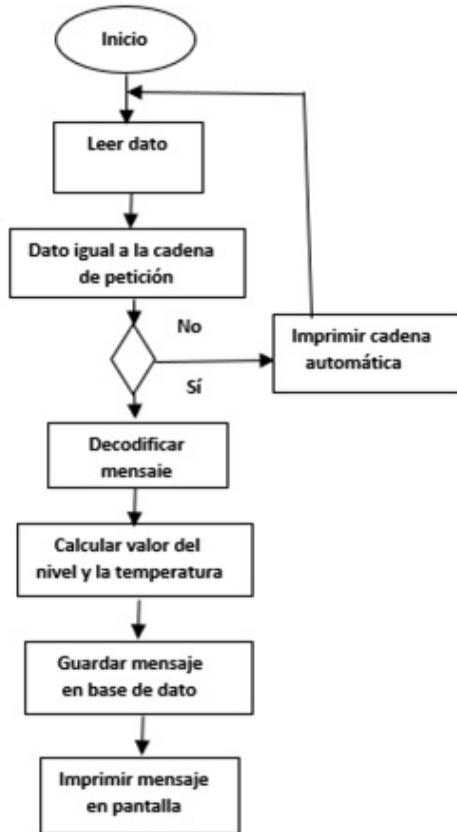


Figura 6. Diagrama de Flujo del programa en el punto de control.

2.4. Elección del transmisor XBee

ZigBee es el protocolo de comunicaciones inalámbricas escogido para el desarrollo del sistema de medición de nivel, este ha sido seleccionado teniendo en cuenta la permisividad que el brinda a los dispositivos electrónicos de bajo consumo para que puedan realizar sus comunicaciones inalámbricas y su utilidad para redes de sensores en entornos industriales, médicos y, sobre todo, domésticos [22]; de manera concreta, dentro de ZigBee se han seleccionado los módulos XBee debido a que son económicos, potentes y fáciles de utilizar.

Las antenas que emplean los dispositivos XBee son de poca ganancia [22], lo que no garantiza las especificaciones planteadas en este trabajo; a pesar de esto, los módulos XBee permiten el acople con otros tipos de antenas exteriores a través de los conectores que se encuentran en su placa.

2.4.1. Diseño de la antena externa

Los problemas que presentan las antenas de XBee, y utilizando la facilidad de acople con otros dispositivos exteriores, propiciaron que se tuviera que diseñar una antena para utilizarla en el sistema de medición de nivel propuesto.

Para la selección de la antena se tuvieron en cuenta los siguientes requerimientos: directividad, ganancia mayor de 5 dB, compacta, robusta, de fácil diseño, acople de impedancia con los XBee,

cobertura mayor de 300 m y compatibilidad en la frecuencia de trabajo con los XBee. En la Figura 7 se muestra el diagrama de radiación de la antena diseñada.

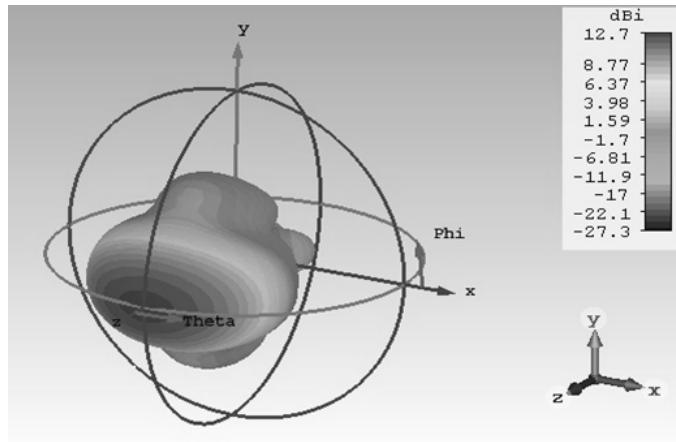


Figura 7. Diagrama de radiación de la antena.

En el diagrama de radiación de la antena que se muestra se puede notar que posee una ganancia de 12 dB, por lo que cumple con las exigencias que se tuvieron encuentro para la selección y diseño de la antena; se nota también el gran ancho de banda de la antena, ideal para la aplicación en cuestión. La simulación de la antena seleccionada y de los elementos que la componen se realizó en el software CST 2016.

La antena que se seleccionó para el trabajo es la antena doble biquad de cuatro elementos, como se muestra en la Figura 8, ya que este tipo de antena brinda la posibilidad de ser compacta, de fácil construcción y opera en la banda de frecuencia de trabajo que es de 2.4 GHz.

Para el diseño de la antena se tuvo en cuenta el procedimiento empleado en [24]. A través de la ecuación (1) se obtuvo la longitud de onda.

$$\lambda = \frac{c}{F} \quad (1)$$

Donde c es la velocidad de la luz en el espacio libre y F es la frecuencia empleada que es de 2,437 GHz.

Con el dato que se obtuvo de $\lambda = 123$ mm, se obtuvieron las ecuaciones (2) y (3) que representan los lados del cuadrado y la distancia entre el alimentador y el reflector, respectivamente.

$$L = \frac{1}{4}\lambda \quad (2)$$

$$D = \frac{1}{8}\lambda \quad (3)$$

Con respecto a las dimensiones del reflector, se tomaron las que se recomiendan en [24], por lo que la altura y el largo del reflector fueron 105 mm y 235,4 mm respectivamente.

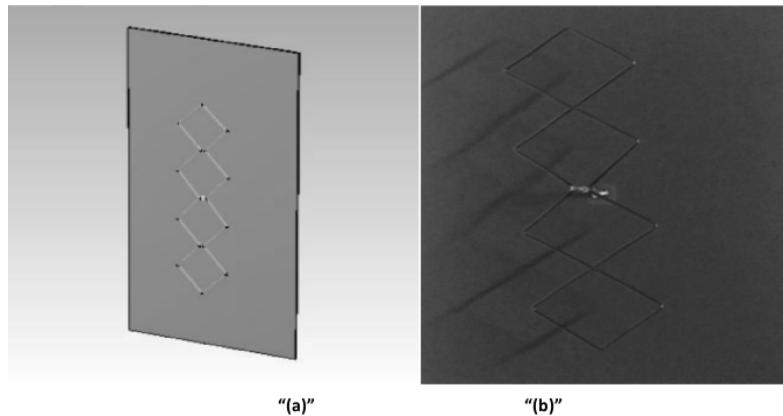


Figura 8. “(a)”, “(b)”. Simulación y construcción de la antena doble biquad.

3. Análisis e interpretación de los resultados parciales

El sistema propuesto estará finalmente conformado por los elementos siguientes: los sensores de temperatura y de nivel, la etapa acondicionadora de la señal, el microcontrolador Arduino, el transmisor XBee y la antena que se encarga de garantizar una correcta comunicación entre el área de los depósitos y el local de procesamiento de la información.

3.1. Tarjeta acondicionadora de señales y sensores

La Figura 9 muestra la composición de la tarjeta, la cual presenta tres entradas denotadas por 1, 2 y 4, además de una salida representada como 3. El conector 1 representa la entrada de 12 VDC (voltaje de corriente directa) de alimentación de la tarjeta, donde el pin 1 es VCC y el pin 4 GND. El conector 2 es la alimentación del sensor de temperatura Pt100; en este conector se puentean los pines 1 y 2 (tensiones de alimentación), y los pines 3 y 4 (GND). Por su parte, el conector 3 constituye la salida de la tarjeta, la cual muestra la respuesta de los sensores de temperatura y nivel, esta debe ser menor de 4 VDC, donde el pin 1 es GND común, el pin 2 es la respuesta de salida del Pt100, el pin 3 es la salida del sensor de nivel y el pin 4 no se conecta. Por último, el conector 4 es la alimentación del sensor de nivel. En este conector se instala el potenciómetro que se alimentará en los pines de los extremos donde da su máximo valor, el pin del centro será la respuesta de salida del sensor de nivel.

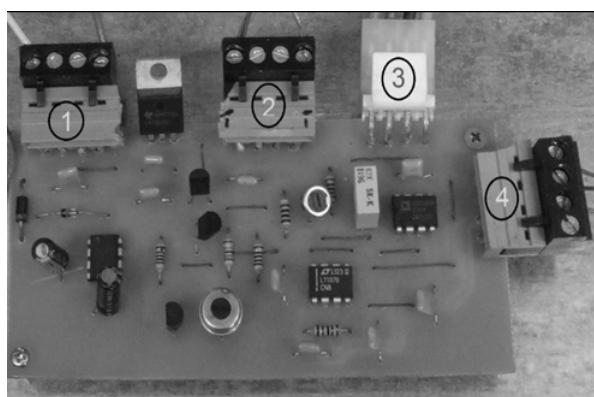


Figura 9. Tarjeta acondicionadora de señales.

Para comprobar el funcionamiento de la tarjeta se realizaron diferentes pruebas de laboratorio en hornos de calor, cámaras de temperatura para la compensación y su correspondencia con el valor de referencia y al aire libre; dentro de estas se encuentra la comprobación de la respuesta de salida con los sensores instalados, para lo cual se realizaron mediciones para la compensación de la temperatura y, en el caso del sensor de nivel, la selección de la zona de trabajo teniendo en cuenta la respuesta de salida del potenciómetro seleccionado. La tarjeta acondicionadora fue sometida a pruebas de laboratorio en hornos de calor y cámaras de temperatura para la compensación y su correspondencia con el valor de referencia.

En la Tabla I se pueden observar las mediciones realizadas para la compensación de la temperatura al aire libre, siendo este medio el que mayor repercusión pudiera tener en la medición.

Tabla I. Mediciones para la compensación de la temperatura.

Temperatura (grados Cel- sius)	Resistencia (Ω)	Tensión del sen- sor (V)	Tensión de salida (V)	Tensión de sa- lida a tempera- tura ambiente (V)	Compensación de la tensión de sa- lida (V)	Tensión de salida com- pensada (V)
0	100	0,5	3,625	3,262	4,027	3,644
5	101,56	0,507	3,681	3,313	4,090	3,701
10	103,51	0,517	3,752	3,377	4,168	3,772
40	115,16	0,575	4,174	3,757	4,637	4,197
50	119,01	0,595	4,314	3,882	4,792	4,337
60	122,86	0,614	4,453	4,008	4,948	4,478
70	126,69	0,633	4,592	4,133	5,102	4,617
80	130,51	0,652	4,730	4,257	5,256	4,757
90	134,32	0,671	4,869	4,382	5,409	4,895
100	138,12	0,690	5,006	4,506	5,562	5,034

Como se puede apreciar con cada valor de temperatura medida con el sensor, teniendo en cuenta la tensión que se le suministra a este, se puede obtener en el conector de salida de la tarjeta valores de tensión que se encuentran dentro del rango de trabajo del microcontrolador Arduino.

Las pruebas realizadas al sensor de nivel y su acople a la tarjeta acondicionadora también fueron llevadas a cabo en varios entornos; la Tabla II muestra las variaciones de nivel mediante un dispositivo creado, donde se graficaron los ángulos de trabajo del sensor.

Como se muestra en la Tabla II, en este experimento la tensión de entrada no varía, manteniendo un valor igual a 5 V, es este el valor suministrado por la tarjeta acondicionadora; también se puede apreciar que a través del aumento de los ángulos se obtiene a la salida una disminución de los valores de tensión, no así con resistencia, lo cual demuestra el funcionamiento del potenciómetro. Aquí también se puede observar que los valores de tensión de salida corresponden al rango de trabajo del microcontrolador Arduino.

Tabla II. Caracterización del sensor de nivel.

Nº	Ángulo del flotador (θ°)	Tensión de salida (V)	Resistencia del potenciómetro (Ω)
1	0	3.081	3.37
2	2	3.05	3.50
3	4	3.0	3.72
4	6	2.90	3.84
5	8	2.74	3.97
6	10	2.86	4.07
7	12	2.74	4.18
8	14	2.66	4.36
9	16	2.58	4.51
10	18	2.52	4.68
11	20	2.45	4.87
12	22	2.36	4.97
13	24	2.28	5.18
14	26	2.15	5.33
15	28	2.04	5.56
16	30	1.95	5.75
17	32	1.85	6.01
18	34	1.74	6.24
19	36	1.58	6.47
20	38	1.39	6.98
21	40	1.20	7.26

3.2. Aplicación de consola y aplicación web del sistema de medición de nivel

El *software* del sistema se inicia automáticamente al encender el equipo, basado en el lenguaje de programación Phyton; este cuenta de dos partes: la aplicación de consola y la aplicación web. La aplicación de consola registra y muestra todos los mensajes entrantes y salientes, así como las otras notificaciones útiles para conocer el estado del funcionamiento del *software*; por su parte, la aplicación web constituye la interfaz de usuario. En esta última se muestra únicamente la información de interés para el usuario y contiene algunos botones para la interacción entre el servidor y el usuario.

La pantalla de inicio del *software* se muestra en la Figura 6, mientras que la información con la ubicación del grupo de tanques de combustibles que están siendo controlados y la información referente a cada tanque que está siendo supervisado se muestran en la Figura 10.

3.3. Análisis de la cobertura del sistema de medición de nivel

Con el objetivo de validar las pruebas de cobertura realizadas mediante simulación, se decidió realizar pruebas de cobertura en el terreno. Las pruebas de cobertura se realizaron con el software

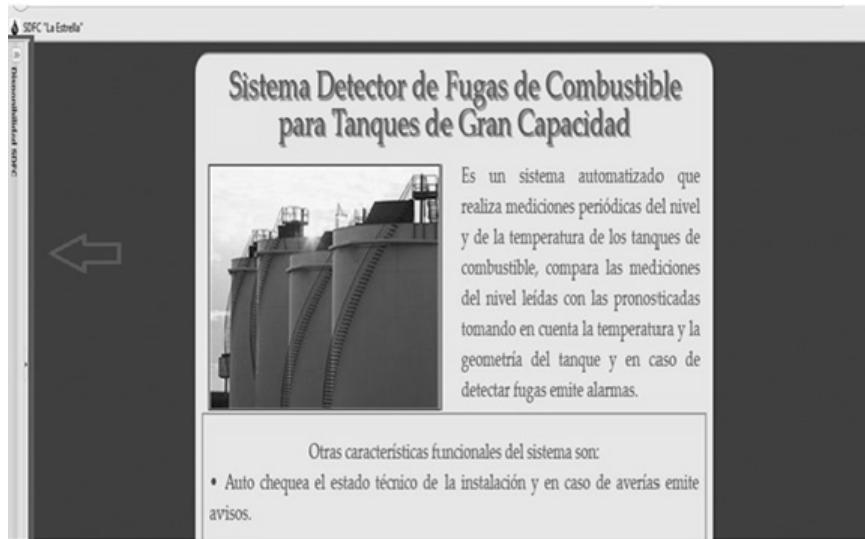


Figura 10. Pantalla principal del sistema de medición.

XCTU [25], este realiza una exploración de 360° a su alrededor y muestra en pantalla los dispositivos conectados mediante una máscara de identificación personalizada, dicha máscara permite detectar la cobertura en tanto la información está llegando.

La zona donde se despliega el sistema se caracteriza por ser un terreno semiurbano con un área boscosa. Se decide, teniendo en cuenta las condiciones anteriores, la ubicación de tres estaciones repetidoras entre el transmisor y receptor. En la Figura 11 se muestra cómo queda el radioenlace en cuestión, mostrando la distancia que hay en cada una de estas estaciones.

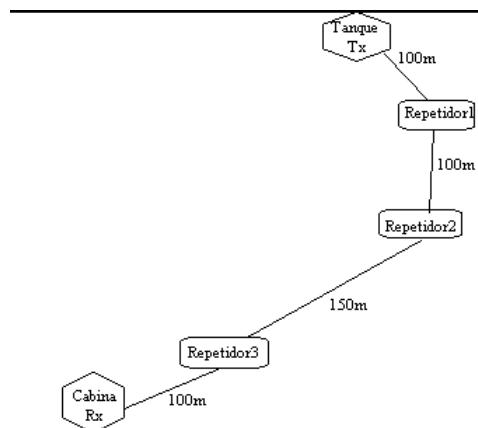


Figura 11. Composición de los puntos del radioenlace.

En la Tabla III se muestran los resultados de cobertura entre el transmisor y el receptor, teniendo en cuenta los diferentes repetidores existentes entre ellos. Debido a la estructura empleada por el sistema de medición, se realizaron pruebas de cobertura entre el transmisor y el primer repetidor, entre el primer y el segundo repetidor, entre el segundo y el tercer repetidor y entre el tercer repetidor y el receptor, respetando las distancias existentes entre ellos.

Tabla III. Almacenamiento de las pruebas de cobertura.

Distancia (m)	Existencia de cobertura			
	Transmisor-Repetidor1	Repetidor1-Repetidor2	Repetidor2-Repetidor3	Repetidor3-Receptor
10	Sí	Sí	Sí	Sí
30	Sí	Sí	Sí	Sí
50	Sí	Sí	Sí	Sí
70	Sí	Sí	Sí	Sí
90	Sí	Sí	Sí	Sí
100	Sí	Sí	Sí	Sí
110	Sí, pero necesita elevación la antena			
120	Sí, pero necesita elevación la antena	No	Sí, pero necesita elevación la antena	No
130	No	-	Sí, pero necesita elevación la antena	-
140	-	-	Sí, pero necesita elevación la antena	-
150	-	-	Sí, pero necesita elevación la antena	-

Como se muestra en la Tabla III, la cobertura entre los diferentes elementos que conforman el sistema de medición, según lo esperado debido a los resultados de la simulación, resultó positiva; es válido destacar que en todos los casos siempre hubo cobertura a la distancia requerida, aunque en el tramo del segundo al tercer repetidor se hizo necesario levantar la antena para lograr la cobertura, pues los niveles de señal obtenidos eran bajos y no permitían la entrada de los datos al sistema.

4. Resultados del monitoreo del nivel del líquido

En la Figura 12 se muestra cada vista del panel de grupo de tanques, el cual está compuesto por: (a) las gráficas de barra que muestran los indicadores de nivel y temperatura del tanque; (b) la barra de menú, que muestra el historial de nivel, temperatura y alarmas almacenadas en la base de datos; (c) se permite realizar una encuesta manual al tanque y la solicitud de los datos del mismo; (d) la barra de estado, que indica la conectividad del tanque; (e) la fecha y hora de la última medición registrada y almacenada en la base de datos constituye otro de los elementos que conforman el panel de grupo de tanques; (f) la barra de estado del grupo de tanques del sistema está compuesta por un indicador de estado del servidor; (i) también se encuentra la presencia de un indicador de alarmas; (g) en la misma se pueden realizar la modificación de las tablas de configuración de las variables del sistema; (h) el control manual del actuador y (j) el encendido y apagado manual de la aplicación de consola.

Como se ha descrito anteriormente, uno de los datos que puede brindar la aplicación web es la información sobre el historial, ella permite visualizar los datos almacenados en la base de datos donde se aprecia la fecha, la hora y el nivel que el tanque tenía en el instante de la medición. Un ejemplo de cómo se muestra dicha información se presenta en la Figura 13.

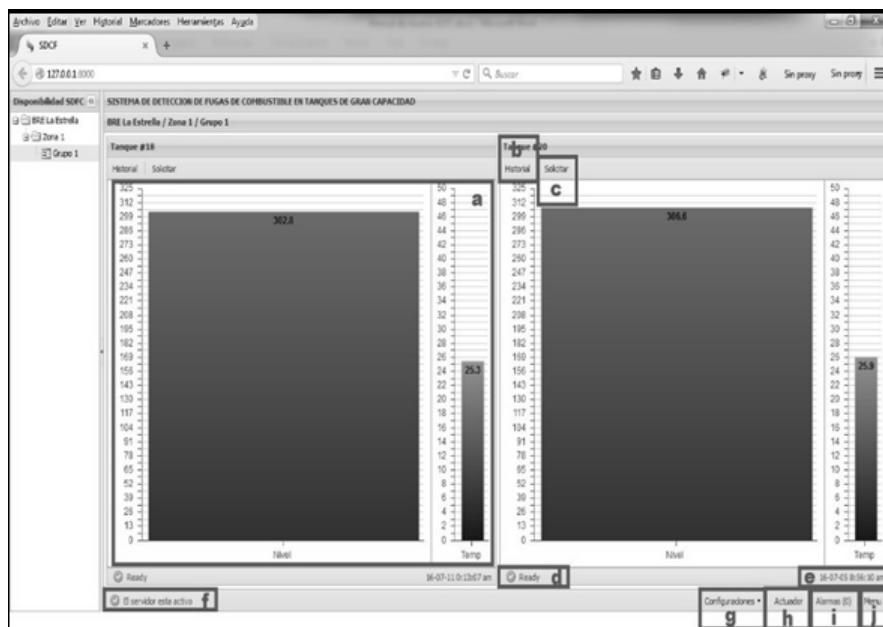


Figura 12. Componentes del sistema de medición.

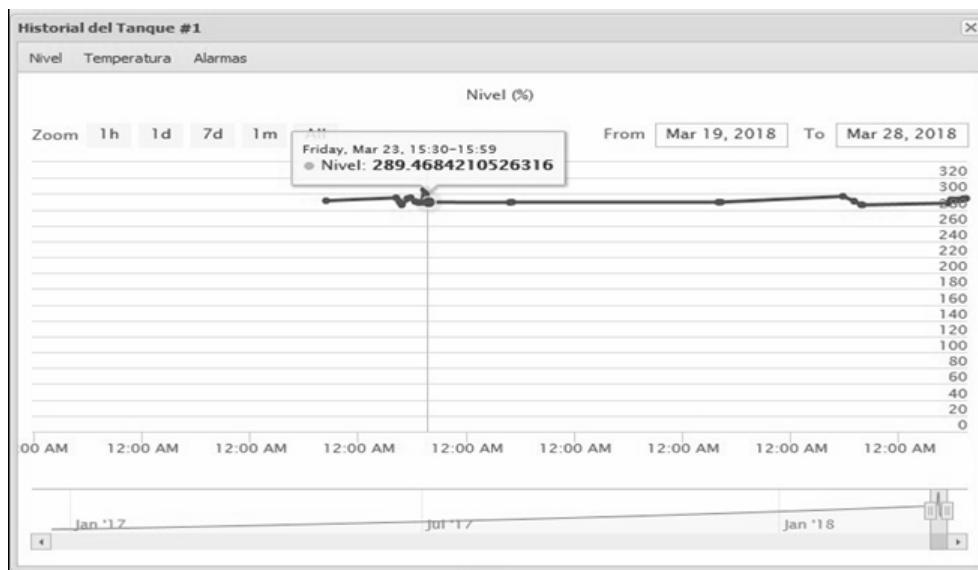


Figura 13. Historial del nivel del tanque.

La aplicación web también brinda información sobre los datos del tanque analizado con respecto a la temperatura, lo cual se puede ver en la Figura 14; también se muestran los mismos parámetros que para el caso de la medición de nivel. Los valores del nivel y de la temperatura mencionados anteriormente son guardados en el historial del tanque, donde además de estos se muestran las alarmas históricas ocurridas en el sistema durante el tiempo de trabajo. En el registro general del tanque se observan valores característicos como la fecha, la hora, la fuente y el destino de la información y los valores mínimos y máximos que podrá tomar el tanque.

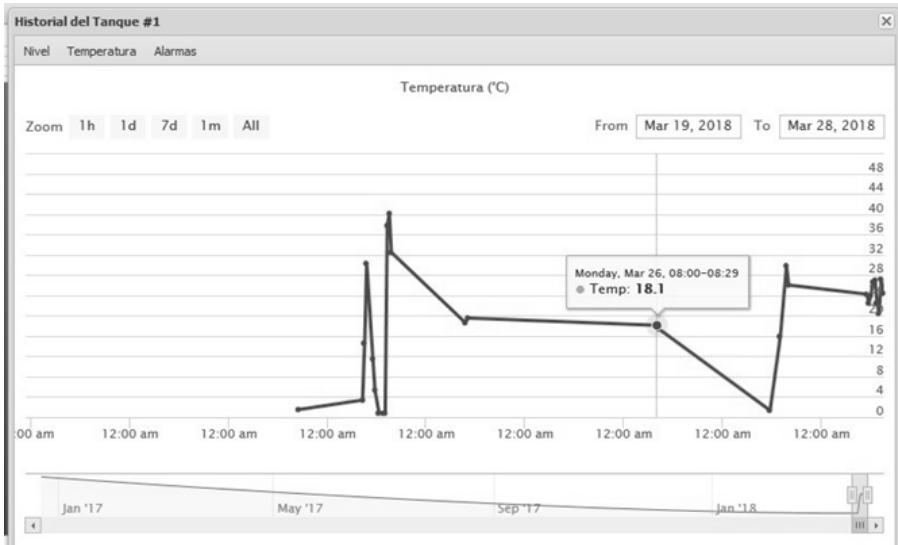


Figura 14. Historial de la temperatura del tanque.

5. Análisis económico del sistema de medición de nivel

El costo del sistema para un solo depósito conectado es de 1736.76 dólares, como se muestra en la Tabla IV; sin embargo, este precio no sería igual para la instalación de otro depósito en el mismo sistema. La instalación de un segundo depósito tendría un costo de 637 dólares, pues la compra de la PC, del cable de alimentación y de los módulos XBee ya no sería necesaria; lo anterior demuestra la disminución del costo del sistema comparado con otros en el mercado mundial, como es el caso de Siemens y Vega, los cuales tienen costos aproximados de 2339 y 2033 dólares respectivamente [2], [4], dichos montos no tienen en cuenta el precio de la PC, del receptor y de los repetidores. Además, el costo del sistema de medición de nivel propuesto es inferior, comparado con otros existentes en el mercado nacional como, por ejemplo, el de la empresa ECASA, el cual tiene un costo de 2094 dólares. Haciendo una comparación de precios del sistema propuesto con los mencionados, se puede arribar la siguiente conclusión: el costo del sistema de medición propuesto representa un ahorro de 296, 357.24 y 602.24 dólares con respecto al costo de los sistemas de Vega, ECASA y Siemens respectivamente. La solución propuesta brinda bondades similares a las brindadas por los sistemas profesionales, tal es el caso de Banner, solución para la medición y el monitoreo de nivel que puede proporcionar datos precisos en tiempo real de los activos desplegados en zonas remotas y de difícil acceso.

6. Conclusiones

El objetivo fundamental de este trabajo fue cumplido de manera satisfactoria en tanto se logró realizar el monitoreo de manera continua, estable y remota al sistema, a través de una base de datos referente a los depósitos de combustible; además, la obtención de los parámetros de nivel y temperatura requeridos demostraron que el sistema constituye una herramienta útil para realizar el monitoreo de nivel en grandes depósitos. Los resultados anteriores posibilitaron que se pudiera llegar a las siguientes conclusiones:

Tabla IV. Almacenamiento de las pruebas de cobertura.

Descripción	U/M	Precio/ Aprox	Cantidad	Valor
Módulo Arduino	U	25.00 USD	1	25.00 USD
Componentes pasivos	U	313.00 USD	34	313.00 USD
Componentes activos	U	56.00 USD	18	56.00 USD
PC	U	592.00 USD	1	592.00 USD
Gasto mecánico	U	256.95 USD	1	256.95 USD
Antena	U	9.95 USD	1	9.95 USD
Cable	Rollo	234.20 USD	1	234.20 USD
Módulo XBee	U	25.95 USD	5	129.75 USD
Sensor de temperatura	U	89.24 USD	1	89.24 USD
Sensor de nivel	U	28.37 USD	1	28.37 USD
Potenciómetro de 10K	U	2.30 USD	1	2.30 USD
Total		1 736.76 USD		

- La utilización de una antena externa permitió garantizar la entrega de la información de forma satisfactoria mediante una red wifi, aunque pudiese haber sido empleado otro transmisor que no requiriera la utilización de una antena externa.
- La comprobación de la cobertura del sistema fue realizada a través de establecer las similitudes entre las simulaciones y las mediciones en el terreno, aunque en algunos momentos la obtención de la cobertura dependía del lugar donde estuviese colocada la antena.
- El sistema de medición obtenido no solo fue capaz de realizar un monitoreo de forma continua y en tiempo real del nivel de líquido, sino que además brindó datos como la temperatura, siendo necesario para arribar a conclusiones sobre la fluctuación del nivel del líquido. Otro elemento atractivo de dicho sistema resultó ser la utilización de alarmas, lo cual le imprime gran capacidad de respuesta ante alteraciones de derrames o falta de comunicación durante su funcionamiento.
- El sistema de medición de nivel obtenido resulta menos costoso que los que se comercializan en el mercado internacional, contribuyendo así a la sustitución de importación.
- Con este sistema se logró obtener la información del nivel del líquido con una taza de error comparado con la real de 0.1 mm, lo que resulta alto en comparación con algunos de los sensores que se comercializan en el mercado, pero provechoso para la aplicación que fue concebida.

Lo más interesante del trabajo es que pudo dotar a entidades cubanas como el Instituto Nacional de la Reserva del Estado de una herramienta automática que pudiera realizar la medición de nivel en tiempo real, el resultado obtenido ya está siendo utilizado por dicha entidad, proporcionándole mayor fiabilidad en el control del líquido.

7. Trabajo Futuro

Teniendo en cuenta que el sistema de medición de nivel que en este trabajo se propone se encuentra desplegado a menor escala en dos unidades destinadas para el almacenamiento de combustible, sería conveniente reproducir el sistema en otras entidades que posean el mismo perfil de trabajo; lo anterior conllevaría a la formulación de las siguientes pautas para el desarrollo de trabajos futuros en esta línea de investigación:

- Aumentar la plataforma de comunicación, dotando al sistema de transmisores y repetidores con mayor potencia de salida.
- Constar con un sistema de alimentación fotovoltaico, permitiéndole al sistema una mayor autonomía.
- Aumentar la ganancia de las antenas empleada en el área de los depósitos, lo cual permitiría eliminar algunos de los repetidores del sistema y se lograría una mayor eficiencia en la comunicación.
- Explorar otras opciones de transmisores y de microcontroladores que sean compatibles para utilizarlo en el sistema de medición.

Referencias

- [1] K. Loizou and E. Koutroulis, “Water level sensing: State of the art review and performance evaluation of a low-cost measurement system”, *Measurement*, vol. 89, pp. 204-214, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.04.019> ↑30
- [2] Siemens, “Level measurement guide: for complete level solutions”. [En línea]. Disponible en: <http://www.siemens.com/sensorsystems> ↑30, 44
- [3] P. Antunes, J. Dias, T. Paixão, E. Mesquita, H. Varum and P. André, “Liquid level gauge based in plastic optical fiber”, *Measurement*, vol. 66, 238-243, 2015 <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.01.030> ↑30
- [4] Vega, “Measurement technology for level”,.. [En línea]. Disponible en: <http://www.vega-line.co.uk> ↑30, 44
- [5] K. Loizou, E. Koutroulis, D. Zalikas and G. Lontas, “A low-cost capacitive sensor for water level monitoring in large-scale storage tanks”, in *IEEE International Conference on Industrial Technology*, Sevilla, 2015. <https://doi.org/10.1109/ICIT.2015.7125295> ↑30
- [6] B. Jin, Z. Zhang and H. Zhang, “Structure design and performance analysis of a coaxial cylindrical capacitive sensor for liquid-level measurement”, *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 223, pp. 84-90, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2014.12.027> ↑30
- [7] H. Gong, H. Song, S. Zhang, K. Nia and X. Dong, “An optical liquid level sensor based on polarization-maintaining fiber modal interferometer”, *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 205, 204-207, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2013.11.012> ↑30
- [8] C. W. Lai, Y. L. Lo, J. P. Yur, W. F. Liu and C. H. Chuang, “Application of Fabry-Pérot and fiber Bragg grating pressure sensors to simultaneous measurement of liquid level and specific gravity”, *Measurement*, vol. 45, no. 3, pp. 469-473, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2011.10.026> ↑30
- [9] Lesman Instrument Company, “Level measurements instruments”. [En línea]. Disponible en: <http://www.lesman.com> ↑31
- [10] F. A López, R. A. Zurita, D. J. Cerven y E. C. Naranjo, “Medidor de Tipo Burbujeo”. [En línea]. Disponible en: <http://instrumentacionuc.wixsite.com/facultad-ingenieria/copia-de-termistores-2> ↑32

- [11] J. A. Encinas, *Simulador de Temperatura de un Sensor RTD PT100 mediante MicroConvertidor ADuC812 e Interfaz de Usuario LabVIEW*, Tesis doctoral, Universidad Rovira i Virgili, España, 2011. ↑³³
- [12] Divices Analog, “datasheets 7805”. [En línea]. Disponible en: <http://www.farnell.com/datasheets/7805.pdf> ↑³⁴
- [13] Divices Analog, “LM134, LM234, LM334”. [En línea]. Disponible en: www.ben.cz/_d/datasheet/lm334.pdf ↑³⁴
- [14] Divices Analog, “Low Cost, Low Power Instrumentation Amplifier AD620”. [En línea]. Disponible en: <https://www.prome-lec.ru/pdf/ad620.pdf> ↑³⁴
- [15] Divices Analog, “LT1078, LT1079”. [En línea]. Disponible en: <http://www.farnell.com/datasheets/98087.pdf> ↑³⁴
- [16] J. I. Vega, “Monitoreo remoto de nivel de agua usando el procesador de red Amber EM260”, en *Congreso de Instrumentación*, México, 2014. ↑³⁵
- [17] M. B. Othón, A. Villalobos y A. García, “Diseño de sistema de monitoreo en tiempo real para aplicaciones hidrométricas y de calidad del agua”, en *1er Congreso Iberoamericano sobre Sedimentos y Ecología*, México, 2015 ↑³⁵
- [18] A. Pérez, *Control y supervisión mediante un sistema microcontrolador de los parámetros de calidad de agua de un estanque*, Tesis de grado, Departamento de Ingeniería Electrónica, Universidad de Sevilla, España, 2017. ↑³⁵
- [19] O. Pineño, “ArduiPod Box: A low-cost and open-source Skinner box using an iPod Touch and an Arduino microcontroller”, *Behavior Research Methods*, vol. 46, no. 1, pp. 196-205, 2014. <https://doi.org/10.3758/s13428-013-0367-5> ↑³⁵
- [20] A. D’Ausilio, “Arduino: A low-cost multipurpose lab equipment”, *Behavior Research Methods*, vol. 44, no. 2, pp. 305-313, 2012. <https://doi.org/10.3758/s13428-011-0163-z> ↑³⁵
- [21] D. Diakopoulos and A. Kapur, “HIDUINO: A firmware for building driverless USB-MIDI devices using the Arduino microcontroller”, in *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, 2011. ↑³⁵
- [22] R. Faludi, *Building wireless sensor networks: with ZigBee, XBee, arduino, and processing*. California: O'Reilly Media, Inc., 2010. ↑^{35, 36}
- [23] V. Boonsawat, J. Ekchamanonta, K. Bumrungkhet and S. Kittipiyakul, “Xbee wireless sensor networks for temperature monitoring”, in The second conference on application research and development (ECTI-CARD), Chon Buri, Thailand, 2010. ↑³⁵
- [24] O. Rossell, “Manuales Fabricación Antenas Caseras”. [En línea]. Disponible en: <http://www.qsl.net/cx1ddr//descargas/antenas-caseras-wifi.pdf> ↑³⁷
- [25] M. G. López y D. González, “Proyecto de diseño de una red inalámbrica de sensores de bajo coste”. [En línea]. Disponible en <https://upcom-mons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/24385/4.%20Manual.pdf?sequence=4&isAllowed=y> ↑⁴¹

Reinier Quiala Llorens

Nació en La Habana, Cuba. Es Ingeniero en Radioelectrónica, graduado del Instituto Técnico Militar “José Martí”, de La Habana, Cuba. Obtuvo el título de magíster en Telecomunicaciones en la Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba en 2018. Se desempeñó como investigador en el CIDP “Grito de Baire” durante 4 años. Actualmente se desempeña como técnico de la calidad en la misma institución a Institución, cargo que ocupa hace 1 año. Correo electrónico: renier@gb.reduim.cu.

Fidel E. Hernández Montero

Nació en Pinar del Rio, Cuba. Es Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica de la Universidad de Pinar del Rio, Cuba. Obtuvo su título de magíster en Sistemas Digitales en la Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba. Obtuvo su PhD en la Universidad Tecnológica de La Habana, La Habana, Cuba. Actualmente se desempeña como profesor en el área del procesamiento de señales en la Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba, y pertenece como jefe del grupo de investigación sobre el monitoreo de marcha donde realiza estudios sobre el análisis de las señales de aceleración de la marcha humana. Correo electrónico: fhernandezh@tele.cujae.edu.cu

Ailén Pérez Molinet

Nació en Matanzas, Cuba. Es Ingeniera en Telecomunicaciones y Electrónica, graduada de la Universidad de la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, Cuba. En la actualidad desarrolla el proyecto destinado al monitoreo de la marcha empleando acelerómetro para pacientes con enfermedades neurodegenerativa y se desempeña como profesora en el área de las Comunicaciones Inalámbricas en la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, Cuba. Sus investigaciones están relacionadas a estudios sobre el envejecimiento y la marcha humana de pacientes con enfermedades neurodegenerativas. Correo electrónico: ailen@tele.cujae.edu.cu.