

Diseño e Implementación de un Sistema Digital de Medición de Profundidad de Reservorios, Ríos y Lagos a Través de Telemetría

Michael Alejandro Díaz Illa

Facultad de Ingeniería Electrónica Eléctrica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú

RESUMEN: La Telemetría en la actualidad es aplicable tanto a las necesidades de la industria petrolera, gas y otras como para empresas de servicios públicos de electricidad, agua y seguridad, además de monitoreo de fallas de redes de ubicación remota. Este trabajo presenta el estudio, diseño e implementación de un sistema de Telemetría Digital y el desarrollo de un software especial capaz de interpretar las señales vía radio, permitiendo conocer la información exacta sobre el evento que se sucede en el lugar de origen de la señal. Se utilizará como base trabajos previos realizados con el fin de hacer un aporte nuevo, para lo cual se hará uso de los microcontroladores RfPic[1] como transmisores con sus respectivos receptores y también el uso de sensores de profundidad.

I. INTRODUCCIÓN

El Perú cuenta con tres grandes cuencas hidrográficas. La primera comprende alrededor de 50 ríos que nacen en la Sierra y descienden hacia la región de la Costa; la segunda comprende al río Amazonas y sus afluentes en la región de la Selva; y finalmente la tercera que comprende a la cuenca del lago Titicaca, que compartimos con Bolivia. Es decir, en nuestro país poseemos suficiente cantidad de ríos y lagos para aprovecharlos en diversas formas. A pesar de esto siempre sufrimos una drástica disminución de agua en épocas de sequía y problemas de inundaciones en las épocas de lluvias. Actualmente, los organismos encargados de contrarrestar estos problemas sufren diversos inconvenientes, como la de medir el caudal en los ríos ó la profundidad en los lagos ya que en la mayoría de ellos se realiza dicha labor de manera artesanal. Para resolver estos problemas se ha creído conveniente diseñar un sistema de telemetría que nos permita medir la profundidad en forma remota. La

Telemetría es un conjunto de procedimientos para medir magnitudes físicas y químicas desde una posición distante al lugar donde se producen los fenómenos, más aun cuando existen limitaciones de acceso. Los equipos de telemetría obtienen la información mediante transductores que transforman las magnitudes físicas o químicas en señales eléctricas equivalentes, que son enviadas al punto de observación mediante ondas eléctricas para su procesamiento y análisis. Una de las principales aplicaciones de la telemetría es la meteorología. Los equipos instalados en sondas y globos meteorológicos permiten obtener medidas de las capas altas de la atmósfera y realizar mapas que ayudan a predecir el clima. El servicio de agua potable y alcantarillado de Lima -**SEDAPAL**, a través de su planta de tratamiento La Atarjea, represa el agua del río Rímac llenando dos embalses reguladores que tienen la función de almacenar agua para asegurar la continuidad de la producción de las plantas durante 15 horas, sin que se capte agua del río debido a que algunas épocas del año el agua viene demasiado turbia a causa de huaycos, estos dos reservorios tienen en conjunto un área de 270, 000 m^2 . Las centrales hidroeléctricas también deben realizar embalses para mover sus grandes turbinas a través de la fuerza del agua y así poder generar electricidad. La acumulación de desperdicios es muy frecuente en reservorios ó embalses ya que el agua siempre tiene sedimentos, por lo tanto un reservorio ó embalse con desperdicios no tendría el mismo volumen. El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú -**SENAMHI** en su área de hidrografía necesita conocer el caudal de los ríos, para lo cual poseen una Estación Hidrométrica en cada río para hacer el análisis del aforo (conjunto de operaciones para determinar el caudal en un curso de agua para un nivel observado). La profundidad en los lagos es muy importante ya que algunas empresas mineras necesitan conocer el nivel de sus aguas para

así poder administrar el agua a sus minas. La figura 1 muestra como una persona mide la distancia y profundidad de un río para obtener la sección transversal, parámetro necesitado en la obtención del caudal.



Fig. 1. Medida de Profundidad.

Al conocer estos problemas de la acumulación de desperdicios en los reservorios, los problemas en las estaciones Hidrométricas, la medición de niveles de agua en los lagos y los altos costos de los equipos que venden las empresas transnacionales para medir profundidad, la solución viable sería el diseño de un sistema que permita medir la profundidad con ayuda de la Telemetría[5]. Por lo cual, el producto de este trabajo de investigación, pretende lograr un equipo de medición cuyo costo esté por debajo del precio de los equipos comerciales y que sea manejado tan solo por un operario.

A. Descripción del Sistema

La forma tradicional de obtener la sección transversal de un río es dividiéndolo en partes iguales ($b_1=b_2=b_3=...b_n$), luego se mide la profundidad ($d_1, d_2, d_3, ...d_n$) con una barreta a cada distancia $b(i)$ y por último se obtiene la sección transversal a través de la siguiente formula:

$$\sum_{i=0}^n b_i \times d_i \quad (1)$$

Algo similar se hace para medir la profundidad en los reservorios y lagos, pero si nosotros tuviéramos una nave a radio control (barquito) que tenga un sensor de profundidad (Sonar) y haríamos que atravesara de lado a lado al reservorio, río o lago, podríamos graficar la sección transversal en tiempo real y de forma más precisa. El sistema planteado consiste de un dispositivo electrónico (nave de radio control) que tendrá un sensor de profundidad (Sonar) y un microcontrolador con transmisor integrado (RFPIC) con su respectiva antena, el sensor de profundidad envía una señal eléctrica a su transductor para que esta energía eléctrica sea

convertida en un pulso ultrasónico el cual es enviado al fondo del reservorio, río o lago. Este pulso ultrasónico cuando choca en el fondo regresa en forma de eco. El transductor toma el eco y lo envía al sensor de profundidad en forma de energía eléctrica. El microcontrolador toma las señales de transmisión y recepción del sensor de profundidad para medir el tiempo que demora en ir y venir el pulso ultrasónico, este tiempo nos indica la profundidad. El microcontrolador expresa este tiempo en bits por lo tanto la profundidad también estará en bits. Estos bits son enviados al transmisor para ser modulados y luego llevados a la antena para ser enviados por radiofrecuencia al receptor que está en la orilla. El receptor recibe la señal de radiofrecuencia que contiene la profundidad en bits para enviarlos al segundo microcontrolador. Este microcontrolador actúa como minimizador de errores y acondicionamiento de los bits antes de ser enviados a la PC. El envío de bits a la computadora se hace con el estándar RS232. Estos datos son tomados del puerto serial por nuestro programa en Visual Basic. El programa toma el dato y grafica la profundidad, almacenando este valor en una base de datos. El número de datos se configura en el programa y son recuperables gracias a que los datos se almacenan en el programa Microsoft Access.

II. COMPORTAMIENTO FÍSICO DEL SONIDO EN EL AGUA

Para todos es claro que cuando uno se sumerge en el agua de un océano o lago puede escuchar sonidos de ondas ya sea de las olas, embarcaciones y botes o de los simples bañistas de una playa a distancias considerables. Las ondas de sonido son más veloces en el agua que en el aire[6], podemos citar como un ejemplo la comunicación entre los delfines y ballenas. Los dispositivos que usan el sonido en el agua para realizar aplicaciones se llaman Sonares. Para entender el funcionamiento del Sonar primero debemos entender el comportamiento del sonido en el agua. El sonido viaja en el agua a través del movimiento de presiones (comprensión de ondas), dichas presiones varían con la velocidad del sonido que típicamente es 1500 m/s el cual está en función de la salinidad, presión y temperatura). La distancia física entre las presiones en el viaje de una onda sonora es su longitud de onda que es medido en metros. El número de presiones que pasan por un punto inmóvil en el agua por unidad de tiempo es la frecuencia de la onda medido en ciclos por segundo (Hz), y es relacionado con la velocidad de sonido, que es medido en metros por segundo (m/s):

$$\text{Velocidad del sonido} = \text{Frecuencia} \times \text{Longitud de Onda} \quad (2)$$

Cuando la onda de sonido encuentra un cambio en su velocidad también cambia la longitud de onda pero la frecuencia sigue igual, por esta razón es que las ondas de sonido son generalmente descritas en términos de su frecuencia. Una onda de sonido lleva cierta cantidad de energía acústica, esta energía puede ser medida por un dispositivo llamado hidrófono el cual mide las oscilaciones de las presiones que pasan en una onda de sonido. El tamaño de esta oscilación se llama Amplitud de la onda el cual está relacionada con la energía acústica que existe en la onda transmitida.

A. El Transductor Piezoeléctrico

Para aplicaciones debajo del agua estos transductores [3] presentan una buena eficiencia, flexibilidad en el diseño y sobre todo son muy económicos. Este fenómeno es expuesto por algunos materiales los cuales desarrollan un potencial electrostático cuando están sujetos a presiones y recíprocamente se deforma mecánicamente cuando está sujeto a un potencial electrostático. Los cristales son expuestos como propiedades de los piezoeléctricos, materiales sintéticos piezoeléctricos pueden ser fabricados usando policristales cerámicos ó algunos polímeros sintéticos. La figura 2, muestra el efecto Piezoeléctrico.

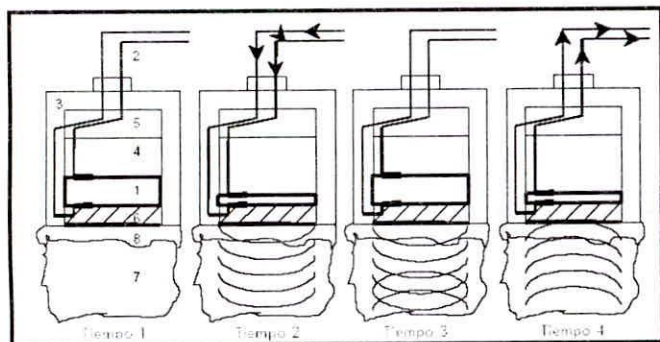


Fig. 2. Efecto Piezoeléctrico.

III. ETAPA DE MEDICIÓN DE PROFUNDIDAD.

En esta etapa se usó una nave de radio control (barquito) en el cual se instaló un sensor de profundidad (Sonar) con su respectivo transductor. Definimos:

- Velocidad de barquito (V_b) en metros/segundo.
- Periodo de medición de profundidad del sensor: T en milisegundos

El barquito avanzará un metro en $\frac{1}{V_b}$ segundo, y en un metro podrá tomar N muestras de profundidad donde:

$$N = \frac{1000}{V_b * T} \quad (3)$$

Además cada muestra se tomará cada X metros donde:

$$X = V_b * T \quad (4)$$

(Distancias $b_1, b_2, \dots, b_n$)

En la figura 3, podemos observar como se hacen las divisiones para obtener la sección transversal.

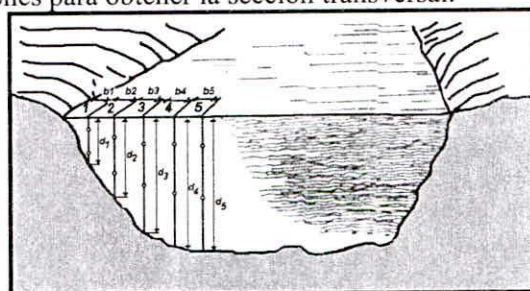


Fig. 3. Divisiones para obtener la Sección.

La medición de profundidad se hace a través de un transductor que mide el tiempo de ida y vuelta del impulso ultrasónico. El Sensor de Profundidad que se utilizó tiene muchas aplicaciones entre las cuales permite detectar Cardumen. Este detector de peces (Sonar) posee un transmisor, un transductor con flotador, un receptor y un display.

La figura 4, muestra el funcionamiento del pequeño sistema para medir la profundidad, un impulso eléctrico del transmisor es convertido en una onda acústica por el transductor y enviado en el agua. Cuando esta onda encuentra el fondo, rebota. Este eco choca con el transductor, y este lo convierte nuevamente en una señal eléctrica, que es amplificada por el receptor y enviada al display.

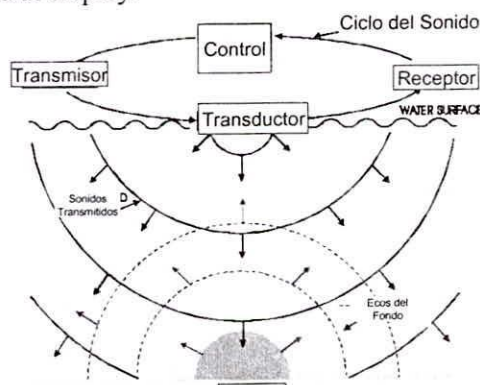


Fig.4. Funcionamiento del Sistema para medir la profundidad.

A. Señal del Transmisor

La señal del transmisor debe tener la misma frecuencia que trabaja el transductor, que funciona a 200KHz como se muestra en la figura 5. En la figura se muestra la señal del transmisor del Sonar que dura 380 microsegundos con una frecuencia de 200KHz y una amplitud de 4.5 voltios.

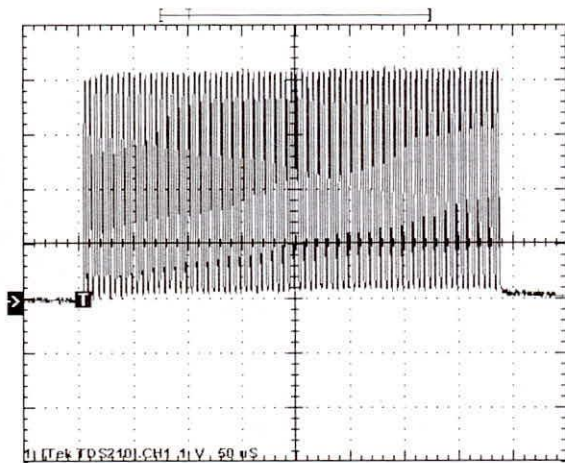


Fig. 5.- Señal del Transmisor del Sonar

B. Señal del Receptor

El receptor tiene la función de amplificar la señal de rebote del transductor producto del eco de vuelta. La figura 6, muestra la señal que se recibe con interferencia debida al transmisor (remanente que ha ingresado al receptor) y la segunda señal es la del transmisor del Sonar.

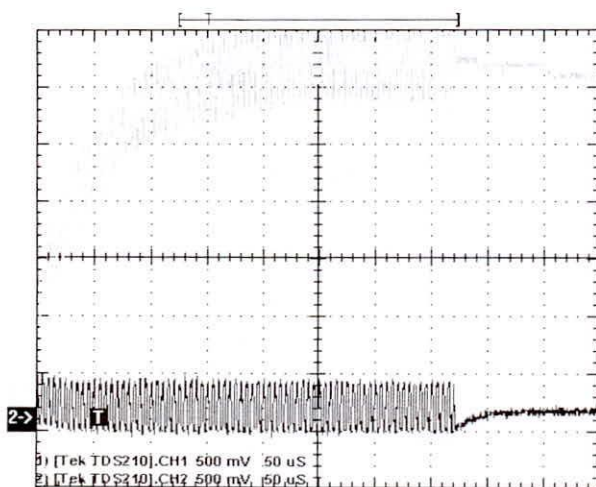


Fig.6. Muestra la Señal del Receptor y del transmisor del Sonar.

La figura 7 muestra las señales de recepción y transmisión medidas en un pozo de agua.

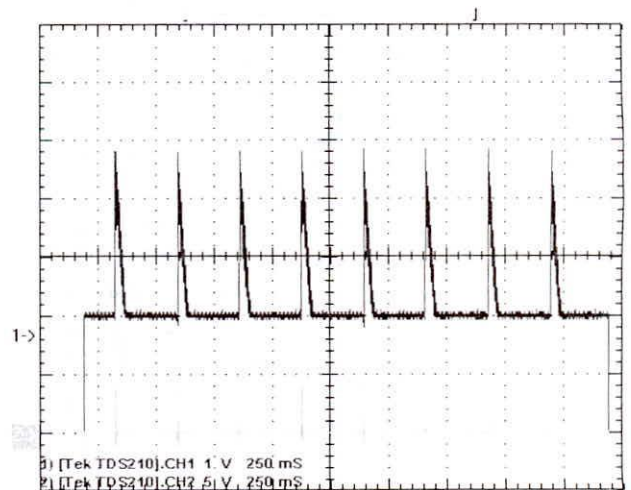


Fig. 7. Muestra la Señal del Receptor y del Transmisor del Sonar.

C. Medición del Tiempo del Impulso Ultrasónico

La medición de profundidad resulta de medir el recorrido del pulso ultrasónico, se tiene la siguiente ecuación:

$$\text{Profundidad } d = \left(\frac{\text{Velocidad del Sonido}(H_2O) \times \text{Tiempo del Eco}}{2} \right) \quad (5)$$

La división por 2, se utiliza para tener en cuenta el viaje de ida y vuelta del impulso en el agua. Debemos de tener en cuenta que la profundidad mínima del Sonar es 3 pies de acuerdo al anexo 1 pero lo hemos ajustado a 70 cm. Para comprobar la ecuación (3) se hizo mediciones en un pozo observando las señales del transmisor y receptor para medir el tiempo de regreso del eco con un osciloscopio digital. La tabla 1 muestra los valores teóricos y experimentales que tarda un eco en regresar, se hicieron pruebas variando el nivel del transductor en un pozo de 1.60 metros de profundidad. Cada medida de profundidad se comprobó con una varilla y un metro. Debido a los problemas de medición con el osciloscopio estas medidas se diferencian en microsegundos. Estas medidas se hicieron con una velocidad de sonido en el agua de 1463 m/s dada por el fabricante.

TABLA I
 PRUEBAS DE MEDICIONES EN UN POZO

Valores para una velocidad de sonido de 1463m/s en un pozo de 1.60 metros de profundidad maxima.		
Profundidad (metros)	Valores teóricos que demora en ir y regresar el pulso ultrasónico (ms)	Valores experimentales que demora en ir y regresar el pulso ultrasónico (ms)
0.65	0.88	0.93
0.7	0.956	1
0.75	1.0253	1.05
0.8	1.0936	1.13
0.85	1.162	1.17
0.9	1.2303	1.22
0.95	1.2987	1.29
1	1.3671	1.35
1.1	1.5038	1.48
1.15	1.5721	1.53
1.2	1.6405	1.59
1.25	1.7088	1.67
1.3	1.772	1.74
1.35	1.8455	1.8
1.4	1.9139	1.86
1.45	1.9822	1.91
1.5	2.0506	1.95
1.55	2.1189	2
1.6	2.1873	2.08

A continuación se presentan las gráficas de algunas mediciones realizadas.

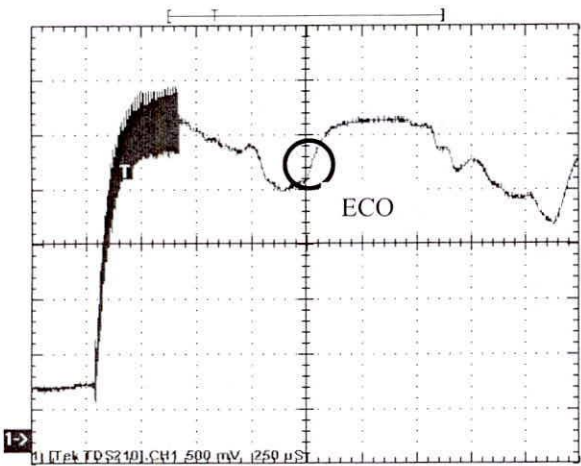


Fig. 8. Muestra la Señal del Receptor a una Profundidad de 70 cm.

En la figura 8, se puede observar que la señal del receptor se eleva cuando sale la señal del transmisor producto que el receptor esta al lado del transmisor, luego la señal cae durante un tiempo y se vuelve a elevar cuando llega el primer rebote o eco. Este tiempo es aproximadamente 1 milisegundo.

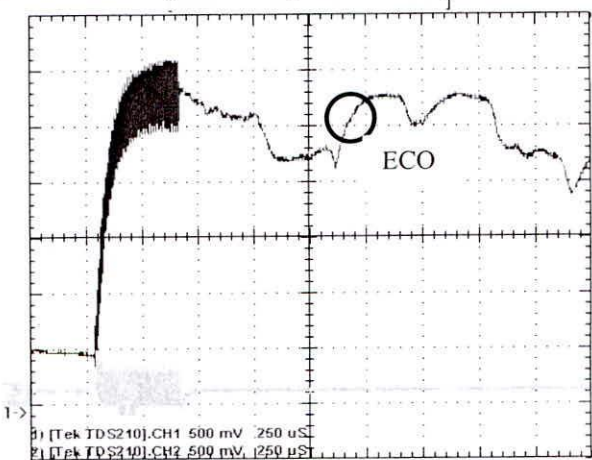


Fig. 9. Muestra la Señal del Receptor a una Profundidad de 80 cm.

IV. ETAPA DE CODIFICACIÓN DE LA
 SEÑAL DEL SENSOR DE PROFUNDIDAD,
 TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN

La señal del sensor de profundidad es codificada a través del microcontrolador RFPIC12F675 (procesador)[1] que mide el tiempo que demora el impulso ultrasónico del sensor de profundidad, este tiempo es expresado en bits y luego son enviados al modulador ASK y después a una antena para ser transmitidos en la banda de UHF. La recepción es realizada por el receptor heterodino (RFRXD0420) [2]que posee un circuito tanque configurable a la frecuencia de recepción y una frecuencia Intermedia de 10.7Mhz. Para lograr expresar el tiempo en bits el microcontrolador RFPIC debe conocer cuando sale la señal del transmisor y cuando vuelve el primer eco al receptor del sonar. Para ello el microcontrolador RFPIC es sincronizado con la señal del transmisor y del receptor del circuito de control del Fish Finder (sensor de profundidad). La figura 10, muestra el diagrama de bloques de la codificación de la señal del sensor de profundidad para su transmisión.

A. Circuito del Sensor de Profundidad

El circuito del Fish Finder consiste de un circuito de control, un detector de tonos, un circuito de excitación y una etapa de amplificación.

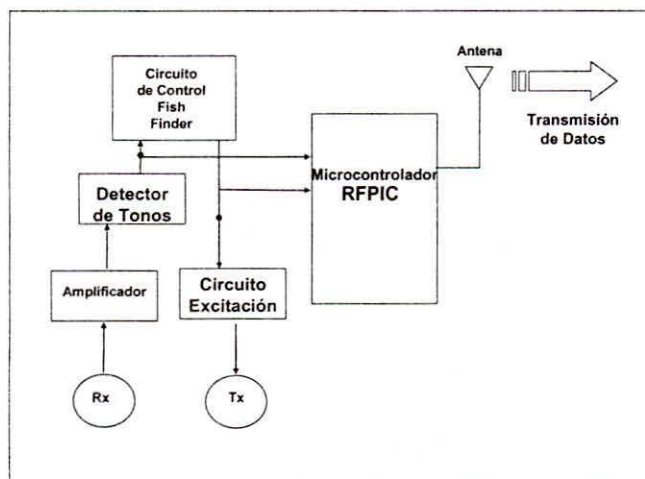


Fig. 10. Muestra el Diagrama de Bloques de la Codificación de la Señal del Sensor de Profundidad.

El circuito de excitación o de disparo cumple la función de elevar la tensión desde valores TTL del circuito de control del Fish Finder hasta la tensión máxima de trabajo del transmisor del transductor. De esta forma se obtiene una mayor transmisión de energía al medio, lo que mejora la relación señal ruido en el receptor ultrasónico, y disminuye la ganancia necesaria en la etapa receptora. La señal que proviene del receptor, una vez amplificada, ingresa al circuito de detección de tonos. Un circuito de detector de tonos básicamente es un integrado que posee internamente un PLL (Phase Locked Loop) y un detector de fase en cuadratura el cual responde con un nivel lógico bajo cuando la señal de entrada al integrado coincide con la frecuencia central de enganche del PLL. En nuestra aplicación la frecuencia de trabajo es de 200KHz. En la figura 11 y 12 se muestran las señales del receptor (antes del detector de tonos) y la señal después del detector de tonos tomadas en un osciloscopio. Se puede observar la señal del receptor de color rosado y la señal de salida del detector de tonos la de color celeste. Vemos que la señal del detector de tonos cambia de un nivel lógico 1 a un nivel lógico 0. Esto quiere decir que cuando la señal del receptor está a 200KHz la salida del detector de tonos está a un nivel lógico 0 (flechas rojas).

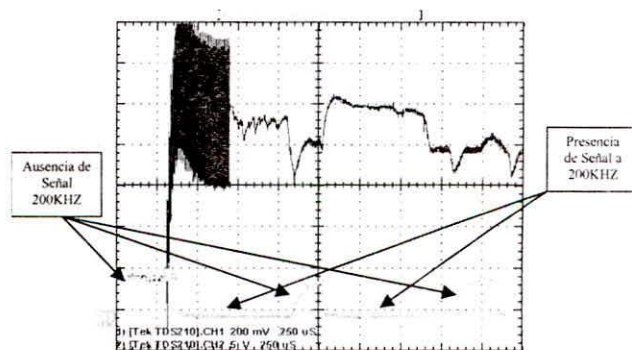


Fig. 11. Muestra la Señal del Receptor y del Detector de Tonos.

La figura 12 muestra la medida para una profundidad de 80 cm. Se observa que la señal del Detector de Tonos se demora 136.7 microsegundos en ponerse a un nivel lógico 0 por segunda vez. Los 136.7 microsegundos equivalen a los 10 cm de profundidad.

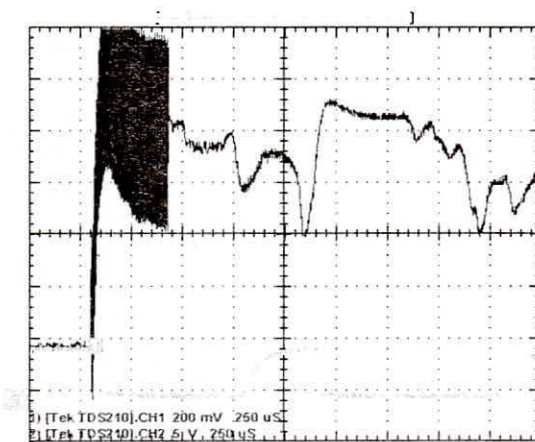


Fig. 12. Muestra la Medida para una Profundidad de 80cm.

B. Codificación de la Señal del Sensor

El microcontrolador RFPIC registra el tiempo desde que la señal de transmisión sale hasta que la salida del detector de tonos cambie a un nivel lógico 0 por segunda vez. De esta forma el microcontrolador RFPIC podrá convertir la variable medida (tiempo) en bits y llevarlo al transmisor de Radio Frecuencia para luego enviarlo al Receptor en la orilla.

C. Criterio de Diseño para la Codificación

La profundidad mínima recomendable que tiene el sensor es de 3 pies o aproximadamente 90 cm. Se ha ajustado la profundidad mínima hasta donde el transductor nos permita, es decir 2 pies o 70 cm. Por lo tanto debajo de los 70 cm el RFPIC lo leerá como cero. Anteriormente vimos la tabla donde la

profundidad cada 10cm varia en tiempo 136.7 microsegundos, por lo tanto para nuestro diseño se cree conveniente medir la profundidad cada 10cm, donde la primera cuenta será por debajo de los 70cm . La tabla II muestra la profundidad codificada en bits, donde la última profundidad de 26.1m nos codificará como un byte de 11111111.

TABLA II
MUESTRA LOS VALORES DE PROFUNDIDAD EN BITS

Profundidad	Bits
Menor a 70cm	00000000
70cm	00000001
80cm	00000010
90cm	00000011
1m	00000100
1.1m	00000101
1.2m.	00000110
1.3m	00000111
1.4m	00001000

Estos bits son almacenados en un registro de 8 bits del RFPIC por lo tanto la profundidad máxima para este diseño será de $60cm + 255 \times 10cm$ que es igual a 26.1 metros

D. Criterio de Diseño para la Transmisión

El criterio consiste en enviar una señal de sincronismo antes del dato de profundidad, además se enviará 5 veces la señal de sincronismo y el byte de dato. La señal de sincronismo sirve para que el receptor entienda cuando llega un byte de datos. Se envía cinco veces el Byte de datos para disminuir el error en el receptor, ya que el microcontrolador del receptor posee un algoritmo para minimizar los errores. El bit de sincronismo es un nivel alto que dura 6milisegundos y cada bit del byte de datos dura 4milisegundos. Se mencionó anteriormente que la medición de profundidad del Sonar es de 268 milisegundos. La profundidad máxima en el diseño de la codificación es de 26.1m lo que equivale en tiempo a 35.5 milisegundos por la ecuación 5. Por lo tanto para una profundidad máxima el tiempo máximo estará dado por:

$$190ms + 35.5ms = 225.5ms$$

La figura13, muestra el tiempo total de envío. Este tiempo es menor a 268 milisegundos y no sobrepasa al período de medición de profundidad ni se perderá ningún dato.

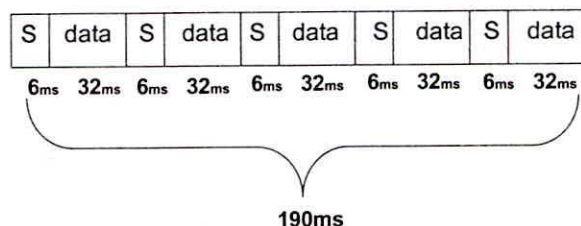


Fig. 13- Muestra el tiempo total del envío.

La figura 14 muestra la señal codificada que sale por el puerto GPIO2 para profundidades desde 60 cm hasta 1.4 metros medidas en un pozo de agua con el osciloscopio digital (Tektronix TDS 210).

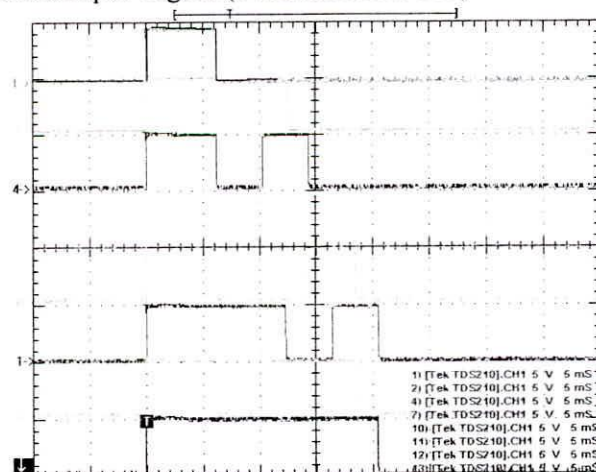


Fig. 14. Muestra la Profundidad Expresada en Bits.

En la primera medida sólo se muestra la señal de sincronismo ya que la profundidad es 60cm que equivale a cero (byte 00000000). En la segunda medida se ve la señal de sincronismo con el segundo byte 00000001, en la tercera medida se ve a la señal de sincronismo con el byte 00000010 y así sucesivamente. Vemos que la última medida se muestra la señal de sincronismo más el byte 00000111.

E. Frecuencia de Transmisión

Para realizar un enlace de radiofrecuencia es muy importante conocer la frecuencia de transmisión[7]. La frecuencia de transmisión está ligada a la ecuación:

$$F_{tx} = F_{RFXTAL} \times 32 \quad (6)$$

Por lo tanto, la transmisión se realiza a 433.92 MHz porque se utiliza un cristal de cuarzo de 13.56MHz.

F. Recepción de la Señal Codificada

La recepción de la señal codificada se hace a través del receptor heterodino RFRXD0420 [2] luego esta señal pasa al microcontrolador 12F675 (este microcontrolador tiene las mismas características que el RFPIC12F675 menos el transmisor UHF) y se encargará de minimizar los errores y acondicionar la señal para enviarla a una computadora. La figura 15 muestra el diagrama de bloques de la recepción de la señal codificada del sensor de profundidad, su acondicionamiento para el envío a la computadora.

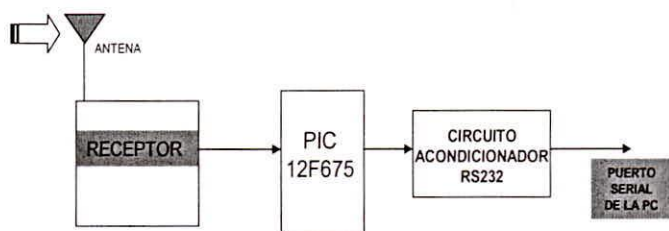


Fig.15. Muestra el Diagrama de Bloques de la Recepción de la Señal Codificada.

G. Reducción de Errores y Acondicionamiento de la Señal

Anteriormente se habló de un criterio de diseño para la transmisión el cual nos dice que antes de enviar un byte de dato (medida de profundidad) se envía una señal de sincronismo. Esta señal de sincronismo mas el byte de dato se envían cinco veces, por lo tanto, se tendrá cinco veces la misma profundidad. Por causas de las diversas clases de ruido estas cinco repeticiones de una medida no siempre serán iguales por lo tanto con un algoritmo de reducción de errores usando probabilidades podemos seleccionar de estas cinco medidas que valor se repite mas y así discriminar los datos erróneos. Después de obtener la repetición de la medida con mayor probabilidad, esta debe ser acondicionada para enviarla al puerto serial de una PC. De toda esta labor se encargará el microcontrolador PIC12F675.

H. Criterio para la Detección de la Señal de Sincronismo

Se indicó anteriormente que la señal de sincronismo es un nivel alto que dura 6 milisegundos y que cada bit del byte de datos dura 4 milisegundos. El microcontrolador PIC12F675 debe conocer estos tiempos para emplear su algoritmo. Una vez que el microcontrolador PIC12F675 detecte la señal de

sincronismo sabrá que luego vienen 8 bits de 4 milisegundos.

V. ETAPA DE CAPTURA, VISUALIZACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE DATOS

Los datos enviados por el microcontrolador PIC12F675 son tomados del puerto serial de la PC gracias a la aplicación desarrollada en Visual Basic [4]. El programa toma el dato de la profundidad, grafica la profundidad y almacena este valor en una base de datos. El número de datos se configura en el programa y son recuperables gracias a que estos datos de almacenan en una base de datos de Microsoft Access. La aplicación posee un diseño integrado y se desarrolló en un entorno visual con un menú. El menú permite introducir la distancia que recorrerá el barquito (numero de muestras) y también el nombre se estas muestras.

VI. RESULTADOS

Las primeras pruebas de campo se hicieron en un pozo con profundidad máxima de 1.40 metros, donde se introdujo el transductor del Sonar pudiendo variar la profundidad desde su valor mínimo 60cm hasta 1.40 metros. Estas profundidades se midieron antes con una vara el cual marcaba las medidas. La transmisión inalámbrica de los datos se hizo a cinco metros. Todas estas mediciones se realizaron tomando 100 muestras. La figura 16 nos muestra al sistema montado en el barquito de radio control y la figura 17 nos muestra la medición de profundidad del barquito en un pozo de agua, la medida exacta debe ser 1.4 metros. El barquito esta en la superficie del pozo y mide 1.3 metros, debido a que el transductor se instalo a 10 cm por debajo del barquito.

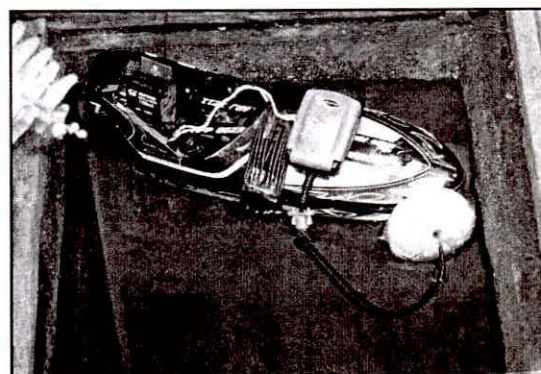


Fig.16. Muestra la Vista de Lateral del barquito de Radio Control con el Sistema.

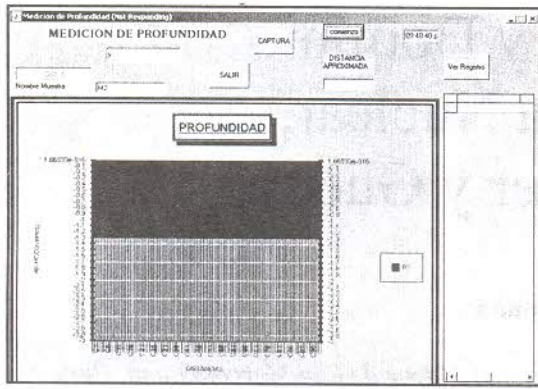


Fig. 17. Muestra la Medición de Profundidad del Barquito en un Pozo de Agua.

VII. CONCLUSIONES

Se llegó a implementar y probar el sistema de telemetría digital el cual nos permitió medir la profundidad en pozos y piscinas. Los resultados de estas mediciones fueron satisfactorios debiendo ser probados finalmente en ríos y lagos. Se estudió y experimentó un transductor piezoeléctrico debido a su bajo costo para la medición de profundidad pudiendo demostrar la propagación del sonido en el agua en condiciones ideales: sin turbulencias ni corrientes de agua. Se estudió y aplicó microcontroladores de 8 bits de bajo costo y consumo para la adquisición y transmisión de las mediciones de profundidad a la computadora. El uso del microcontrolador con transmisor integrado nos permite reducir espacio en placa y el ruido.

Se desarrolló una aplicación en un entorno gráfico y amigable para el usuario en el cual representamos las variables físicas del sistema de medición de profundidad. Con este sistema de telemetría digital se está proponiendo una diferente forma de obtener la sección transversal de reservorios, ríos y lagos, de manera rápida, segura y de bajo costo, promoviendo de esta manera el desarrollo tecnológico en nuestro país. Espero que el presente trabajo de investigación sirva como fuente de información para futuros proyectos relacionados con la telemetría.

REFERENCIAS

- [1] RFPIC12f675 Datasheet, www.microchip.com, Octubre 2003
- [2] RXD0420 Datasheet. www.microchip.com, Octubre 2003
- [3] Piezoelectric *transducer design*, Aimar Technology Corporation, 2000
- [4] Halvorson, Michael, *Aprenda Visual Basic 6.0* Ya, McGraw-Hill, 1999
- [5] Timothy Maloney, Prentice, Tomasi, *Electrónica Industrial Moderna*, Prentice Hall Hispanoamericana 1997
- [6] Robert J. Urick, *Principles of Underwater Sound*, 1996
- [7] Tomasi, *Comunicaciones digitales*, Prentice Hall Hispanoamericana, 1996