

MONITOREO DEL NIVEL DE AGUA EN LOS TANQUES DE LA SUBESTACIÓN AZAYA DE LA EMPRESA EMAPA-I A TRAVÉS DE UNA RED INALÁMBRICA BASADA EN IEEE802.11A

Cintya V. Paspuezán, Milton A. Gavilánez

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte, Ibarra - Ecuador

c.paspuezan@gmail.com, magavilanezv@yahoo.com

Resumen— *El presente trabajo describe en detalle el diseño e implementación de un sistema de monitoreo del nivel de agua en los tanques de almacenamiento de la subestación Azaya de EMAPA-I.*

En primer lugar se realiza una breve descripción de los tanques a monitorear, así como también los dispositivos a utilizar. Teniendo en cuenta que la institución cuenta con medidores de nivel por ultrasonido Sondar 600B, se elige el microcontrolador Atmega 324P para llevar a cabo la adquisición de los datos. Posteriormente los datos son enviados mediante radioenlace en frecuencia de 5.8GHz, a una distancia aproximada de 3.8Km. Una vez obtenidos los datos, éstos son procesados mediante un software de agradable entorno gráfico desarrollado en LabVIEW, el cual es manipulado por el usuario para monitorear en tiempo real y poder realizar gráficos estadísticos. Así mismo, los datos adquiridos son almacenados en memoria para su posterior uso.

Términos para indexación—Access, IEEE, Lcd, Microcontrolador, Osi, Tcp, Uart.

Abstract - *This paper describes in detail the design and implementation of a system for monitoring the level of water in the storage tanks of Azaya substation EMAPA-I.*

First a brief description of the tanks to be monitored, as well as devices used. Given that the institution has a ultrasonic level meter Sondar 600B, you opt for the microcontroller Atmega324P to pursue the acquisition. Then the data is sent using 5.8GHz frequency radio link, to a distance of 3.8Km. After obtaining the data, the data are processed by nice software developed in LabVIEW graphical environment, which is manipulated by the user for monitoring in real time and to perform statistical graphics. Likewise, the acquired data are stored in memory for later use.

Index terms —Access, IEEE, Lcd, Microcontroller, Osi, Tcp, Uart.

1. INTRODUCCIÓN

El buen desempeño de un sistema se basa en la monitorización automática y el registro de las mediciones, así como el envío de alertas en tiempo real, con la finalidad de tener un funcionamiento seguro y óptimo. Es aquí donde las interfaces de comunicación han logrado un gran campo de aplicación, pues facilitan tener acceso remoto a la información requerida

Para el desarrollo del sistema se comenzó con un análisis de las características de los dispositivo, luego se realizó una descripción del prototipo acorde con las necesidades que pidió la empresa, posteriormente se realizó un enfoque general mediante diagramas de bloque con los elementos electrónicos idóneos para la realización de los módulos de adquisición de datos, teniendo en cuenta su compatibilidad con los medidores de nivel ya instalados que pertenecen a la empresa; con esto se procedió al diseño de los diagramas esquemáticos y del software implementados en el microcontrolador del sistema. Luego se desarrolló en el programa LabVIEW la interfaz gráfica para la PC, la misma que permite visualizar gráfica y numéricamente los valores de las variables adquiridas, así como también manejar archivos históricos para posteriores análisis.

2. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

A. Radioenlace

Para realizar el radioenlace se tuvo en cuenta cuáles son sus elementos desde el lado de Transmisión (potencia de transmisión, pérdidas en el cable, ganancia de antena, pérdidas en los cables), en el de propagación (FSL, zona de Fresnel, margen de despeje), hasta el lado de Recepción (ganancia de antena, pérdidas en el cable, sensibilidad del receptor, potencia de recepción, margen de desvanecimiento y margen umbral).

El radioenlace tiene como función transportar los datos del nivel de agua desde los tanques de almacenamiento de la subestación AZAYA hacia las oficinas de la EMAPA-I, para ello se implementó un enlace punto a punto desde Azaya hasta el repetidor ubicado en el Olivo Alto por el sector del Mirador San Miguel Arcángel en donde se encuentra instalada una torre con equipos de transmisión de datos perteneciente a EMAPA-I. En esta torre se integra el enlace punto a punto a la red de EMAPA-I, la que se conecta desde San Miguel Arcángel hacia la oficina matriz mediante otro enlace punto a punto en un canal que opera a una frecuencia de 5,8GHz.

Para el cálculo del radioenlace se realizó una inspección previa en los puntos a comunicarse; tomando la altura y coordenadas como se indica en la Tabla 1; y se calculó la distancia que existe entre los puntos que es de 3,84Km.

NODOS	LUGAR	ALTURAS (M)	COORDENADAS
1	Planta de tratamiento Azaya	2289	Latitud 0°22'24,24" N Longitud 78°07'38,85" O
2	Mirador Arcángel	2402	Latitud 0°20'59,98" N Longitud 78°06'07,43" O

Tabla 1. Alturas y coordenadas de los nodos a interconectar

B. Componentes utilizados

1) Medidor de nivel por ultrasonidos sondar 600b

El medidor de nivel por ultrasonidos es un sensor ultrasónico que se lo puede utilizar para estaciones de bombeo, clarificadores, niveles de filtración, monitoreo de nivel del río, bastidor de basura, nivel de supervisión, residuos de sumidero y tanques de almacenamiento de agua. La salida del sensor es de corriente y es proporcional a la variable física. Los 4 mA representa el nivel de salida cero del sensor o un extremo de la variable física y 20 mA representa la salida de plena escala del sensor o el extremo opuesto.

Parámetros que se tuvo en cuenta al momento de utilizar el medidor de nivel por ultrasonidos:

- Que esté ubicado al menos a 1.15 metros encima del nivel máximo del material y sea perpendicular a la superficie.
- Que la superficie de montaje si esté libre de vibraciones.
- Que la temperatura ambiente es de -20 ° a 70 ° c
- Que no exista cables de alta tensión o inversores eléctricos cerca.
- Para configurar el sensor debe estar en modo de programación ya que el sensor viene por defecto en modo de ejecución y programado en cm.

2) Conversor/receptor 4-20 RCV420

El RCV420 es un conversor/receptor de corriente-voltaje; que permite recibir una señal de 4-20 mA, convirtiéndola en una señal de 0-5V. Está diseñado para operar en un rango de temperaturas de 0°C a 70°C y presenta alta inmunidad al ruido (86dB). El RCV420 es completamente autónomo y ofrece una muy versátil función. No es necesario realizar ajustes de ganancia offset o CMR.

Debido a que el integrado para funcionar necesita estar conectado a +12V y -12V, se diseñó una fuente de doble polaridad como se indica en la Figura 1.

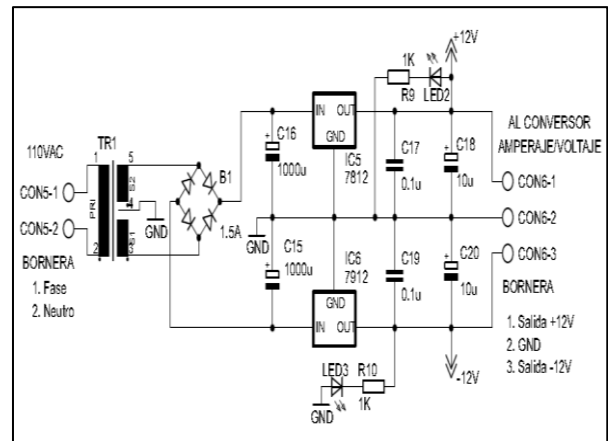


Figura 1. Circuito de alimentación del integrado RCV420

Cada conversor/receptor de corriente-voltaje en el pin 14 está conectado a un amplificador operacional LM358, que ayuda para que el microcontrolador no se quemé con los voltajes negativos que da el integrado cuando no está en funcionamiento.

3) Microcontroladores

Para el desarrollo del módulo de adquisición se ha optado por el Atmega 324P debido a los beneficios que este presenta en relación al PIC como se indica en la Tabla 2.

CARACTERÍSTICAS	AVR	PIC
Arquitectura	RISC	RISC
Periféricos	Puertos Digitales, ADC, PWM	Puertos Digitales, ADC, PWM
Lenguaje de programación	C, C++, Basic	Ensamblador
IDE para la escritura de programas	AVRstudio (C, C++ y Ensamblador), BASCOM (compilador de Basic) y CODEVISION (C)	MPLAB, PICSIMULATOR, PICBASIC
Hardware externo para realizar la grabación	Dispone de un periférico específico para la programación de su memoria (puerto ISP)	Lo realiza por un puerto serial a alto voltaje, lo que es necesario utilizar otros circuitos para realizar la conversión de niveles
Sincronización	interna y externa	externa
Bajo consumo de energía	Si	No
Interferencia	No	Si
Costo por unidad en gama media	bajo	alto

Tabla 2. Tabla comparativa entre los microcontroladores avr/pic

4) Conversor serial RS232 a Ethernet

Los conversores de comunicación serial RS232 a Ethernet, son dispositivos electrónicos que convierten los datos provenientes de cualquier equipo electrónico que posea puerto serie en paquetes de datos Ethernet TCP/IP; estos conversores serie, proporcionan puerto RS-232 y disponen de un software para PC para realizar el control y monitorización de los datos que envía el dispositivo.

En la Tabla 3 se realiza una comparación entre los convertidores de rs232 a Ethernet, la cual permitió escoger el convertor WIZ110SR para el desarrollo del dispositivo.

	Net2Serial	WIZ110SR	HXSP-2108E-A
Método de trabajo del puerto	Half dúplex	Full duplex o half duplex	Full duplex
Velocidad de Tx	10/100Mbps	10/100Mbps	10/100Mbps
Modo de operación	Cliente o Servidor	Cliente, Servidor, Mixto	Servidor
Compatibilidad	IEEE 802.3	IEEE 802.11	IEEE 802.11
Protocolos soportados	TCP, UDP, ARQ, ICMP	TCP, UDP, IP, ARQ, ICMP, MAC, DHCP, PPPoE, DNS	TCP, UDP, ARQ, ICMP
Alimentación	7VDC	5VDC	9VDC
Configuración	Por telnet	Tiene propio programa de configuración y por telnet	Propio programa de configuración
Interfaces	RS232,RS485, 10BASET RJ45	RS232, RS485, RS42210BASE T RJ45	RS232,RS485, RS422

Tabla 3. Tabla comparativa entre convertidores rs232/ethernet

5) Pantalla LCD

Las pantallas LCD se las utiliza en muchas aplicaciones microcontroladas que requieren mostrar datos de diversas formas. Estos módulos son la solución ideal para sistemas de mediciones múltiples y simultáneas, ya que utilizan cantidades muy pequeñas de energía eléctrica. En la Tabla 4 se realiza una comparación de LCD.

Para el desarrollo del sistema de monitoreo se utilizó la pantalla LCD-240H128A, ya que está basada en el controlador T6963C de Toshiba que debido a su bajo consumo de energía y contorno pequeño es el más adecuado para utilizarlo en dispositivos de medición ya que se puede mostrar gráficos y también porque es el más accesible en el mercado.

	240H128T	240H128A
Formato de pantalla	240x128 puntos	240x128 puntos
Alimentación	5V	5V
Controlador	RA8806	T6963C de Toshiba
Compatibilidad	PIC	AVR
Directiva OHS	SI	SI

Tabla 4. Tabla comparativa entre lcd

6) Interfaz gráfica

Una interfaz gráfica es la que permite monitorear y controlar las diferentes variables de un proceso el mismo que puede utilizar distintos periféricos, programas y

sistemas de comunicación; los cuales permiten al operador tener el completo acceso al proceso mediante la visualización de la aplicación en una pantalla de computador y el almacenamiento de historiales para un posterior análisis de los datos obtenidos y facilitando la toma de decisiones en el desempeño del sistema.

En la Tabla 5 se realiza una comparación de tres lenguajes de programación para realizar la interfaz gráfica, en donde se determina el lenguaje de programación que se utiliza en el desarrollo de la interfaz gráfica para el monitoreo del nivel del agua de los tanques de EMAPA-I, cabe indicar que LabVIEW fue sugerida por parte de la entidad.

	VISUAL BASIC	INTOUCH	LABVIEW
Lenguaje de programación	Por líneas de texto	Por líneas de texto	gráficamente
Alta experiencia de programación	si	si	no
Permite aplicaciones de medición, control y automatización	no	si	si
Compilador grafico para la ejecución	no	si	si
Incorpora otra aplicaciones de otros lenguaje	no	no	si
Permite integración con hardware	no	si	si
Comunicación tcp/ip, udp, serial	no	Tcp/ip	si
Utilizado tanto en Windows y Linux	no	no	si
Tiene librerías para la adquisición de datos	no	no	si
Tiempo de desarrollo de una aplicación	alto	medio	bajo

Tabla 5. Tabla comparativa de los lenguajes de programación para la interfaz gráfica

3. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

A. Requerimientos de diseño

Actualmente el sistema de almacenamiento de agua en la ciudad de Ibarra se lo realiza en tanques ubicados alrededor de la ciudad.

Las medidas de volumen eran tomadas manualmente cada hora por varios operarios los mismos que debían dirigirse a ver en la regleta ubicada en cada tanque qué medida estaba (ver Figura 2), y compararle con el valor indicado en los display BTC800 ubicados en el tablero; llevándose así un registro no digital y existiendo poco control y precisión en los mismos, ya que los datos eran entregados en las oficinas centrales y transcritos a un computador cada fin de mes; al momento de la transcripción al computador se cometían errores por lo que no existía un seguimiento ni análisis diario de la demanda.

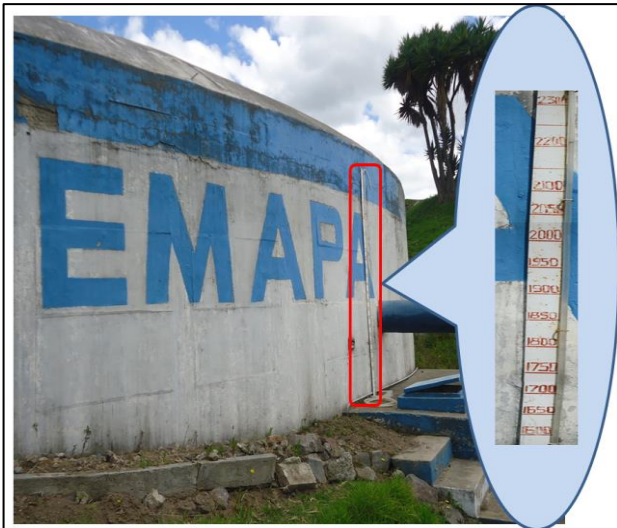


Figura 2. Regleta ubicada en cada uno de los tanques para realizar la lectura del volumen

En la Figura 3 se observa el esquema de la conexión del sistema anterior desde los medidores de nivel al registrador de datos y la visualización en los display en forma local, donde los datos solo podían ser vistos por el operario que se encontraba en el lugar.

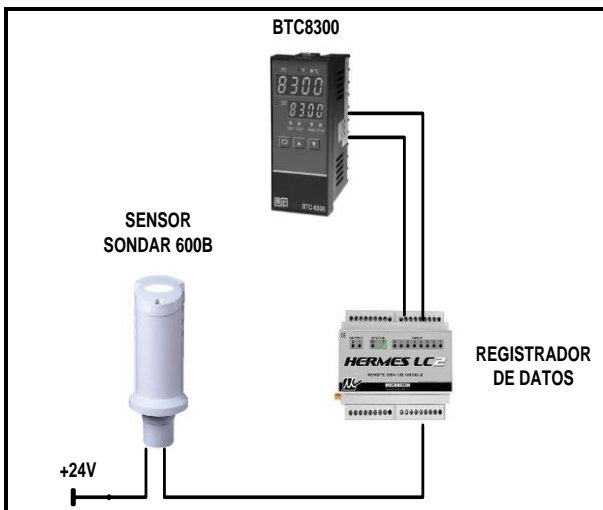


Figura 3. Esquema del sistema de monitoreo anterior

El problema existente y que se dio solución es que la medida de nivel de los tanques obtenidos llega a una central obteniendo así los datos en forma digital, utilizando 802.11a para la transmisión de datos de nivel desde cada subestación de almacenamiento por medio del sistema de adquisición de datos hasta la oficina matriz de EMAPA-I, donde se puede visualizar en una interfaz gráfica los valores que tiene cada uno de los tanques, como se indica en la Figura 4.

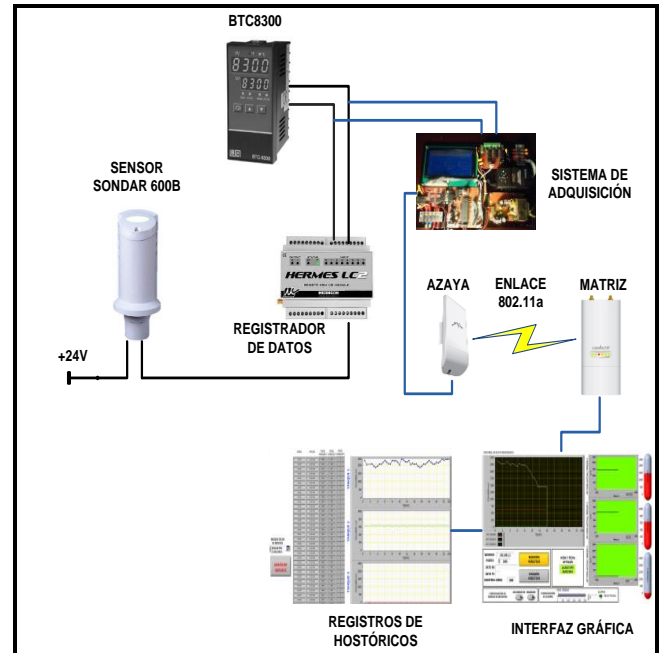


Figura 4. Esquema del sistema implementado

B. Consideraciones de diseño

La aplicación del presente proyecto se centró específicamente en la subestación Azaya conformada por tres tanques de almacenamiento de agua, la misma que está ubicada en las Lomas de Azaya a la altura de la calle El Oro y Santa Isabel a 300m del colegio Yahuarcocha donde se encuentra un tanque con capacidad de 2400m³, los otros dos tanques aproximadamente se encuentra a 400m de la subestación entre las cooperativas de vivienda Buenos Aires y Vista Lagos junto a las antenas de Claro; tienen una capacidad de 1000m³ y 2500m³ respectivamente.

El sistema de adquisición recibe la información del registrador de datos HERMES TCR-200 instalado por la compañía ISHI y los convierte en información válida para la transmisión de los mismos; a través del enlace inalámbrico basado en IEEE 802.11a hasta las oficinas de EMAPA-I, donde se realizó el sistema de registro y monitoreo instalado en un computador, el software que se utilizó para la interfaz es LabVIEW; en el cual se puede observar los tres valores del volumen correspondiente a cada uno de los tanques, los datos se actualizan cada 30 minutos por lo que en la central se puede monitorear que es lo que está sucediendo en cada uno de ellos.

C. Aproximación en bloques

La concepción básica del dispositivo se basa en bloques agrupados en subsistemas, de acuerdo a sus funciones generales (sensado, procesamiento y visualización local, transmisión de datos, monitoreo y administración de historiales), tal como se muestra en la Figura 5.

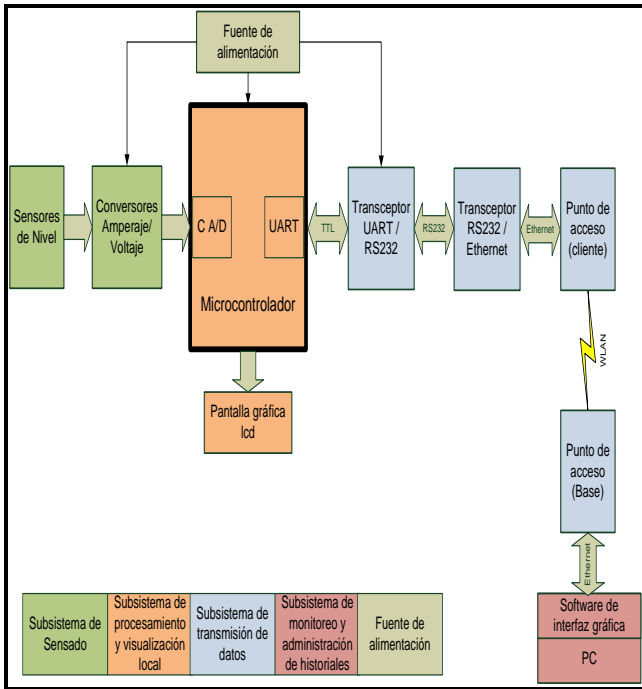


Figura 5. Diagrama de aproximación en bloques del sistema

1) Subsistema de sensado

Este subsistema se encarga básicamente de la adquisición y acondicionamiento de las tres variables implicadas en la medición del nivel de agua.

Las señales análogas sensadas corresponden al nivel de agua en cada tanque a través de medidores de nivel por ultrasonido, los cuales miden el nivel de agua y envían una señal análoga de 4 a 20mA hacia el sistema de adquisición de datos ubicado en un tablero de control en cada estación, cabe indicar que se necesita de energía eléctrica de 12 voltios DC en cada estación por lo que fue necesaria la instalación de convertidores AC-DC.

2) Subsistema de procesamiento y visualización local

Un microcontrolador, base fundamental del mecanismo, monitorea el estado de los sensores obteniendo los datos analógicos y transformándoles a digitales para procesarlos y convertirlos en señal UART con el fin de permitir la comunicación.

Además, un transceptor RS232 a Ethernet, se convierte en un puente de radiofrecuencia entre el módulo UART del microcontrolador y la estación cliente ubicada en cada subestación.

Los datos obtenidos y ya procesados del nivel de agua se visualizan tanto en cada estación a través de una pantalla gráfica o LCD ubicada en el tablero de control como en la interfaz gráfica ubicada en la oficina matriz de EMAPA-I.

3) Subsistema de transmisión de datos

En este subsistema comprende la transmisión de los datos con un enlace inalámbrico según la norma IEEE802.11a, desde la estación cliente en este caso desde la subestación Azaya ubicada a una altura de 2289m sobre el nivel del mar con latitud 0°22'24,24" N y longitud 78°07'38,85" O; hacia la estación base ubicada en las oficinas de la matriz EMAPA-I a una altura de 2402m sobre el nivel del mar con latitud 0°20'59,98" N y longitud 78°06'07,43" O.

Entre Azaya y la oficina matriz de EMAPA-I no existe línea de vista, por lo que fue necesario hacer un enlace punto a punto hasta el repetidor ubicado en San Miguel Arcángel, el mismo que se une al enlace Arcángel-EMAPA-I que tiene implementado la institución en banda de 5.8GHz. Ver Figura 6.

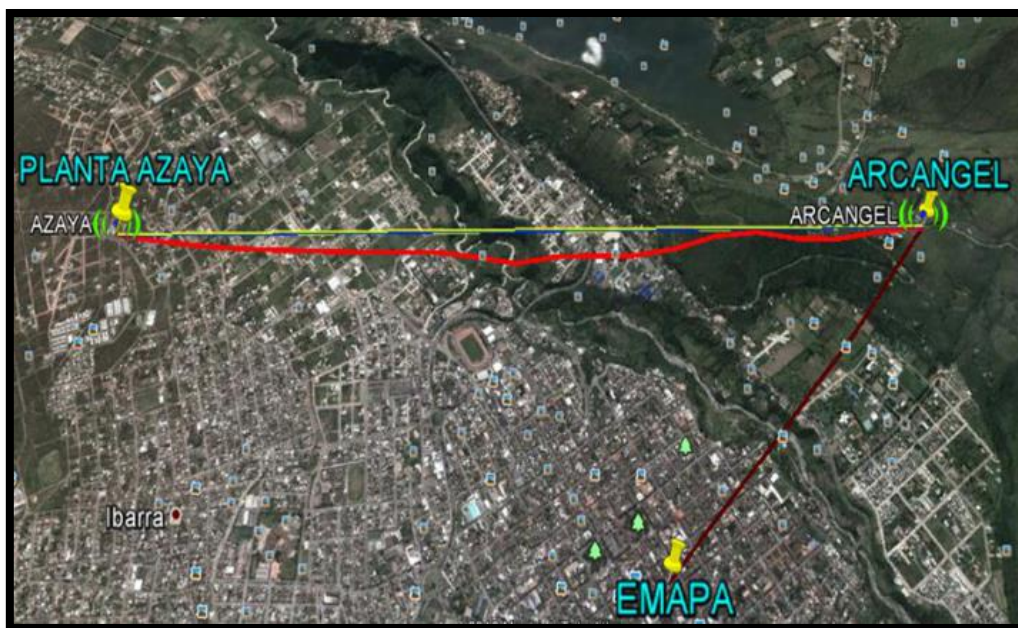


Figura 6. Puntos del enlace

4) *Subsistema de monitoreo y administración de historiales*

Comprende el software de LabVIEW instalado en una PC ubicada en la matriz EMAPA-I, en el cual se realizó un diseño que permite visualizar gráfica y numéricamente los valores de las variables adquiridas sobre el nivel de agua en cada uno de los tanques de la subestación Azaya; por lo que en la central se puede monitorear que es lo que está sucediendo en cada uno de ellos.

Todos estos datos se almacenan en una base de datos echa en Access, pero se visualizan directamente en LabVIEW, en donde se muestra: la hora, la fecha, cantidad de agua en m³ y el nombre de cada tanque; para que así el encargado del monitoreo pueda realizar un estudio del comportamiento de los valores del nivel de agua obtenidos a través del tiempo; con la finalidad de saber qué es lo que está sucediendo en cada uno de ellos.

4. DESARROLLO DEL SISTEMA DE MONITOREO

Para la programación del Microcontrolador ATMEL AVR se empleó el software CODEVISION AVR en lenguaje C, el simulador PROTEUS para la depuración de errores, y el editor gráfico EAGLE, para el diseño de los diagramas esquemáticos y placas de circuito impreso.

A. *Caracterización del hardware*

A continuación se realiza la determinación de los componentes y su configuración, teniendo en cuenta los requisitos del sistema y las funciones indicadas en el diagrama de bloques.

1) *Subsistema de sensado*

Dentro del subsistema de sensado está el medidor de nivel por ultrasonidos Sondar 600B y el conversor corriente-voltaje RCV420, los mismos que se detallan a continuación:

• **Medidor de nivel por ultrasonidos Sondar 600B**

Para la medición del nivel de agua se tiene a disposición el medidor de nivel por ultrasonidos Sondar 600B, opera sobre el principio de cronometraje del eco recibido y presenta compensación en temperatura, su respuesta es en amperaje en el rango de 4 - 20 mA.

• **Conversores amperaje-voltaje**

Para convertir la salida del sensor en voltaje se utilizó el integrado RCV420 que es un bucle de corriente y está configurado para convertir una señal de 4-20mA en una de 0-5V.

2) *Subsistema de procesamiento y visualización local*

• **Conexión del microcontrolador de procesamiento**

El ATMEGA324P se encarga del procesamiento de la información, al adquirir todos los datos de las variables externas, manipularlos y entregarlos de forma adecuada para su visualización. En la Tabla 6 se indica la configuración de puertos del microcontrolador.

	NOMBRE	PIN	E/S	A/D	FUNCIÓN / OBSERVACIÓN
PUERTO A	PA0/ADC0	40	E	A	CANALES ANALÓGICOS Tanque 1
	PA1/ADC1	39	E	A	CANALES ANALÓGICOS Tanque 2
	PA2/ADC2	38	E	A	CANALES ANALÓGICOS Tanque 3
PUERTO B	PB0/TO	1	E/S	D	DB0 GLCD
	PB1/TI	2	E/S	D	DB1 GLCD
	PB2/INT2	3	E/S	D	DB2 GLCD
	PB3/OCOA	4	E/S	D	DB3 GLCD
	PB4/OCOB	5	E/S	D	DB4 GLCD
	PB5/MOSI	6	E/S	D	DB5 GLCD
	PB6/MISO	7	E/S	D	DB6 GLCD
PUERTO C	PB7/SCK	8	E/S	D	DB7 GLCD
	PC0/SCL	22	S	D	WR GLCD
	PC1/SDA	23	S	D	RD GLCD
	PC2/TCK	24	S	D	CE GLCD
	PC3/TMS	25	S	D	C/D GLCD
	PC4/TDO	26	S	D	RST GLCD
PUERTO D	PC6/TOSC1	28	S	D	LED GLCD
	PD0/RXD0	14	E	D	R1OUT MAX232
	PD1/TXDO	15	S	D	T1IN MAX232
	PD2/RXD1	16	-	-	-

Tabla 6. Configuración de puertos del microcontrolador de procesamiento atmega324

• **Visualización local**

Para la visualización local de las variables medidas se utilizó un visualizador que es una GLCD que permite al usuario observar en tiempo real, gráfica y numéricamente el valor de la variable.

3) *Subsistema de alimentación*

La regulación de voltaje se hace en etapas: primero se regula a 9V y luego a 5V. De esta manera, la caída de voltaje considerando un voltaje de entrada de 12V, se disipa en algunos integrados.

4) *Subsistema de transmisión de datos*

Este subsistema se compone de las configuraciones del transceptor UART/RS232, del transceptor RS232/ETHERNET y de la comunicación inalámbrica.

Los datos se transmiten en una trama que consta de información útil de 18 bytes, los mismos que son transmitidos a 9600bps, antes de que la información se visualice en la interfaz, LabVIEW realiza una comparación entre dos tramas iguales como la de la Figura 7; con la finalidad de evitar que existan datos erróneos.

CAMPOS					
A	Vol. tanque1	B	Vol. tanque2	C	Vol. tanque3
inicializador	0-1023	inicializador	0-1023	inicializador	0-1023
				1byte	0-20

Figura 7. Trama manejada para el envío de los datos entre el microcontrolador y LabVIEW

En la Figura 8 se indica la trama que se envía desde LabVIEW hasta el microcontrolador, estos datos se envían una sola vez cuando el operador lo requiera.

CAMPOS			
A	B	C	D

Figura 8. Trama que se utiliza de LabVIEW al microcontrolador

Dónde:

A = permite iniciar la transmisión de las lecturas.

B = permite finalizar la transmisión de los datos.

C = permite aumentar el período de muestreo en incrementos de 100 ms.

D = permite disminuir el periodo de muestreo en incrementos de 100 ms.

• **Transceptor UART / RS232**

El MAX232 mantiene una conexión simple con el microcontrolador a través del puerto UART, el puerto UART del microcontrolador permite convertir las señales que maneja el microcontrolador y transmitir las; para conectar el microcontrolador con un puerto RS-232 se utilizó el integrado MAX232.

• **Transceptor RS232/ Ethernet**

El módulo WIZ110SR permite convertir las señales recibidas desde el RS232 a señales TCP/IP con la finalidad de tener conectividad con la red Ethernet de EMAPA-I. En la Figura 9 se indica la configuración del módulo WIZ110SR.

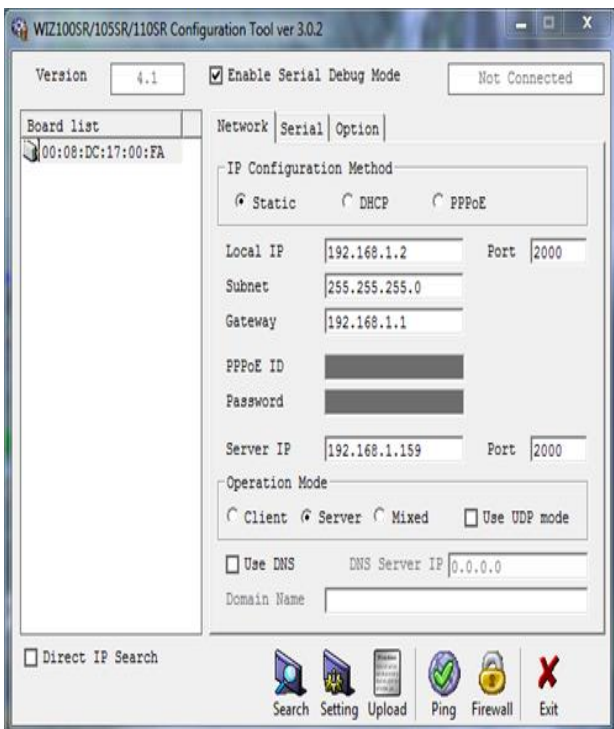


Figura 9. Configuración de la red en el conversor Serail/Ethernet

• **Enlace inalámbrico**

EMAPA-I dispone de los radios que trabajan bajo el estándar IEEE 802.11a, por esta razón se utilizó los radios existentes para el desarrollo del enlace, en el lado de la estación base se utilizó el radio ROCKET M5 con

antena grilla de 5GHz y ganancia de 27dBi que proporciona hasta 150 Mbps y distancias hasta 50 Km; y en el lado del cliente se utilizó el radio NanoStation M5 con antena incorporada de 16 dBi que proporciona hasta 150 Mbps y distancias de hasta 15 Km.

B. Desarrollo de la interfaz gráfica

Para el desarrollo de la interfaz gráfica se utilizó LabVIEW, realizando un diseño que permita comprender el estado de cada tanque de forma individual, en donde los datos se pueden observar en forma numérica y gráfica, los mismos que se van graficando cada 30 minutos y guardando en la base de datos.

1) *Pantalla principal*

En la Figura 10 se indica la pantalla principal donde se representan los datos gráficamente.

La ventana gráfica permite visualizar el estado de cada tanque y todos los datos son automáticamente almacenados en el disco duro del PC, para posterior análisis y consulta.

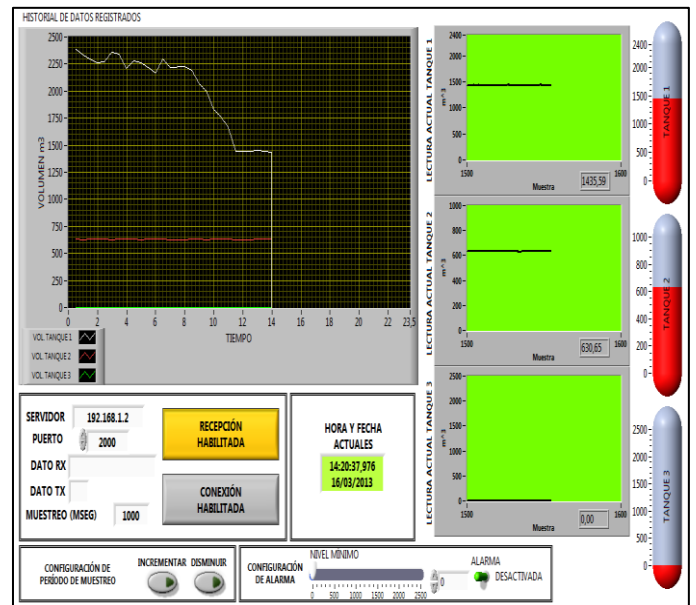


Figura 10. Pantalla principal de la interfaz

2) *Pantalla de históricos*

La pantalla de históricos que se muestra en la Figura 11, lleva un registro de cada tanque, en la que se puede visualizar la hora, la fecha y el volumen de agua que tiene cada tanque. Estos datos históricos son almacenados en una carpeta del disco de datos del computador, creada específicamente para ello, en esta pantalla se puede escoger la fecha de la que se quiere ver el reporte diario.

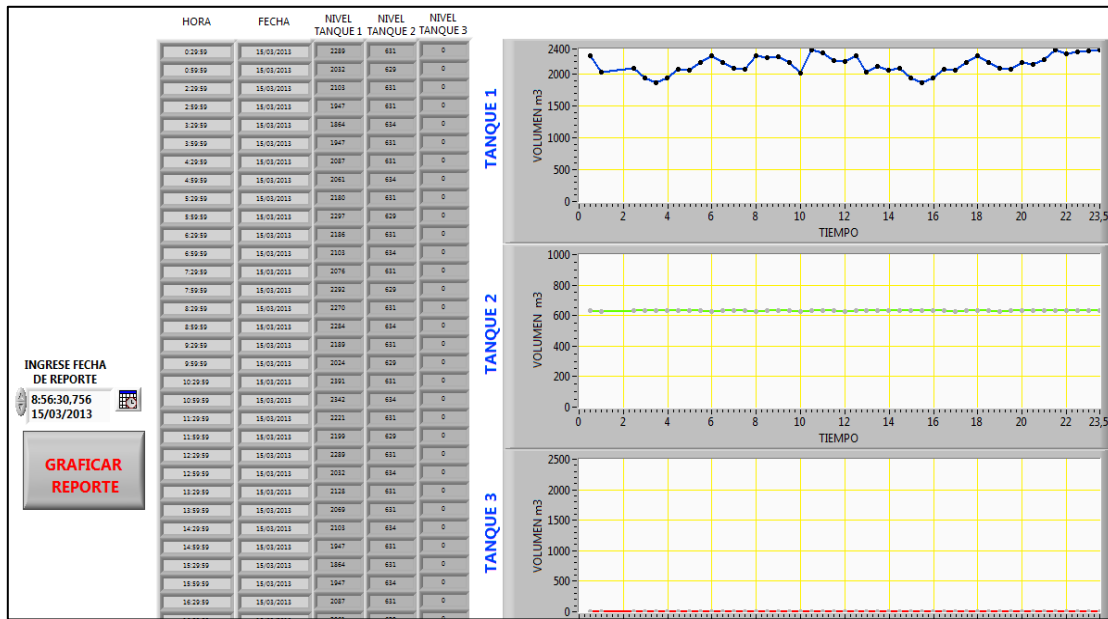


Figura 11. Pantalla de históricos de los datos obtenidos diariamente en los tanques de la subestación Azaya

5. IMPLEMENTACIÓN PRUEBAS

Las pruebas se realizaron tanto en el sistema de adquisición, como en el enlace inalámbrico implementado para la transmisión de los datos obtenidos por el sistema de adquisición.

La naturaleza programable del proyecto obligó a que se realicen pruebas en software y hardware. Las verificaciones más importantes son las siguientes:

- Comunicación entre el microcontrolador y la pantalla GLCD.
- Adecuada actualización de datos en la GLCD de acuerdo a las frecuencias de muestreo establecidas para la variable.

- Correspondencia entre los valores medidos de la variable y los valores calculados mediante las funciones de transferencia.
- Apropiada entrega de voltaje desde los reguladores lineales hacia el dispositivo electrónico.

A. Implementación

Luego de superar todas las verificaciones mencionadas y de haber sido ubicado en el tablero instalado en la planta de tratamiento de Azaya, como se indica en la Figura 12, se confirmó el funcionamiento de todo el sistema en conjunto.

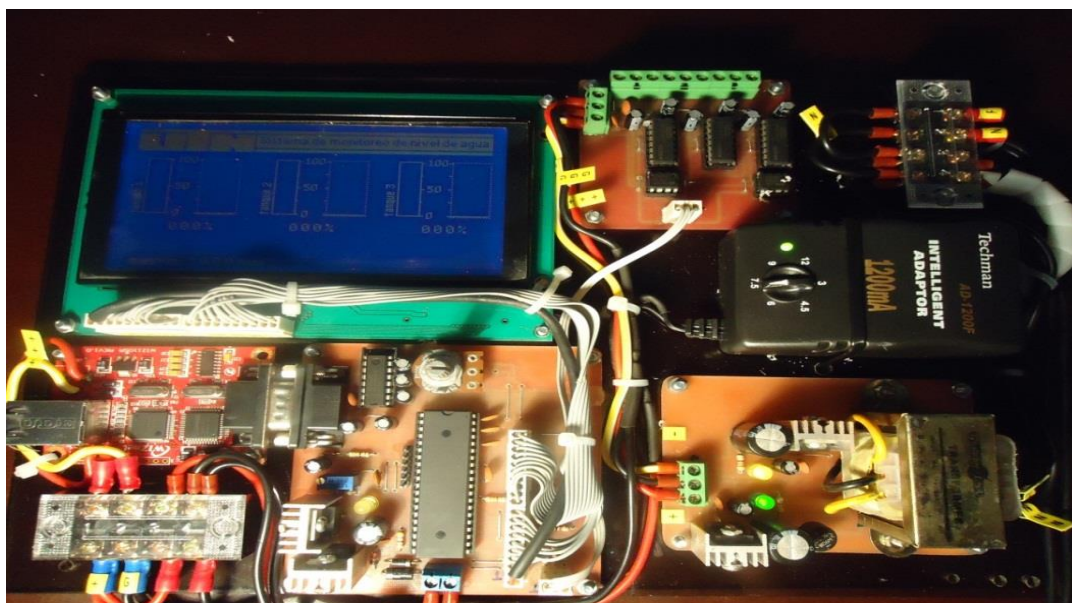


Figura 12. Implementación del dispositivo en el tablero de la subestación Azaya

Al ser un instrumento de monitoreo, las pruebas de campo realizadas consistieron en tomar datos ante distintas condiciones de consumo y compararlos con lecturas ya adquiridas. Esta prueba tomó varios días para su realización. Consistió en tomar las medidas del volumen de cada tanque durante el día a lo largo de dos semanas, esperando las variaciones del volumen que iban teniendo los tanques.

En la Tabla VII se puede observar el margen de error que hay entre la lectura manual y la lectura del sistema mediante varias muestras en un día con lo que respecta al tanque de 2400m³. El margen de error es tomado con relación al porcentaje de la diferencia que hay entre la lectura tomada manualmente y la lectura obtenida por el sistema de monitoreo. El mismo procedimiento se realizó para el tanque de 1000m³.

MUESTRA	HORA	LECTURA MANUAL m ³	LECTURA DEL SISTEMA m ³	% ERROR
1	7:00am	2375	2363	0,5
2	8:00am	2288	2278	0,4
3	9:00am	2182	2168	0,6
4	10:00am	2046	2034	0,6
5	11:00am	1922	1907	0,8
6	12:00 PM	1770	1760	0,6
7	13:00 pm	1681	1672	0,5
8	14:00 pm	1588	1575	0,8
9	15:00 pm	1487	1476	0,7
10	16:00 pm	1414	1404	0,7
11	17:00 pm	1367	1358	0,7
12	18:00 pm	1333	1329	0,3
13	19:00 pm	1318	1306	0,9
14	20:00 pm	1304	1293	0,8
15	21:00 pm	1300	1290	0,8
16	22:00 pm	1327	1318	0,7
17	23:00am	1359	1347	0,9
18	24:00am	1389	1378	0,8
19	1:00am	1517	1514	0,2
20	2:00am	1782	1777	0,3
21	3:00am	1944	1929	0,8
22	4:00am	2138	2124	0,7
23	5:00am	2378	2360	0,8
24	6:00am	2358	2347	0,5

Tabla 7. Mediciones del nivel de agua tanque de 2400 m³

Como se puede observar el comportamiento del medidor de nivel por ultrasonidos Sondar 600B del tanque de 2400m³ es muy lineal, como se indica claramente en la Figura 13. El mismo comportamiento se tuvo en el tanque de 1000m³.

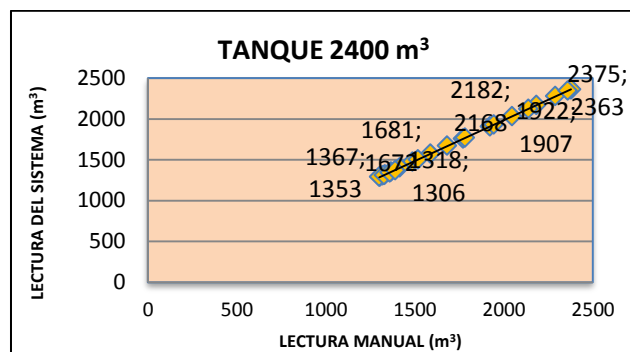


Figura 13. Diagrama de mediciones del volumen de agua del tanque de 2400 m³.

B. Desempeño general del sistema

De las pruebas realizadas se pudo determinar que en todas las mediciones realizadas por el sistema se obtuvieron valores próximos a las lecturas manuales tomadas por los operarios. En la Tabla 8 se observa el error máximo obtenido con cada una de las variables medidas, en los dos tanques que tienen el medidor de nivel por ultrasonidos Sondar 600B instalado.

TANQUE	% ERROR MÁXIMO
tanque de 2400m ³	0,9
tanque de 1000m ³	1,2

Tabla 8. Error máximo de las variables en cada tanque

Como resultado de la comparación entre el nivel de agua adquirido de forma manual y el valor tomado por el dispositivo en los dos tanques, se obtuvo un error bajo. De manera general, las pruebas de funcionamiento del sistema indicaron que el dispositivo es fiable. Por lo tanto, su implementación si fue realizada.

Nota: Las pruebas fueron realizadas en condiciones de trabajo, es decir el sistema ya implementado tanto en la subestación Azaya como la interfaz en la matriz EMAPA-I.

6. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

Se analizó los costos de realización e implementación del sistema a través de:

- 1) Un estudio de precios de mercado de los componentes principales.
- 2) Un listado de cantidades y presupuesto referencial del sistema, que se valorará con los precios indicados en el numeral 1).
- 3) Una evaluación de los costos de operación y mantenimiento del sistema basada en un análisis organizacional de requerimientos del sistema.

A. Inversión inicial y costo de implementación

Los costos de implementación del sistema de monitoreo propuesto incluye los costos estimados de equipamiento y el sistema de monitoreo que son necesarios para la implementación y funcionamiento del sistema de monitoreo, dando como resultado una cifra aproximada de la inversión del proyecto como se muestra en la Tabla 9.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Microcontrolador ATMEGA324P	1	14.00	14.00
CONVERTOR SERIAL RS232 A ETHERNET WIZ110SR	1	40.00	40.00
Regulador de voltaje variable LM317T	2	0.80	1.60
Regulador de voltaje a 9V LM7809	2	0.80	1.60
Conector DB9	1	0.70	0.70
Módulo GLCD 240x128	1	100.00	100.00
MAX232	1	0.60	0.60
Transformador	1	6.00	6.00
Convertor amperaje-voltaje RCV240	3	35.00	75.00
Elementos de soldadura	-	5.00	5.00
Elementos varios (resistencias, capacitores y diodos)	-	10.00	10.00
TOTAL (USD)			254.50

Tabla 9. Costos de componentes electrónicos del módulo de adquisición de variables

B. Análisis de los costos de implementación

Para el análisis de los costos de implementación se toma en cuenta la mano de obra directa, indirecta y los gastos de fabricación, como se indica en la Tabla 10.

ANÁLISIS DE COSTOS			
Mano de obra indirecta			
Ingeniería	1	1000	1000
Instalación	1	923,89	923,89
Total de mano de obra indirecta			1923,89
Gastos de fabricación			
Depreciación de equipos a 10 años			472,776
Mano de obra directa			
Operación anual	1	200	200
Mantenimiento anual	1	200	200
Total mano de obra directa			400
TOTAL			2796,666

Tabla 10. Análisis de los costos de implementación

C. Beneficios del sistema

El sistema implementado presenta beneficios sociales como los que se indican a continuación.

- Se pueden hacer informes con los datos en tiempo real.
- Los datos son reales ya que no se tiene que estar transcribiendo.
- Todos los datos son almacenados y centralizados en una sola base de datos.

- Permite tener un control estadístico diario en la oficina.
- Se evita el gasto innecesario de papel y su envío cada mes.

7. CONCLUSIONES

Este sistema ha sido realizado con la mayoría de los componentes con los cuales se cuenta en el mercado considerándose un sistema de bajo costo.

La utilización de dispositivos electrónicos en el proyecto ayudó a que no existan fallas al momento de adquirir un dato y poder tomar decisiones de forma rápida y en tiempo real.

El sistema implementado permite a la empresa tener un control centralizado sobre el nivel de agua en cada tanque; permitiendo así tomar decisiones oportunas en caso que se tenga valores críticos.

El sistema tiene como particularidad que con algunos cambios de software y hardware puede adaptarse a la necesidad que tenga a futuro la institución sobre el sistema de monitoreo del nivel de agua.

La realización de la interfaz hombre-máquina en LabVIEW, permite mostrar en la pantalla los niveles correspondientes a cada tanque y además guarda la información en un archivo para tener un registro que permita realizar análisis posteriores.

El uso de redes basada en tcp/ip permite aprovechar estas redes de acceso para implementar sistemas de monitoreo a distancia; haciendo que la empresa no tenga que pagar mensualidades para la transmisión de los datos.

8. RECOMENDACIONES

Se debe tener muy en cuenta el tipo de señal que el medidor de nivel proporciona; ya que el tratamiento por medio del microcontrolador es diferente en una señal en respuesta en amperaje o voltaje.

La dirección IP que está asignada al computador donde está implementada la interfaz gráfica, es la IP que debe estar configurada en el convertor serial a tcp/ip, ya que esta la puerta de enlace para la transmisión de los datos.

El computador donde está instalado el sistema de monitoreo no debe tener la opción de actualizaciones automáticas activada, ya que el computador se puede reiniciar y los datos no se almacenan.

Se debe seguir el procedimiento adecuado para la habilitación y des-habilitación del sistema con la finalidad de no tener que estar reiniciando el sistema.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Adr Formación. (2012), Introducción a Visual Basic. Recuperado de http://www.adrformacion.com/curso/visualbasic/leccion1/introduccion_visual_basic.htm
- [2] Atmel C. (2008). In – System Programmable Flash. 8 – Bit AVR Microcontroller with 16 / 32 / 64Kbytes. San Jose CA 95131 – USA.
- [3] Atmel C. (2012). Microcontrolador Atmega 324P/V. Recuperado de http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8011.pdf
- [4] Burr B. (2012). RCV420. Current Loop Receiver. Recuperado de <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/rcv420.pdf>
- [5] Comer D. (2009) Redes Globales de Información con Internet y TCP / IP. Principios Básicos, Protocolos y Arquitectura. Prentice Hall

- [6] Gadre D. (2010), Programming and Customizing the AVR Microcontroller.2010.
- [7] Johnson D. (2008). Análisis Básico de Circuitos Eléctricos. Prentice Kurose R. (2010) Redes de Computadores. Un Enfoque Descendente Basado en Internet. Pearson Addison – Wesley.
- [8] Sebastian B. (2011). Cálculo de radioenlace. Recuperado de: http://www.it46.se/courses/wireless/materials/es/06_Calculo-Radioenlace/06_es_calculo-de-radioenlace_guia_v01.pdf
- [9] Soarland & Hexin. (2011). HXSP-2108E Serial to TCP/IP. Recuperadode:http://www.hexin-technology.com/shared/manual/HXSP-2108E_Serial_Device_Server_UserManual.pdf
- [10] Senatel. (2012). Marco Regulatorio. Sistemas de modulación digital de banda ancha MDBA. Recuperado de: http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/index.php?option=com_content&view=article&id=1639:sistemas-de-modulacion-digital-de-banda-ancha-mdba&catid=40:servicios&Itemid=166
- [11] Sondar. (2009). Ultrasonic Level Meter. SLM-600 Plus Series. Recuperado de: <http://www.instrumart.com/assets/SLM600V2-manual.pdf>

RECONOCIMIENTOS

Se expresa un especial reconocimiento al Departamento de Informática y Redes de EMAPA-I, por todo el apoyo y colaboración brindada para desarrollar este trabajo.



Milton A. Gavilánez.

Actualmente es decano de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas FICA en la Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador.



Cintya V. Paspuezán G.

Nació en Ibarra - Ecuador el 16 de agosto de 1987. Hija de Luis Paspuezán y Rosario Granja. Realizó sus estudios primarios en la Escuela María Angélica Idrobo. En el año 2005 obtuvo el título de Bachiller en Físico Matemático en el colegio Nacional de Srtas. Ibarra. Actualmente, es egresada de la Carrera de Ingeniería Electrónica y Redes de Comunicación de la Universidad Técnica del Norte de la ciudad de Ibarra.