

TRANSMISOR/RECEPTOR INALÁMBRICO DE SEÑALES ANALÓGICAS Y DIGITALES BASADO EN LA TECNOLOGÍA ZIGBEE PARA LA COMUNICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE LA RED PRINCIPAL DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE SUMAK YAKU-ARAQUE DEL CANTÓN OTAVALO

(Jul. 2012)

Tirira P. Autor, Gavilánez M. Director, *UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE*

Resumen — El proyecto se centra en el diseño y construcción de un dispositivo de transmisión/recepción inalámbrico, basado en la tecnología ZigBee, para la comunicación de las estaciones de bombeo y oficina de recaudación principal del sistema de distribución de agua potable Sumak-Yaku del cantón Otavalo.

A continuación se explica el diseño y desarrollo del dispositivo con las herramientas de hardware y software empleadas, además de su implementación dentro de una red inalámbrica punto-multipunto que permite realizar el monitoreo del sistema de agua potable desde una central.

Términos Índices — ZigBee, Comunicación Inalámbrica, Microcontrolador.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente los sistemas requieren de una integración para el funcionamiento eficaz, al tratarse de un sistema de agua potable cuya infraestructura está comprendida por tres sitios principales donde están los tanques de almacenamiento de agua y una oficina desde la cual se administra las actividades de mantenimiento del sistema, y que dichos sitios se encuentran topográficamente separados, fue necesario implementar un sistema de comunicación inalámbrico ya que mediante este se logra optimizar el control automático de las estaciones además de disminuir los gastos de operación mediante la creación de una infraestructura propia de comunicaciones.

Para el desarrollo del dispositivo se realiza un estudio de la tecnología de transmisión de datos inalámbrica ZigBee, además de un análisis de campo que permite obtener

parámetros para el diseño e implementación de dicho dispositivo en una red de datos. Según los requerimientos se describe la funcionalidad del dispositivo mediante diagramas de bloques y se detalla las características y funcionamiento de los componentes electrónicos seleccionados para su construcción, además del software para microcontroladores en lenguaje C y la simulación respectiva de la red de datos en RadioMobile.

Una vez instalado se procede a evaluar el comportamiento del dispositivo dentro de la red de datos en un entorno real. Y finalmente se detalla un resumen de costos de construcción e implementación, demostrándose su factibilidad.

II. DISEÑO

A. Diseño de la red inalámbrica

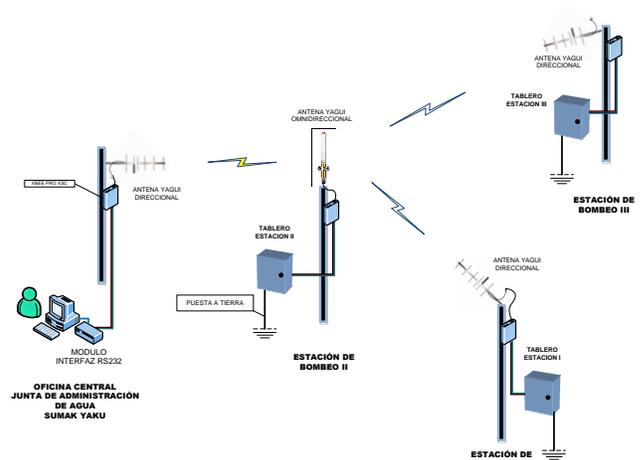


Fig. 1. - Estructura red inalámbrica de datos.

Conforme al estudio topográfico realizado se plantea la topología de la red de datos tal como se observa en la Fig. 1, en la Estación de Bombeo II se ubica el nodo transmisor-receptor inalámbrico principal con una antena omnidireccional, desde esta estación se coordina la transmisión y recepción de datos desde y hacia las estaciones de bombeo I y III, además del envío de datos hacia la Oficina Central

B. Diseño del Hardware

En el diagrama de bloques a continuación (Fig. 2) se observa la configuración general de comunicación entre cada nodo secundario (estación de bombeo I, estación de bombeo III) y el nodo máster (Estación de Bombeo II).

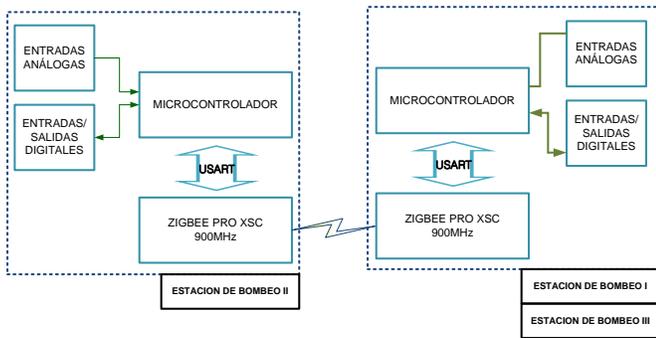


Fig. 2.- Diagrama de Bloques del Sistema de Comunicación Inalámbrico de las Estaciones de Bombeo I y II - Estaciones de Bombeo II y III.

En el diagrama de bloques (Fig. 3) se observa el enlace de comunicación entre el nodo de la oficina central y el nodo master (estación de bombeo II).

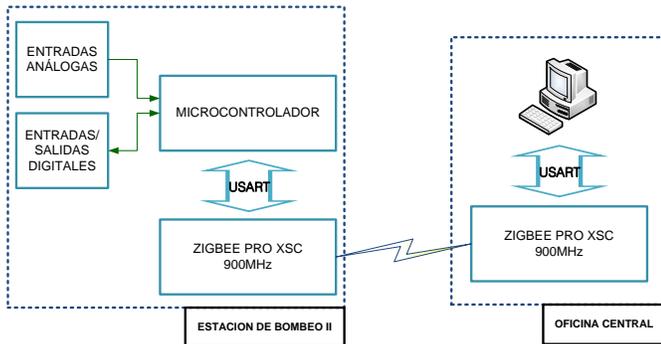


Fig. 3.- Diagrama de Bloques del Sistema de Comunicación Inalámbrico de la Estación de Bombeo II y Oficina Central.

C. Tecnología transmisión Inalámbrica

Se requiere que los dispositivos de comunicación inalámbrica sean de largo alcance y que tengan un protocolo

de transmisión de datos manejable desde un controlador programable.

La tecnología seleccionada para el desarrollo es ZigBee, específicamente se emplea el módulo transceiver de radiofrecuencia XBEEPRO XSC desarrollado por la compañía estadounidense MaxStream, basado en el estándar IEEE 802.15.4, asegurando por tanto un bajo consumo de potencia y la entrega fiable de los datos entre dispositivos remotos. El módulo opera en la banda ISM de 900MHz y está diseñado para ofrecer el máximo rango dentro de la marca de radio transmisores ZigBee.

Para el funcionamiento del módulo primeramente es necesaria la polarización del mismo, a un voltaje de 3.3V en los terminales VCC y GND, luego para realizar la respectiva configuración, se lo hace a través de una computadora, mediante un circuito de comunicación serial que permite la habilitación de un terminal o puerto COM para enviar datos al modulo mediante comandos AT o comandos Binarios, la otra opción es utilizar el software de libre distribución del fabricante.

Los niveles lógicos que maneja el módulo ZigBee son de 3.3V para 1 lógico y 0V para 0 lógico. Por lo tanto es necesaria una etapa de regulación de voltaje para la adaptación de dichos niveles, únicamente los pines de entrada de éste módulo toleran hasta 5 voltios.

D. Microcontrolador PIC18F4550/2550

El microcontrolador PIC de la familia 18F de microchip emplea una avanzada arquitectura RISC (Conjunto de instrucciones reducidas), con un conjunto de 16384 instrucciones, las características de procesamiento y almacenamiento hacen de éste dispositivo altamente eficiente en diversas aplicaciones. A continuación se muestra una tabla con las características más sobresalientes:

TABLA I
CARACTERÍSTICAS PIC18F4550/2550

PIC/ CARACTERIST.	No. Entradas/ Salidas	Memoria Programa		Memoria de Datos		Comun.	10bit A/D (ch)	Timers 8/16 bits
		Flash (bytes)	Máximo número de instrucciones simples	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)			
PIC18F4550	35	32 K	16384	2048	256	SI	13	1/3.
PIC18F2550	24	32 K	16384	2048	256	SI	10	1/3.

E. Convertidor de niveles MAX232

El circuito integrado MAX232 convierte los niveles de las líneas de un puerto serie RS232 a niveles TTL y viceversa. Una característica importante es que solo necesita un voltaje

de alimentación de 5V, ya que genera internamente algunas tensiones que son necesarias para el estándar RS232.

El circuito integrado posee dos conversores de nivel TTL a RS232 y otros dos que, a la inversa, convierten de RS232 a TTL.

En la aplicación actual permite configurar una interfaz con una computadora para la transmisión y recepción de datos a través del puerto serial.

F. Fuente de alimentación

La fuente de alimentación está formada principalmente por un transformador AC/DC, el cual convierte el voltaje de entrada de 120VAC a una salida de 12V en DC (corriente directa), seguido de éste se conecta un puente rectificador, para linealizar la onda de voltaje, esto seguido de dos condensadores electrolíticos que actúan como filtros para eliminar los picos de voltaje aún existentes. A este punto el voltaje en DC obtenido es de 15V, mismos que al ser enviados como entrada a un rectificador 7805, se obtiene a la salida 5V, que son el voltaje TTL necesario para la alimentación del circuito.

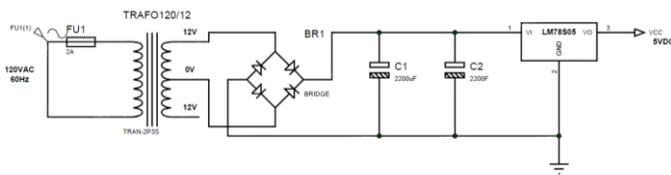


Fig. 4.- Diagrama esquemático de la fuente de alimentación.

En una de las estaciones de bombeo no se dispone de energía eléctrica por lo que se emplean baterías configuradas mediante un circuito de carga con paneles solares.

III. PROCEDIMIENTO DESARROLLO

A. Diagrama de bloques del dispositivo transmisor/receptor inalámbrico

El dispositivo está constituido por una fuente de alimentación, un microcontrolador PIC 18F4550 para las estaciones de bombeo I y II, y un PIC18F2550 para la estación de bombeo 3, el microcontrolador provee la interfaz de conexión de las entradas y salidas analógicas y digitales además de la interfaz de comunicación con el módulo RF (XBEE PRO XSC); para asegurar un alcance óptimo de la señal de radiofrecuencia, se conecta al módulo ZigBee una antena yagui direccional u omnidireccional respectivamente.

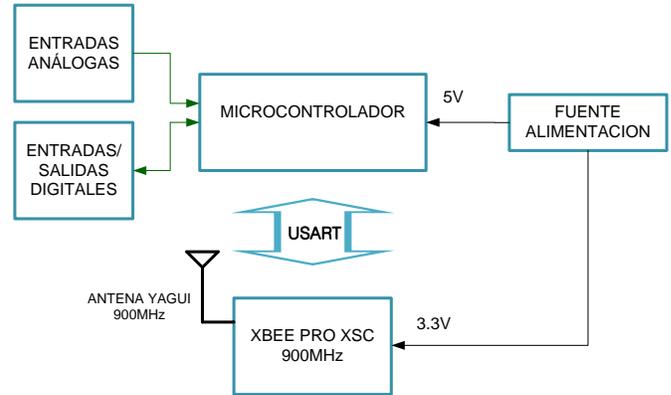


Fig. 5.- Diagrama de Bloques del Dispositivo Transmisor/ Receptor Inalámbrico

La interfaz serial de comunicación entre la PC y el módulo de comunicación inalámbrica XBEE PRO XSC se provee mediante el circuito integrado MAX232, mismo que actúa como adaptador de niveles de voltaje TTL al estándar RS232 y viceversa, se conecta el dispositivo al puerto serial de la Computadora.

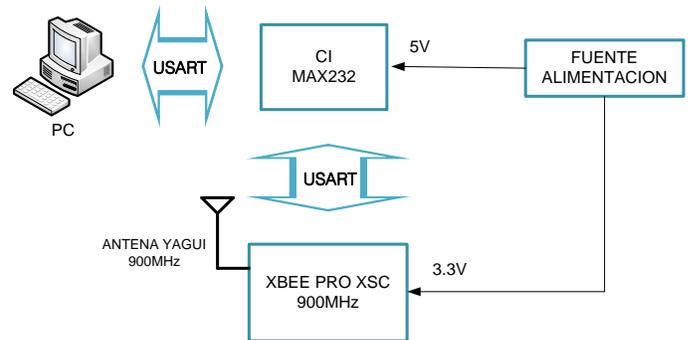


Fig. 6.- Diagrama de Bloques del Dispositivo Transmisor/ Receptor Inalámbrico mediante interfaz serial a la PC.

B. Diseño y simulación de la red en RadioMobile

En el estudio de campo se obtienen las coordenadas de ubicación que permiten realizar la simulación del enlace de radiofrecuencia mediante el software RadioMobile.

TABLA II.
COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE

COORDENADAS GEOGRÁFICAS			
LUGAR	LATITUD	LONGITUD	ALTURA (msnm)
ESTACIÓN DE BOMBEO 1	0° 12' 32" N	78° 12' 25" W	2672.8
ESTACIÓN DE BOMBEO 2	0° 12' 43" N	78° 12' 30" W	2736.5
ESTACIÓN DE BOMBEO 3	0° 12' 51" N	78° 12' 18" W	2859.8
ORONA CENTRAL SUMAK YAKU	0° 13' 58" N	78° 13' 51" W	2696.3

A continuación se observa un esquema gráfico de la simulación que además permitió obtener datos exactos para la implementación del sistema, tales como la altura de colocación de las antenas para que exista línea de vista y por ende se asegure la calidad del enlace.



Fig. 7- Esquema general de simulación de la red

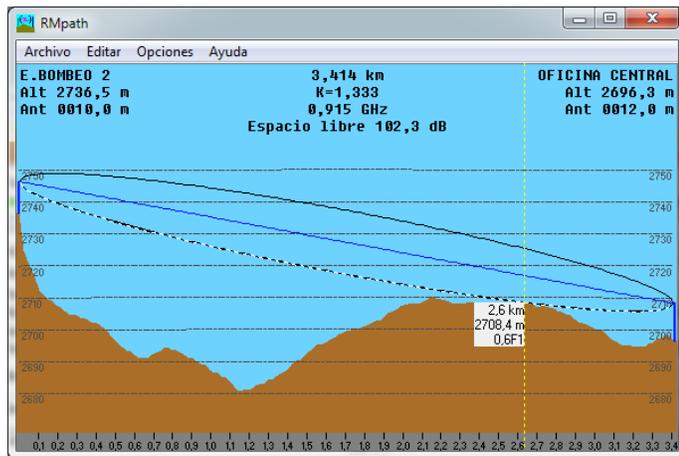


Fig. 8- Perfil del enlace de radio ESTACION DE BOMBEO II-ESTACION DE BOMBEO III.

Debido a la altura a la que tiene que colocarse la antena, se prevé realizar la instalación de los dispositivos de comunicación inalámbrica en mástiles con tensores para garantizar la estabilidad de dicha estructura.

C. Configuración Módulos XBEEPRO XSC900

La configuración de los módulos XBEE PRO XSC se realiza mediante el software X-CTU que provee el fabricante, con el esquema de conexión siguiente:

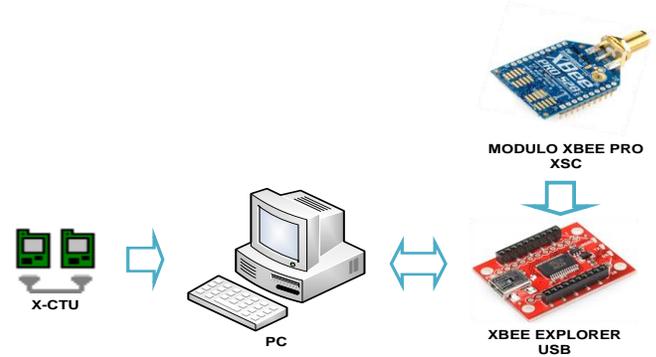


Fig. 9- Esquema de conexión para la configuración de los módulos XBEEPRO XSC.

Se comprueba la conexión con el módem y se selecciona la opción *Modem Configuration* tal como se muestra en la Fig.10.

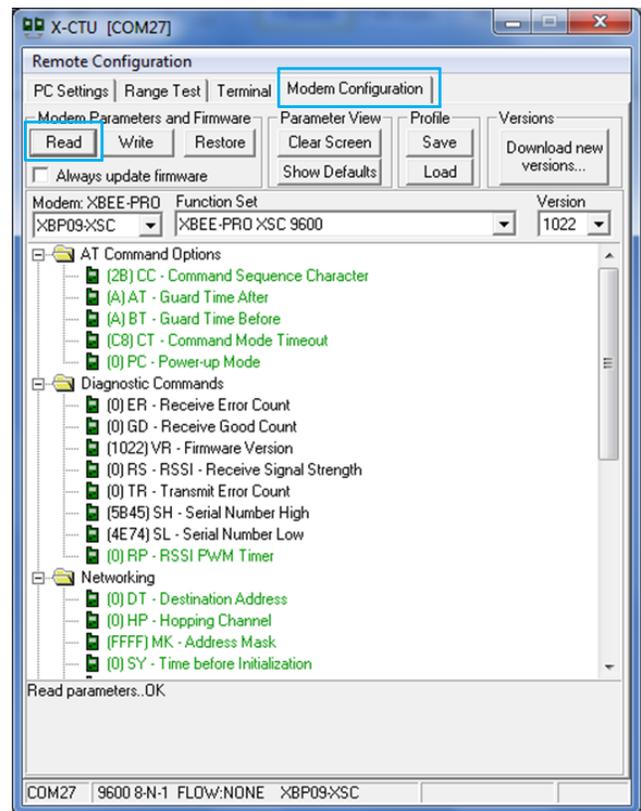


Fig.10- Lectura y configuración de parámetros del módulo XBEEPRO XSC.

Seguidamente se configuran los parámetros como se indica en la tabla a continuación:

TABLA III
PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN DE LOS MÓDULOS XBEE PRO XSC PARA LOS DISPOSITIVOS TRANSCIEVER DE LAS ESTACIONES I, II Y III ADEMÁS DE LA OFICINA CENTRAL

PARÁMETRO	VALOR TRANSCIEVER ESTACION I	VALOR TRANSCIEVER ESTACION II	VALOR TRANSCIEVER ESTACION III	VALOR OFICINA CENTRAL	DESCRIPCIÓN
HP	4	4	4	4	SELECCIONA EL CANAL DE COMUNICACIÓN DE LOS MÓDULOS RF. (Rango: 0-6)
BD	3 9600	3 9600	3 9600	3 9600	ESTABLECE LA VELOCIDAD A LA QUE LOS DATOS SON ENVIADOS AL MÓDULO
MK	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	HABILITA LA MÁSCARA DE DIRECCIÓN PARA CONFIGURAR UN ESPACIO DE DIRECCIONES LOCAL Y GLOBAL.
DT	0	0	0	0	HABILITA LA DIRECCIÓN QUE IDENTIFICA EL DESTINO DEL PAQUETE RF.
ID	3332	3332	3332	3332	LEE EL NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN DEL VENDEDOR (VID)

TABLA IV
ESPECIFICACIONES ANTENA YAGUI DIRECCIONAL A09-Y11NF

A09-Y11NF	
Frecuencia (MHz)	895 - 940
Ganancia dBi	11.15
Potencia máxima de entrada (Watts)	200
Tipo	Yagui de 6 elementos
Frecuencia General(MHz)	895 - 940
Impedancia	50 ohms
Ancho del lóbulo horizontal	65 Deg.
Ancho de lóbulo vertical	55 Deg.
Conector directo	None

Antena omnidireccional.-

Es una antena con características específicas de radiación, recomendables para la ubicación en estaciones base, desde donde se administra la información.

D. Selección de antenas ZigBee

A continuación se muestran las antenas disponibles en el mercado, con las especificaciones técnicas dadas por el fabricante:

Antena direccional.-

Las antenas direccionales tienen mayor ganancia dependiendo de hacia donde se direccionen.

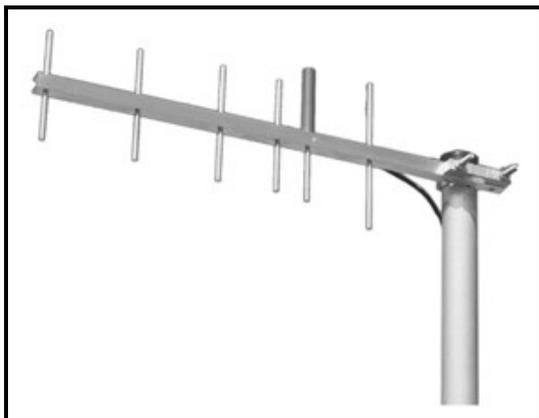


Fig.11- Antena yagui direccional, modelo A09-Y11NF.



Fig. 12.- Antena para estación base, omnidireccional A09-F5NF-M

TABLA V
ESPECIFICACIONES ANTENA PARA ESTACIÓN BASE, OMNIDIRECCIONAL A09-F5NF-M

A09-F5NF-M	
Frecuencia (MHz)	915
Ganancia	5.1dBi (3dBd)
Potencia máxima de entrada (Watts)	100
Tipo	Omnidireccional, Fibra de vidrio
Frecuencia General(MHz)	902-928
Impedancia	50 ohms
Ancho del lóbulo horizontal	360 Deg.
Ancho de lóbulo vertical	33 Deg.
Conector	Tipo N-hembra

Para la selección de antenas se considera lo siguiente:

- Según el estudio de campo realizado no existe línea de vista entre dichas estaciones, por lo que es necesaria la implementación de antenas de alta ganancia.
- La topología de red a implementarse es punto multipunto, por lo que se instalan antenas direccionales en las estaciones de bombeo I y III y oficina central y estas se apuntan hacia la

antena omnidireccional de la estación II, con lo que se asegura la transmisión de los datos.

E. Programación del Microcontrolador – PIC18F4550

Compilador y Programador

El compilador empleado para desarrollo del programa para los microcontroladores es PICC de CCS que permite la programación en lenguaje C. El programador utilizado es el PICKit 2 de MICROCHIP; los cuales han sido elegidos por su disponibilidad de librerías y facilidad de grabación respectivamente.

F. Diagrama de Flujo Principal

A continuación se presentan los diagramas de flujo con el algoritmo principal de funcionamiento del dispositivo transmisor/receptor inalámbrico.

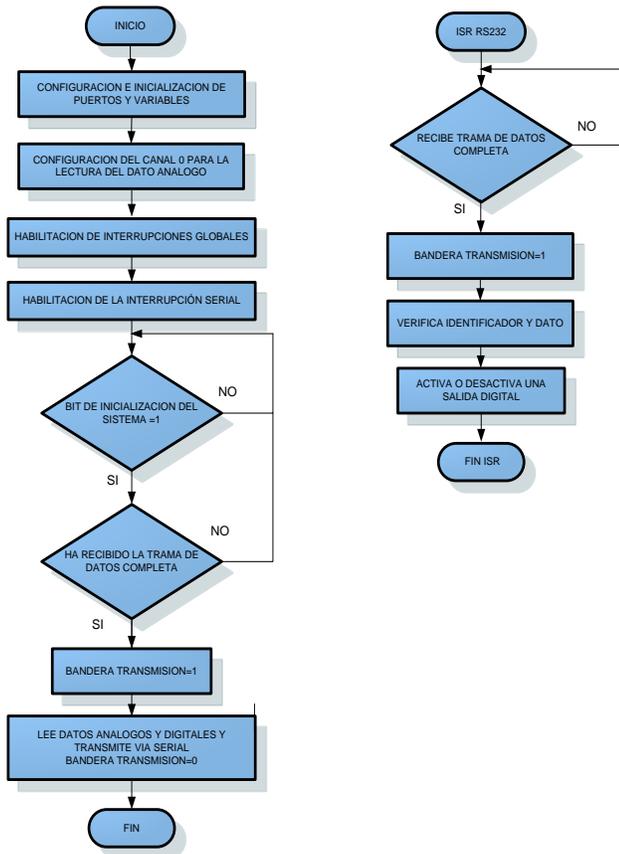


Fig. 13. - Flujograma principal que describe el algoritmo de funcionamiento

G. Diagrama asignación de pines

A continuación se visualiza de manera gráfica la asignación de pines del PIC18F4550 con sus conexiones principales, interfaz con Transceiver XBEE (RX, TX), (Datos entrada PORTB, datos salida PORTD), y finalmente la asignación de los pines de grabación.

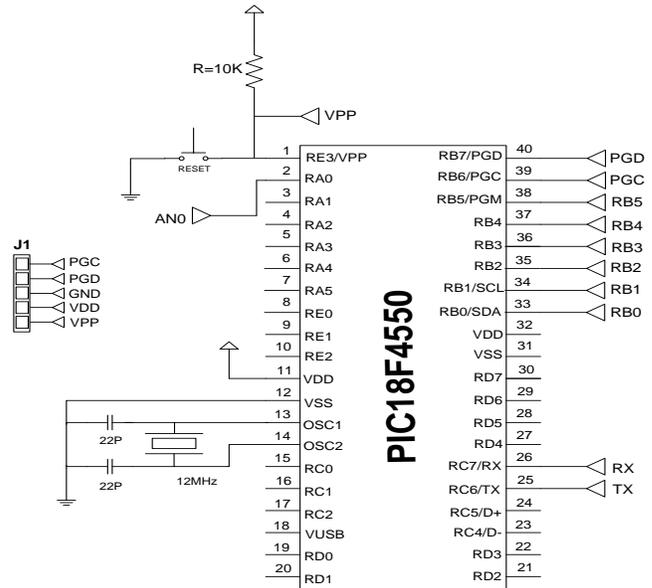


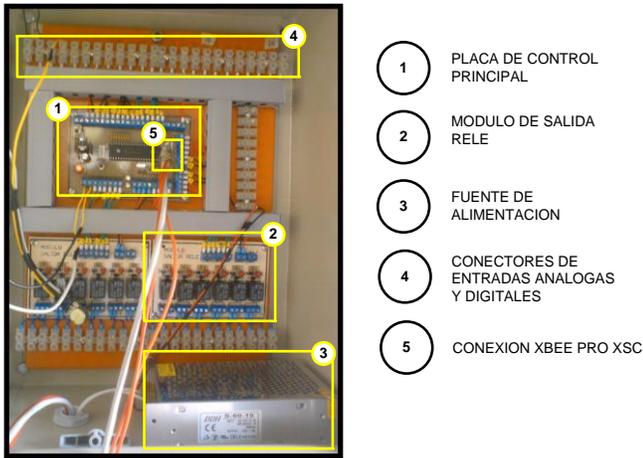
Fig. 14. - Diagrama asignación de pines PIC18F4550

H. Diseño Placa De Circuito Impreso

Para el diseño de la placa de circuito impreso se utiliza el software EAGLE.

I. Montaje de los gabinetes en las estaciones de bombeo I, II y III.

El montaje de la tarjeta de control principal, los módulos para activación de salidas y fuente de alimentación son colocados en un gabinete para su respectiva instalación en cada estación de bombeo. A continuación se muestran las ilustraciones respectivas.



- 1 PLACA DE CONTROL PRINCIPAL
- 2 MODULO DE SALIDA RELE
- 3 FUENTE DE ALIMENTACION
- 4 CONECTORES DE ENTRADAS ANALOGAS Y DIGITALES
- 5 CONEXION XBEE PRO XSC

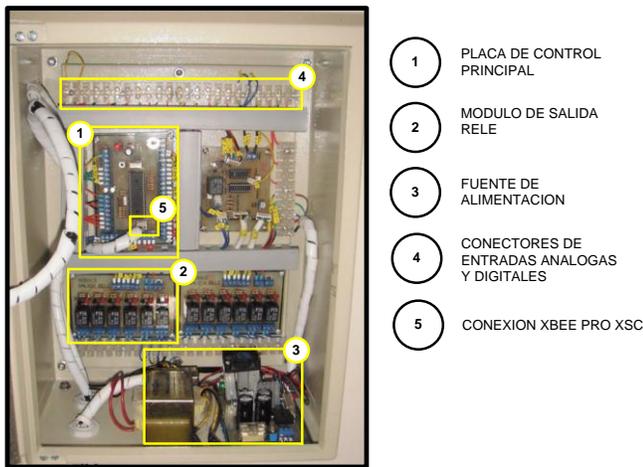
recepción de datos mediante la conexión al módulo XBEE PRO XSC.

2. Provee una interfaz para las salidas digitales del microcontrolador a relés.
3. La fuente de alimentación provee el voltaje y corriente requeridos para la operación de todos los módulos del sistema.
4. Son borneras pares que permiten dejar disponibles puntos de conexión para los sensores de entrada sean análogos o digitales.
5. Es el conector hacia el módulo XBEE PRO XSC, ubicado en el mástil de esta estación.

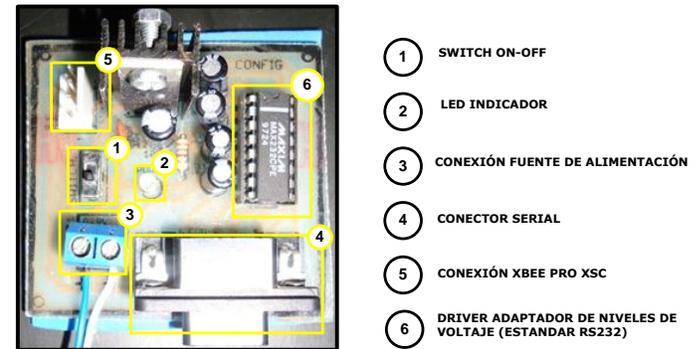
Fig. 15- Montaje y conexiones estación de bombeo I

J. Instalación en la oficina central

En la oficina central se instala la placa de interfaz serial para conectar el módulo XBEE PRO XSC directamente a la computadora y obtener de esta manera un puerto COM para simulación de los datos tanto de entrada como de salida desde un terminal virtual. A continuación se indica la estructura de la placa a la cual se conecta el módulo ZigBee instalado en un mástil en la terraza de esta estación.



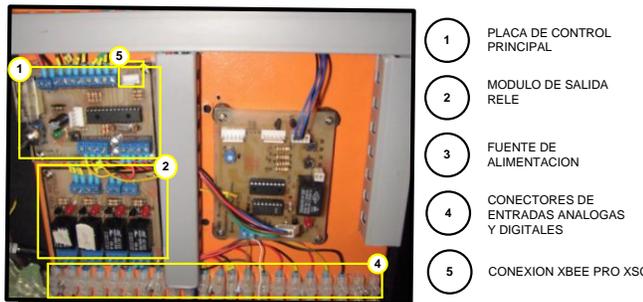
- 1 PLACA DE CONTROL PRINCIPAL
- 2 MODULO DE SALIDA RELE
- 3 FUENTE DE ALIMENTACION
- 4 CONECTORES DE ENTRADAS ANALOGAS Y DIGITALES
- 5 CONEXION XBEE PRO XSC



- 1 SWITCH ON-OFF
- 2 LED INDICADOR
- 3 CONEXIÓN FUENTE DE ALIMENTACIÓN
- 4 CONECTOR SERIAL
- 5 CONEXIÓN XBEE PRO XSC
- 6 DRIVER ADAPTADOR DE NIVELES DE VOLTAJE (ESTANDAR RS232)

Fig. 16- Montaje y conexiones estación de bombeo II

Fig. 18- Montaje y conexiones oficina central.



- 1 PLACA DE CONTROL PRINCIPAL
- 2 MODULO DE SALIDA RELE
- 3 FUENTE DE ALIMENTACION
- 4 CONECTORES DE ENTRADAS ANALOGAS Y DIGITALES
- 5 CONEXION XBEE PRO XSC

Fig. 17- Montaje y conexiones estación de bombeo III

1. Permite el encendido y apagado de la placa de interfaz serial.
2. El led es un indicador visual para saber si la placa está encendida o apagada.
3. En esta bornera se conecta la fuente de alimentación, como sugerencia superior a 9V, y provee la alimentación de voltaje y corriente necesarios para el funcionamiento.
4. Para conectar mediante un cable serial al puerto serial de la computadora. Si no se dispone de un puerto serial en la computadora, se puede utilizar un cable de conversión usb-serial, que permitiría conectar la placa a un puerto usb disponible.

Cada tarjeta provee al sistema una funcionalidad específica conforme se indica:

1. Permite la conexión de las entradas análogas y digitales, además del módulo de salidas a relé, controla la transmisión y

5. Es el conector hacia el módulo XBEE PRO XSC, ubicado en el mástil de esta estación.
6. Realiza la adaptación de niveles necesario para habilitar la transmisión y recepción de datos a través del módulo XBEE PRO XSC de acuerdo al protocolo de comunicaciones RS 232.

K. Instalación del sistema de Radiocomunicación

Conforme al estudio de simulación del radioenlace entre la Estación de Bombeo I, Estación de Bombeo II, Estación de Bombeo III y Oficina Central, la ubicación de las antenas para satisfacer requerimientos de línea de vista y por ende asegurar la calidad del enlace es conforme se indica en la Tabla

TABLA VI
ALTURA DE COLOCACIÓN DE LA ANTENA EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO I, II, III Y OFICINA CENTRAL DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE SUMAK YAKU .

LUGAR DE UBICACION	ALTURA COLOCACION ANTENA (m)
ESTACION DE BOMBEO I	15
ESTACION DE BOMBEO II	10
ESTACION DE BOMBEO III	10
OFICINA CENTRAL	12

Se prevé la instalación de mástiles con la finalidad de satisfacer los requerimientos de línea de vista. A continuación se muestra la instalación en una de las estaciones de bombeo.



Fig. 19.- Infraestructura para la colocación de la antena en la Estación de Bombeo II

Entre algunos parámetros de la instalación, se mencionan:

- El mástil se coloca con tensores y sus respectivos accesorios (grilletes) para asegurar la máxima estabilidad, a excepción de la oficina central, en la cual se empotra a la pared con abrazaderas y una platina.
- La antena se coloca y ajusta en el extremo superior del

mástil mediante accesorios (abrazaderas, tornillos, pernos) para asegurar la máxima estabilidad.

- El módulo XBEE PRO XSC se coloca en una caja impermeable que cumple el estándar IP54 de seguridad, a una altura tal que se asegure la conexión del módulo a la antena (direccional u omnidireccional) mediante el cable coaxial respectivo.

- El módulo XBEE PRO XSC se coloca en una placa que regula al voltaje de alimentación necesitado 3.3V (XBEE REGULATED), y el conjunto se fija en una caja a la cual desde la placa de interfaz serial ubicada al interior de las oficinas en el primer piso de la Junta se conectan 4 líneas correspondientes a transmisión (DOUT), recepción (DIN) y la alimentación de voltaje (5V) y GND. Las líneas de transmisión /recepción se conectan con cable apantallado y las líneas de alimentación de la fuente mediante cable flexible multifilar #18.

L. Interfaz de monitoreo

Para el desarrollo de una interfaz gráfica amigable se emplea el software LabVIEW de National Instruments, el lenguaje de programación es gráfico y posee un sinnúmero de herramientas para medida y control.

Entre una de sus características importantes cabe mencionar que permite el manejo de interfaces de comunicaciones con el puerto serial, lo cual es compatible con el protocolo de comunicaciones RS232 que emplea el módulo XBEE PRO XSC para la transmisión y recepción de datos.

A continuación la pantalla principal de monitoreo del sistema de bombeo de agua potable Sumak-Yaku; se observa la estructura general y conexiones de las 3 zonas.

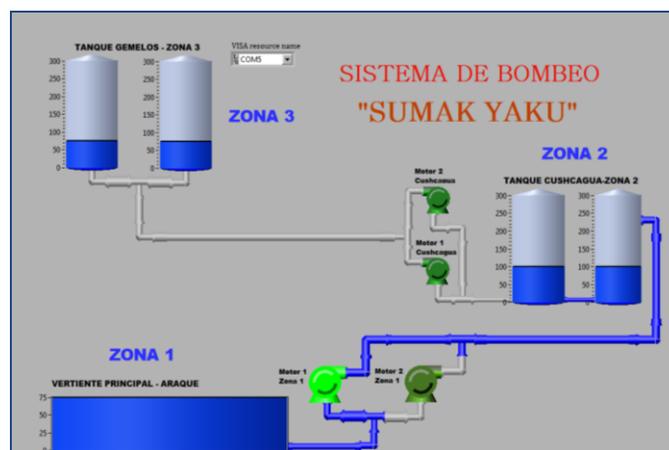


Fig. 20. - Interfaz de monitoreo instalada en la oficina central.

IV. PRUEBAS

A. Obtención de datos en las estaciones de bombeo.

Para validar la transmisión de datos del sistema se realizaron pruebas en cada estación de bombeo, de la siguiente manera: Se conecta el módulo de comunicación inalámbrica XBEE PRO XSC 900 con su respectiva antena yagui de alta ganancia a un computador portátil, por medio de una tarjeta de interfaz serial, lo cual permite tener disponible un puerto de comunicaciones RS232 para simular tanto el envío como la recepción de datos en cada estación, el alcance de la antena conectada permite además observar la interacción entre el envío y la recepción de datos con las otras estaciones.

En la estación de bombeo I.-

Se simula el inicio del bombeo mediante un pulso en el tablero de automatización, mismo que se da automáticamente al momento de iniciarse el bombeo programado en horas de la mañana, con este bit de inicio también se inicia la comunicación, enviándose inmediatamente una trama de datos que contiene los valores de las variables consideradas necesarias para el monitoreo de esta estación. El formato de la trama de datos es como se indica a continuación:

DATOS DIGITALES ESTACION DE BOMBEO 1																										
n	1	f	b	1	f	c	1	f	d	1	f	e	1	f	g	1	f	h	1	f	i	1	f	j	1	f
BIT INICIO	E1	EDM1	EDM2	FTM1	FTM2	SN1	SN2	SN3	SN4																	

Fig. 21- . Formato de la trama de datos que envía la estación de bombeo 1.

Conforme se observa por cada variable se envían tres caracteres, el primero determina la variable de que se trata, el segundo es el bit que indica el estado de dicha variable, si es 1 significa que está activada y si es 0 esta desactivada, y el último carácter ‘f’ indica el final de cada variable, todas las variables de esta estación tienen al final un carácter ‘f’.

A continuación se indican las especificaciones de estos datos,

TABLA VII
ESPECIFICACIÓN DE LOS CARACTERES DE IDENTIFICACIÓN DE LA TRAMA DE DATOS DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO 1

CARACTER IDENTIFICADOR DATO	SIGLAS	DESCRIPCION
b	EDM1	ENTRADA DIGITAL DEL ESTADO DEL MOTOR 1
c	EDM2	ENTRADA DIGITAL DEL ESTADO DEL MOTOR 2
d	FTM1	FALLA TERMICA DEL MOTOR 1
e	FTM2	FALLA TERMICA DEL MOTOR 2
g	SN1	NIVEL ALTO
h	SN2	NIVEL BAJO
i	SN3	FALLA NIVEL
j	SN4	FALLA ZONA 1

A continuación se observa los datos recibidos en el terminal USART del compilador MIKRO C PRO, cuando se activa

mediante el bit de inicio, esta trama de datos será enviada a la segunda estación de bombeo.

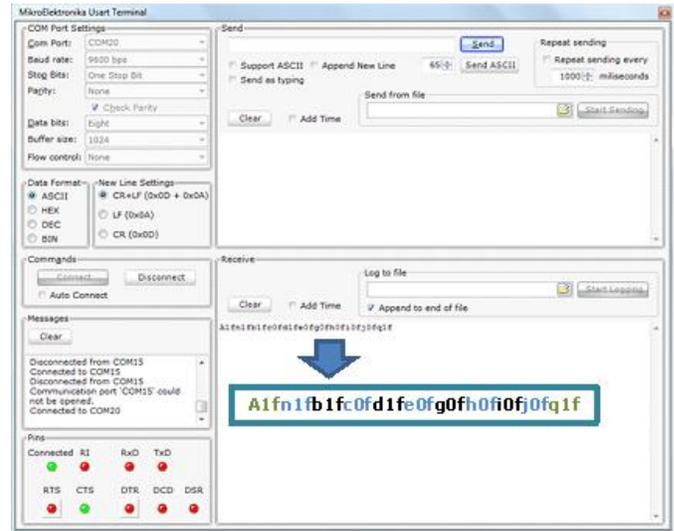


Fig. 22.- Formato de la trama de datos que envía la estación de bombeo 1

Para constatar la lectura de datos tanto análogos como digitales se ha conectado un potenciómetro para simular el envío del dato análogo y para simular la activación de las entradas digitales basta con hacer una conexión de puente en las entradas correspondientes a las variables a verificar, este caso se simula el encendido del motor 1 **b1f** y la activación de la falla térmica del motor 1 **d1f**.

B. Mediciones de consumo

Se realizó las mediciones de consumo con el dispositivo en funcionamiento, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla

TABLA VIII
MEDICIONES DE CONSUMO DEL DISPOSITIVO EN FUNCIONAMIENTO

CANT	COMPONENTE ELECTRONICO	CONSUMO (mA)	CONSUMO TOTAL (mA)
1	MODULO XBEE PRO XSC	260	260
1	MICROCONTROLADOR	25	25
2	PULSADOR	20	40
4	RELE	73	292
2	LED ALTA LUMINOSIDAD	20	40
			657

Se observa el consumo individual, con dos entradas, cuatro de las salidas a relé además de los leds de verificación de funcionamiento en estado activo. El consumo total asciende a 657mA.

C. Obtención de datos en la oficina central de la Junta Administradora de Agua Potable.

A continuación se detallan algunas pruebas realizadas con la interfaz de monitoreo.

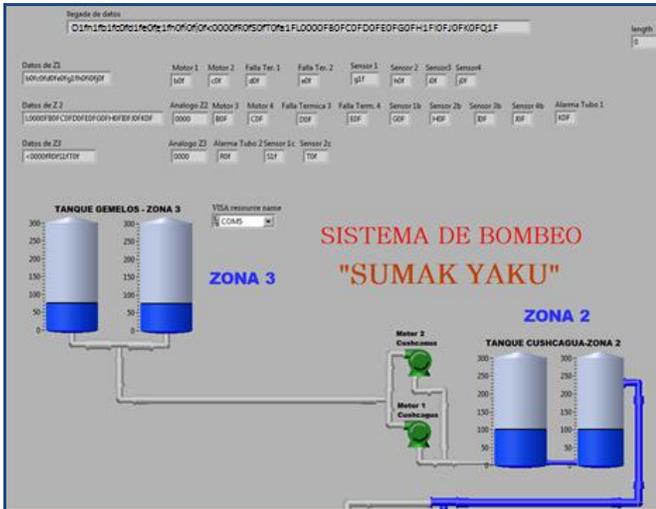


Fig. 23.- Datos recibidos por el puerto serial de la computadora e identificación de las tramas por cada estación y variable.

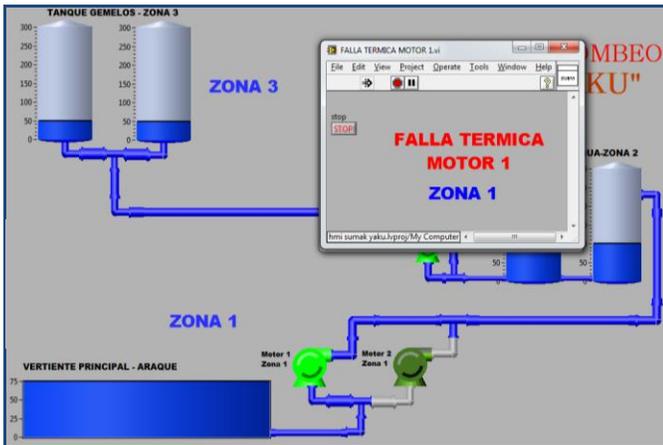


Fig. 24.- Activación del bombeo en la zona 1 y aviso de falla térmica.

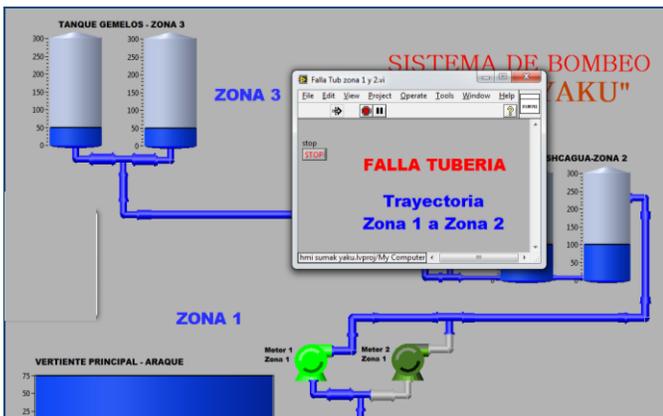


Fig. 25.- Si disminuye el nivel de presión en la tubería, se presenta un aviso de falla de tubería.

V. ANÁLISIS ECONÓMICO

Para determinar la factibilidad económica se realiza un análisis de las variables financieras con proyección para 4 años, concluyéndose en la tabla a continuación.

TABLA IX
FLUJO DE EFECTIVO PROYECTADO A 4 AÑOS

FLUJO DE CAJA PROYECTADO					
DETALLE	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4
INVERSION INICIAL	6.978,34				
CAPITAL DE TRABAJO	4.648,00				
INGRESOS					
RESIDENCIAL		71.856,00	75.420,00	79.200,00	83.160,00
ESTABLECIMIENTO EDUCATIVO		1.080,00	1.152,00	1.224,00	1.368,00
COMERCIAL		810,00	918,00	972,00	1.134,00
INDUSTRIAL		72,00	216,00	288,00	432,00
TERCERA EDAD		7.722,00	8.136,00	8.550,00	9.000,00
TOTAL INGRESOS		73.818,00	77.706,00	81.684,00	86.094,00
EGRESOS					
EGRESOS POR EL SERVICIO					
PAGO CERTIFICADO DE REGISTRO		500,00	0,00	0,00	0,00
EGRESOS ADMINISTRATIVOS Y OPERATIVOS					
SUELDOS		24.600,00	24.600,00	24.600,00	24.600,00
SERVICIOS BÁSICOS		16.200,00	15.600,00	15.600,00	15.600,00
ARRIENDOS		3.000,00	3.000,00	3.000,00	3.000,00
SUMINISTROS OFICINA		300,00	300,00	300,00	300,00
IMPLEMENTOS ASEO Y LIMPIEZA		100,00	100,00	100,00	100,00
COSTOS USO FRECUENCIAS		55,01	57,76	60,65	63,68
TOTAL EGRESOS		44.755,01	43.600,00	43.600,00	43.600,00
DEPRECIACIONES (-)		320,00	320,00	320,00	320,00
UTILIDAD NETA		28.742,99	33.796,00	37.764,00	42.174,00
DEPRECIACIONES (+)		320,00	320,00	320,00	320,00
FLUJO NETO	(11.626,34)	29.062,99	34.106,00	38.084,00	42.494,00
TASA DE DESCUENTO	18%				
VALOR PRESENTE	(11.626,34)	24.629,65	24.494,40	23.179,10	21.917,93
VAN	82.594,74				
TIR	263,20%				

En base a las ecuaciones descritas y al flujo de efectivo obtenido, se procede a realizar el cálculo de las variables financieras, obteniéndose lo siguiente:

TABLA X
VARIABLES FINANCIERAS

VARIABLE FINANCIERA	VALOR
VAN (Valor actual neto, USD)	82594,74
TIR (Tasa interna de retorno)	263,20%
B/C (Relación beneficio costo)	8,10
PRI (Período de recuperación de la inversión, años)	0,49

Como se observa, el presente proyecto cumple con las condiciones de rentabilidad mencionadas en criterios de

aceptación, por lo que el proyecto se considera financieramente viable.

VI. CONCLUSIONES

- En el presente proyecto se realizó el diseño, construcción e implementación de tres dispositivos transceiver inalámbricos y un dispositivo inalámbrico con interfaz serial que permiten optimizar el control automático de las estaciones de Bombeo I, II y III del Sistema de Agua Potable Sumak-Yaku, ya que envían y reciben datos de manera confiable, por cuanto, no se necesita la intervención humana ni en la lectura de datos ni en la transmisión de los mismos.
- La implementación de nuevas tecnologías para optimizar el desempeño de las operaciones es de suma importancia, conforme se observa en el presente desarrollo se ha logrado automatizar el proceso de bombeo de agua potable mediante la transmisión de datos de sensores entre las estaciones de bombeo y la oficina central, en la cual se realiza el monitoreo.
- Del estudio de factibilidad económica se puede indicar que la implementación del proyecto es factible financieramente.
- En la instalación de dispositivos de comunicación se emplea cable apantallado para las líneas de transmisión y recepción de datos, esto con la finalidad de proteger los datos de posibles interferencias y ruidos, evitando de esta manera pérdidas de información. Para una correcta instalación es necesario que se conecte la pantalla a tierra en un solo extremo del cable, para evitar que por ella circule corriente que podría acoplarse a los hilos de señal.
- Para garantizar la operatividad de un radioenlace es necesario que se verifique la existencia de línea de vista entre las estaciones a comunicarse, esto se hace mediante software por computador una vez que se hayan obtenido las coordenadas de ubicación geográfica respectivas. Si se emplean antenas direccionales es de suma importancia apuntar las antenas hacia la dirección precisa para obtener los mejores resultados.
- Con la finalidad de asegurar la operatividad del sistema por más tiempo es necesario realizar una planificación de mantenimiento de la red y una guía de detección de fallas para actuar de manera oportuna.

VII. RECOMENDACIONES

- Es necesario tomar en cuenta las condiciones ambientales de operación de los módulos ZIGBEE PRO XSC, para asegurar que no se vean afectados por las mismas, se puede optar por la instalación de pararrayos en cada uno de los mástiles de las estaciones de bombeo para la protección contra descargas atmosféricas.
- Es posible actualizar frecuentemente el firmware de los módulos ZIGBEE PRO XSC conforme el fabricante publique nuevas versiones, esto ayuda a mejorar las características de comunicación de los mismos por medio de la reducción de tiempos de respuesta principalmente, y por ende optimizar el desempeño de la red ZigBee.
- Se puede realizar el monitoreo de otras variables, tales como el nivel de cloración de agua en los tanques para garantizar la calidad del líquido vital o a su vez evaluar parámetros de operación de los motores para garantizar su desempeño. al considerarse más variables se incrementa el tamaño de la trama de datos, por lo que se sugiere como mecanismo de seguridad enviar los datos dos veces para realizar una comparación y validar los datos.
- El software de monitoreo puede mejorarse si se incluye la generación de reportes semanales, que permitirán evaluar el funcionamiento del sistema de bombeo de agua y considerar acciones oportunas de mantenimiento.
- Para reducir el tamaño del circuito electrónico de adquisición y transmisión de datos es recomendable que se realice el montaje de la placa con dispositivos de montaje superficial.

VIII. REFERENCIAS

- [1] NATIONAL INSTRUMENTS. [HTTP://ZONE.NI.COM/DEVZONE/CDA/TUT/P/ID/7118](http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/7118). 2011.
- [2] ZIGBEE ALLIANCE. [HTTP://WWW.ZIGBEE.ORG/](http://www.zigbee.org/). 2011.
- [3] IEEE STANDARD, PART 15.4 WIRELESS MEDIUM ACCESS CONTROL (MAC) AND PHYSICAL LAYER (PHY) SPECIFICATIONS FOR WPANS. [HTTP://STANDARDS.IEEE.ORG/GETIEEE802/DOWNLOAD/802.15.4-2007.PDF](http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4-2007.pdf). 2011.
- [4] VALVERDE CARLOS, "EL ESTÁNDAR INALÁMBRICO ZIGBEE". [SECCPERU.ORG/FILES/ZIGBEE.PDF](http://seccperu.org/files/ZIGBEE.PDF). 2011.
- [5] ZIGBEE. [HTTP://ES.SCRIBD.COM/DOC/4559979/ZIGBEE](http://es.scribd.com/doc/4559979/ZIGBEE). 2011.
- [6] ZIGBEE.ES "ZIGBEE INFIRMATION". [HTTP://WWW.ZIGBEE.ES/WP/](http://www.zigbee.es/wp/).
- [7] SG, "ZIGBEE, COMUNICACIÓN PARA DISPOSITIVOS". [HTTP://WWW.SG.COM.MX/CONTENT/VIEW/392](http://www.sg.com.mx/content/view/392). 2011.
- [8] JAVIER MORENO, DANIEL RUIZ, "INFORME TÉCNICO: PROTOCOLO ZIGBEE (IEEE 802.15.4)". [«WWW.ZIGBEE.ES/DOCUMENTOS/ZIGBEE_UA.PDF.»](http://www.zigbee.es/documentos/ZIGBEE_UA.PDF) ZIGBEE.ES. 2011.
- [9] MAYNÉ J, IEEE 802.15.4 Y ZIGBEE. [HTTP://WWW.BARESROBOTICS.COM.AR/DATA/IEEE_ZIGBEE_SILICA.PDF](http://www.baresrobotics.com.ar/data/ieee_zigbee_silica.pdf). 2011.
- [10] DIGI, "NOTA DE APLICACIÓN: XST-AN010A". [«HTTP://WWW.DIGI.COM/PRODUCTS/ACCESSORIES/ANTENNAS/WHIP-ANTENNAS#DOCS.»](http://www.digi.com/products/accessories/antennas/whip-antennas#docs) 2011.
- [11] CUSHCRAFT "PC YAGUIS 6 ELEMENT, MANUAL DE INSTALACIÓN". 2011.
- [12] DIRECCIÓN DE TELECOMUNICACIONES "CONSULTA PÚBLICA SOBRE ACTUACIONES EN MATERIA DE ESPECTRO RADIOELÉCTRICO". [«HTTP://WWW.MITYC.ES/TELECOMUNICACIONES/ES-ES/PARTICIPACION/DOCUMENTS/CONSULTA_ESPECTRO.PDF.»](http://www.mityc.es/telecomunicaciones/es-es/participacion/documents/consulta_espectro.pdf) 2011.
- [13] DIGI, MANUAL XBEE PRO XSC RF MODULE. [«FTP://FTP1.DIGI.COM/SUPPORT/DOCUMENTATION/90000938_B.PDF.»](http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000938_B.PDF)
- [14] ANGULO, IGNACIO. MICROCONTROLADORES PIC- DISEÑO PRACTICO DE APLICACIONES. 2005.
- [15] MICROCHIP, DATASHEET PIC18F4550. [«HTTP://WWW1.MICROCHIP.COM/DOWNLOADS/EN/DEVICEDOC/39632C.PDF.»](http://www1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf)
- [16] COLLAGUAZO, ING. GERARDO. SISTEMAS BASADOS EN MICROPROCESADORES CON APLICACIONES. 2008.
- [17] DIGI, 900MHZ AND 2.4GHZ ANTENNAS. [«HTTP://WWW.DIGI.COM/PRODUCTS/ACCESSORIES/ANTENNAS/WHIP-ANTENNAS#MODELS.»](http://www.digi.com/products/accessories/antennas/whip-antennas#models)
- [18] ZIGBEE LABS, "VAMOS A SITUAR ZIGBEE". [HTTP://WWW.ZIGBEE.NET/?P=131](http://www.zigbee.net/?p=131). 2011.
- [19] KIOSKEA. "DICCIONARIO DE TÉRMINOS DE REDES". [«HTTP://ES.KIOSKEA.NET/»](http://es.kioskea.net/) 2011.
- [20] CONATEL, "NORMA PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN DE SISTEMAS DE MODULACIÓN DIGITAL DE BANDA ANCHA". [«HTTP://WWW.CONATEL.GOB.EC/SITE_CONATEL/?OPTION=COM_CONTENT&VIEW=ARTICLE&ID=111:NORMA-PARA-LA-IMPLEMENTACION-Y-OPERACION-DE-SISTEMAS-DE-MODULACION-DIGITAL-DE-BANDA-ANCHA&CATID=49:REGULACION-DE-SERVICIOS&ITEMID=104.»](http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/?option=com_content&view=article&id=111:norma-para-la-implementacion-y-operacion-de-sistemas-de-modulacion-digital-de-banda-ancha&catid=49:regulacion-de-servicios&Itemid=104) 2005.
- [21] FREIJO, EDUARDO GARCIA. MANUAL COMPILADOR C CCS Y SIMULADOR PROTEUS PAR MICROCONTROLADORES PIC. EDITADO POR MEXICO. ALFAOMEGA.
- [22] DIGI, X-CTU, CONFIGURATION & TEST UTILITY SOFTWARE. [«FTP://FTP1.DIGI.COM/SUPPORT/DOCUMENTATION/90001003_A.PDF.»](http://ftp1.digi.com/support/documentation/90001003_A.PDF)
- [23] DIGI, DATASHEET XBEE MULTIPPOINT RF MODULES. [«HTTP://WWW.DIGI.COM/PDF/DS_XBEEMULTIPPOINTMODULES.PDF.»](http://www.digi.com/pdf/ds_xbeemultipointmodules.pdf)
- [24] VE2DBE, ROGER COUDÉ, RADIO MOBILE, AYUDAS PARA LA CONFIGURACION Y USO. [«HTTP://WWW.LW1DRJ.COM.AR/USERS/DOCS/RADIO%20MOBILE.PDF.»](http://www.lw1drj.com.ar/users/docs/radio%20mobile.pdf)
- [25] USGS, RADIO MOBILE MAPAS SOUTH_AMERICA. [«HTTP://DDS.CR.USGS.GOV/SRTM/VERSION1/SOUTH_AMERICA/»](http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version1/south_america/)

Tirira P., Autora



Es una estudiante por culminar sus estudios en Ingeniería Electrónica y Redes de Comunicación de la Universidad Técnica del Norte.

En su voluntariado en el IEEE participó activamente en la organización de actividades y eventos organizados como Presidente de la Rama IEEE-UTN, con la finalidad de generar oportunidades apoyando a la formación de habilidades y competencias para fortalecer el perfil de liderazgo tanto de miembros IEEE como profesionales de carreras afines al IEEE.

Gavilánez M., Director



Es un profesional en Ingeniería Electrónica y Control, Magister en Docencia e Investigación Universitaria. Actualmente se desempeña como Subdecano y Docente de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte. Posee más de 20 años de experiencia en instituciones y empresas Industriales con cursos de Especialización en países como Francia, España, Alemania, Brasil, México, Estados Unidos, entre otros.

A través de su servicio ha colaborado de manera constante e incondicional en el voluntariado del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos-IEEE como promotor y Consejero de la Rama Estudiantil IEEE-UTN a partir del año 2007, conjuntamente es miembro de la Sociedad de Comunicaciones COMSOC y del Grupo de Afinidad Mujeres en la Ingeniería WIE. Durante el transcurso de su voluntariado activo en el IEEE ha venido apoyando las iniciativas de la rama estudiantil, mismas que han repercutido de forma exitosa a nivel de sección Ecuador.