

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA AUTOMÁTICO DE RIEGO POR GOTEO
PARA OPTIMIZAR EL USO DEL AGUA EN CULTIVOS EN EL MUNICIPIO DE VILLA
VIEJA.

JUAN CAMILO PEREZ CALDERON
MILLER OCAMPO MARTINEZ

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRONICA
NOVIEMBRE 2011
NEIVA-HUILA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA AUTOMÁTICO DE RIEGO POR GOTEO
PARA OPTIMIZAR EL USO DEL AGUA EN CULTIVOS EN EL MUNICIPIO DE VILLA
VIEJA.

JUAN CAMILO PEREZ CALDERON
MILLER OCAMPO MARTINEZ

Director:
GERMAN MARTINEZ BARRETO
Ingeniero electrónico

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRONICA
NOVIEMBRE 2011
NEIVA-HUILA

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del primer jurado

Firma del segundo jurado

Neiva, 30 de Marzo de 2012

A Dios.
A mis abuelos Gustavo Adolfo y Ana Jovita, son las personas más maravillosas del mundo;
Por su ejemplo siempre vivirán en mis recuerdos y en cada una de mis acciones.
A mis padres Germán de Jesús y María Liset, gracias por su amor y comprensión.
A Lisseth a quien Amo y respeto profundamente.
A toda mi familia por ser tan maravillosa, espero ser siempre digno de su apoyo y de su amor.

JUAN CAMILO PEREZ CALDERON

Entender que las cosas se tienen que esperar en el tiempo de Dios y no en el tiempo del hombre, me costó mucho trabajo. Pero hoy estoy aquí aceptando que el tiempo de Dios es perfecto y que no se trata de llegar primero sino de saber llegar.

Le doy gracias a Dios por la pausa en el camino, porque por un tiempo me cambió el título y el cartón, por pañales, leche y teteros. Los desvelos no fueron por números y ecuaciones, sino por arrullos y llantos. Porque me compensó con una esposa y madre amorosas que me tuvieron paciencia y nunca dejaron de creer en mí.

Hoy el tiempo llegó, y veo una recompensa infinita a la espera que muchos no entendieron y que otros tantos criticaron. Esta alegría la hubiera recibido solo hace muchos años, hoy la recibe mi hijo, mi esposa, mi madre y hermanos.

Gracias a mis familiares, en especial a mis tíos que creyeron en mí e invirtieron en mi educación, que me formaron con su ejemplo de hombres respetables, honorables y correctos. Infinitas Gracias a mi abuelita Amalia, y mi Madre Mery Ruth, pilares de mi familia, quienes me vieron crecer, me educaron, me castigaron pero sobretodo me han amado como solo madre y abuela saben hacerlo. Gracias a mi Padre Gustavo, que desde el cielo me ha cuidado toda la vida. Espero que este orgulloso del hombre que soy.

Gracias Señor, por tu amor infinito, gracias por ser siempre mi compañero de batallas.

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|------|
| INTRODUCCION | 16 |
| 1. DESCRIPCION DEL PROYECTO | 17 |
| 2. DESARROLLO DEL SISTEMA ELECTRONICO DEL DISPOSITIVO USB | 19 |
| 2.1 DISPOSITIVO USB | 19 |
| 2.2 IMPLEMENTACION DEL DISPOSITIVO USB | 21 |
| 2.2.1 Human Interface Device 03h | 21 |
| 2.2.2 VID/PID | 22 |
| 2.3 MICROPROCESADOR PIC 18F4550 | 22 |
| 2.3.1 Características del puerto VUSB del Microprocesador pic 18F4550 | 23 |
| 2.3.2 Estructura interna USB del Microprocesador pic 18F4550 | 23 |
| 2.4 PROGRAMACION DEL MOCROPROCESADOR 18F4550 | 24 |
| 2.4.1 Programa del dispositivo USB en lenguaje c | 24 |
| 2.4.2 Descriptor USB_DESC_HIDP.H de CSS C Compiler | 25 |
| 2.4.3 Descriptor USB_DESC_HIDP.H modificado para el dispositivo USB | 26 |
| 2.5 CONEXIÓN Y ENUMERACION DEL DISPOSITIVO USB | 27 |
| 3. DESARROLLO DEL SISTEMA ELECTRONICO DEL DISPOSITIVO DE CONTROL | 31 |
| 3.1 CONTROL AUTOMATICO | 31 |
| 3.2 METODO DE CONTROL ENCENDIDO – APAGADO | 31 |
| 3.3 IMPLEMENTACION DEL DISPOSITIVO DE CONTROL | 34 |
| 3.4 MICROPROCESADOR PIC 16F877A | 35 |
| 3.4.1 Características modulo convertidor analógico digital A/D | 35 |
| 3.4.2 Pasos en la conversión analógica digital | 36 |

| | |
|--|----|
| 3.5 PROGRAMACION DEL MICROPROCESADOR 16F877A | 37 |
| 3.5.1 Programa del dispositivo de control en lenguaje c | 40 |
| 3.6 SENSOR DE TEMPERATURA LM35DZ | 47 |
| 3.6.1 Características del sensor de temperatura LM35 | 48 |
| 3.6.2 Acondicionamiento de la señal de temperatura | 48 |
| 3.7 SENSOR DE HUMEDAD WATERMARK | 49 |
| 3.7.1 Indicadores de humedad en el suelo | 56 |
| 3.8 POTENCIOMETRO LINEAL INDUSTRIAL DE POSICION | 56 |
| 3.9 ALIMENTACION ETAPA DE POTENCIA EN EL DISPOSITIVO DE CONTROL | 58 |
| 4. MODULOS DE COMUNICACIÓN INALAMBRICA XBEE | 60 |
| 4.1 CIRCUITO BASICO DE CONEXIÓN DEL MODULO XBEE | 60 |
| 4.2 MODO DE CONEXIÓN TRANSPARENTE | 61 |
| 4.2.1 Enlace punto a punto | 61 |
| 4.3 COMUNICACIÓN INALAMBRICA ENTRE MODULOS DE RADIOFRECUENCIA XBEE | 62 |
| 4.3.1 APLICACIÓN X-CTU | 62 |
| 4.4 COMUNICACIÓN INALAMBRICA ENTRE DISPOSITIVOS | 64 |
| 5. INTERFAZ VISUAL BASIC | 66 |
| 6. CONCLUSIONES | 73 |
| 7. RECOMENDACIONES | 74 |
| 8. COSTO DEL PROYECTO | 75 |
| 9. BIBLIOGRAFIA | 76 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|------------|
| Tabla 2.1 Características del pic 18F4550 | Pág. 23 |
| Tabla 3.1 Equivalencia de valores de presión con valores de resistencia | 50 |
| Tabla 3.2 Características potenciómetro lineal industrial | 57 |
| Tabla 8.1 Costo del proyecto | 75 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 1.1 Sistema automático de riego por goteo SARGUS | 17 |
| Figura 1.2 Diagrama básico de comunicación entre dispositivos | 18 |
| Figura 1.3 Diagrama de bloques del sistema automático de riego | 18 |
| Figura 2.1 Esquema del dispositivo USB en ISIS | 19 |
| Figura 2.2 Diseño del circuito del dispositivo USB en ARES | 20 |
| Figura 2.3 Dispositivo USB | 20 |
| Figura 2.4 Diagrama de obtención de 48MHz para el dispositivo USB | 21 |
| Figura 2.5 Diagrama de pines Microprocesador pic 18F4550 | 22 |
| Figura 2.6 Estructura interna USB del Microprocesador pic 18F4550 | 23 |
| Figura 2.7 Descriptor VID/PID original | 25 |
| Figura 2.8 Descriptor cadena presentación original | 26 |
| Figura 2.9 Descriptor VID/PID modificado | 26 |
| Figura 2.10 Descriptor cadena presentación modificado | 27 |
| Figura 2.11 Fallo en la conexión y enumeración del dispositivo USB | 28 |
| Figura 2.12 Instalando software de controlador de dispositivo | 28 |
| Figura 2.13 Reconocimiento del dispositivo USB controlador instalado correctamente | 28 |
| Figura 2.14 Administrador de dispositivos | 28 |
| Figura 2.15 Dispositivo de entrada USB | 29 |
| Figura 2.16 Propiedades dispositivo de entrada USB | 29 |
| Figura 2.17 Propiedades generales del dispositivo USB | 30 |
| Figura 2.18 Propiedades del controlador del dispositivo USB | 30 |
| Figura 2.19 Detalles del dispositivo USB | 30 |

| | |
|---|----|
| Figura 3.1 Diagrama de bloques del control de dos posiciones | 31 |
| Figura 3.2 Diagrama de bloques del control de dos posiciones con brecha diferencial | 32 |
| Figura 3.3 Señal de salida de acuerdo a la señal de control | 32 |
| Figura 3.4 Diagrama de bloques de control de nivel | 33 |
| Figura 3.5 Diagrama de bloques de control de humedad | 33 |
| Figura 3.6 Esquema del dispositivo de control en ISIS | 34 |
| Figura 3.7 Diseño del circuito del dispositivo de control en ARES | 34 |
| Figura 3.8 Dispositivo de control | 35 |
| Figura 3.9 Diagrama de pines Microprocesador pic 16F877A | 35 |
| Figura 3.10 Estructura interna modulo A/D | 36 |
| Figura 3.11 Diagrama de flujo de configuración modulo A/D | 37 |
| Figura 3.12 Diagrama de flujo de comunicación serie | 38 |
| Figura 3.13 Diagrama de flujo de control | 39 |
| Figura 3.14 Diagrama de flujo de lectura/escritura EEPROM | 40 |
| Figura 3.15 Sensor LM35DZ | 47 |
| Figura 3.16 Diagrama de bloque funcionamiento del sensor LM35DZ | 47 |
| Figura 3.17 Pines de conexión del sensor LM35DZ | 48 |
| Figura 3.18 Sensor de humedad en el suelo marca Watermark | 49 |
| Figura 3.19 Relación lectura analógica digital – humedad 0.85 | 52 |
| Figura 3.20 Relación lectura analógica digital – humedad 0.24 | 52 |
| Figura 3.21 Relación lectura analógica digital – humedad 0.2469 | 53 |
| Figura 3.22 Relación lectura analógica digital – humedad 0.35 | 54 |
| Figura 3.23 Relación lectura analógica digital – humedad 0.43 | 54 |
| Figura 3.24 Relación lectura analógica digital – humedad 0.53 | 55 |
| Figura 3.25 Relación lectura analógica digital – humedad 0.75 | 56 |

| | |
|--|----|
| Figura 3.26 Potenciómetro lineal Industrial de 10 K Ω | 57 |
| Figura 3.27 Polea para medición de nivel de agua | 58 |
| Figura 3.28 Pines de conexión Triac BT136E | 59 |
| Figura 3.29 Circuito de potencia | 59 |
| Figura 4.1 Modulo de RF XBee PRO 900 693 mW 802.15.4. | 60 |
| Figura 4.2 Conexión básica de funcionamiento del modulo XBee | 61 |
| Figura 4.3 Conexión punto a punto | 62 |
| Figura 4.4 Icono de acceso directo al programa X-CTU | 62 |
| Figura 4.5 Interfaz de la aplicación X-CTU | 63 |
| Figura 4.6 Comunicación con el XBee 1 OK | 63 |
| Figura 4.7 Comunicación con el XBee 2 OK | 63 |
| Figura 4.8 Transmisión/Recepción correcta y calidad excelente en la señal RF | 64 |
| Figura 4.9 Visualización 1 de datos en el Hyper Terminal | 65 |
| Figura 4.10 Visualización 2 de datos en el Hyper Terminal | 65 |
| Figura 5.1 Acceso a la interfaz grafica | 66 |
| Figura 5.2 Contraseña incorrecta | 67 |
| Figura 5.3 Interfaz grafica de usuario dispositivo HID desconectado | 67 |
| Figura 5.4 Interfaz grafica de usuario dispositivo HID conectado | 68 |
| Figura 5.5 Menu > Controlador > Set Points | 68 |
| Figura 5.6 Set Points Controller | 69 |
| Figura 5.7 Menú > Controlador > Actualizar Estado | 69 |
| Figura 5.8 Interfaz grafica de usuario dispositivo HID conectado 1 | 70 |
| Figura 5.9 Interfaz grafica de usuario dispositivo HID conectado 2 | 70 |
| Figura 5.10 Interfaz grafica de usuario dispositivo HID conectado 3 | 71 |
| Figura 5.11 Menú > Archivo > Export to... | 71 |

Figura 5.12 Exportar a Excel

72

Figura 5.13 Tabla de datos en Excel

72

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A Características de los módulos transceptores XBee - PRO

ANEXO B hoja de datos sensor de humedad WATERMARK

ANEXO C hoja de datos potenciómetro lineal HONEYWELL RV6NAYSD103A

ANEXO D Código fuente de interfaz grafica SARGUS

GLOSARIO

USB (universal serial bus): Es el bus serial universal, puerto que permite conectar dispositivos periféricos a un equipo de control mediante el modo plug and play.

TRANSCEIVER: El transceptor es un dispositivo electrónico que tiene la capacidad de recibir datos y de transmitirlos usando el mismo canal de comunicación.

TRANSFERENCIAS: La comunicación entre el computador y el dispositivo periférico USB se logra con el envío y recepción de mensajes (transferencias), estas a su vez son un conjunto de paquetes (transacciones).

ENDPOINT: Los puntos finales hacen parte del dispositivo USB como una dirección única que es fuente o lugar de almacenamiento de información en la comunicación entre el computador y el dispositivo.

PIPES: Los enlaces USB son un enlace virtual equipo – dispositivo, se definen y crean durante la inicialización del protocolo USB, antes de que se haga la transferencia se haga el computador y el dispositivo establecen una vía de comunicación donde se configura el ancho de banda, el tipo de transferencia, la dirección del flujo de datos y el tamaño del paquete de datos, es una asociación entre el endpoint del dispositivo y el software del computador.

RESUMEN

En este proyecto se implemento un sistema de monitoreo y control de las variables de temperatura, humedad del suelo y nivel de agua en un tanque de almacenamiento en la granja Villa Regina ubicada en el municipio de Villa vieja (Huila), básicamente se trata de un conjunto de dispositivos con funciones definidas, un dispositivo de adquisición y medición recibe las señales específicas de los sensores de temperatura, nivel de agua y humedad en el suelo; Controla el funcionamiento del sistema como el encendido de una electrobomba, la apertura o cierre de las electroválvulas, la notificación de situaciones de riesgo por medio de alarmas sonoras o visuales; El sistema requiere que el usuario defina una sola vez los valores iniciales de temperatura, nivel de agua en el tanque y humedad en el suelo, estos valores se almacenan y se pueden manipular dependiendo de las necesidades del cultivo; Después el proceso de riego es automático.

Los datos procesados en el dispositivo de control se envían a un dispositivo USB que funciona como puente de comunicación con el computador haciendo uso del puerto USB, entonces la información es vista en la interfaz de usuario desde donde se monitorea y controla el sistema. La comunicación entre dispositivos es inalámbrica por medio de módulos XBee y funciona en ambos sentidos, primero el usuario establece la información inicial del sistema y luego el control le devuelve el reporte de cómo se desarrolla el proceso de riego. Al final se tiene un sistema automatizado, inalámbrico y portátil.

ABSTRACT

In this project was implemented a system to monitor and control variables of temperature, soil moisture and water level in a storage tank at a farm Villa Regina located in Villa vieja town (Huila), is basically a set of devices whit defined functions, an acquisition and measurement device receives specific signals from the sensors of temperature, soil moisture and water level; Control the system operation as the ignition of an electric water pump, opening or closing of electric valves, notification of hazardous situations by visual or audible alarms; The system requires than user to define once the initial values of temperature, water level in the tank and soil moisture, these values are stored and can be manipulated depending on the needs of the crop; After the process is automatic.

The data processed by the control device are sent to a USB device that works as a bridge of communication with the computer using the USB port, then information is seen the user interface from which monitors and controls the system. The wireless communication between devices is via XBee and works both ways; first the user sets the initial information the system then returns control to the report of how the process unfolds irrigation. At the end you have an automated system, wireless and portable.

INTRODUCCION

En la actualidad el sector agrícola utiliza diversas aplicaciones tecnológicas en sus procesos, la automatización de riegos es de las más importantes porque es fundamental suministrar el agua en el momento justo según la evolución y necesidades del cultivo en la cantidad adecuada, logrando altos niveles de eficiencia en el uso del agua, la energía y los fertilizantes, reduciendo costos de producción y consumo de agua.

La automatización del sistema de riego se basa en el uso de microprocesadores y permite el control de la instalación del circuito de riego adaptándolo a la situación ambiental y a los estados del cultivo, economizando en recursos de mano de obra, energía eléctrica y lo más importante el agua que ha despertado total interés debido al papel vital que juega en la vida humana y la creciente dificultad para obtenerla con el fin de abastecer los servicios requeridos, entonces es primordial cuidarla en cualquier comunidad, sobre todo en zonas donde el servicio o suministro es costoso y algunas veces irregular.

Por otra parte en los últimos años se ha dado un importante desarrollo en los sistemas de comunicaciones basados en la transmisión digital de datos haciendo uso de diferentes métodos de propagación, las comunicaciones inalámbricas son una de las herramientas con mayor auge en la actualidad, obedeciendo a necesidades donde el uso de cables no es viable, es una alternativa para disponer de datos en tiempo real, accediendo a la información de manera oportuna y confiable.

1. DESCRIPCION DEL PROYECTO

El riego por goteo superficial tiene en sus tuberías pequeños goteros ubicados cerca a las plantas, así que se busca que solo la raíz de la planta reciba el agua que necesita; este es el método más apropiado para el cultivo en la zona donde se encuentra ubicada la granja por ser un suelo semiárido en donde el agua escasea y se requiere optimizar este recurso.

En la granja hay un aljibe que es la fuente principal de suministro de agua y se obtiene por medio de una electrobomba que extrae el agua para ser llevada hasta un tanque de almacenamiento con capacidad de reserva de 1000 Litros, este se encuentra sobre una base a 2 metros de altura desde donde el líquido llega por gravedad a los surcos del plantío.

Cuando el riego es hecho por un operario que enciende la electrobomba y abre la válvula de suministro para el cultivo, es posible que se comentan errores por olvido o por que el tiempo de riego se maneja con un temporizador, por lo tanto no se sabe si la planta sufre estrés por falta de agua o por exceso de la misma.

Figura 1.1 Sistema automático de riego por goteo SARGUS.



El proceso es más eficiente y confiable cuando cada uno de los elementos que intervienen en el funcionan de manera automática como respuesta a las situaciones y condiciones que se presentan en el circuito de riego; Con la programación de un microprocesador se implementa primero un dispositivo de control que indica a la electrobomba que debe comenzar a bombear en el momento que el nivel de agua en el tanque de almacenamiento este por debajo de lo establecido, también indica a la electroválvula que debe abrir para que pase el agua hacia el cultivo, o cerrar para

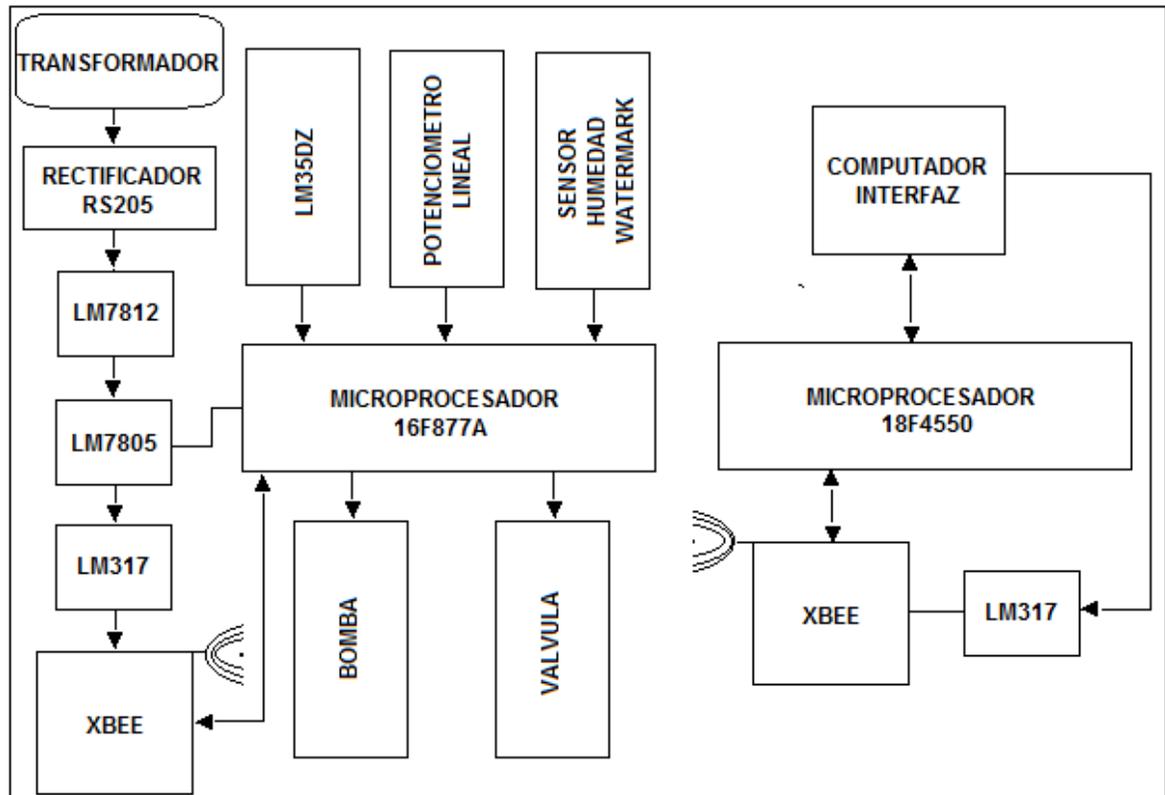
interrumpir el flujo de la misma dependiendo de la capacidad de campo como principal indicador de la humedad en el suelo.

Figura 1.2 Diagrama básico de comunicación entre dispositivos.



La programación de un segundo microprocesador permite la implementación de un dispositivo USB que funciona como puente de comunicación entre el computador y el dispositivo de control, de esta manera la información del proceso de riego llega a una estación remota; La comunicación entre el cultivo (Dispositivo de control) y la estación remota (Dispositivo USB) es inalámbrica, por lo que el usuario puede acceder a la información para monitorear el sistema automático de riego por medio de la interfaz grafica desde un computador portátil.

Figura 1.3 Diagrama de bloques del sistema automático de riego.



2. DESARROLLO DEL SISTEMA ELECTRONICO DEL DISPOSITIVO USB

2.1 DISPOSITIVO USB

Se implementa un dispositivo que permite establecer una comunicación con el computador por medio del puerto USB, se necesita un hardware para la conexión y un software para controlar la velocidad de transferencia de datos, el tipo de transferencia y el nivel de voltaje utilizado, entre otras características de transferencia de datos, se usa el microprocesador 18F4550 que tiene como característica principal en su arquitectura el manejo del puerto USB y establece la conexión necesaria para el envío y la recepción de información entre el computador y el dispositivo USB.

Figura 2.1 Esquema del dispositivo USB en ISIS.

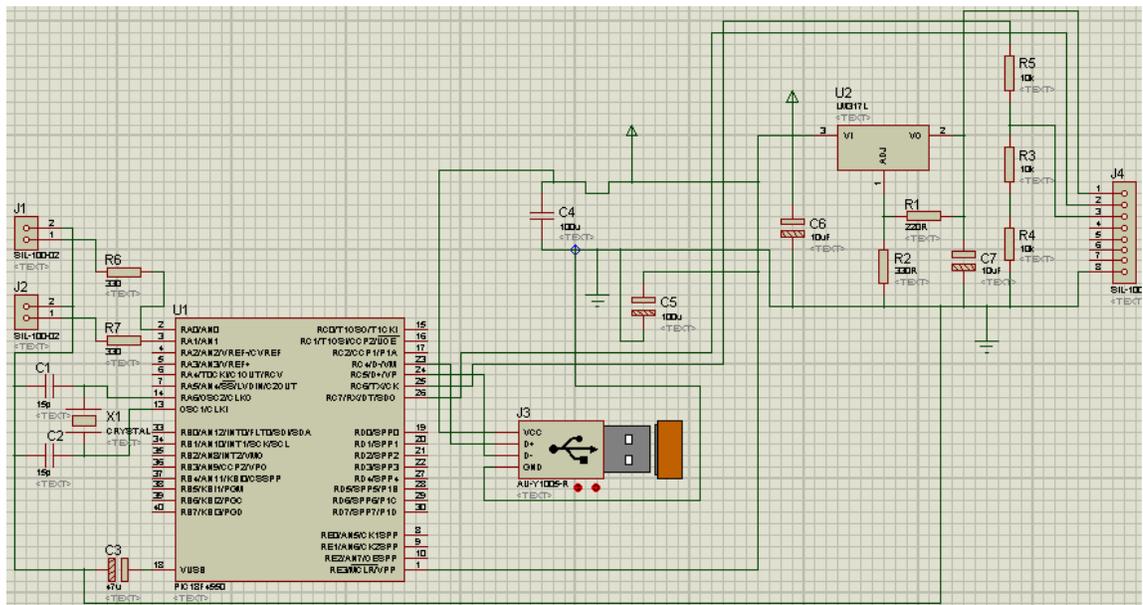


Figura 2.2 Diseño del circuito del dispositivo USB en ARES.

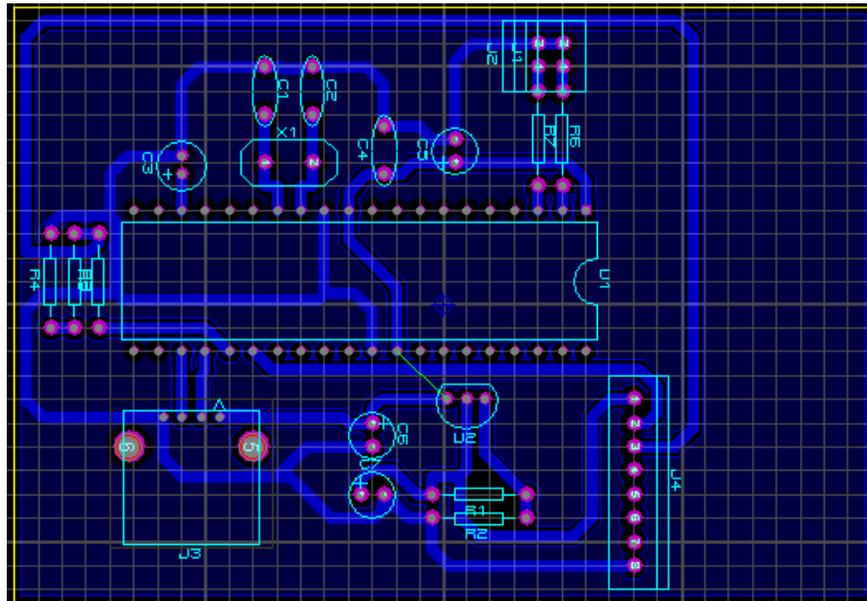
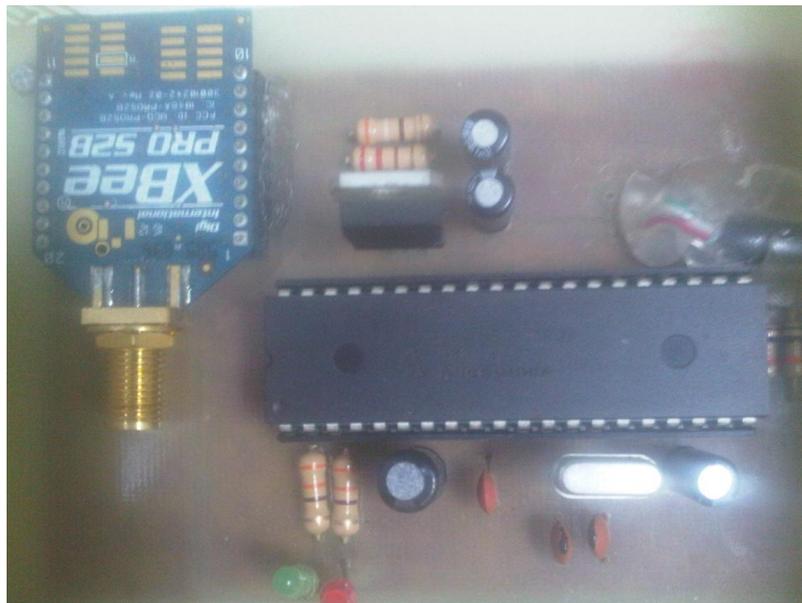
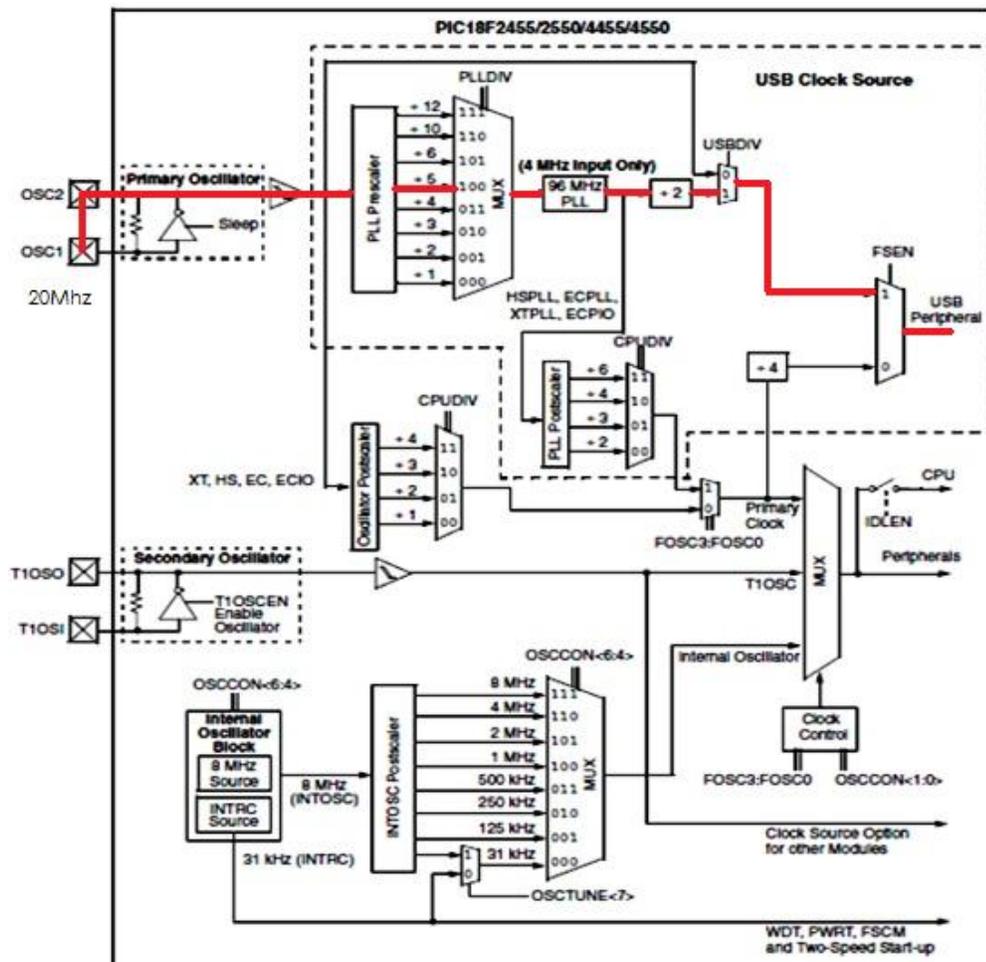


Figura 2.3 Dispositivo USB.



El dispositivo USB funciona con una frecuencia de 48 MHz con la que se acopla a la frecuencia de trabajo del puerto USB del computador, como el cristal de cuarzo utilizado con el microprocesador es de 20 MHz se modifica en el programa la frecuencia que hay a la entrada del oscilador primario.

Figura 2.4 Diagrama de obtención de 48MHz para el dispositivo USB.



Después del oscilador primario esta el USB Clock Source que controla la frecuencia de operación del modulo USB del microprocesador usando bloques de funciones internos, a su entrada se encuentra el divisor de frecuencia PLL PRESCALER con la opción PLLDIV 100 que divide entre 5 la frecuencia de 20 MHz, se obtienen 4 MHz de frecuencia que llegan al bloque 96 MHz PLL, allí se genera una frecuencia de 96 MHz que a su salida se divide entre 2 obteniendo así los 48 MHz con los que funciona el dispositivo, al final se selecciona la opción USBDIV 1 para confirmar que se usa la frecuencia que dio como resultado el proceso anterior y no la frecuencia directa del oscilador primario.

2.2 IMPLEMENTACION DEL DISPOSITIVO USB

2.2.1 Human Interface Device 03h. Es la clase que se utiliza para implementar el dispositivo USB, este se encuentra entre los dispositivos en los que el usuario interviene como el teclado, el ratón y el joystick. Con esta clase se define que se envían bloques de información al computador con tasas moderadas usando las transferencias control para

su configuración e Interrupt en su funcionamiento, la ventaja de usar esta clase es que el dispositivo no necesita instalador, es reconocido automáticamente por el computador al ser plug and play.

La clase de dispositivo USB/HID usa un controlador de HID para agrupar y direccionar todos los datos.

2.2.2 VID/PID. Son dos números que en conjunto usa el sistema operativo para clasificar el dispositivo USB y buscar en el equipo el controlador genérico que coincide y corresponde al llamado con esta información y asignarlo al dispositivo.

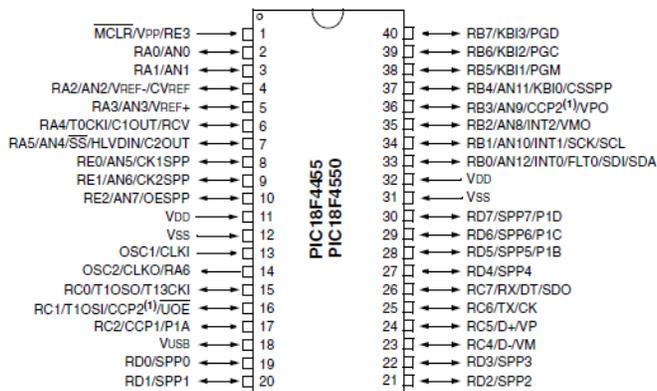
El VID (Vendor Identification) es un número de 16 bits que identifica al fabricante del hardware del dispositivo, es solicitado por todas las empresas que desarrollan dispositivos que usan el puerto USB, el numero lo asigna USB ORGANIZATION, es la licencia única de cada dispositivo que pertenece a una clase; El número 04D8h identifica a la empresa MICROCHIP, pero en la programación que describe el dispositivo USB en este proyecto se hace el cambio por 0460h.

El PID (Product Identification) también corresponde a un número de 16 bits que asigna USB ORGANIZATION para identificar el hardware del dispositivo que se conecta. El número 000Ah identifica a la familia del PIC18F4550 de la empresa MICROCHIP, pero en la programación que describe el dispositivo USB en este proyecto se hace el cambio por 0021h.

2.3 MICROPROCESADOR PIC 18F4550

Figura 2.5 Diagrama de pines Microprocesador pic 18F4550.

40-Pin PDIP



Fuente: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf>

Tabla 2.1 Características del Microprocesador pic 18F4550.

| Device | Program Memory | | Data Memory | | I/O | 10-Bit A/D (ch) | CCP/ECCP (PWM) | SPP | MSSP | | EUSART | Comparators | Timers 8/16-Bit |
|------------|----------------|----------------------------|--------------|----------------|-----|-----------------|----------------|-----|------|--------------------------|--------|-------------|-----------------|
| | Flash (bytes) | # Single-Word Instructions | SRAM (bytes) | EEPROM (bytes) | | | | | SPI | Master I ² C™ | | | |
| PIC18F4550 | 32K | 16384 | 2048 | 256 | 35 | 13 | 1/1 | Yes | Y | Y | 1 | 2 | 1/3 |

Fuente: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf>

2.3.1 Características del puerto VUSB del Microprocesador 18F4550.

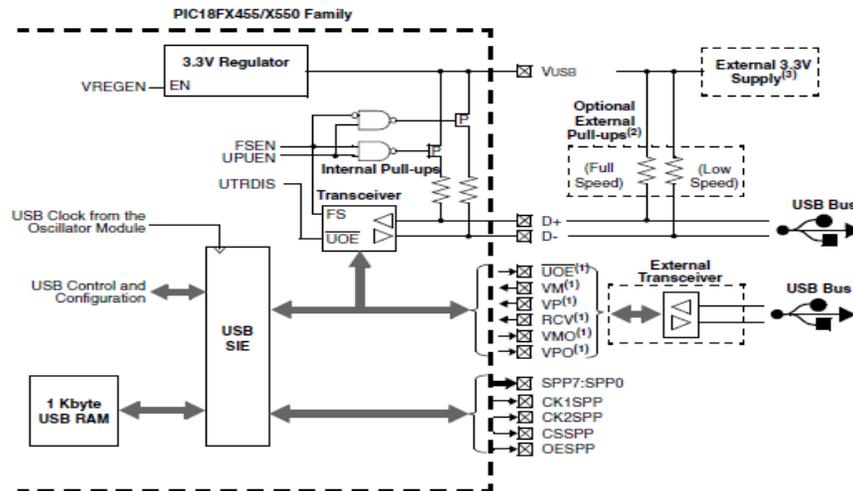
- Funciona a baja velocidad (1.5 Mb/s) y alta velocidad (12 Mb/s)
- RAM de doble acceso de 1 Kilobyte para USB
- Transceptor USB con regulador de voltaje en un solo chip
- Compatibilidad con USB V2.0

2.3.2 Estructura interna USB del Microprocesador pic 18F4550

El Microprocesador es compatible con USB, puede comunicarse con cualquier equipo que tenga puerto USB.

Como posee interface serial se conecta de forma directamente al puerto USB con el transceptor interno del Microprocesador.

Figura 2.6 Estructura interna USB del Microprocesador pic 18F4550.



Fuente: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf>

2.4 PROGRAMACION DEL MOCROPROCESADOR 18F4550

En el programa se define el microprocesador que se utiliza, la frecuencia de trabajo que tendrá el dispositivo USB, el modo de comunicación serial que se acoplará al utilizado por los transceptores de radiofrecuencia, se indica que el dispositivo es USB y el tipo de transferencia que utiliza, así como el tamaño de los buffer de entrada y salida de información; También se incluyen las librerías asociadas al manejo del dispositivo USB, los comandos necesarios para que sea reconocido y enumerado por el computador para la comunicación entre ambos. Se define además la variable y la interrupción para la entrada de datos seriales que llegan al dispositivo USB por radiofrecuencia desde el dispositivo de control, así como también la variable para la salida de datos desde el dispositivo USB por radiofrecuencia hacia el dispositivo de control.

En la programación del microprocesador se incluye un descriptor para que el dispositivo sea reconocido por Windows como un dispositivo HID (Dispositivo de Interfaz Humana) estándar y sea registrado por el computador. Al estar agrupado en la clase HID se simplifica la programación por que la definición de atributos y servicios está hecha. Solo basta entregar al sistema operativo los detalles específicos del dispositivo y que son cambios que se realizan a nivel de usuario como el Nombre, VID, PID, Fabricante, y Descripción.

El usuario no necesita instalar ningún programa controlador en el computador porque ya se encuentra instalado un genérico para dispositivos HID estándar de Windows, y este se carga automáticamente al tener VID&PID y otros parámetros de conexión de manera correcta.

2.4.1 Programa del dispositivo USB en lenguaje c.

```
#include <18F4550.h>
#include <delay(clock=48000000)>
#include <rs232(baud=9600, xmit=PIN_C6, rcv=PIN_C7, BITS=8)>

#define USB_HID_DEVICE TRUE

#define USB_EP1_TX_ENABLE USB_ENABLE_INTERRUPT
#define USB_EP1_TX_SIZE 8
#define USB_EP1_RX_ENABLE USB_ENABLE_INTERRUPT
#define USB_EP1_RX_SIZE 8

#include <pic18_usb.h>
#include "usb_desc_hidP.h"
#include <usb.c>

int8 in_data[32];
int out_data[2];
int8 InSerial,OutSerial=0;

void main()
```

```

{
usb_init();

while (TRUE)
{
usb_task();
usb_wait_for_enumeration();
if (usb_enumerated())
{
if(usb_kbhit(1))
{
usb_get_packet(1,in_data,8);
outserial= in_data[0];
putc(outserial);
}
}
}
}

```

2.4.2 Descriptor USB_DESC_HIDP.H de CCS C Compiler. El descriptor original que existe para que un dispositivo se reconozca como estándar HID se encuentra en las librerías de CCS C Compiler y la información que contiene permite que se busque el controlador genérico suministrado por MICROCHIP para esta clase de dispositivos.

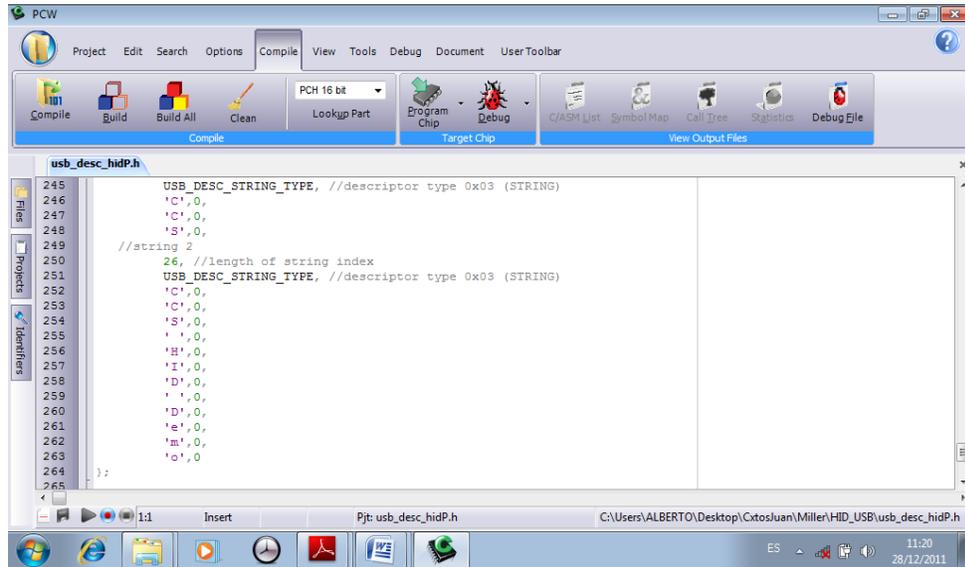
Figura 2.7 Descriptor VID/PID original.

```

usb_desc_hid.h
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2430
2431
2432
2433
2434
2435
2436
2437
2438
2439
2440
2441
2442
2443
2444
2445
2446
2447
2448
2449
2450
2451
2452
2453
2454
2455
2456
2457
2458
2459
2460
2461
2462
2463
2464
2465
2466
2467
2468
2469
2470
2471
2472
2473
2474
2475
2476
2477
2478
2479
2480
2481
2482
2483
2484
2485
2486
2487
2488
2489
2490
2491
2492
2493
2494
2495
2496
2497
2498
2499
2500
2501
2502
2503
2504
2505
2506
2507
2508
2509
2510
2511
2512
2513
2514
2515
2516
2517
2518
2519
2520
2521
2522
2523
2524
2525
2526
2527
2528
2529
2530
2531
2532
2533
2534
2535
2536
2537
2538
2539
2540
2541
2542
2543
2544
2545
2546
2547
2548
2549
2550
2551
2552
2553
2554
2555
2556
2557
2558
2559
2560
2561
2562
2563
2564
2565
2566
2567
2568
2569
2570
2571
2572
2573
2574
2575
2576
2577
2578
2579
2580
2581
2582
2583
2584
2585
2586
2587
2588
2589
2590
2591
2592
2593
2594
2595
2596
2597
2598
2599
2600
2601
2602
2603
2604
2605
2606
2607
2608
2609
2610
2611
2612
2613
2614
2615
2616
2617
2618
2619
2620
2621
2622
2623
2624
2625
2626
2627
2628
2629
2630
2631
2632
2633
2634
2635
2636
2637
2638
2639
2640
2641
2642
2643
2644
2645
2646
2647
2648
2649
2650
2651
2652
2653
2654
2655
2656
2657
2658
2659
2660
2661
2662
2663
2664
2665
2666
2667
2668
2669
2670
2671
2672
2673
2674
2675
2676
2677
2678
2679
2680
2681
2682
2683
2684
2685
2686
2687
2688
2689
2690
2691
2692
2693
2694
2695
2696
2697
2698
2699
2700
2701
2702
2703
2704
2705
2706
2707
2708
2709
2710
2711
2712
2713
2714
2715
2716
2717
2718
2719
2720
2721
2722
2723
2724
2725
2726
2727
2728
2729
2730
2731
2732
2733
2734
2735
2736
2737
2738
2739
2740
2741
2742
2743
2744
2745
2746
2747
2748
2749
2750
2751
2752
2753
2754
2755
2756
2757
2758
2759
2760
2761
2762
2763
2764
2765

```

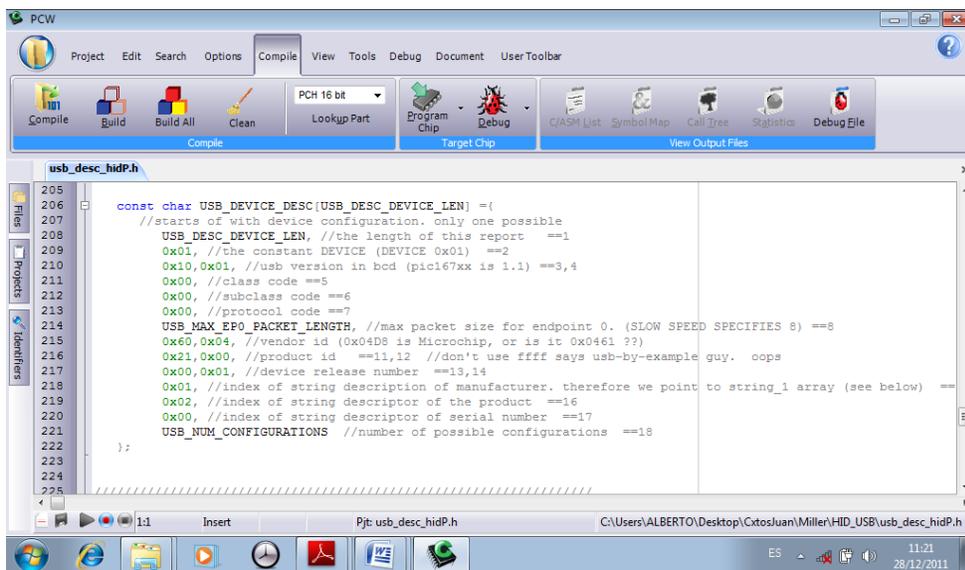
Figura 2.8 Descriptor cadena presentación original.



```
245     USB_DESC_STRING_TYPE, //descriptor type 0x03 (STRING)
246     'C',0,
247     'I',0,
248     'S',0,
249     //string 2
250     26, //length of string index
251     USB_DESC_STRING_TYPE, //descriptor type 0x03 (STRING)
252     'C',0,
253     'I',0,
254     'S',0,
255     ' ',0,
256     'H',0,
257     'I',0,
258     'D',0,
259     ' ',0,
260     'D',0,
261     'e',0,
262     'm',0,
263     'o',0
264 };
265
```

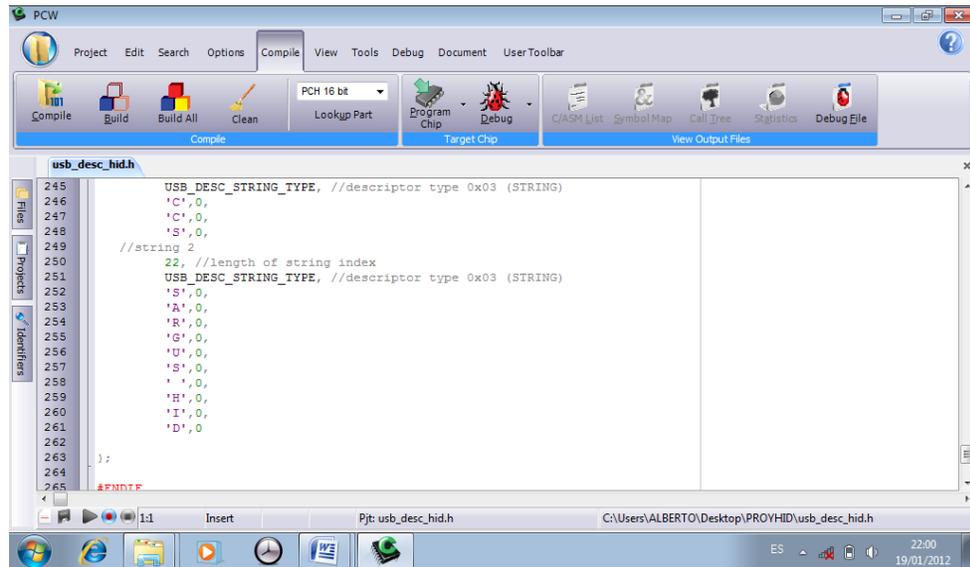
2.4.3 Descriptor USB_DESC_HIDP.H modificado para el dispositivo USB. En el descriptor se modifican los números vendor id y el vendor ip, así como también se modifica la cadena que da el nombre al dispositivo, Estos cambios son necesarios para personalizar el dispositivo USB y para integrar el software del dispositivo USB con el controlador genérico de Windows.

Figura 2.9 Descriptor VID/PID modificado.



```
205     const char USB_DEVICE_DESC[USB_DESC_DEVICE_LEN] = {
206     //starts of with device configuration. Only one possible
207     USB_DESC_DEVICE_LEN, //the length of this report ==1
208     0x01, //The constant DEVICE (DEVICE 0x01) ==2
209     0x10,0x01, //usb version in bcd (pic167xx is 1.1) ==3,4
210     0x00, //class code ==5
211     0x00, //subclass code ==6
212     0x00, //protocol code ==7
213     USB_MAX_EP0_PACKET_LENGTH, //max packet size for endpoint 0. (SLOW SPEED SPECIFIES 8) ==8
214     0x60,0x04, //vendor id (0x04D8 is Microchip, or is it 0x0461 ??)
215     0x21,0x00, //product id ==11,12 //don't use ffff says usb-by-example guy. coops
216     0x00,0x01, //device release number ==13,14
217     0x01, //index of string description of manufacturer. therefore we point to string_1 array (see below) ==
218     0x02, //index of string descriptor of the product ==16
219     0x00, //index of string descriptor of serial number ==17
220     USB_NUM_CONFIGURATIONS //number of possible configurations ==18
221     };
222
223
224
225
```

Figura 2.10 Descriptor cadena presentación modificado.



2.5 CONEXIÓN Y ENUMERACION DEL DISPOSITIVO USB

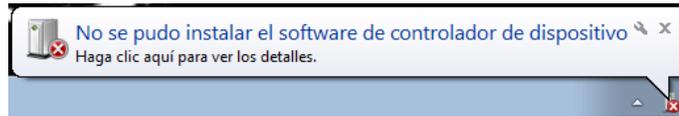
Cuando el dispositivo se conecta al puerto USB inicia el proceso de enumeración para hacer su presentación informando al computador cuáles son los parámetros en cuanto a consumo de energía, el tipo de transferencia, la clase a la que pertenece, el número y tipo de endpoints.

El primer paso es el envío de una señal de puesta a cero para determinar la velocidad del dispositivo, después se reinicia la información de sistema de dispositivo y el computador la lee para asignarle al dispositivo una dirección única de 7 bits. Se carga el controlador genérico de Windows para la comunicación con el dispositivo y se hace la configuración del dispositivo. Cada vez que el dispositivo es conectado la enumeración se repite.

La información que el computador recibe incluye la descripción de cada endpoint que el dispositivo usa, cada descriptor es un bloque de información que le informa al computador lo que necesita para comunicarse con el endpoint. En este bloque se incluye la dirección del endpoint, el tipo de transferencia, el máximo tamaño de los paquetes de datos y el intervalo entre transferencias.

En caso de no definir los detalles en la información que se suministra al equipo, o de no coincidir la información del controlador con la que tienen los descriptores, cuando se hace la conexión equipo – dispositivo no se carga automáticamente el controlador y se despliega el siguiente mensaje para alertar al usuario sobre esta situación.

Figura 2.11 Fallo en la conexión y enumeración del dispositivo USB.



En el momento de conectar el dispositivo por primera vez al equipo el plug and play detecta un nuevo hardware HID, y las cadenas de los descriptores se muestran solo en esta ocasión. En el sistema operativo esa información aparece en el mensaje informativo que se ve en la parte inferior derecha de la pantalla.

Figura 2.12 Instalando software de controlador del dispositivo.

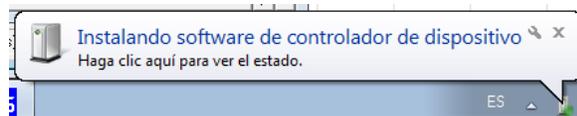
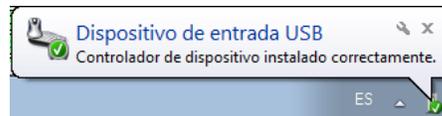
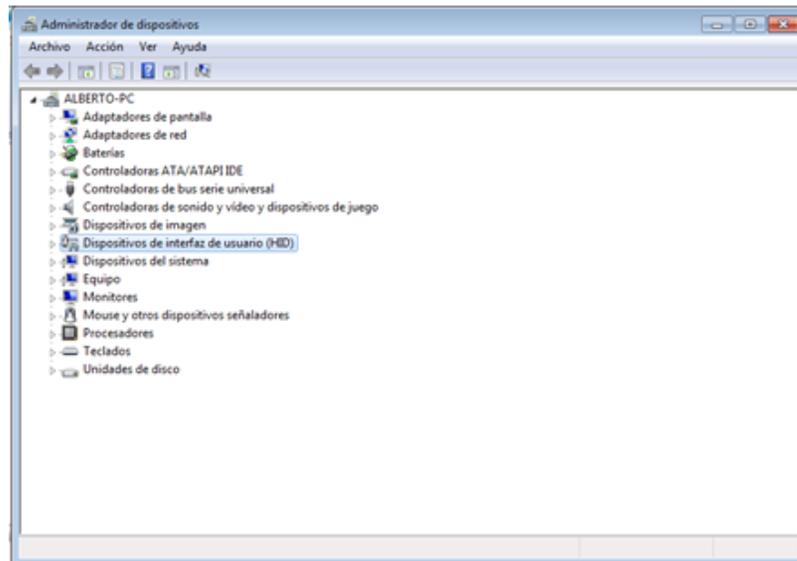


Figura 2.13 Reconocimiento del dispositivo USB controlador instalado correctamente.



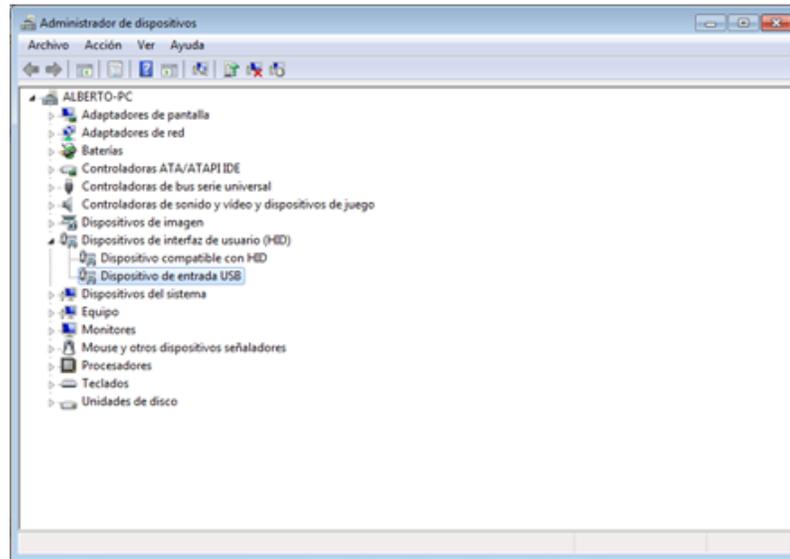
Después de que el dispositivo es reconocido esa información la toma el sistema operativo desde las cadenas contenidas en el archivo descriptor y se observan en el administrador de tareas, donde se selecciona el dispositivo y se hace clic en propiedades.

Figura 2.14 Administrador de dispositivos.



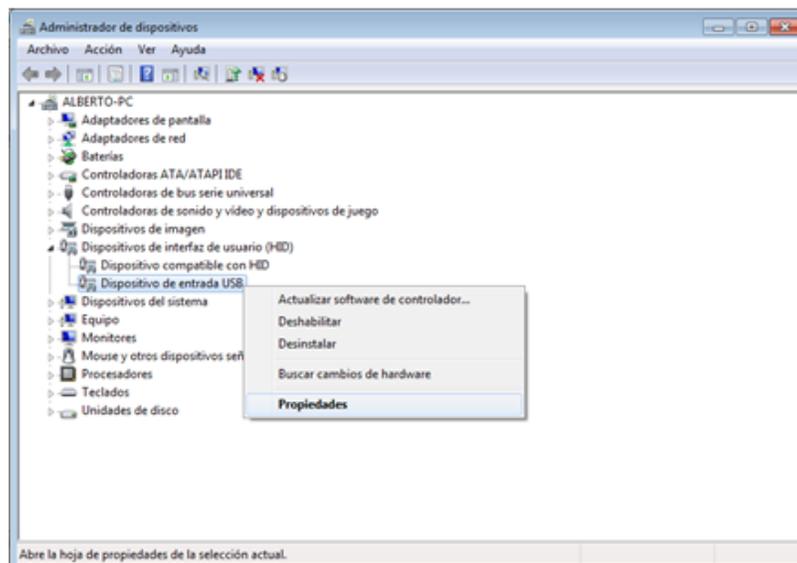
Se selecciona el dispositivo de interfaz de usuario (HID), en la opción dispositivo de entrada USB.

Figura 2.15 Dispositivo de entrada USB.



Para acceder a toda la información del dispositivo se selecciona la opción propiedades.

Figura 2.16 Propiedades del dispositivo de entrada USB.



Aquí se puede acceder a la información detallada del dispositivo en la pestaña general, pestaña controlador y pestaña detalles.

Figura 2.17 Propiedades generales del dispositivo USB.

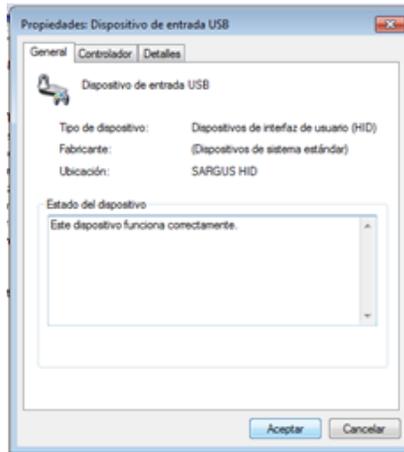
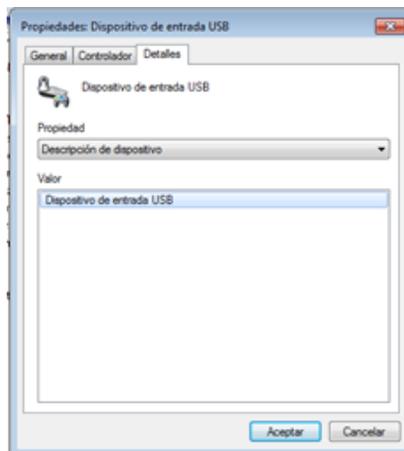


Figura 2.18 Propiedades del controlador del dispositivo USB.



Figura 2.19 Detalles del dispositivo USB.



3. DESARROLLO DEL SISTEMA ELECTRONICO DEL DISPOSITIVO DE CONTROL

3.1 CONTROL AUTOMATICO

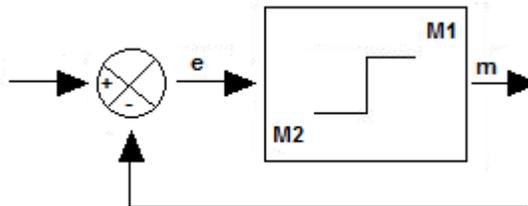
El dispositivo de control maneja todos los procesos del sistema de riego, tiene incorporando un microprocesador PIC 16F877A donde las señales analógicas procedentes de los sensores para cada una de las variables que intervienen en el proceso son convertidas en valores digitales con los cuales el dispositivo de control toma las decisiones de acuerdo a la programación interna, tiene varias salidas que se conectan con los elementos de control como son la electro bomba y la electroválvula.

Para controlar las variables del proceso sin la intervención del usuario se hace uso de unos sensores, se compara las variables reales con los valores establecidos o puntos de ajuste que le indican a los elementos finales de control el momento de actuar. Los sensores que se utilizan en este caso son el sensor LM35DZ que mide la temperatura del lugar donde se hace el riego, un potenciómetro lineal para medir el nivel de agua en el tanque de reserva al variar la posición y obtener diferentes valores de tensión, un sensor de humedad WATERMARK enterrado el suelo que mide la tensión de humedad simulando el comportamiento de la raíz de las plantas.

3.2 METODO DE CONTROL ENCENDIDO – APAGADO

El método que se usa para controlar el proceso de riego es el más sencillo pero no por eso el menos importante, es el control de dos posiciones donde la señal de salida está encendida (todo) o apagada (nada), solo cuando se cruzan los puntos de ajuste máximo o mínimo que tienen tanto el nivel de agua como la humedad en el suelo hay un cambio de posición, en este caso no se presenta ninguna posición intermedia. Cada vez que las variables atraviesan los puntos de ajuste hay un cambio en la salida de control.

Figura 3.1 Diagrama de bloques del control de dos posiciones.



El dispositivo de control entrega la señal $m(t)$ para que se de el cambio de posición, es necesario conocer el error $e(t)$ que es la señal que resulta de la diferencia entre los puntos de ajuste y el valor real de la medición, el control se encuentra encendido (M1) cuando la

señal de error es positiva o se encuentra apagado (M2) cuando la señal de error es negativa.

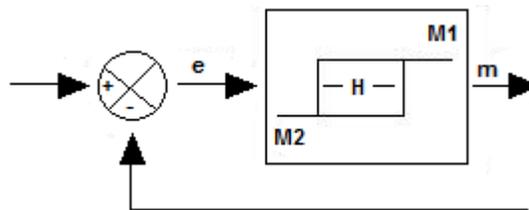
$$m(t) = M1 \text{ para } e(t) > 0$$

Ec.1

$$m(t) = M2 \text{ para } e(t) < 0$$

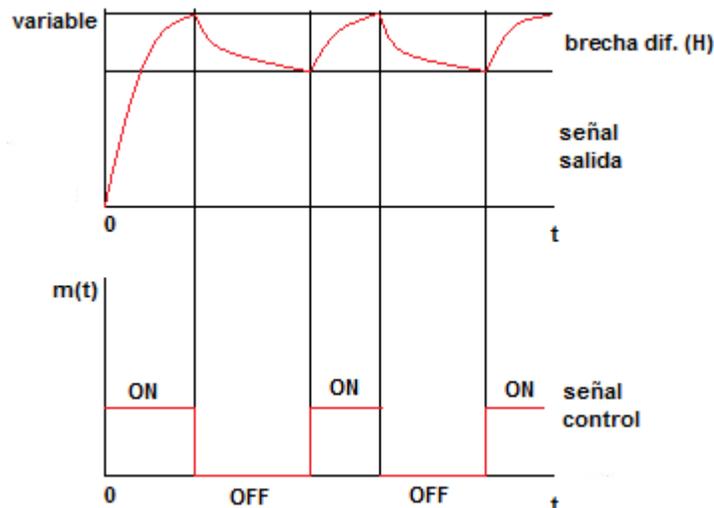
Para evitar que cuando los cambios de posición sean frecuentes se pueden producir daños en los actuadores, el usuario establece desde la interfaz los puntos de ajuste, generando una brecha diferencial (H) también conocida como zona muerta donde no hay cambio de posición.

Figura 3.2 Diagrama de bloques del control de dos posiciones con brecha diferencial.



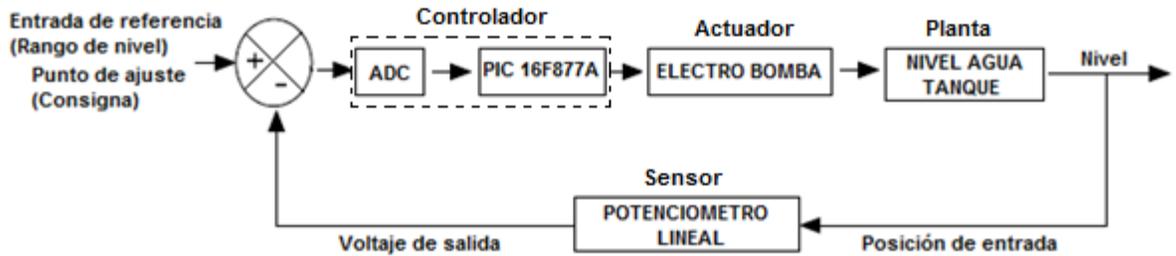
La señal de salida cambia de manera frecuente entre los límites establecidos, esta frecuencia disminuye al hacer más grande la brecha diferencial.

Figura 3.3 Señal de salida de acuerdo a la señal de control.



El control de la variable de nivel tiene en su estructura un dispositivo de control que toma las decisiones de acuerdo a su programación interna, un potenciómetro que mide el valor real de nivel de agua de acuerdo a su posición, una electro bomba que enciende o apaga afectando el nivel del tanque de almacenamiento.

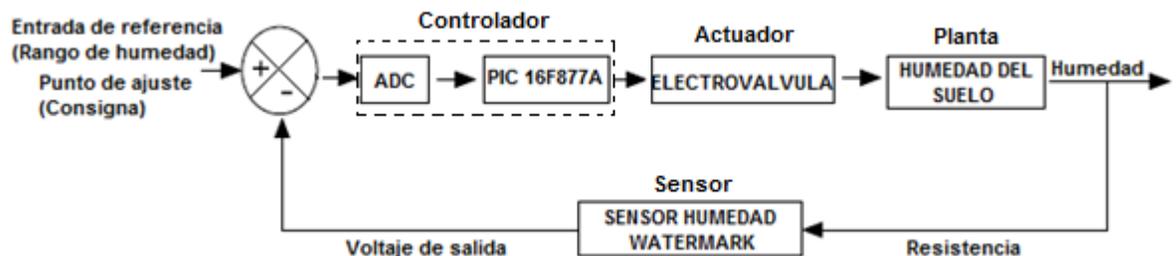
Figura 3.4 Diagrama de bloques de control de nivel.



Se observa un lazo cerrado donde la variable de salida nivel del proceso de llenado y vaciado del tanque se mide y con ello realimenta al dispositivo de control, quien compara constantemente esta medición con los valores que tiene establecidos, de esta manera si el nivel es menor o igual que el valor mínimo permitido se enciende la electro bomba que se mantiene en este estado hasta que se cumpla el límite de la brecha diferencial que en este caso es cuando el nivel es mayor o igual que el valor máximo permitido entonces la electro bomba se apaga; Cuando el nivel es menor que el valor máximo permitido se vuelve a ingresar a la zona muerta pero ahora la electro bomba se mantiene en estado apagado y solo vuelve a encenderse hasta llegar de nuevo al límite opuesto.

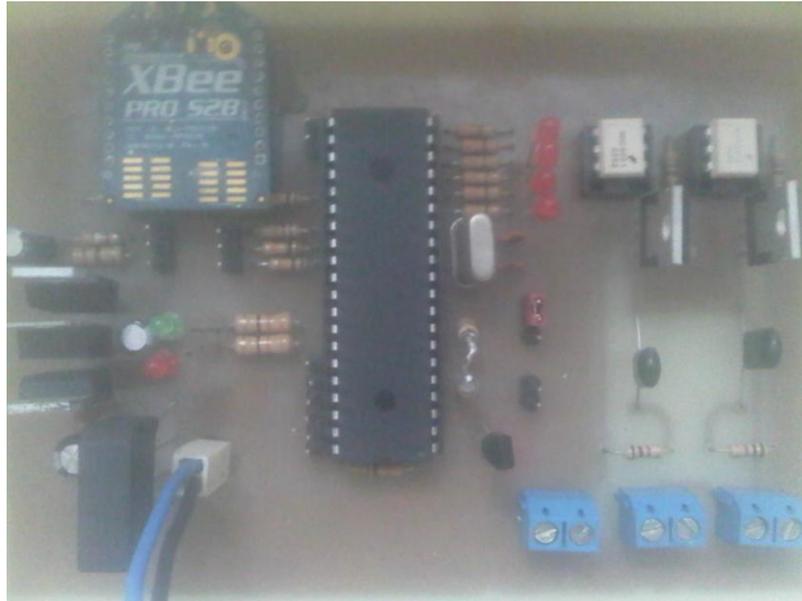
El control de la variable de humedad tiene en su estructura un dispositivo de control que toma las decisiones de acuerdo a su programación interna, un sensor que mide el valor real de tensión en el suelo de acuerdo a su resistencia variable en función de la cantidad de agua, una electroválvula que enciende o apaga afectando la humedad de agua en el suelo.

Figura 3.5 Diagrama de bloques de control humedad.



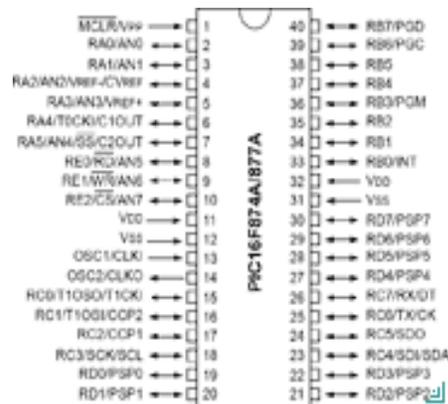
Se observa un lazo cerrado donde la variable de salida humedad del proceso de riego del suelo se mide y con ello realimenta al dispositivo de control, quien compara constantemente esta medición con los valores que tiene establecidos, de esta manera si la humedad es mayor o igual que el valor máximo permitido se enciende la electroválvula que se mantiene en este estado hasta que se cumpla el límite de la brecha diferencial que en este caso es cuando la humedad es menor o igual que el valor mínimo permitido entonces la electro bomba se apaga; Cuando el nivel es mayor que el valor mínimo permitido se vuelve a ingresar a la zona muerta pero ahora la electroválvula se mantiene en estado apagado y solo vuelve a encenderse hasta llegar de nuevo al límite opuesto.

Figura 3.8 Dispositivo de control.



3.4 MICROPROCESADOR PIC 16F877A

Figura 3.9 Diagrama de pines Microprocesador pic 16F877A.



Fuente: <http://www.bilbaoelectronics.com/pines-16f877a.html>

3.4.1 Características modulo convertidor analógico digital A/D.

- ✚ El modulo convertidor analógico digital tiene 8 canales de conversión, cinco pines de E/S de PORTA y tres de PORTE, en este caso tan solo se usan los 3 primeros A0, A1, y A2.
- ✚ La entrada de la señal analoga va a un capacitor de muestreo y retención, mientras que su salida va al convertidor que entonces genera un resultado digital

aproximado al nivel analógico de la señal de entrada, el resultado corresponde a un numero digital de los 10 bits en que se ha configurado.

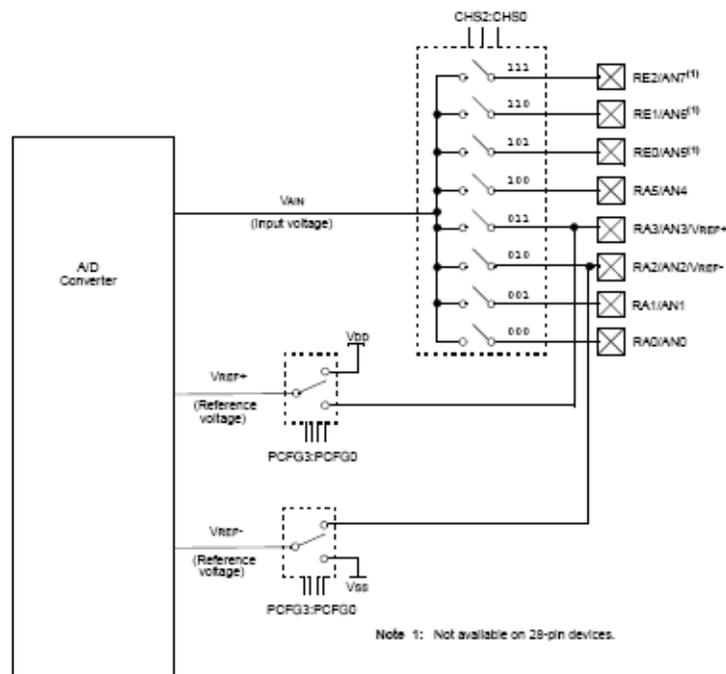
- ✚ El modulo permite los niveles alto o bajo para el voltaje de referencia en la entrada, según se seleccione por software puede ser VDD, VSS o la tensión aplicada en los pines RA2 o RA3.
- ✚ El convertidor tiene una característica única de seguir funcionando mientras el dispositivo esta en modo SLEEP.

Se configura en el programa con los comandos, `setup_adc_ports(ALL_ANALOG);` Indica que todos los canales de conversión se usan como una entrada analógica.

`set_adc_channel(X);` Indica que el canal X se fija como entrada para conversión analógica digital.

`Lectura=read_adc();` En la variable Lectura se almacena `read_adc` que es el valor analógico que se convirtió a numero binario.

Figura 3.10 Estructura interna modulo A/D.



Fuente: <http://www.bilbaoelectronics.com/A/D-16f877a.html>

3.4.2 Pasos en la conversión analógica digital.

- ✚ Configuración del modulo A/D.
- ✚ Configuración de interrupciones por conversión A/D.
- ✚ Esperar que transcurra el tiempo de adquisición.
- ✚ Inicio de la conversión.

- ✚ Esperar que se complete el proceso de conversión A/D.
- ✚ Leer el resultado de la conversión.
- ✚ Iniciar una nueva conversión A/D.

3.5 PROGRAMACION DEL MICROPROCESADOR 16F877A

En el programa se define el microprocesador que se utiliza en la implementación del dispositivo de control, el número de bits de resolución con que trabaja el convertidor analógico digital, la frecuencia de trabajo para el dispositivo, el modo de comunicación serial que se acopla con el utilizado por los transceptores de radiofrecuencia, las variables para las señales temperatura, nivel y humedad, se encuentra además establecida una interrupción para la recepción de datos seriales, se indica la posición de memoria donde se escribe y almacena el valor de referencia (set point) que el usuario establece para cada una de las variables que intervienen en el sistema, estas luego serán leídas y comparadas con las mediciones efectuadas por los sensores y de esta manera controlar en forma automática el proceso de riego.

Figura 3.11 Diagrama de flujo de configuración modulo A/D.



Figura 3.12 Diagrama de flujo de comunicación serie.

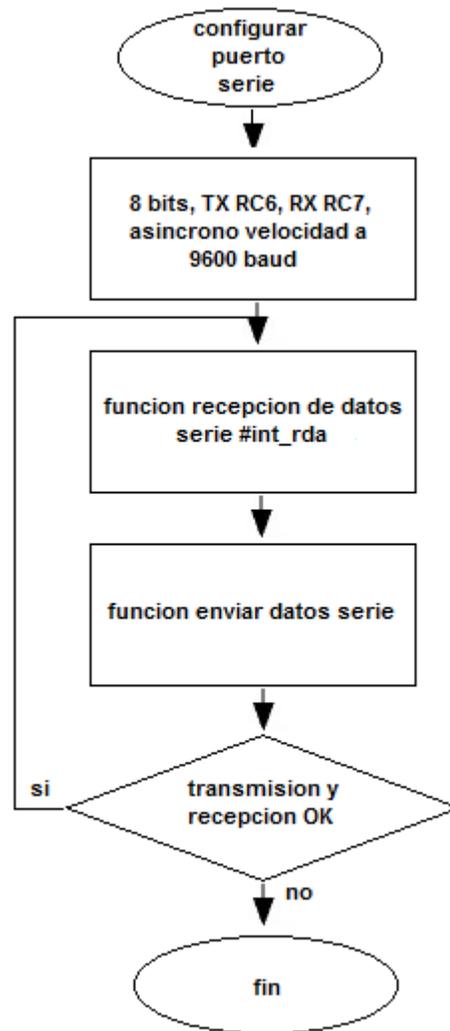


Figura 3.13 Diagrama de flujo de control.

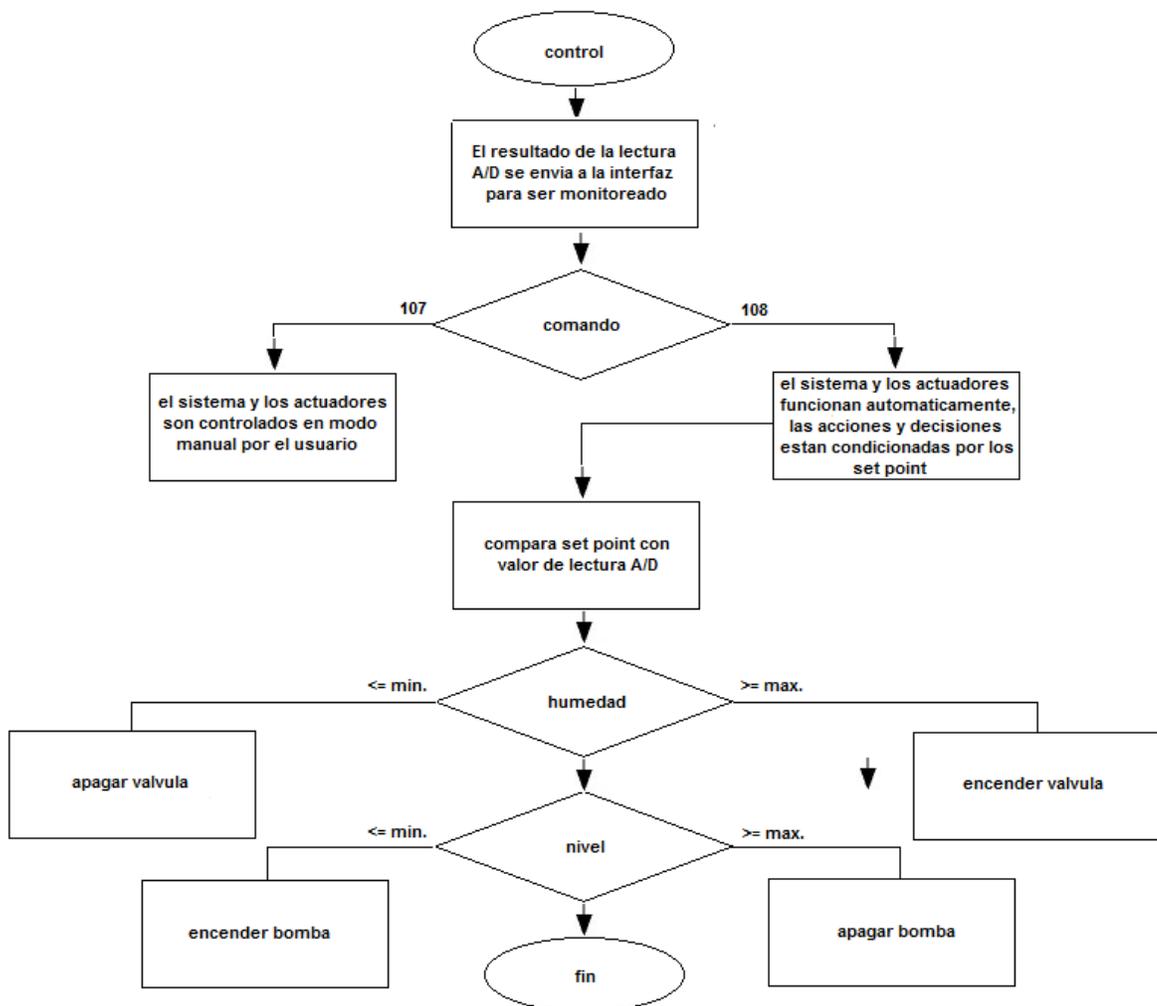
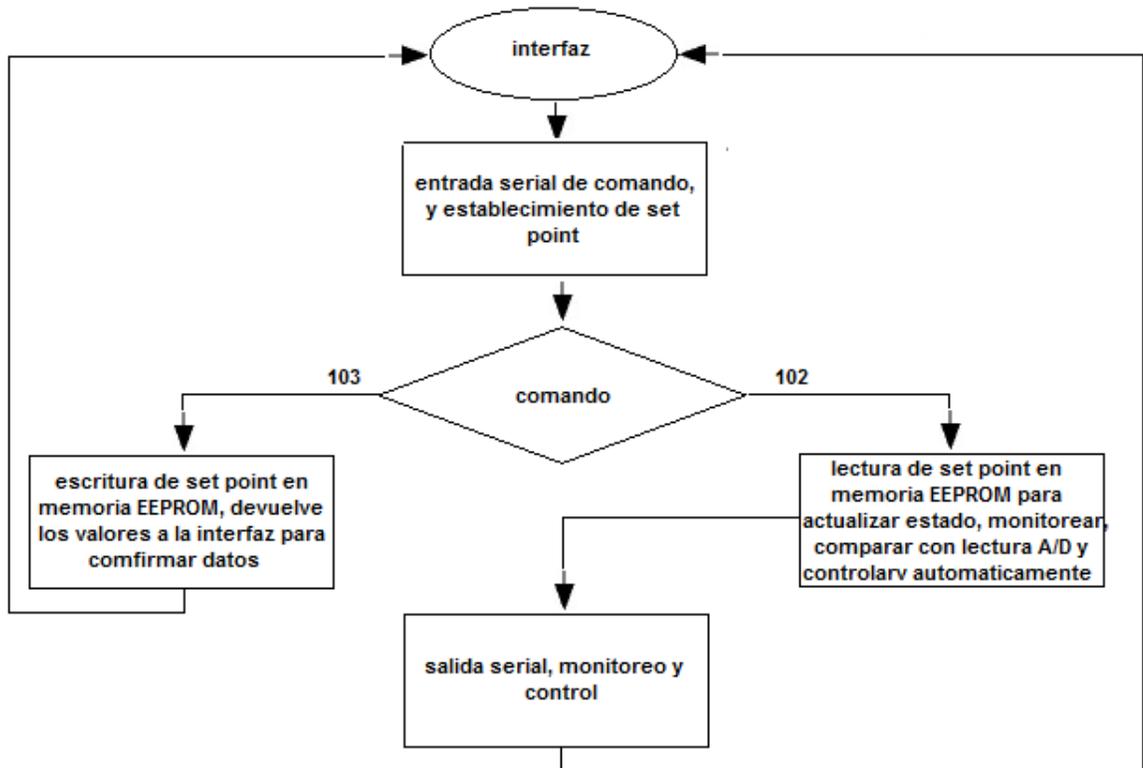


Figura 3.14 Diagrama de flujo de lectura/escritura EEPROM.



3.5.1 Programa del dispositivo de control en lenguaje c.

```

#include <16f877A.H>
#define adc=10
#define delay(clock=2000000)
#define use rs232(baud=9600, xmit=PIN_C6, rcv=PIN_C7, BITS=8)
  
```

```

int Comando, valor, dir=0;
char inserial[31];
char outserial[31];
char paquete[31];
int verify=0;
short TransOK, recibido=0;
short Automatic=1;
float Nivel,Temp,Humedad=0;
int16 lecADC,lecADC1,lecADC2;
int lvlMax=read_eeprom(0);
int lvlmin=read_eeprom(1);
int tMax=read_eeprom(2);
int tmin=read_eeprom(3);
int Hmax=read_eeprom(4);
int Hmin=read_eeprom(5);
  
```

```

int counter=0;
int i;
int hcms, hcs, hcm, bcms, bcmsl, vcms, vcmsl;

#int_rda
rda_isr()
{
output_toggle(pin_b0);
gets(inserial);
}
void enviarserie()
{
    for (i=0;i<=31;i++)
    {
        putc(outserial[i]);
        outserial[i]=0;
    }
}

void main()
{
setup_adc_ports(ALL_ANALOG);
setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_64);
enable_interrupts(int_rda);
enable_interrupts(global);

while (1)
{
    if (Comando==102)
    {
        outserial[0]=102;
        outserial[1]=102;
        for (i=1;i<=6;i++)
        {
            dir=i-1;
            outserial[i*2]=read_eeprom(dir);
            outserial[(i*2)+1]=read_eeprom(dir);
        }
        enviarserie();
        Comando=101;
    }
    if (Comando==103)
    {
        for (i=1;i<=6;i++)
        {
            dir=i-1;
            valor=paquete[i*2];
            write_eeprom (dir, valor);
        }
        for (i=0;i<=30;i++)

```

```

{
outserial[i]=paquete[i];
}
enviarserie();
Comando=101;
lvlMax=read_eeprom(0);
lvlmin=read_eeprom(1);
tMax=read_eeprom(2);
tmin=read_eeprom(3);
Hmax=read_eeprom(4);
Hmin=read_eeprom(5);
}
if (Comando==104)//ENVIAR VARIABLES
{
outserial[0]=104;
outserial[1]=104;
outserial[2]=Nivel;
outserial[3]=Nivel;
outserial[4]=temp;
outserial[5]=temp;
outserial[6]=humedad;
outserial[7]=humedad;
enviarserie();
Comando=101;
}
if (Comando==107)//Modo Manual
{
Automatic=0;
outserial[0]=107;
outserial[1]=107;
enviarserie();
Comando=101;
}
if (Comando==108)//Modo Automatico
{
Automatic=1;
outserial[0]=108;
outserial[1]=108;
enviarserie();
Comando=101;
}
if (Automatic==0)
{
output_low(pin_c0);
if (Comando==109)//Encender Bomba
{
output_high(pin_d0);
outserial[0]=109;
outserial[1]=109;
}
}
}

```

```

    enviarserie();
    Comando=101;
}
if (Comando==110)//Apagar Bomba
{
    output_low(pin_d0);
    outserial[0]=110;
    outserial[1]=110;
    enviarserie();
    Comando=101;
}
if (Comando==111)//Encender Valvula
{
    output_high(pin_d1);
    outserial[0]=111;
    outserial[1]=111;
    enviarserie();
    Comando=101;
}
if (Comando==112)//Apagar Valvula
{
    output_low(pin_d1);
    outserial[0]=112;
    outserial[1]=112;
    enviarserie();
    Comando=101;
}
if (Comando==116)//Apagar leds
{
    output_low(pin_c1);
    output_low(pin_c2);
    output_low(pin_c3);
    outserial[0]=116;
    outserial[1]=116;
    enviarserie();
    Comando=101;
}
}
else
{
    set_adc_channel(0);
    delay_ms(40);
    LecADC=read_adc();
    Temp=LecADC*(0.4883);

    set_adc_channel(1);
    delay_ms(40);
    LecADC1=read_adc();
}
}

```

```

if((LecADC1>=13) && (LecADC1<=24))
{
Humedad=((LecADC1-13)*0.85);
}
if((LecADC1>=25) && (LecADC1<=29))
{
Humedad=10;
}
if((LecADC1>=30) && (LecADC1<=49))
{
Humedad=(((LecADC1-30)*0.24)+11);
}
if((LecADC1>=50) && (LecADC1<=129))
{
Humedad=(((LecADC1-50)*0.24)+16);
}
if((LecADC1>=130) && (LecADC1<=185))
{
Humedad=(((LecADC1-130)*0.35)+36);
}
if((LecADC1>=186) && (LecADC1<=231))
{
Humedad=(((LecADC1-186)*0.43)+56);
}
if((LecADC1>=232) && (LecADC1<=277))
{
Humedad=(((LecADC1-232)*0.53)+76);
}
if((LecADC1>=278) && (LecADC1<=409))
{
Humedad=(((LecADC1-278)*0.75)+101);
}
if(LecADC1>409)
{
Humedad=200;
}

set_adc_channel(2);
delay_ms(40);
LecADC2=read_adc();
Nivel=LecADC2*0.098;

//Controlador
if (Automatic==1)
{
output_high(pin_c0);
if(Nivel>=lvlMax)
{
output_low(pin_d0);
}
}
}

```

```

bcmsl++;
}
else
{
bcmsl=0;
}
if(bcmsl==80)
{
bcmsl=0;
if(input_state(pin_d6)==0)
{
outserial[0]=118;
outserial[1]=118;
enviarserie();
output_high(pin_c3);//bomba se queda encendida
}
}
if(Nivel<=lvlmin)
{
output_high(pin_d0);
bcms++;
}
else
{
bcms=0;
}
if(bcms==80)
{
bcms=0;
if(input_state(pin_d6)==1)
{
outserial[0]=113;
outserial[1]=113;
enviarserie();
output_high(pin_c3);//bomba dañada
}
}
if(Humedad<=Hmin)
{
output_low(pin_d1);
vcms++;
}
else
{
vcms=0;
}
if(vcms==80)
{
vcms=0;
}

```

```

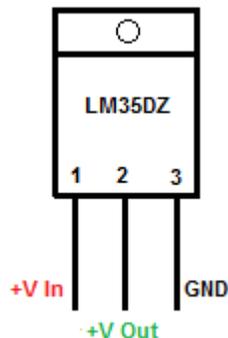
if(input_state(pin_d4)==0)
{
    outserial[0]=117;
    outserial[1]=117;
    enviarserie();
    output_high(pin_c2); //valvula dañada se queda abierta
}
}
if(Humedad>=Hmax)
{
    output_high(pin_d1);
    vcmsl++;
}
else
{
    vcmsl=0;
}
if(vcmsl==80)
{
    vcmsl=0;
}
if(input_state(pin_d4)==1)
{
    outserial[0]=114;
    outserial[1]=114;
    enviarserie();
    output_high(pin_c2); //valvula dañada se queda cerrada
}
}
if((bit_test(PORTD,1)==1) && (input_state(pin_d4)==0))
{
    hcms++;
}
else
{
    hcm=0;
}
if(hcms==8)
{
    hcms=0;
    hcs++;
    if(hcs==60)
    {
        hcs=0;
        hcm++;
        if(hcm==3)
        {
            hcm=0;
            if(Humedad>=Hmax) // si valvula ok el fallo es del sensor humedad
            {

```


3.6.1 Características del sensor de temperatura LM35DZ.

- Precisión de 1.5 °C (peor caso), 0.5 °C garantizados a 25 °C.
- No linealidad de 0.5 °C (peor caso).
- La ganancia media del sensor o factor de escala lineal de 10mV/ °C.
- Rango de alimentación comprendido entre 4 y 30 voltios.
- Baja corriente de alimentación (60uA), auto calentamiento reducido menos de 0.1 °C.
- Amplio rango de funcionamiento (desde -55 °C a + 150 °C).
- Bajo costo.
- Baja impedancia de salida 0.1 ohm para 1 mili Amperio de carga.
- No necesita calibración externa, esta calibrado directamente en grados.

Figura 3.17 Pines de conexión del sensor LM35DZ.



3.6.2 Acondicionamiento de la señal de temperatura. Se aplican 5 voltios como tensión de referencia y se escogen 10 bits de precisión, la resolución es de 0.00488 voltios como el incremento mínimo que paso a paso hace el convertidor analógico digital; El sensor de temperatura entrega 0.01 Voltios por cada grado centígrado, este valor ingresa al convertidor analógico digital donde y en el programa del microprocesador se multiplica por una constante; Con cada grado que incrementa la temperatura se incrementa en 4 la cuenta del convertidor analógico digital, pero con la multiplicación por un valor de 0.488, es como incrementar 1 en la cuenta del convertidor. Ej. 30 °C.

$$V_{Out} = 0.01 (v/^{\circ}C) * T(^{\circ}C) \quad Ec.2$$

$$V_{Out} = 0.01 (V/^{\circ}C) * 30(^{\circ}C)$$

$$V_{Out} = 0.3 V$$

$$Temp = \frac{0.3 V}{(5/1023)} * 0.488$$

$$Temp = 29.95 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

3.7 SENSOR DE HUMEDAD WATERMARK

Figura 3.18 Sensor de humedad en el suelo marca Watermark.



El sensor es de tipo granular matricial y mide indirectamente la humedad del suelo a partir de la medida de succión de agua que está dada entre 0 y 200 centibares, tiene un rango aceptablemente lineal, presenta una resistencia eléctrica variable que tiene dos electrodos contenidos en una barrera permeable con valores de $550 - 27950\Omega$, cada valor de resistencia del sensor corresponde linealmente a un valor de presión en centibares que a su vez se toma como indicador de cierto valor de humedad en el suelo. Un menor valor de resistencia y por ende una menor lectura en centibares corresponde a un suelo más húmedo.

Es un sensor económico, resistente y de rápido tiempo de respuesta que no necesita ser calibrado, el inconveniente es que no tiene tanta precisión como un sensor de tipo tensiómetro y además se degrada con el tiempo.

Tabla 3.1 Equivalencia de valores de presión con valores de resistencia.

| Presión | Resistencia | Presión | Resistencia | Presión | Resistencia | Presión | Resistencia | Presión | Resistencia |
|-----------|-------------|-----------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 0 | 550 | 40 | 6800 | 80 | 12875 | 120 | 18075 | 160 | 23075 |
| 1 | 600 | 41 | 6960 | 81 | 13010 | 121 | 18200 | 161 | 23200 |
| 2 | 650 | 42 | 7120 | 82 | 13145 | 122 | 18325 | 162 | 23325 |
| 3 | 700 | 43 | 7280 | 83 | 13280 | 123 | 18450 | 163 | 23450 |
| 4 | 750 | 44 | 7440 | 84 | 13415 | 124 | 18575 | 164 | 23575 |
| 5 | 800 | 45 | 7600 | 85 | 13550 | 125 | 18700 | 165 | 23700 |
| 6 | 850 | 46 | 7760 | 86 | 13685 | 126 | 18825 | 166 | 23825 |
| 7 | 900 | 47 | 7920 | 87 | 13820 | 127 | 18950 | 167 | 23950 |
| 8 | 950 | 48 | 8080 | 88 | 13955 | 128 | 19075 | 168 | 24075 |
| 9 | 1000 | 49 | 8240 | 89 | 14090 | 129 | 19200 | 169 | 24200 |
| 10 | 1100 | 50 | 8400 | 90 | 14225 | 130 | 19325 | 170 | 24325 |
| 11 | 1280 | 51 | 8560 | 91 | 14360 | 131 | 19450 | 171 | 24450 |
| 12 | 1460 | 52 | 8720 | 92 | 14495 | 132 | 19575 | 172 | 24575 |
| 13 | 1640 | 53 | 8880 | 93 | 14630 | 133 | 19700 | 173 | 24700 |
| 14 | 1820 | 54 | 9040 | 94 | 14765 | 134 | 19825 | 174 | 24825 |
| 15 | 2000 | 55 | 9200 | 95 | 14900 | 135 | 19950 | 175 | 24950 |
| 16 | 2200 | 56 | 9350 | 96 | 15035 | 136 | 20075 | 176 | 25075 |
| 17 | 2400 | 57 | 9500 | 97 | 15170 | 137 | 20200 | 177 | 25200 |
| 18 | 2600 | 58 | 9650 | 98 | 15305 | 138 | 20325 | 178 | 25325 |
| 19 | 2800 | 59 | 9800 | 99 | 15440 | 139 | 20450 | 179 | 25450 |
| 20 | 3000 | 60 | 9950 | 100 | 15575 | 140 | 20575 | 180 | 25575 |
| 21 | 3200 | 61 | 10100 | 101 | 15700 | 141 | 20700 | 181 | 25700 |
| 22 | 3400 | 62 | 10250 | 102 | 15825 | 142 | 20825 | 182 | 25825 |
| 23 | 3600 | 63 | 10400 | 103 | 15950 | 143 | 20950 | 183 | 25950 |
| 24 | 3800 | 64 | 10550 | 104 | 16075 | 144 | 21075 | 184 | 26075 |
| 25 | 4000 | 65 | 10700 | 105 | 16200 | 145 | 21200 | 185 | 26200 |
| 26 | 4200 | 66 | 10850 | 106 | 16325 | 146 | 21325 | 186 | 26325 |
| 27 | 4400 | 67 | 11000 | 107 | 16450 | 147 | 21450 | 187 | 26450 |
| 28 | 4600 | 68 | 11150 | 108 | 16575 | 148 | 21575 | 188 | 26575 |
| 29 | 4800 | 69 | 11300 | 109 | 16700 | 149 | 21700 | 189 | 26700 |
| 30 | 5000 | 70 | 11450 | 110 | 16825 | 150 | 21825 | 190 | 26825 |
| 31 | 5200 | 71 | 11600 | 111 | 16950 | 151 | 21950 | 191 | 26950 |
| 32 | 5400 | 72 | 11750 | 112 | 17075 | 152 | 22075 | 192 | 27075 |
| 33 | 5600 | 73 | 11900 | 113 | 17200 | 153 | 22200 | 193 | 27200 |
| 34 | 5800 | 74 | 12050 | 114 | 17325 | 154 | 22325 | 194 | 27325 |
| 35 | 6000 | 75 | 12200 | 115 | 17450 | 155 | 22450 | 195 | 27450 |
| 36 | 6160 | 76 | 12335 | 116 | 17575 | 156 | 22575 | 196 | 27575 |
| 37 | 6320 | 77 | 12470 | 117 | 17700 | 157 | 22700 | 197 | 27700 |
| 38 | 6480 | 78 | 12605 | 118 | 17825 | 158 | 22825 | 198 | 27825 |
| 39 | 6640 | 79 | 12740 | 119 | 17950 | 159 | 22950 | 199 | 27950 |

El sensor de tipo granular matricial funciona con el principio de resistencia eléctrica variable, los electrodos del sensor están dentro de un relleno granular y situados en una placa de yeso, encima de la placa hay más material matricial granular envuelto por un tubo de malla que deja entrar y salir agua del sensor; Disuelto en agua el yeso es un

conductor de electricidad bastante eficaz, por eso cuando hay mucha agua en el suelo el sensor contiene mucha agua y la corriente eléctrica fluye bien. Mientras se seca el suelo también lo hace el sensor y la resistencia al flujo de electricidad aumenta, con esta resistencia se calcula de forma aproximada el estado de humedad en el suelo en centibares. La tensión matricial del suelo (TMS) es la fuerza que las raíces de las plantas deben emplear para extraer agua del suelo. Este nivel de estrés refleja el nivel de humedad en el suelo. Mientras más alta la tensión matricial del sensor más seca está la tierra.

Se define una resistencia fija y de la cual se conozca su valor para saber que señal entrega el sensor de humedad, de acuerdo a la tabla del fabricante en el peor de los casos cuando la humedad equivale a 200 centibares, la resistencia presente en el sensor es 27950Ω. Se desea que en el sensor de humedad el valor de referencia máximo sea 2 Voltios.

$$I = \frac{2V}{27950\Omega} \quad \text{Ec.3}$$

$$I = 71.556 \mu A$$

De acuerdo a la Ec.3, la corriente que circulara por el sensor es de 71.556 uA, entonces se puede establecer la resistencia fija o limitadora de corriente.

$$R \text{ lim} = \frac{5V-2V}{71.556 \mu A} \quad \text{Ec.4}$$

$$R \text{ lim} = 41925 \Omega$$

El valor que se escoge de acuerdo a la Ec.4 es de 42 KΩ, aunque el sensor no necesita calibración se hace un algoritmo que permite relacionar los valores de resistencia que indica el fabricante con su respectivo valor de humedad en el suelo que al sumarse el valor de la resistencia fija en serie con los 28 KΩ del sensor en estado seco suman 70 KΩ.

Para obtener un valor de lectura analógica digital para cualquier valor del sensor de humedad, Ej. 1000Ω se recurre a la siguiente ecuación:

$$\text{Valor} = \left(\frac{5V * R \text{ tabla}}{R \text{ total}} \right) / \text{Resolución} \quad \text{Ec.5}$$

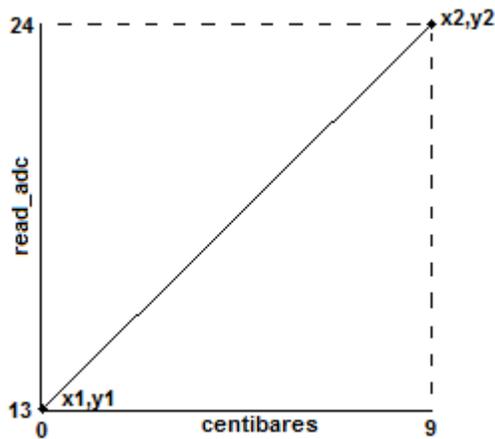
$$\text{Valor} = \left(\frac{5V * 1000}{43000} \right) / \left(\frac{5}{1023} \right)$$

$$\text{Valor} = (0.116) / (0.00488)$$

$$\text{Valor} = 23.73$$

El primer bloque de valores de 0 – 9 centibares corresponde a valores de resistencia de 550 – 1000Ω, la conversión analógica digital de la señal de voltaje para estos valores de resistencia varía de 13 – 24.

Figura 3.19 Relación lectura analógica digital – humedad 0.85.

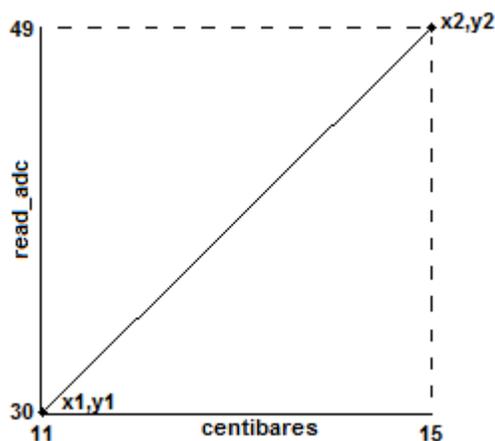


La pendiente es la constante que se usa para el algoritmo que relaciona los valores de resistencia con los valores de humedad.

$$m = (y2 - y1) / (x2 - x1)$$
$$m = (24 - 13) / (9 - 0)$$
$$m = 1.174$$
$$m = 1/(1.174)$$
$$\text{Constante} = 0.85$$

El segundo bloque de valores de 11 – 15 centibares corresponde a valores de resistencia de 1280 – 2000Ω, la conversión analógica digital de la señal de voltaje para estos valores de resistencia varía de 30 – 49.

Figura 3.20 Relación lectura analógica digital – humedad 0.24.



La pendiente es la constante que se usa para el algoritmo que relaciona los valores de resistencia con los valores de humedad.

$$m = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)$$

$$m = (49 - 30) / (15 - 11)$$

$$m = 4.0625$$

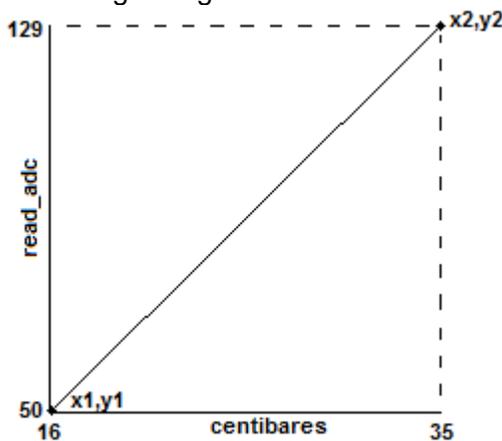
$$m = 1/(4.0625)$$

$$\text{Constante} = 0.24$$

En este caso como el cero de la grafica corresponde a 11 centibares, entonces esta misma cantidad se suma al resultado de la humedad obtenida.

El tercer bloque de valores de 16 – 35 centibares corresponde a valores de resistencia de 2200 – 6000Ω, la conversión analógica digital de la señal de voltaje para estos valores de resistencia varia de 50 – 129.

Figura 3.21 Relación lectura analógica digital – humedad 0.2469.



La pendiente es la constante que se usa para el algoritmo que relaciona los valores de resistencia con los valores de humedad.

$$m = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)$$

$$m = (129 - 50) / (35 - 16)$$

$$m = 4.050$$

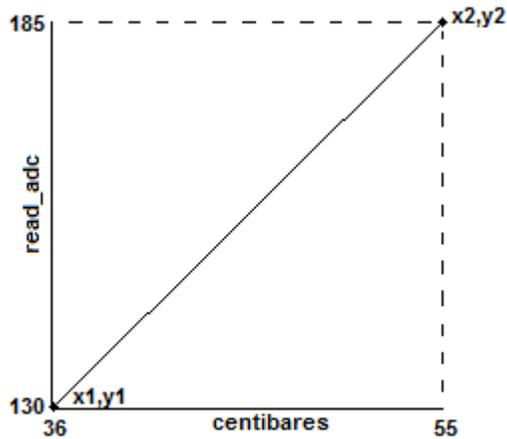
$$m = 1/(4.050)$$

$$\text{Constante} = 0.2469$$

En este caso como el cero de la grafica corresponde a 16 centibares, entonces esta misma cantidad se suma al resultado de la humedad obtenida.

El cuarto bloque de valores de 36 – 55 centibares corresponde a valores de resistencia de 6160 – 9200Ω, la conversión analógica digital de la señal de voltaje para estos valores de resistencia varia de 130 – 185.

Figura 3.22 Relación lectura analógica digital – humedad 0.35.



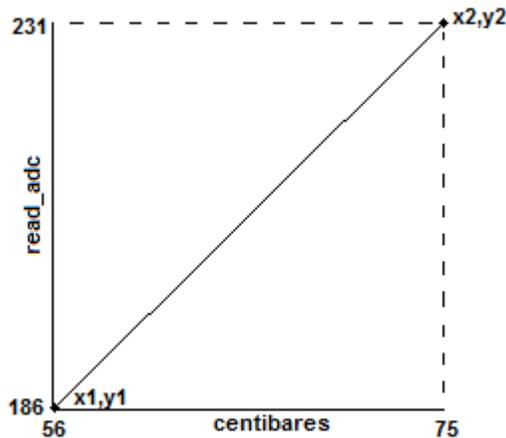
La pendiente es la constante que se usa para el algoritmo que relaciona los valores de resistencia con los valores de humedad.

$$m = (y2 - y1) / (x2 - x1)$$
$$m = (185 - 130) / (55 - 36)$$
$$m = 2.788$$
$$m = 1/(2.788)$$
$$\text{Constante} = 0.35$$

En este caso como el cero de la grafica corresponde a 36 centibares, entonces esta misma cantidad se suma al resultado de la humedad obtenida.

El quinto bloque de valores de 56 – 75 centibares corresponde a valores de resistencia de 9350 – 12200Ω, la conversión analógica digital de la señal de voltaje para estos valores de resistencia varia de 186 – 231.

Figura 3.23 Relación lectura analógica digital – humedad 0.43.



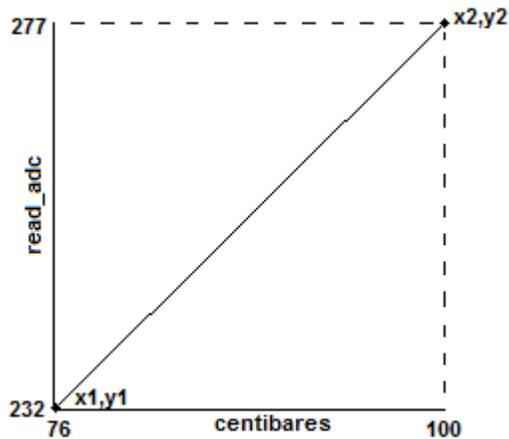
La pendiente es la constante que se usa para el algoritmo que relaciona los valores de resistencia con los valores de humedad.

$$m = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)$$
$$m = (231 - 186) / (75 - 56)$$
$$m = 2.3157$$
$$m = 1/(2.3157)$$
$$\text{Constante} = 0.43$$

En este caso como el cero de la grafica corresponde a 56 centibares, entonces esta misma cantidad se suma al resultado de la humedad obtenida.

El sexto bloque de valores de 76 – 100 centibares corresponde a valores de resistencia de 12335 – 15575Ω, la conversión analógica digital de la señal de voltaje para estos valores de resistencia varia de 232 – 277.

Figura 3.24 Relación lectura analógica digital – humedad 0.53.



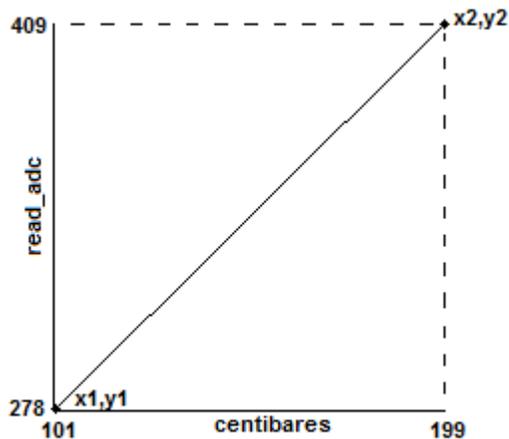
La pendiente es la constante que se usa para el algoritmo que relaciona los valores de resistencia con los valores de humedad.

$$m = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)$$
$$m = (277 - 232) / (100 - 76)$$
$$m = 1.8545$$
$$m = 1/(1.8545)$$
$$\text{Constante} = 0.53$$

En este caso como el cero de la grafica corresponde a 76, entonces esta misma cantidad se suma al resultado de la humedad obtenida.

El séptimo bloque de valores de 101 – 199 centibares corresponde a valores de resistencia de 15700 – 27950Ω, la conversión analógica digital de la señal de voltaje para estos valores de resistencia varia de 278 – 409.

Figura 3.25 Relación lectura analógica digital – humedad 0.75.



La pendiente es la constante que se usa para el algoritmo que relaciona los valores de resistencia con los valores de humedad.

$$m = (y2 - y1) / (x2 - x1)$$
$$m = (409 - 278) / (199 - 101)$$
$$m = 1.33$$
$$m = 1/(1.33)$$
$$\text{Constante} = 0.75$$

En este caso como el cero de la grafica corresponde a 101 centibares, entonces esta misma cantidad se suma al resultado de la humedad obtenida.

3.7.1 Indicadores de humedad en el suelo.

- Tensión > 80 centibares indica suelo seco.
- Tensión entre 20 – 60 centibares es la TMS típica antes de regar, variando según el cultivo, la textura del suelo, la meteorología y el método de riego.
- Tensión entre 10 – 20 centibares indica que el suelo está cerca de su capacidad máxima de retención de humedad.
- Tensión entre 0 – 10 centibares indica que el suelo está saturado.

3.8 POTENCIOMETRO LINEAL INDUSTRIAL DE POSICION

El potenciómetro con referencia HONEYWELL RV6NAYSD103A de una vuelta y con un valor de 10 K Ω es el empleado en este trabajo, el modo de funcionamiento es que de acuerdo a la posición mecánica de entrada presenta un voltaje proporcional a la salida.

Figura 3.26 Potenci6metro lineal industrial de 10 KΩ.



Fuente <http://www.alliedelec.com/search/productdetail.aspx?sku=70153172>

Tabla 3.2 Características potenci6metro lineal industrial.

| | |
|---------------------------|------------|
| Tipo de potenci6metro | Industrial |
| Potencia | 0.5 Watts |
| Valor de la resistencia | 10 KΩ |
| Tolerancia de resistencia | + - 10% |
| Linealidad | + - 5% |
| Rotaci6n mecánica | 295 Grados |

Fuente <http://www.alliedelec.com/search/productdetail.aspx?sku=70153172>

Para la etapa de medir el nivel de agua en el tanque de almacenamiento se ubica el potenci6metro como eje central, adaptándolo a una polea de madera que gira sobre el eje del potenci6metro, de este modo al subir o bajar el nivel de agua en forma directa varia el valor de la resistencia, esto hace que valor de la seńal de tensi6n tambi6n cambie y este es el indicador que requiere el dispositivo de control.

El radio de circunferencia de la polea es de 10.5 cm, para conocer la altura y con ello la capacidad de almacenamiento del tanque, adem6s de la longitud de la cuerda que se ata al flotador y al contrapeso se usa la siguiente ecuaci6n:

$$H = 2 * \pi * r \quad \text{Ec.6}$$

$$H = 2 * 3.1416 * 10.5 \text{ cm}$$

$$H = 65.97 \text{ cm} \approx 66 \text{ cm}$$

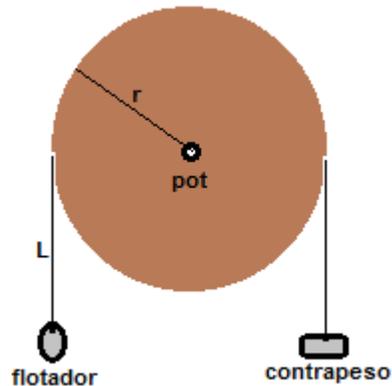
Como la capacidad de almacenamiento del tanque tiene una altura de 66 cm y la respuesta del potenci6metro el lineal esto indica que una tensi6n de referencia de 0 Voltios equivale a 0 % de almacenamiento y una tensi6n de referencia de 5 Voltios equivale a 100 % de almacenamiento de agua; Para conocer cualquier valor de nivel se debe conocer la tensi6n que cae sobre el potenci6metro de acuerdo a su actual posici6n mecánica. Ej. si el voltaje medido en el potenci6metro es de 3.1 Voltios.

$$\text{Nivel} = \frac{V \text{ pot}}{\text{Resoluci6n} * 0.098} \quad \text{Ec.7}$$

$$Nivel = \frac{3.1V}{0.00488 * 0.098}$$

Nivel = 62% de capacidad de almacenamiento

Figura 3.27 Polea para medición de nivel de agua.



3.9 ALIMENTACION Y ETAPA DE POTENCIA EN EL DISPOSITIVO DE CONTROL

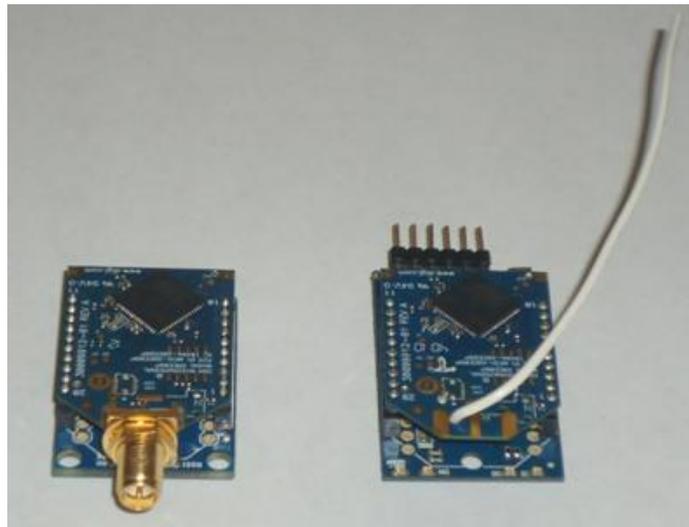
El dispositivo de control requiere que se le entreguen 5 Voltios para su correcto funcionamiento, es necesario tomar la energía de la red domestica que entrega 120 Voltios 60Hz, para reducirla a 12 Voltios de corriente alterna con el uso de un transformador que tiene una capacidad de 1A, se hace la conversión a corriente directa con el uso del puente rectificador RS 205 y un juego de capacitores, luego se alimenta el regulador LM7812 que a su vez alimenta al regulador LM7805 del que se obtienen finalmente los 5 Voltios.

Como la electro bomba y la electroválvula están integradas al dispositivo de control pero funcionan con 120 Voltios, es necesario separar la etapa digital de la etapa de control de potencia con el uso del opto transistor MOC3021, cuando llega desde los pines 19 (electro bomba) y 20 (electroválvula) del microprocesador una señal de 1 lógico el opto transistor controla el paso de corriente a través de la compuerta que activa el dispositivo Triac L20185 (BT136E) que se encuentra en conducción mientras en su compuerta se mantenga un pulso alto.

4. MODULOS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA XBEE

La empresa MaxStream fabrica varios tipos de módulos XBee con diferentes antenas, potencia y capacidades, para este trabajo se usa el módulo XBee PRO 900 693 mW 802.15.4. RPSMA; La comunicación se realiza en la banda de 902 a 928 MHz (2.4GHz) que es su única frecuencia de trabajo, dividiéndola 8 a 12 canales posibles según sea configurado.

Figura 4.1 Módulos de RF XBee PRO 900 693 mW 802.15.4.



La tasa de datos de este módulo es de 156 Kbps hasta 230 Kbps, tiene alcance de 140 m en recinto cerrado y alcance de 3 Km al aire libre, puede alcanzar hasta 10 Km con antena de alto valor de ganancia, El alcance depende de la potencia de transmisión de 693 mW (+ 28.4 dBm) y el tipo de antena que en este caso es de conector RPSMA.

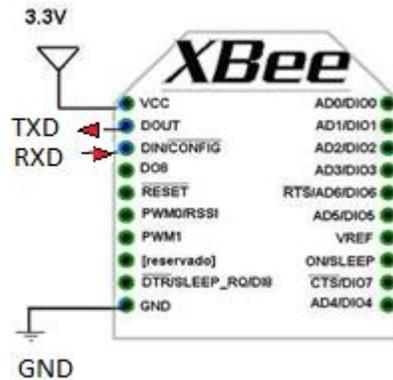
Cada módulo XBee tiene una única dirección de 64 bits establecida de fábrica, los módulos usados en este proyecto tienen direcciones 0013A20040784F93 y 0013A20040788ED1, por otra parte la red XBee permite para su funcionamiento de ruteo direcciones de 16 bits que se le asigna al módulo al momento de asociarse a una red.

4.1 CIRCUITO BÁSICO DE CONEXIÓN DEL MÓDULO XBEE

El módulo requiere conexiones mínimas para utilizarse, una característica eléctrica destacada es que requiere una alimentación recomendada de 3 a 3.4 voltios en el pin 1, tierra en el pin 10, como el microprocesador entrega un 1 lógico con valor de 5 voltios es necesario hacer un divisor de tensión con resistencias para que al pin de entrada de datos

del xbee lleguen 3.3 Voltios que serán tomados como un 1 lógico, luego solo se necesita configurar de acuerdo al modo de operación adecuado para la aplicación.

Figura 4.2 Conexión básica de funcionamiento del modulo XBee



Entre las características se encuentra que tiene un consumo de 210 mA en la transmisión y de 80 mA en la recepción, mientras que en estado de reposo es tan solo de 60 uA.

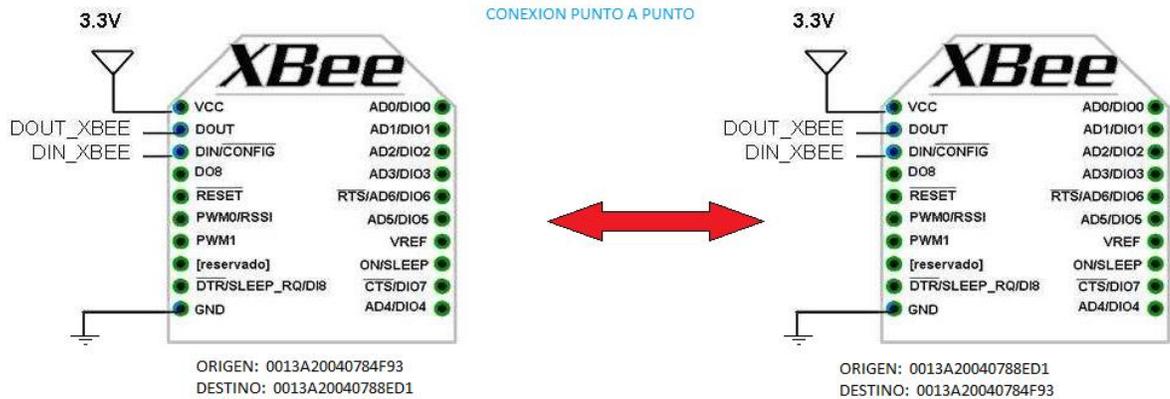
4.2 MODO DE CONEXIÓN TRANSPARENTE

Lo que ingresa por el pin 3 (Data in) se guarda en el buffer de entrada para después transmitirse, todo lo que ingresa como paquete RF se guarda en el buffer de salida y después se envía por el pin 2 (Data Out). Este es el modo que viene por defecto con los módulos XBee y en el caso de este trabajo se configura cada modulo así para usarse en una red punto a punto.

4.2.1 Enlace punto a punto. Es una de los cuatro tipos de conexión transparente, se aplica para reemplazar la comunicación serial por cable, se configura en los módulos la dirección de origen y la dirección de destino de un paquete.

El módulo que recibe el paquete envía una respuesta ACK al módulo de origen (es un proceso interno que no ve el usuario), indica que el mensaje se recibió correctamente.

Figura 4.3 Conexión punto a punto

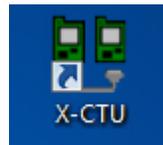


La conexión punto a punto utiliza direccionamiento de 64 bits y todo lo que se transmite por el pin DIN de un módulo lo recibe el pin DOUT del otro, pero es necesario que en la configuración se establezca para ambos módulos la misma PAN ID y el mismo canal de comunicación.

4.3 COMUNICACIÓN INALÁMBRICA ENTRE MODULOS DE RADIOFRECUENCIA XBEE

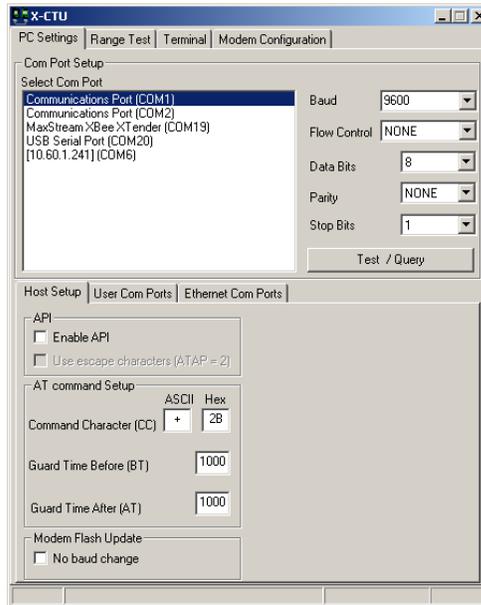
4.3.1 Aplicación X-CTU. Para probar la transmisión/recepción inalámbrica y saber que el funcionamiento entre los módulos de radiofrecuencia XBee es correcto se utiliza el programa X-CTU; Este programa es una aplicación basada en Windows diseñado para configurar e interactuar con la programación de los módulos de radiofrecuencia provisto de una simple interfaz grafica.

Figura 4.4 Icono de acceso directo al programa X-CTU



Al momento de abrir el programa el usuario se encuentra con 4 pestañas:

Figura 4.5 Interfaz de la aplicación X-CTU



PC Settings es la pestaña para establecer el puerto de conexión del módulo con el equipo, es posible escoger la tasa de datos, el numero de bits y la configuración de baudios para que el dispositivo coincida con lo establecido en la comunicación serial del microprocesador.

Para establecer la correcta comunicación con el módulo se presiona el botón Test/Query y el equipo presenta un mensaje con información sobre el tipo de dispositivo y su dirección de fabrica.

Figura 4.6 Comunicación con el XBee 1 OK

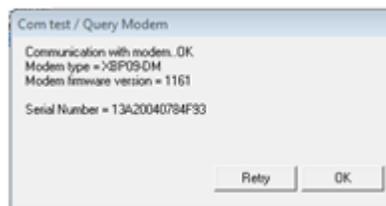
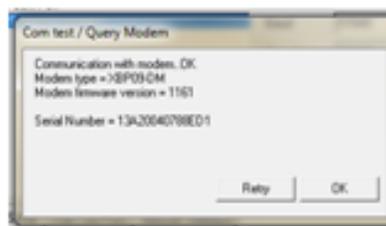
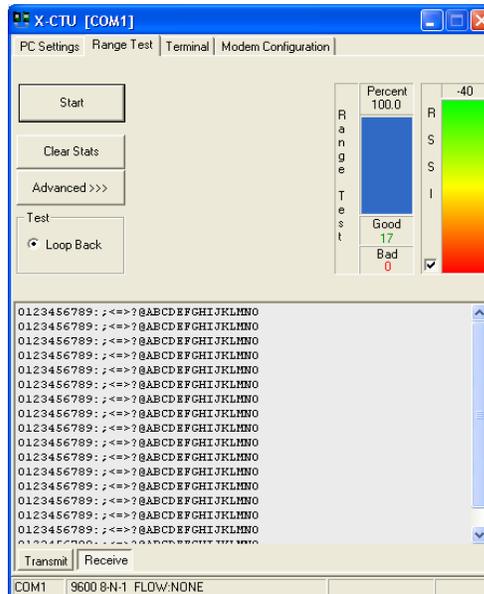


Figura 4.7 Comunicación con el XBee 2 OK



Range Test es la pestaña para verificar la transmisión/recepción de datos aplicando una conexión de prueba a distancia uniendo los pines de transmisión y recepción de ambos módulos, se visualiza el RSSI que es la medida de potencia de la señal de RF recibida. Se presiona el botón START y el equipo transmite unos datos y se informa en que porcentaje de calidad se encuentra la comunicación entre los dos radios.

Figura 4.8 Transmisión/Recepción correcta y calidad excelente en la señal RF



Terminal es la pestaña para emular un terminal para el envío y recepción de datos, así como también configurar los módulos usando comandos AT.

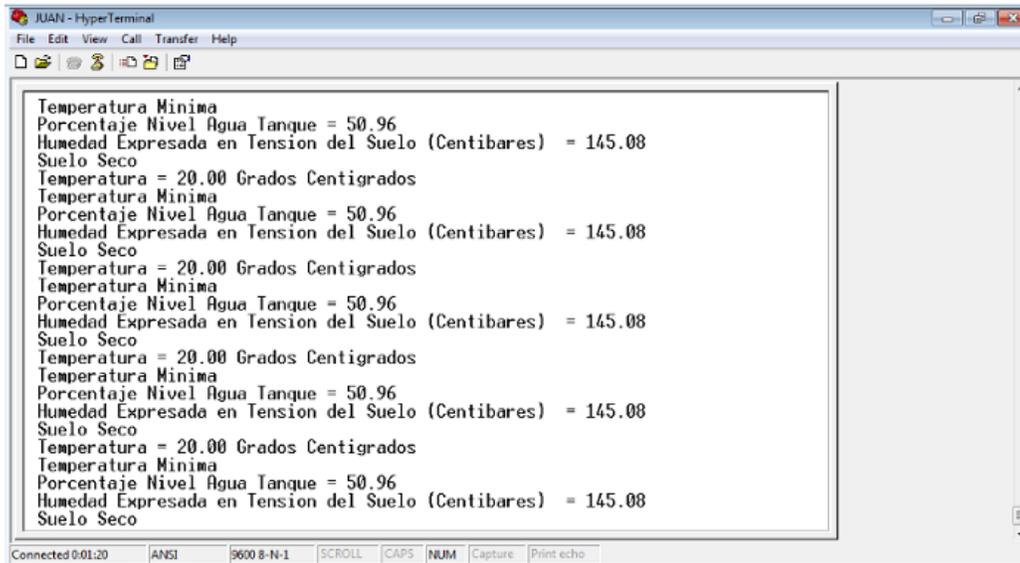
Modem Configuration es la pestaña para configurar los módulos de acuerdo al modo adecuado y la aplicación deseada.

4.4 COMUNICACIÓN INALÁMBRICA ENTRE DISPOSITIVOS

En esta etapa del proyecto se ha establecido la comunicación inalámbrica entre los módulos XBee que se encuentran integrados en los dispositivos de control y USB, como resultado de la comunicación entre ambos dispositivos se monitorea el proceso de riego.

Los datos que se procesan en el dispositivo de control se envían por radiofrecuencia al dispositivo USB, la manera como se visualizan en este punto los datos es por medio de la aplicación Hyper Terminal de Windows.

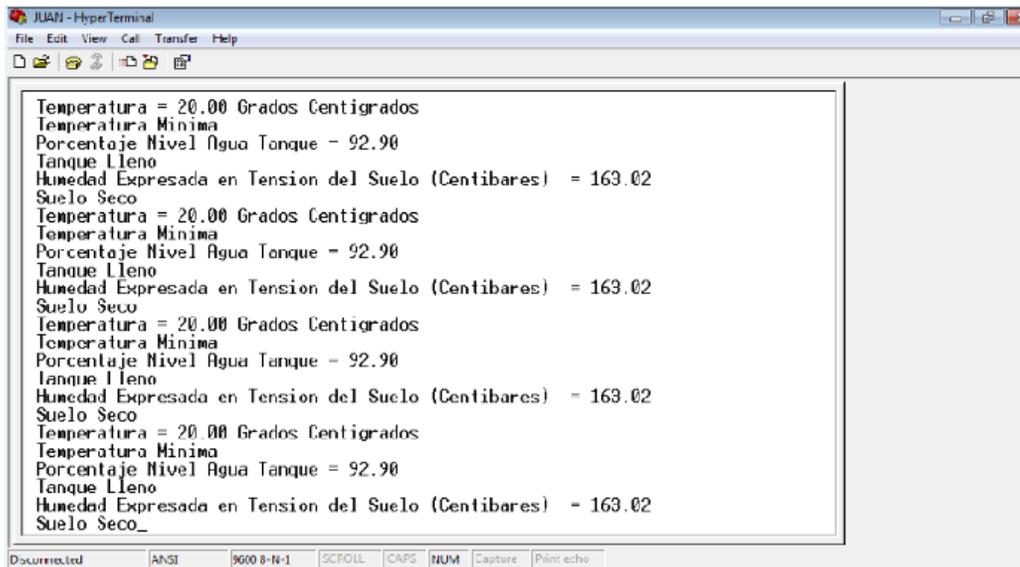
Figura 4.9 Visualización 1 de datos en el Hyper Terminal



The screenshot shows a HyperTerminal window titled "JUAN - HyperTerminal". The main text area contains a repeating sequence of data points: "Temperatura Minima", "Porcentaje Nivel Agua Tanque = 50.96", "Humedad Expresada en Tension del Suelo (Centibares) = 145.08", "Suelo Seco", and "Temperatura = 20.00 Grados Centigrados". The status bar at the bottom indicates "Connected 0:01:20" and lists various terminal settings like "ANSI", "9600 8-N-1", "SCROLL", "CAPS", "NUM", "Capture", and "Print echo".

```
Temperatura Minima
Porcentaje Nivel Agua Tanque = 50.96
Humedad Expresada en Tension del Suelo (Centibares) = 145.08
Suelo Seco
Temperatura = 20.00 Grados Centigrados
Temperatura Minima
Porcentaje Nivel Agua Tanque = 50.96
Humedad Expresada en Tension del Suelo (Centibares) = 145.08
Suelo Seco
Temperatura = 20.00 Grados Centigrados
Temperatura Minima
Porcentaje Nivel Agua Tanque = 50.96
Humedad Expresada en Tension del Suelo (Centibares) = 145.08
Suelo Seco
Temperatura = 20.00 Grados Centigrados
Temperatura Minima
Porcentaje Nivel Agua Tanque = 50.96
Humedad Expresada en Tension del Suelo (Centibares) = 145.08
Suelo Seco
Temperatura = 20.00 Grados Centigrados
Temperatura Minima
Porcentaje Nivel Agua Tanque = 50.96
Humedad Expresada en Tension del Suelo (Centibares) = 145.08
Suelo Seco
```

Figura 4.10 Visualización 2 de datos en el Hyper Terminal



The screenshot shows a HyperTerminal window titled "JUAN - HyperTerminal". The main text area contains a repeating sequence of data points: "Temperatura = 20.00 Grados Centigrados", "Temperatura Minima", "Porcentaje Nivel Agua Tanque = 92.90", "Tanque Lleno", "Humedad Expresada en Tension del Suelo (Centibares) = 163.02", "Suelo Seco", and "Temperatura = 20.00 Grados Centigrados". The status bar at the bottom indicates "Discursos.ted" and lists various terminal settings like "ANSI", "9600 8-N-1", "SCROLL", "CAPS", "NUM", "Capture", and "Print echo".

```
Temperatura = 20.00 Grados Centigrados
Temperatura Minima
Porcentaje Nivel Agua Tanque = 92.90
Tanque Lleno
Humedad Expresada en Tension del Suelo (Centibares) = 163.02
Suelo Seco
Temperatura = 20.00 Grados Centigrados
Temperatura Minima
Porcentaje Nivel Agua Tanque = 92.90
Tanque Lleno
Humedad Expresada en Tension del Suelo (Centibares) = 163.02
Suelo Seco
Temperatura = 20.00 Grados Centigrados
Temperatura Minima
Porcentaje Nivel Agua Tanque = 92.90
Tanque Lleno
Humedad Expresada en Tension del Suelo (Centibares) = 163.02
Suelo Seco_
```

5. INTERFAZ VISUAL BASIC

Es necesario conocer el estado del proceso de riego que se monitorea y se controla, para tal efecto se integra el sistema de riego con una interfaz grafica desarrollada con el software Visual Basic que es un lenguaje de programación de alto nivel y fácil comprensión desarrollado para Microsoft corporation, es una herramienta de diseño de aplicaciones de interfaz grafica para Windows. Está constituido por un entorno de desarrollo integrado que es un paquete de aplicaciones, posee todas las opciones que brinda un menú para las personas que están familiarizadas con Windows y además es muy intuitivo.

El programa está formado en parte por un editor de código donde se escribe el código fuente, hay una parte que esta preestablecida para cada elemento que se utiliza en las aplicaciones, y por otra parte el programador elabora el código que va asociado a las acciones de cada objeto que integra la interfaz grafica; La programación es visual con el constructor de interfaz grafica GUI haciendo una combinación de código estructurado y programación orientada a objetos, pero el verdadero funcionamiento de las aplicaciones está basado en eventos, ya que se requiere de una acción sobre algún elemento para que inicie un procedimiento.

En el momento de correr la aplicación el usuario se encuentra con una ventana que le solicita una clave de acceso, la palabra clave "usco" se ingresa en la caja de texto.

Figura 5.1 Acceso a la interfaz grafica



En caso de ingresar una palabra clave incorrecta la aplicación no se podrá iniciar.

Figura 5.2 Contraseña incorrecta



En el momento de acceder a la aplicación se indica en la parte inferior izquierda de la ventana que el dispositivo USB no ha sido conectado "HID DESCONECTADO", por lo tanto no se puede enviar información para establecer el control del sistema y mucho menos recibir información para monitorear el mismo.

Figura 5.3 Interfaz grafica de usuario dispositivo HID desconectado



Al momento de conectar el dispositivo USB el computador lo detecta y la interfaz de usuario informa el cambio, en la parte inferior izquierda de la ventana se indica "HID CONECTADO", entonces es posible acceder al sistema de riego. En la parte inferior derecha se encuentra una barra de nivel que indica si el estado de transmisión y

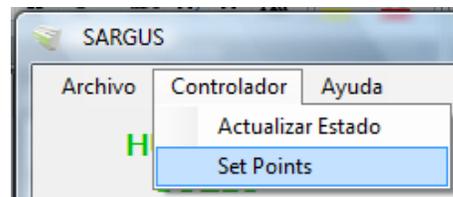
recepción de datos es óptimo, en la parte inferior central se encuentra la fecha y la hora actual.

Figura 5.4 Interfaz grafica de usuario dispositivo HID conectado



El usuario establece los set points de acuerdo a las condiciones del cultivo y las envía hasta el dispositivo de control para iniciar el proceso de riego, para esto debe acceder al Menú > Controlador > Set Points.

Figura 5.5 Menú > Controlador > Set Points



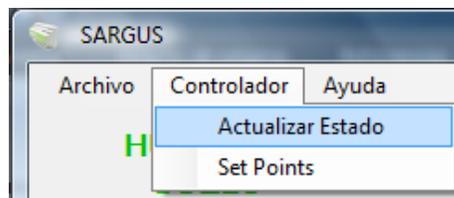
Es importante establecer un valor máximo y un valor mínimo para cada una de las variables, de acuerdo a estos datos que se envían al dispositivo de control se toman las decisiones en el proceso de riego. El nivel de agua para abastecer el cultivo, por lo tanto no debe estar por debajo del valor mínimo y el dispositivo de control toma la decisión de cuando encender la electro bomba para llenar el tanque; La temperatura en el caso que el sistema se instale en un invernadero; La humedad en el suelo es lo más importante ya que cada cultivo tiene requerimientos de agua que pueden variar, hay una capacidad de campo que es la máxima cantidad de agua que las raíces de la planta pueden tolerar o el punto de marchitamiento que es la mínima cantidad de agua con la que las raíces de la planta sobreviven antes de marchitarse y por lo tanto perder la capacidad de recuperarse.

Figura 5.6 Set Points Controller



Los valores de Set Point se actualizan para la aplicación leyendo la memoria EEPROM del dispositivo de control, para esto se debe acceder al Menú > Controlador > Actualizar Estado.

Figura 5.7 Menú > Controlador > Actualizar Estado



El proceso de riego se hace de manera automática por parte del dispositivo de control de acuerdo a los valores iniciales y en la interfaz se monitorea la información que llega desde el circuito de riego en el momento en que se oprime el botón monitorear.

Figura 5.8 Interfaz grafica de usuario dispositivo HID conectado 1



En la interfaz se observa el comportamiento de cada una de las variables, existen indicadores para cuando el valor de cada variable se encuentra en el rango establecido o cuando por el contrario se encuentra fuera del rango. Además hay unas alarmas visuales que informan si se presenta algún daño en la electro bomba, la electroválvula o el sensor de humedad.

Figura 5.9 Interfaz grafica de usuario dispositivo HID conectado 2



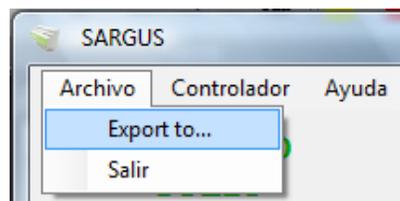
Se establece control manual sobre el sistema de riego con el botón manual, en este momento el dispositivo de control no actúa sobre la electrobomba y la electroválvula, es el usuario el encargado de tomar la decisión de encender o apagar electrobomba y electroválvula.

Figura 5.10 Interfaz grafica de usuario dispositivo HID conectado 3



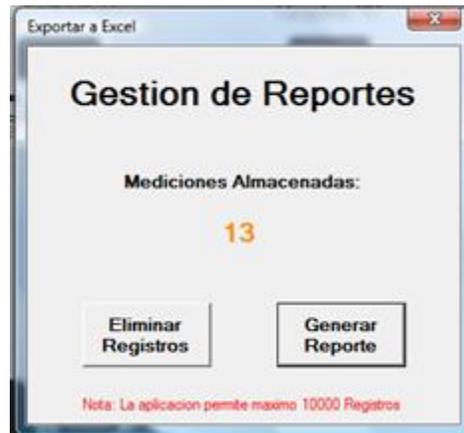
En el proceso de riego los valores de humedad, nivel y temperatura cambian regularmente, es necesario saber lo que ha sucedido con estas variables en el tiempo, para esto se accede al menú Archivo > Export to...

Figura 5.11 Menú > Archivo > Export to...



Los datos se almacenan para que el usuario comprenda lo que sucede con el sistema de riego al observar los registros históricos.

Figura 5.12 Exportar a Excel



Los registros se envían a tablas en Excel, luego se analizan por parte del usuario para tener un entendimiento mejor sobre el proceso de riego.

Figura 5.13 Tabla de datos en Excel

The screenshot shows the Microsoft Excel interface. The ribbon includes "Inicio", "Insertar", "Diseño de página", and "Fórmulas". The "Inicio" ribbon is active, showing options for "Pegar" and "Fuente". The active cell is A1, which contains the text "Hora". The spreadsheet data is as follows:

| | A | B | C | D |
|----|------------------|-------|-------------|---------|
| 1 | Hora | Nivel | Temperatura | Humedad |
| 2 | 11:29 20/05/2013 | 100 | 29 | 61 |
| 3 | 11:30 20/05/2013 | 100 | 29 | 63 |
| 4 | 11:31 20/05/2013 | 100 | 29 | 63 |
| 5 | 11:32 20/05/2013 | 100 | 29 | 64 |
| 6 | 11:33 20/05/2013 | 100 | 29 | 64 |
| 7 | 11:34 20/05/2013 | 100 | 29 | 66 |
| 8 | 11:35 20/05/2013 | 100 | 29 | 68 |
| 9 | 11:36 20/05/2013 | 100 | 29 | 68 |
| 10 | 11:37 20/05/2013 | 100 | 29 | 71 |
| 11 | 11:38 20/05/2013 | 100 | 29 | 72 |
| 12 | 11:39 20/05/2013 | 100 | 29 | 73 |
| 13 | 11:41 20/05/2013 | 100 | 29 | 74 |
| 14 | 11:42 20/05/2013 | 100 | 29 | 77 |

6. CONCLUSIONES

Este trabajo de grado realiza una comunicación inalámbrica de información entre dos dispositivos y controla el sistema de riego de una manera adecuada, los datos que suministra el usuario al sistema desde el computador y monitoreo del proceso de riego se logra por medio de una interfaz de usuario fácil de manejar.

La comunicación inalámbrica es un método económico de manejo de información al sustituir el cableado que podía necesitarse para cubrir las distancias existentes entre el terreno de cultivo y la estación remota donde se ubica el usuario, además de ser confiable y de alta velocidad.

El proyecto funciona de acuerdo a lo que se propuso inicialmente, solo se hizo el cambio de módulos transceptores TRF 2.4 GHz a módulos transceptores XBee por cuestión de alcance y practicidad en su manejo.

El trabajo de grado que se implementa en la granja Villa Regina del municipio de Villa vieja aunque es una prueba hecha en pequeña escala, es buen ejemplo de cómo mediante aplicaciones electrónicas se pueden mejorar los procesos agrícolas en el departamento del Huila; Reducir costos, facilitar la vida de las personas y ser más eficientes en el desarrollo de tareas.

7. RECOMENDACIONES

En el futuro el proyecto se puede mejorar realizándolo a gran escala donde se maneje un mayor número de señales de entrada para variables en un sistema de riego (Caudal de agua, nivel de PH en el suelo) y un mayor número de salidas (varias electroválvulas) que suministren agua a cultivos de diferente clase.

Además una invitación a cualquier sector productivo en el Huila que decida hacer una inversión en este tipo de proyectos apoyando económicamente a los estudiantes y recibiendo a cambio beneficios en el mejoramiento de procesos.

Es importante que cuando se haga el montaje de un proyecto de esta clase se utilicen los elementos que se tuvieron en cuenta en el diseño para no tener inconvenientes técnicos.

Es necesario tener una fuente de alimentación independiente que no esté sujeta a la red domestica, es el caso de los paneles solares y el uso de baterías que almacenen la energía.

8. COSTO DEL PROYECTO

| ELEMENTO | UNIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR |
|----------------------------|--------|----------------|-----------|
| MODULO XBEE PRO | 2 | 105.000 | 210.000 |
| MICROCONTROLADOR 18F4550 | 1 | 13.000 | 13.000 |
| MICROCONTROLADOR 16F877A | 1 | 8.000 | 8.000 |
| POTENCIOMETRO LINEAL 10K | 1 | 13.000 | 13.000 |
| SENSOR HUMEDAD WATERMARK | 1 | 235.000 | 235.000 |
| SENSOR TEMPERATURA LM35DZ | 1 | 4.000 | 4.000 |
| ELECTROVALVULA | 1 | 35.000 | 35.000 |
| ELECTROBOMBA | 1 | 85.000 | 85.000 |
| BAQUELA EN FIBRA DE VIDRIO | 1 | 13.000 | 13.000 |
| RESISTENCIA | 16 | 50 | 800 |
| CAPACITOR | 14 | 100 | 1.400 |
| BORNE 2 PINES | 5 | 300 | 1.500 |
| REGLETA MACHO | 1 | 1.000 | 1.000 |
| REGLETA HEMBRA | 1 | 1.300 | 1.300 |
| EMPAQUE PRESENTACION | 2 | 6.000 | 12.000 |
| CABLE USB | 1 | 2.500 | 2.500 |
| TUBERIA PVC Y ACCESORIOS | | | 100.000 |
| IMPRESIÓN PROYECTO | 3 | 40.000 | 120.000 |
| IMPREVISTOS | 1 | 170.000 | 170.000 |
| | | GRAN TOTAL | 1'026.500 |

9. BIBLIOGRAFIA

GARCIA, Eduardo, Compilador C CCS y simulador PROTEUS para Micro controladores PIC

Primera Edición. México: Alfaomega Grupo Editor, 2008, Pág. 251-263

OGATA, Katsuhiko, Dinámica de Sistemas

Primera Edición. México: Prentice Hall, Inc. 1987, Pág. 494-511

TOMASI, Wayne, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas

Cuarta Edición. México: Pearson Prentice Hall, 2003, Pág. 470-477

RODRIGUEZ, Aquilino, Sistemas SCADA

Segunda Edición. España: Marcombo Ediciones Técnicas, 2007, Pág. 1-54

VINCULOS

<http://www.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00956b.pdf>

http://es.wikipedia.org/wiki/Universal_Serial_Bus_USB

<http://www.bilbaoelectronics.com/pines-16f877a.html>

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf>

<http://www.usb.org>

http://picmania.garcia-cuervo.net/usb_3_usbtransfers.php

http://www.ru.lv/~peter/macibas/datoru_arhitektura/usb.pdf

<http://www.i-micro.com/pdf/articulos/usb.pdf>

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA AUTOMÁTICO DE RIEGO POR GOTEO PARA OPTIMIZAR EL USO DEL AGUA EN CULTIVOS EN EL MUNICIPIO DE VILLA VIEJA.

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AUTOMATIC SYSTEM OF IRRIGATION DRIP TO OPTIMIZE WATER USE IN CROPS IN VILLA VIEJA TOWN.

Juan Camilo Pérez Calderón¹

Resumen

En este proyecto se implementó un sistema de monitoreo y control de las variables de temperatura, humedad del suelo y nivel de agua en un tanque de almacenamiento en una granja ubicada en el municipio de Villa vieja (Huila), básicamente se trata de un conjunto de dispositivos con funciones definidas, un dispositivo de adquisición y medición recibe las señales específicas de los sensores; Controla el funcionamiento del sistema como el encendido de una electrobomba, la apertura o cierre de las electroválvulas, la notificación de situaciones de riesgo por medio de alarmas sonoras o visuales; El sistema requiere que el usuario defina una sola vez los valores iniciales de las variables, estos valores se almacenan y se pueden manipular dependiendo de las necesidades del cultivo.

Los datos procesados en el dispositivo de control se envían a un dispositivo USB que funciona como puente de comunicación con el computador haciendo uso del puerto USB, entonces la información es vista en la interfaz de usuario desde donde se monitorea y controla el sistema. La comunicación entre dispositivos es inalámbrica con módulos XBee y funciona en ambos sentidos, el control devuelve un reporte de cómo se desarrolla el riego.

Palabras clave: Adquisición de datos; Conversión analógica; Comunicación inalámbrica; Control; Comunicación USB.

Abstract

In this project was implemented a system to monitor and control variables of temperature, soil moisture and water level in a storage tank at a farm Villa Regina located in Villa vieja town (Huila), is basically a set of devices with defined functions, an acquisition and measurement device receives specific signals from the sensors; Control the system operation as the ignition of an electric water pump, opening or closing of electric valves, notification of hazardous situations by visual or audible alarms; The system requires than user to define once the initial values of variables, these values are stored and can be manipulated depending on the needs of the crop.

The data processed by the control device are sent to a USB device that works as a bridge of communication with the computer using the USB port, then information is seen the user interface from which monitors and controls the system. The wireless communication between devices is via XBee and works both ways; control return one report of how the unfolds irrigation.

Keywords: Data acquisition; Analog conversion; Wireless communication; Control; USB communication.

¹ *Ingeniero Electrónico. Universidad Surcolombiana Neiva. Avenida Pastrana Carrera 1ª. atarnauj@hotmail.com*

1. Introducción

En la actualidad el sector agrícola utiliza diversas aplicaciones tecnológicas en sus procesos, la automatización de riegos es de las más importantes porque es fundamental suministrar el agua en el momento justo según la evolución y necesidades del cultivo en la cantidad adecuada, logrando altos niveles de eficiencia en el uso del agua, la energía y los fertilizantes, reduciendo costos de producción y consumo de agua.

La automatización del sistema de riego se basa en el uso de microprocesadores y permite el control de la instalación del circuito de riego adaptándolo a la situación ambiental y a los estados del cultivo, economizando en recursos de mano de obra, energía eléctrica y lo más importante el agua que ha despertado total interés debido al papel vital que juega en la vida humana y la creciente dificultad para obtenerla con el fin de abastecer los servicios requeridos, entonces es primordial cuidarla en cualquier comunidad, sobre todo en zonas donde el servicio o suministro es costoso y algunas veces irregular.

Por otra parte en los últimos años se ha dado un importante desarrollo en los sistemas de comunicaciones basados en la transmisión digital de datos haciendo uso de diferentes métodos de propagación, las comunicaciones inalámbricas son una de las herramientas con mayor auge en la actualidad, obedeciendo a necesidades donde el uso de cables no es viable, es una alternativa para disponer de datos en tiempo real, accediendo a la información de manera oportuna y confiable.

En nuestro país se han desarrollado algunos trabajos de investigación que buscan tecnificar el campo, siendo las universidades las que proponen estos proyectos y son pioneras en llevarlos a cabo.

Las aplicaciones electrónicas en el desarrollo del sector agrícola son numerosas, pero este proyecto permite optimizar el uso del agua en regiones semiáridas del Huila, es una idea novedosa y hace uso de dispositivos electrónicos que junto con la transmisión inalámbrica de información posibilitan el control y la supervisión de un circuito de riego desde una estación remota.

La Pontificia Universidad Javeriana realizó un sistema para supervisar un invernadero de flores, midiendo la humedad del suelo que al ser monitoreada permite la apertura de unas electroválvulas que realizan el riego en el invernadero.²

La Universidad Pedagógica Y Tecnológica de Colombia (UPTC) realizó el control de las variables de humedad, temperatura, iluminación, ventilación y algunas otras variables importantes dentro de un invernadero, logrando el control de un ambiente artificial ideal para el cultivo.³

La Universidad del Quindío realizó un sistema inalámbrico para supervisar las Variables ambientales de un Invernadero, logrando determinar el momento adecuado para activar el riego y satisfacer las necesidades hídricas del cultivo.⁴

En Suramérica se encuentra un trabajo de la Pontificia Universidad Católica del Perú, en el diseño de un sistema automático de riego por goteo que busca reducir el consumo de agua en el proceso de riego de acuerdo a los valores de tensión de humedad en el suelo, permitiendo el paso de agua hacia el cultivo de manera proporcional.⁵

² Dueñas Agudelo Rodolfo, Castellanos Giovanini Dayanna, Medina Cruz Mauricio. Automatización de sistema de riego para cultivo de flores tipo exportación. Pontificia Universidad Javeriana.

³ Hernández Rangel Libardo Enrique, Pineda Wilman, Bayona Ruiz Dariel Alejandro. Sistema de Control de Humedad y Temperatura para Invernaderos. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC).

⁴ Zapata T Carlos Andrés, Sánchez Martínez Andrés. Sistema Inalámbrico para la Supervisión de las Variables Ambientales de un Invernadero.

⁵ Cruz Concha José Carlos. Diseño de un Sistema de Riego por Goteo Controlado y Automatizado para uva Italia.

2. Metodología

El propósito de este proyecto fue diseñar e implementar un sistema automático de riego por goteo, el cual controla el proceso de llenado de un tanque de almacenamiento de agua y la apertura de una electroválvula que permite o no el flujo de agua hacia el cultivo de acuerdo a las condiciones de humedad del suelo; El proceso es más eficiente y confiable cuando cada uno de los elementos que intervienen funcionan de manera automática como respuesta a las situaciones y condiciones que se presentan en el circuito de riego

2.1 Diseño del dispositivo USB. Se implementa un dispositivo USB que funciona como puente de comunicación entre el computador y un dispositivo de control, de esta manera la información del proceso de riego llega a una estación remota; La comunicación entre el cultivo (Dispositivo de control) y la estación remota (Dispositivo USB) es inalámbrica, por lo que el usuario puede acceder a la información para monitorear el sistema automático de riego por medio de la interfaz grafica desde un computador portátil, en la figura 1 se muestra un diagrama de bloques completo de todos los elementos que integran ambos dispositivos.

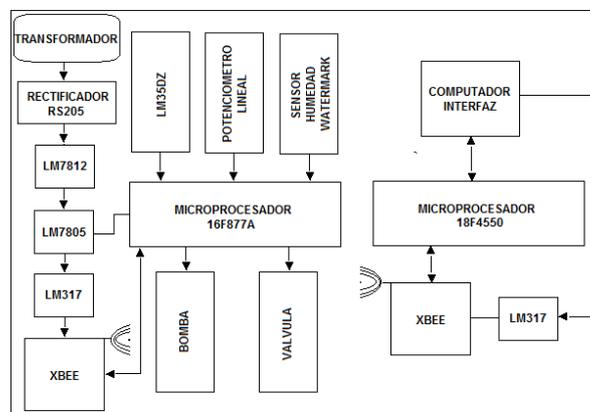


Fig. 1 Diagrama de bloques del sistema automático de riego

Para el dispositivo USB se necesita un hardware para la conexión y un software para controlar la velocidad de transferencia de datos, el tipo de transferencia y el nivel de voltaje utilizado, entre otras características de transferencia de datos, se usa el microprocesador 18F4550 que tiene como característica principal en su arquitectura el manejo del puerto USB y establece la conexión necesaria para el envío y la recepción de información entre el computador y el dispositivo USB, en la figura 2 se muestra el plano esquemático del dispositivo USB diseñado en el programa Isis Proteus (García, 2008).

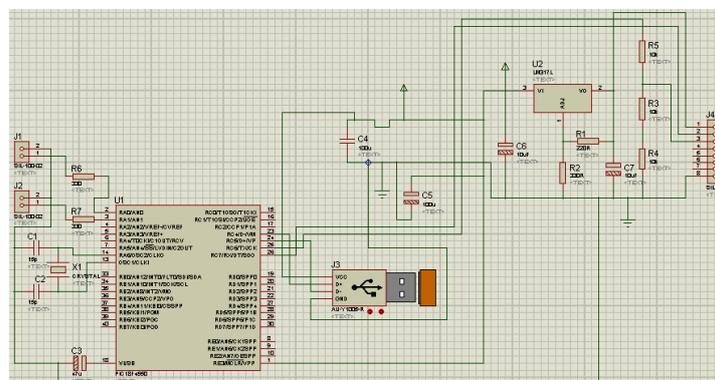


Fig. 2 Plano esquemático del Dispositivo USB

El dispositivo USB tiene integrado un modulo Xbee para comunicación inalámbrica con el dispositivo de control como se muestra en la figura 3 se comunica

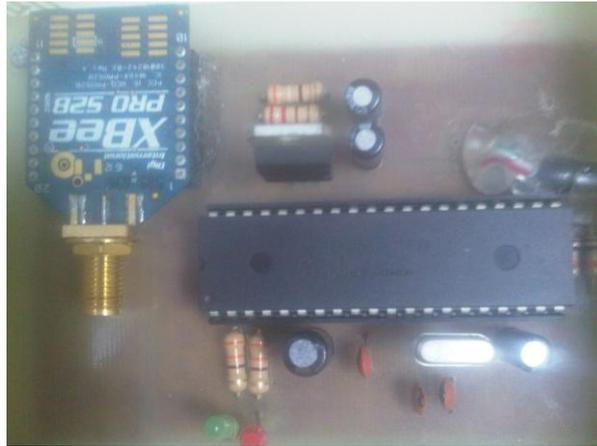


Fig. 3 Dispositivo USB

En la programación del microprocesador se incluye un descriptor para que el dispositivo sea reconocido por Windows como un dispositivo HID (Dispositivo de Interfaz Humana) estándar y sea registrado por el computador. Al estar agrupado en la clase HID se simplifica la programación por que la definición de atributos y servicios está hecha. Solo basta entregar al sistema operativo los detalles específicos del dispositivo y que son cambios que se realizan a nivel de usuario como el Nombre, VID, PID, Fabricante, y Descripción.

El usuario no necesita instalar ningún programa controlador en el computador porque ya se encuentra instalado un genérico para dispositivos HID estándar de Windows, y este se carga automáticamente al tener VID&PID y otros parámetros de conexión de manera correcta.

2.2 Diseño de dispositivo de control. Se implementa un dispositivo de control que maneja todos los procesos del sistema de riego, tiene incorporando un microprocesador PIC 16F877A donde las señales analógicas procedentes de los sensores para cada una de las variables que intervienen en el proceso son convertidas en valores digitales con los cuales el dispositivo de control toma las decisiones de acuerdo a la programación interna, tiene varias salidas que se conectan con los elementos de control como son la electro bomba y la electroválvula.

Los sensores que se utilizan en este caso son el sensor LM35DZ que mide la temperatura del lugar donde se hace el riego, un potenciómetro lineal para medir el nivel de agua en el tanque de reserva al variar la posición y obtener diferentes valores de tensión, un sensor de humedad WATERMARK enterrado el suelo que mide la tensión de humedad simulando el comportamiento de la raíz de las plantas, en la figura 4 se muestra el plano esquemático del dispositivo de control diseñado en el programa Isis Proteus.

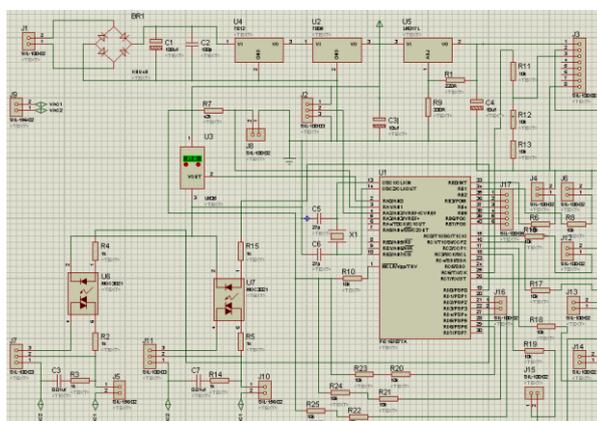


Fig. 4 Plano esquemático del dispositivo de control

El dispositivo de control también tiene integrado un módulo Xbee para comunicación inalámbrica con el dispositivo USB muestra en la figura 5, la comunicación entre los microprocesadores y los módulos de radiofrecuencia se hace de manera serial asíncrona (Tomasi, 2003).

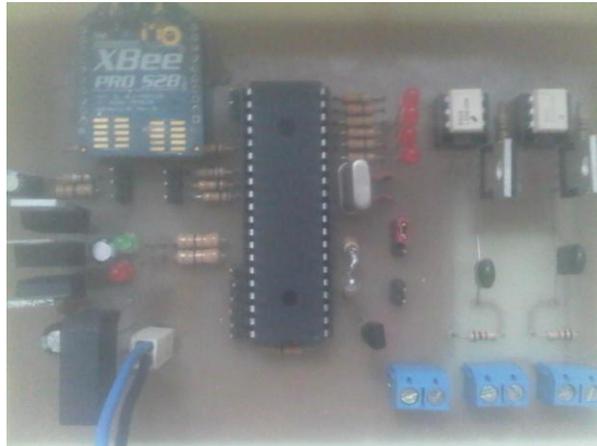


Fig. 5 Dispositivo de control

2.3 Método de Control Encendido – Apagado. El método que se usa para controlar el proceso es el control de dos posiciones donde la señal de salida está encendida (todo) o apagada (nada), solo cuando se cruzan los puntos de ajuste máximo o mínimo que tienen tanto el nivel de agua como la humedad en el suelo hay un cambio de posición, en este caso no se presenta ninguna posición intermedia. Cada vez que las variables atraviesan los puntos de ajuste hay un cambio en la salida de control, la respuesta a este tipo de control se muestra en la figura 6 (Ogata, 1987).

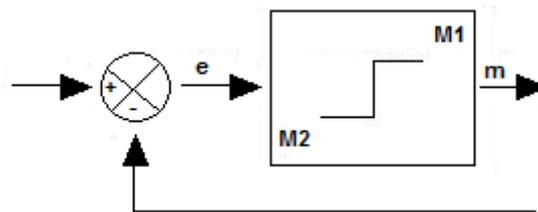


Fig. 6 Diagrama de bloques del control de dos posiciones

El dispositivo de control entrega la señal $m(t)$ para que se de el cambio de posición, es necesario conocer el error $e(t)$ que es la señal que resulta de la diferencia entre los puntos de ajuste y el valor real de la medición, el control se encuentra encendido (M1) cuando la señal de error es positiva o se encuentra apagado (M2) cuando la señal de error es negativa, el comportamiento de este tipo de control esta dado por la ecuación 1.

$$\begin{aligned}
 m(t) &= M1 \text{ para } e(t) > 0 \\
 m(t) &= M2 \text{ para } e(t) < 0
 \end{aligned}
 \tag{Ec.1}$$

Para evitar que cuando los cambios de posición sean frecuentes se pueden producir daños en los actuadores, el usuario establece desde la interfaz los puntos de ajuste, generando una brecha diferencial (H) también conocida como zona muerta donde no hay cambio de posición, la respuesta del control estableciendo los puntos de ajuste se muestra en la figura 7.

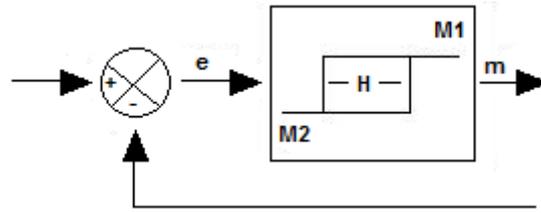


Fig. 7 Diagrama de bloques del control de dos posiciones con brecha diferencial

La señal de salida cambia de manera frecuente entre los límites establecidos, esta frecuencia disminuye al hacer más grande la brecha diferencial, la respuesta de la señal de salida con relación a la señal de control se muestra en la figura 8.

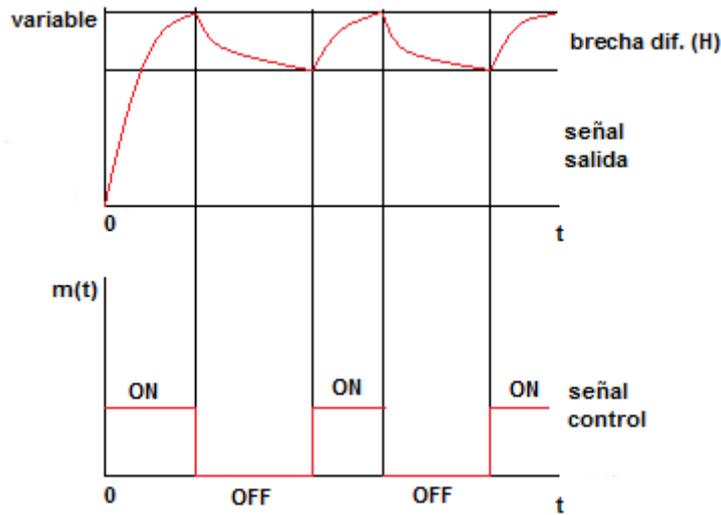


Fig. 8 Señal de salida de acuerdo a la señal de control

El control de la variable de nivel tiene en su estructura un dispositivo de control que toma las decisiones de acuerdo a su programación interna, un potenciómetro que mide el valor real de nivel de agua de acuerdo a su posición, un electro bomba que enciende o apaga afectando el nivel del tanque de almacenamiento.

Se muestra un lazo cerrado en la figura 9, la variable de salida nivel se mide y realimenta la información al dispositivo de control, quien compara constantemente esta medición con los valores que tiene establecidos, de esta manera si el nivel es menor o igual que el valor mínimo permitido se enciende la electro bomba que se mantiene en este estado hasta que se cumpla el límite de la brecha diferencial que en este caso es cuando el nivel es mayor o igual que el valor máximo permitido entonces la electro bomba se apaga; Cuando el nivel es menor que el valor máximo permitido se vuelve a ingresar a la zona muerta pero ahora la electro bomba se mantiene en estado apagado y solo vuelve a encenderse hasta llegar de nuevo al límite opuesto.

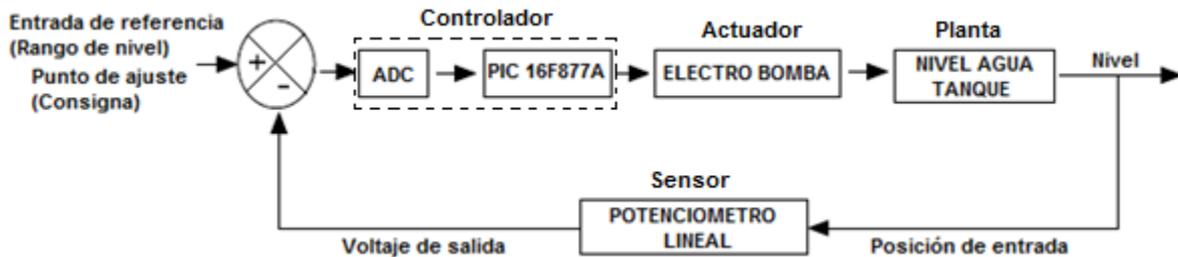


Fig. 9 Diagrama de bloques de control de nivel

El control de la variable de humedad tiene en su estructura un dispositivo de control que toma las decisiones de acuerdo a su programación interna, un sensor que mide el valor real de tensión en el suelo de acuerdo a su resistencia variable en función de la cantidad de agua, una electroválvula que enciende o apaga afectando la humedad de agua en el suelo.

Se muestra un lazo cerrado en la figura 10 donde la variable de salida humedad del proceso de riego del suelo se mide y con ello realimenta al dispositivo de control, quien compara constantemente esta medición con los valores que tiene establecidos, de esta manera si la humedad es mayor o igual que el valor máximo permitido se enciende la electroválvula que se mantiene en este estado hasta que se cumpla el límite de la brecha diferencial que en este caso es cuando la humedad es menor o igual que el valor mínimo permitido entonces la electrobomba se apaga; Cuando el nivel es mayor que el valor mínimo permitido se vuelve a ingresar a la zona muerta pero ahora la electroválvula se mantiene en estado apagado y solo vuelve a encenderse hasta llegar de nuevo al límite opuesto.

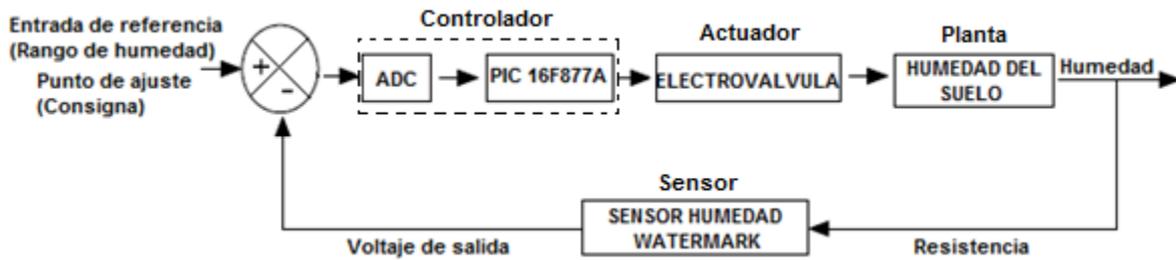


Fig. 10 Diagrama de bloques de control humedad

2.4 Sensor de temperatura LM35DZ. El LM35 tiene una respuesta rápida y lineal, ofrece un valor de tensión en función de la temperatura que se registra en escala Celsius, incrementa en 10 mili voltios por cada grado centígrado °C registrado. El sensor permite una precisión importante, incluso registra fracciones de grado pero es necesario tratar adecuadamente la señal, el sensor se muestra en la figura 11.



Fig. 11 Sensor LM35DZ

La tensión que entrega el sensor en función de la temperatura está dada por la ecuación 2.

$$V_{Out} = 0.01 (v/^{\circ}C) * T(^{\circ}C) \quad Ec.2$$

2.5 Sensor de humedad WATERMARK. El sensor es de tipo granular matricial y mide indirectamente la humedad del suelo a partir de la medida de succión de agua que está dada entre 0 y 200 centibares, tiene un rango aceptablemente lineal, presenta una resistencia eléctrica variable que tiene dos electrodos contenidos en una barrera permeable con valores de 550 – 28 KΩ, cada valor de resistencia del sensor corresponde linealmente a un valor de presión en centibares que a su vez se toma como indicador de cierto valor de humedad en el suelo. Un menor valor de resistencia y por ende una menor lectura en centibares corresponde a un suelo más húmedo, se muestra el sensor en la figura 12.



Fig. 12 Sensor de humedad del suelo Watermark

La humedad del suelo es expresada en centibares en función de la resistencia está dada por la ecuación 3.

$$Valor = \left(\frac{5V * R_{tabla}}{R_{total}} \right) / Resolución \quad Ec.3$$

2.6 Potenciómetro lineal de posición. Como sensor de nivel de agua se usa el potenciómetro industrial de la figura 13, que es de una vuelta y tiene un valor resistivo de 10 K Ω , el modo de funcionamiento es que de acuerdo a la posición mecánica de entrada presenta un voltaje proporcional a la salida.



Fig. 13 Potenciómetro lineal industrial 10 K Ω

2.7 Módulos de comunicación inalámbrica. La empresa MaxStream fabrica varios tipos de módulos XBee con diferentes antenas, potencia y capacidades, para este trabajo se usan módulos XBee PRO 900 693 mW que funcionan de acuerdo al protocolo estándar para comunicación inalámbrica 802.15.4. ; La comunicación se realiza en la banda de 902 a 928 MHz (2.4GHz) que es su única frecuencia de trabajo, dividiéndola 8 a 12 canales posibles según sea configurado, los módulos se muestran en la figura 14.

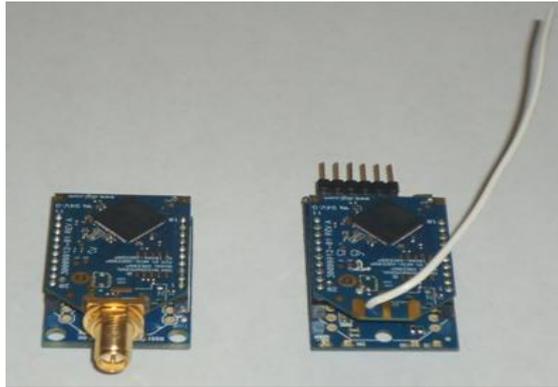


Fig. 14 Módulos de RF XBee PRO 900 693 mW 802.15.4.

La tasa de datos de este modulo es de 156 Kbps hasta 250 Kbps, tiene alcance de 140 m en recinto cerrado y alcance de 3 Km al aire libre, puede alcanzar hasta 10 Km con antena de alto valor de ganancia, El alcance depende de la potencia de transmisión de 693 mW (+ 28.4 dBm) y el tipo de antena que en este caso es de conector RPSMA; Cada módulo XBee tiene una única dirección de 64 bits establecida de fábrica, los módulos usados en este proyecto tienen direcciones 0013A20040784F93 y 0013A20040788ED1, por otra parte la red XBee permite para su funcionamiento de ruteo direcciones de 16 bits que se le asigna al modulo al momento de asociarse a una red.

2.8 Diseño de interfaz SARGUS. Se desarrolla la aplicación de interfaz grafica de usuario para definir las funciones de control y supervisión dentro del proceso de riego en forma clara, oportuna y agradable; Es necesario conocer el estado del proceso de riego que se monitorea y se controla, para tal efecto se integra el sistema de riego con una interfaz grafica desarrollada con el software Visual Basic que es un lenguaje de programación de alto nivel y fácil comprensión desarrollado para Microsoft corporation, es una herramienta de diseño de aplicaciones de interfaz grafica para Windows. Está constituido por un entorno de desarrollo integrado que es un paquete de aplicaciones, posee todas las opciones que brinda un menú para las personas que están familiarizadas con Windows y además es muy intuitivo.

3. Resultado

Se muestra en la figura 15 que en el momento de correr la aplicación el usuario se encuentra con una ventana que le solicita una clave de acceso, la palabra clave “usco” se ingresa en la caja de texto.



Fig. 15 Acceso a la interfaz grafica

En el momento de acceder a la aplicación se indica en la parte inferior izquierda de la ventana que el dispositivo USB no ha sido conectado “HID DESCONECTADO”, por lo tanto como se muestra en la figura 16 no se puede enviar información para establecer el control del sistema y mucho menos recibir información para monitorear el mismo.



Fig. 16 Interfaz grafica de usuario dispositivo HID desconectado

En la figura 17 se muestra que en el momento de conectar el dispositivo USB el computador lo detecta y la interfaz de usuario informa el cambio, en la parte inferior izquierda de la ventana se indica “HID CONECTADO”, entonces es posible acceder al sistema de riego. En la parte inferior derecha se encuentra una barra de nivel que indica si el estado de transmisión y recepción de datos es óptimo, en la parte inferior central se encuentra la fecha y la hora actual.



Fig. 17 Interfaz grafica de usuario dispositivo HID conectado

El usuario establece los set points de acuerdo a las condiciones del cultivo y las envía hasta el dispositivo de control para iniciar el proceso de riego, para esto debe acceder como se muestra en la figura 18 al Menú > Controlador > Set Points.

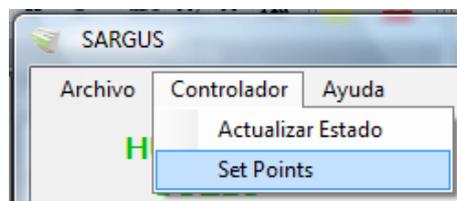


Fig. 18 Menú > Controlador > Set Points

Es importante establecer un valor máximo y un valor mínimo para cada una de las variables como se muestra en la figura 19, de acuerdo a estos datos que se envían al dispositivo de control se toman las decisiones en el proceso de riego (Rodríguez, 2007). El nivel de agua para abastecer el cultivo, por lo tanto no debe estar por debajo del valor mínimo y el dispositivo de control toma la decisión de cuando encender la electro bomba para llenar el tanque; La temperatura en el caso que el sistema se instale en un invernadero; La humedad en el suelo es lo más importante ya que cada cultivo tiene requerimientos de agua que pueden variar, hay una capacidad de campo que es la máxima cantidad de agua que las raíces de la planta pueden tolerar o el punto de

marchitamiento que es la mínima cantidad de agua con la que las raíces de la planta sobreviven antes de marchitarse y por lo tanto perder la capacidad de recuperarse.



Fig. 19 Set Points Controller

4. Conclusiones

Se realiza una comunicación inalámbrica de información entre dos dispositivos y controla el sistema de riego de una manera adecuada, los datos que suministra el usuario al sistema desde el computador y monitoreo del proceso de riego se logra por medio de una interfaz de usuario fácil de manejar.

La comunicación inalámbrica es un método económico de manejo de información al sustituir el cableado que podía necesitarse para cubrir las distancias existentes entre el terreno de cultivo y la estación remota donde se ubica el usuario, además de ser un confiable y de alta velocidad.

Mediante aplicaciones electrónicas se pueden mejorar los procesos agrícolas en el departamento del Huila; Reducir costos, facilitar la vida de las personas y ser más eficientes en el desarrollo de tareas.

5. Referencias Bibliográficas

García, E., 2008. Compilador C CCS y simulador PROTEUS para Micro controladores PIC. Alfaomega Grupo Editor, Primera Edición. México. 251-263 pp.

Ogata, K., 1987. Dinámica de Sistemas. Prentice Hall, Inc. Primera Edición. México. 494-511 pp.

Tomasi, W., 2003. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Pearson Prentice Hall. Cuarta Edición. México. 470-477 pp.

Rodríguez, A., 2007. Sistemas SCADA. Segunda Edición. Marcombo Ediciones Técnicas. Es. 1-54 pp.

ANEXO A

XBee®/XBee-PRO® ZB RF Modules

ZigBee RF Modules by Digi International

Models: XBEE2, XBEEPRO2, PRO S2B

Hardware: S2 and S2B

Firmware Versions:

- 20xx - Coordinator - AT/Transparent Operation
- 21xx - Coordinator - API Operation
- 22xx - Router - AT/Transparent Operation
- 23xx - Router - API Operation
- 28xx - End Device - AT/Transparent Operation
- 29xx - End Device - API Operation



Specifications of the XBee®/XBee-PRO® ZB RF Module

| Specification | XBee | XBee-PRO (S2) | XBee-PRO (S2B) |
|--|---|--|---|
| Performance | | | |
| Indoor/Urban Range | up to 133 ft. (40 m) | Up to 300 ft. (90 m), up to 200 ft (60 m) international variant | Up to 300 ft. (90 m), up to 200 ft (60 m) international variant |
| Outdoor RF line-of-sight Range | up to 400 ft. (120 m) | Up to 2 miles (3200 m), up to 5000 ft (1500 m) international variant | Up to 2 miles (3200 m), up to 5000 ft (1500 m) international variant |
| Transmit Power Output | 2mW (+3dBm), boost mode enabled 1.25mW (+1dBm), boost mode disabled | 50mW (+17 dBm) 10mW (+10 dBm) for International variant | 63mW (+18 dBm) 10mW (+10 dBm) for International variant |
| RF Data Rate | 250,000 bps | 250,000 bps | 250,000 bps |
| Data Throughput | up to 35000 bps (see chapter 4) | up to 35000 bps (see chapter 4) | up to 35000 bps (see chapter 4) |
| Serial Interface Data Rate (software selectable) | 1200 bps - 1 Mbps (non-standard baud rates also supported) | 1200 bps - 1 Mbps (non-standard baud rates also supported) | 1200 bps - 1 Mbps (non-standard baud rates also supported) |
| Receiver Sensitivity | -95 dBm, boost mode enabled -95 dBm, boost mode disabled | -102 dBm | -102 dBm |
| Power Requirements | | | |
| Supply Voltage | 2.1 - 3.6 V | 3.0 - 3.4 V | 2.7 - 3.6 V |
| Operating Current (Transmit, max output power) | 40mA (@ 3.3 V, boost mode enabled) 35mA (@ 3.3 V, boost mode disabled) | 295mA (@3.3 V) 170mA (@3.3 V) international variant | 205mA, up to 220 mA with programmable variant (@3.3 V) 217mA, up to 232 mA with programmable variant (@3.3 V), International variant |
| Operating Current (Receive) | 40mA (@ 3.3 V, boost mode enabled) 38mA (@ 3.3 V, boost mode disabled) | 45 mA (@3.3 V) | 47 mA, up to 62 mA with programmable variant (@3.3 V) |
| Idle Current (Receiver off) | 15mA | 15mA | 15mA |
| Power-down Current | < 1 μ A @ 25°C | 3.5 μ A typical @ 25°C | 3.5 μ A typical @ 25°C |
| General | | | |

| | | | |
|---------------------------------|---|---|---|
| Operating Frequency Band | ISM 2.4 GHz | ISM 2.4 GHz | ISM 2.4 GHz |
| Dimensions | 0.960" x 1.067" (2.438cm x 2.761cm) | 0.960 x 1.297 (2.438cm x 3.294cm) | 0.960 x 1.297 (2.438cm x 3.294cm) |
| Operating Temperature | -40 to 85° C (Industrial) | -40 to 85° C (Industrial) | -40 to 85° C (Industrial) |
| Antenna Options | Integrated Whip, Chip, RPSMA, or U.FL Connector | Integrated Whip, Chip, RPSMA, or U.FL Connector | Integrated Whip, PCB Embedded Trace, RPSMA, or U.FL Connector |
| Networking & Security | | | |
| Supported Network Topologies | Point-to-point, Point-to-multipoint, Peer-to-peer, and Mesh | Point-to-point, Point-to-multipoint, Peer-to-peer, and Mesh | Point-to-point, Point-to-multipoint, Peer-to-peer, and Mesh |
| Number of Channels | 16 Direct Sequence Channels | 14 Direct Sequence Channels | 18 Direct Sequence Channels |
| Channels | 11 to 26 | 11 to 24 | 11 to 25 |
| Addressing Options | PAN ID and Addresses, Cluster IDs and Endpoints (optional) | PAN ID and Addresses, Cluster IDs and Endpoints (optional) | PAN ID and Addresses, Cluster IDs and Endpoints (optional) |
| Agency Approvals | | | |
| United States (FCC Part 15.247) | FCC ID: OUR-XBEE2 | FCC ID: MCQ-XBEEPRO2 | FCC ID: MCQ-PRO52B |
| Industry Canada (IC) | IC: 4214A-XBEE2 | IC: 1846A-XBEEPRO2 | IC: 1846A-PRO52B |
| Europe (CE) | ETSI | ETSI | ETSI |

Pin Assignments for the XBee-PRO Modules

(Low-asserted signals are distinguished with a horizontal line above signal name.)

| Pin # | Name | Direction | Default State | Description |
|-------|-----------------------------------|-----------|-----------------------------|---|
| 1 | VCC | - | - | Power supply |
| 2 | DOUT | Output | Output | UART Data Out |
| 3 | DIN / CONFIG | Input | Input | UART Data In |
| 4 | DIO12 | Both | Disabled | Digital I/O 12 |
| 5 | <u>RESET</u> | Both | Open-Collector with pull-up | Module Reset (reset pulse must be at least 200 ns) |
| 6 | RSSI PWM / DIO10 | Both | Output | RX Signal Strength Indicator / Digital IO |
| 7 | DIO11 | Both | Input | Digital I/O 11 |
| 8 | [reserved] | - | Disabled | Do not connect |
| 9 | DTR / SLEEP_RQ/ DIO8 | Both | Input | Pin Sleep Control Line or Digital IO 8 |
| 10 | GND | - | - | Ground |
| 11 | DIO4 | Both | Disabled | Digital I/O 4 |
| 12 | <u>CTS</u> / DIO7 | Both | Output | Clear-to-Send Flow Control or Digital I/O 7. CTS, if enabled, is an output. |
| 13 | ON / SLEEP | Output | Output | Module Status Indicator or Digital I/O 9 |
| 14 | VREF | Input | - | Not used for EM250. Used for programmable secondary processor. For compatibility with other XBEE modules, we recommend connecting this pin voltage reference if Analog sampling is desired. Otherwise, connect to GND. |
| 15 | Associate / DIO5 | Both | Output | Associated Indicator, Digital I/O 5 |
| 16 | <u>RTS</u> / DIO6 | Both | Input | Request-to-Send Flow Control, Digital I/O 6. RTS, if enabled, is an input. |
| 17 | AD3 / DIO3 | Both | Disabled | Analog Input 3 or Digital I/O 3 |
| 18 | AD2 / DIO2 | Both | Disabled | Analog Input 2 or Digital I/O 2 |
| 19 | AD1 / DIO1 | Both | Disabled | Analog Input 1 or Digital I/O 1 |
| 20 | AD0 / DIO0 / Commissioning Button | Both | Disabled | Analog Input 0, Digital IO 0, or Commissioning Button |

ANEXO B

WATERMARK Soil Moisture Sensor
MODEL 200SS (Basic Sensor)

| Cat. No. | Length | Price Each |
|----------|----------------|------------|
| 200SS-5 | 5 Feet (1.5 m) | \$30.00 |
| 200SS-10 | 10 Feet (3 m) | 31.75 |
| 200SS-X | No Wire Lead | 28.50 |

For lengths longer than 10' — add \$0.20 per foot.



Basic **WATERMARK** Soil Moisture Sensor. For use with all crops. To be used with **WATERMARK** meter. Reads electrical resistance in 0-200 centibar range. Easily interfaced with dataloggers. (Sensor protection required when sensor interfaced with electronic logging devices.)

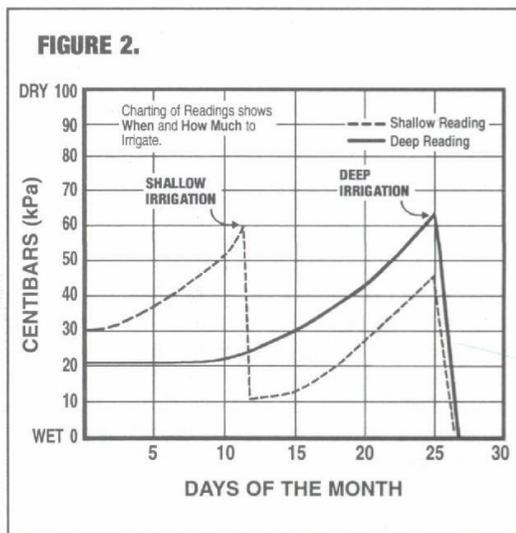
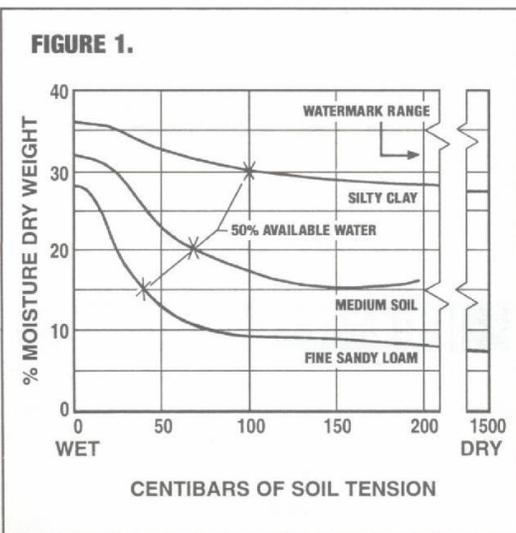
DETERMINING “WHEN” TO IRRIGATE

Figure 1 shows how variations in soil affect the ability of the soil to store water (water holding capacity). Heavier clay soils store much more water than sandy soils. But even more important, the plant cannot readily extract all of this stored moisture, only the “available” portion. The general rule of thumb is that irrigation should commence before you reach 50% of the “available” portion being depleted. From Figure 1 you can see what the soil moisture tension is at the 50% level of available moisture.

Assuming your soil was of a medium type, this 50% level would occur at about 60-70 centibars. While determination of the proper irrigation point is largely dependent on soil type, you must also consider the crop and your irrigation method. Sensitive crops may require irrigation sooner, less sensitive crops may not need water until later. Surface irrigation may allow you to apply water much more rapidly than a drip system, thus you need to consider how quickly your system can react in order to avoid moisture stress. (See Figure 2).

DETERMINING “HOW MUCH” TO IRRIGATE

Your own record keeping system, and experience with your crop, soils and irrigation method are essential with any good management system. With **Watermark** Sensors properly placed in both the top (e.g. 12”) and bottom (e.g. 24”) of the crop root system, your readings will tell you whether it is the shallow or deep moisture which is depleted. If your shallow reading is 60 and your deep reading is 10, you know you only need to apply enough water to rewet the top 12”. If the readings are reversed, with 40 for the shallow and 60 for the deep, you may need to apply twice as much water. The local farm advisor or Soil Conservation Service can be of great help to you in determining your individual soils and how much water they store. This will help you use the **Watermark** Sensor readings to effectively control your irrigation scheduling and to prevent excessive leaching of plant nutrients. (See Figure 2).



Irrrometer Lengths and Placement Depths

The following are suggested placement depths for various crops based on deep, well drained soil. Instruments may be angled or set more shallowly in lighter or shallow soil. **With drip/micro irrigation 12", 24" depths are recommended**, with an added 36" depth on deeper rooted crops

| CROP | Shallow Instrument (Inches) | Deep Instrument (Inches) | For Extra Depth, Set at (Inches) | CROP | Shallow Instrument (Inches) | Deep Instrument (Inches) | For Extra Depth, Set at (Inches) |
|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| Alfalfa | 18-24 | 36-48 | 60-70 | Melons | 18 | 36 | |
| Almonds | 24 | 48 | 72 | Milo | 24 | 48 | |
| Apples | 20 | 40 | 60 | Mint | 12 | 24 | |
| Apricots | 24 | 48 | 72 | Monterey Pines, Firs | 12 | 24 | |
| Artichokes | 18 | 36 | | Mums | 12 | (Placed 4-6") | |
| Asparagus | 18-24 | 36-48 | | Mustard | 18 | 36 | |
| Avocados | 12 | 24 | 36 | Nectarines | 18 | 36 | |
| Bananas | 12 | 24 | | Oats | 18 | 36 | |
| Barley | 18 | 36 | | Okra | 18 | 36 | |
| Beans (bush) | 10 | | 18 | Olives | 24 | 48 | 60 |
| Beans (Lima) | 18 | 36 | | Onions | 12 | | |
| Beans (Pole) | 18 | 36 | | Papaya | 12 | 24 | |
| Beets (sugar) | 18 | 36 | | Parsnips | 18 | 36 | |
| Beets (table) | 12-18 | 24-36 | | Peaches | 18 | 36 | 60 |
| Blueberries | 12 | 24 | | Peanuts | 12 | 24 | |
| Broccoli | 12 | 20 | | Peas | 18 | 36 | 48 |
| Cabbage | 12 | 20 | | Peas | 18 | 36 | |
| Canaigre | 18 | 36 | 48 | Pecans | 18 | 36 | 48 |
| Cantaloupe | 18 | 36 | | Peppers | 15 | 30 | |
| Carnations | 12 | (Placed 4-6") | | Permanent Pastures | 8-15 | | 24-30 |
| Carrots | 12 | 24 | | Persimmons | 18 | 36 | |
| Cauliflower | 12 | 24 | | Pineapple | 15 | 30 | |
| Celery | 10 | 20 | | Pistachio Nuts | 24 | 48 | 60 |
| Chard | 12 | 24 | | Pomegranates | 18 | 36 | |
| Cherries | 24 | 48 | | Potatoes (Irish) | 8-10 | 18 | |
| Christmas tree | 12 | 24 | | Potatoes (Sweet) | 18 | 36 | |
| Citrus; orange, lemon, grapefruit | 18 | 36 | | Plums | 24 | 48 | 72 |
| Coffee | 18-24 | 36-48 | | Prunes | 24 | 48 | 72 |
| Corn (sweet) | 12 | 30 | | Pumpkin | 18 | 36 | 48 |
| Corn (field) | 18 | 36 | | Radishes | 12 | | |
| Cotton | 18 | 36 | 48 | Raspberries | 18 | 36 | |
| Cranberries | 18 | 36 | | Sorghum | 18 | 36 | |
| Cucumbers | 18 | 36 | | Soy Beans | 18 | 36 | 60 |
| Date palm | 24 | 48 | 60 | Spinach | 12 | 24 | |
| Egg Plant | 12 | 24 | | Squash (Summer) | 15 | 30 | |
| Figs | 18 | 36 | | Strawberries | 6 | 12 | |
| Garlic | 12 | 24 | | Sudan Grass | 18-24 | 36-48 | |
| Grain and Flax | 18 | 36 | | Sugar Cane | 18 | 36 | |
| Grapes | 24 | 48 | 60 | Sunflowers | 24 | 48 | 60 |
| Hops | 24 | 48 | 60 | Tea | 12 | 24 | |
| Jojoba | 18 | 36 | | Tobacco | 8-15 | 30 | |
| Kiwi | 18 | 36 | 48 | Tomatoes | 18 | 36 | |
| Ladino Clover | 10 | 20 | | Turnips | 18 | 36 | |
| Lettuce | 12 | | | Walnuts | 24 | 48 | 72 |
| Macadamias | 12 | 24 | 36 | Watermelon | 18 | 36 | 48 |
| Maize | 18 | 36 | | Wheat-Hay | 18 | 36 | |



IRRROMETER COMPANY, INC.

P.O. Box 2424 Riverside, CA 92516

Phone (951) 689-1701 Fax (951) 689-3706

www.irrometer.com sales@irrometer.com

ANEXO C

Honeywell



Representative photograph, actual product appearance may vary.

Due to regional agency approval requirements, some products may not be available in your area. Please contact your regional Honeywell office regarding your product of choice.

RV6NAYSD103A

RV6 Series Industrial Potentiometer, Conductive Plastic Element, Solder hook Terminals, 0.5 W Power Rating, 10 kOhm Resistance Value

Features

- Compact - 12,7 mm [0.5 in] diameter
- Conductive plastic element
- Linear taper
- Robust nickel-plated brass shaft and bushings
- Meets MIL-PRF-94 standards
- Solder hook terminals

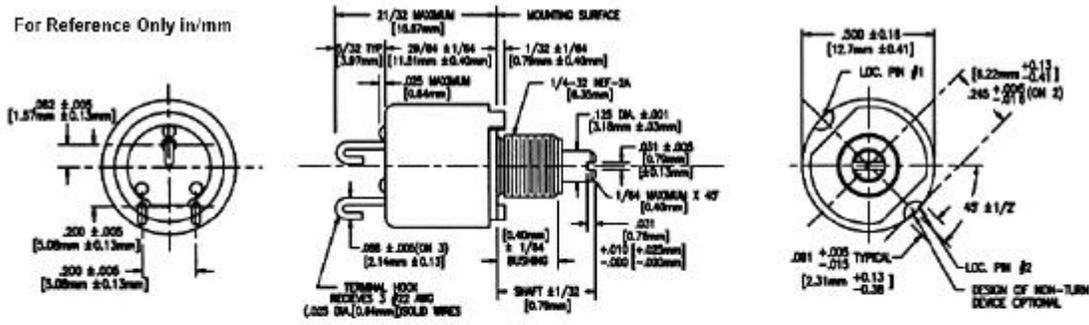
Typical Applications

- Manual controls
- Medical equipment
- Telecommunications

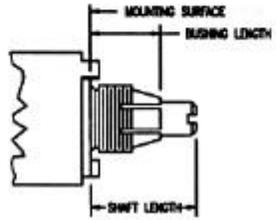
Description

The RV6 Series is a military qualified potentiometer made in accordance to MIL-PRF-94 specifications. It offers a 1/2 watt power rating and a conductive plastic element.

| Product Specifications | |
|------------------------|---|
| Potentiometer Type | Industrial |
| Element Type | Conductive Plastic |
| Terminal Type | Solder Hook |
| Power Rating | 0.5 W |
| Resistance Value | 10 kOhm |
| Resistance Tolerance | ± 10 % |
| Linearity | ± 5 % |
| Bushing Thread | 6,35 mm [0.25 in] x 32 NEF-2A |
| Bushing length | 6,35 mm [0.25 in] |
| Bushing Type | Standard |
| Shaft Diameter | 3,18 mm [0.125 in] |
| Shaft length | 22,22 mm [0.875 in] |
| Shaft Ending | Slotted |
| Body | 12.7 mm [0.5 in] diameter, ± 0.79 mm [0.031 in] |
| Electrical Taper | Linear |
| Operating Temperature | -40 °C to 120 °C [-40 °F to 248 °F] |
| Working Voltage (Max.) | 350 V |
| Rotational Life | 50000 cycles |
| Mechanical Rotation | 295° |
| Availability | Global |
| Series Name | RV6 Series |
| UNSPSC Code | 4111363300 |
| UNSPSC Commodity | 4111363300 Potentiometers |



SPLIT LOCKING BUSHING



⚠ WARNING
PERSONAL INJURY
 DO NOT USE these products as safety or emergency stop devices, or in any other application where failure of the product could result in personal injury.
 Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.

⚠ WARNING
MISUSE OF DOCUMENTATION

- The information presented in this product sheet (or catalog) is for reference only. DO NOT USE this document as product installation information.
- Complete installation, operation and maintenance information is provided in the instructions supplied with each product.

Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.

ANEXO D

MonitorForm

Public Class MonitorForm

```
Private Const VendorID As Short = &H460 'Replace with your device's
Private Const ProductID As Short = &H21 'product and vendor IDs
Private Const BufferInSize As Short = 32 'Size of the data buffer coming IN
Private Const BufferOutSize As Short = 32 'Size of the data buffer going OUT
Public BufferIn(BufferInSize) As Byte 'Received data will be stored
Public BufferOut(BufferOutSize) As Byte 'Transmitted data is stored here -
Public DataIN(32) As Integer
Public varMaxLvl As Integer = 1
Public VarMinLvl As Integer = 0
Public varMaxtemp As Integer = 1
Public VarMintemp As Integer = 0
Public varMaxH As Integer = 1
Public VarMinH As Integer = 0
Public LocIniLVL As Integer
Public LocIniTemp As Integer
Public Contexto_Receive As Integer = 0
Public Temperatura As Double = 0
Public Nivel As Double = 0
Public Humedad As Double = 0
Public CounterTime As Integer = 0
Public nHist As Integer = 0
Public hora(10000) As String
Public MoreData As Boolean = False
Public HistLVL(10000) As Integer
Public HistTemp(10000) As Integer
Public HistHumedad(10000) As Integer
Public enviados As Integer = 1
Public recibidos As Integer = 1

Private Sub Form1_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles MyBase.Load
    ConnectToHID(Me)
    LocIniLVL = LvlMin.Location.Y
    LocIniTemp = TempMIN.Location.Y
End Sub
Public Sub Estado_Controlador()
    BufferOut(0) = 0
    BufferOut(1) = CInt(102)
    BufferOut(2) = CInt(102)
    Call WriteSomeData()
End Sub
Public Sub WriteSomeData()
    hidWriteEx(VendorID, ProductID, BufferOut(0))
    enviados = enviados + 1
    For i = 1 To 31
        BufferOut(i) = 0
    Next
End Sub
Private Sub Form1_FormClosed(ByVal sender As Object, ByVal e As
```

```

System.Windows.Forms.FormClosedEventArgs) Handles Me.FormClosed
    DisconnectFromHID()
    End
End Sub
Public Sub OnPlugged(ByVal pHandle As Integer)
    If hidGetVendorID(pHandle) = VendorID And hidGetProductID(pHandle) =
ProductID Then
        LblState.Text = "HID CONECTADO"
        LblState.ForeColor = Color.Green
    End If
End Sub
Public Sub OnUnplugged(ByVal pHandle As Integer)
    If hidGetVendorID(pHandle) = VendorID And hidGetProductID(pHandle) =
ProductID Then
        hidSetReadNotify(hidGetHandle(VendorID, ProductID), False)
        LblState.Text = "HID DESCONECTADO"
        LblState.ForeColor = Color.Red
    End If
End Sub
Public Sub OnChanged()
    Dim pHandle As Integer
    pHandle = hidGetHandle(VendorID, ProductID)
    hidSetReadNotify(hidGetHandle(VendorID, ProductID), True)
End Sub
Public Sub OnRead(ByVal pHandle As Integer)
    Try
        If (hidRead(pHandle, BufferIn(0)) = True) Then
            Dim tam = 0
            For i = 1 To 32
                If CInt(BufferIn(i)) = 0 Then
                    tam = i - 1
                    If tam Mod 2 = 0 Then
                        Exit For
                    Else
                        Exit Sub
                    End If
                End If
            Next
            If tam > 0 Then
                For i = 1 To tam Step 2
                    If BufferIn(i) = BufferIn(i + 1) Then
                        DataIN(i) = CInt(BufferIn(i))
                        BufferIn(i) = 0
                    Else
                        For j = 1 To 32
                            BufferIn(i) = 0
                            DataIN(i) = 0
                        Next
                        Exit Sub
                    End If
                Next
                recibidos = recibidos + 1
                AccionEntrada()
            End If
            For i = tam + 1 To 32

```

```

        DataIN(i) = 0
    Next

    End If
Catch ex As Exception
    MsgBox(ex.Message)
End Try
End Sub
Public Sub AccionEntrada()
    Select Case DataIN(1)
    Case 102
        Try
            StateForm.TextLVLMAX.Value = DataIN(3)
            varMaxLv1 = DataIN(3)
            StateForm.TextLVLMIN.Value = DataIN(5)
            VarMinLv1 = DataIN(5)
            StateForm.NumTemMax.Value = DataIN(7)
            varMaxtemp = DataIN(7)
            StateForm.NumTemMin.Value = DataIN(9)
            VarMintemp = DataIN(9)
            StateForm.NumHMAX.Value = DataIN(11)
            varMaxH = DataIN(11)
            StateForm.NumHmin.Value = DataIN(13)
            VarMinH = DataIN(13)
        Catch ex As Exception
            MsgBox(ex.Message)
            MsgBox("Set Points Invalidos, Debe Configurar los Parametros del
Controlador", MsgBoxStyle.Exclamation)
        End Try
    Case 103
        StateForm.Close()
    Case 104
        Nivel = DataIN(3)
        Temperatura = DataIN(5)
        Humedad = DataIN(7)
        MostrarValores()
    Case 107
        BtnControl.Text = "Automatico"
        GroupBox1.Enabled = True
        Label15.Text = "Modo Manual Activo"
        Label15.ForeColor = Color.Red
        BtnValve.Text = "ON"
        BtnPumb.Text = "ON"
        BtnOK.Text = "OK"
    Case 108
        BtnControl.Text = "Manual"
        GroupBox1.Enabled = False
        Label15.Text = "Modo Automatico Activo"
        Label15.ForeColor = Color.Green
        BtnValve.Text = "ON"
        BtnPumb.Text = "ON"
        BtnOK.Text = "OK"
    Case 109
        BtnPumb.Text = "OFF"
    Case 110

```

```

        BtnPumb.Text = "ON"
Case 111
    BtnValve.Text = "OFF"
Case 112
    BtnValve.Text = "ON"
Case 113
    Label16.Visible = True
    BtnControl.Text = "Automatico"
    GroupBox1.Enabled = True
    Label15.Text = "Modo Manual Activo"
    Label15.ForeColor = Color.Red
    BtnValve.Text = "ON"
    BtnPumb.Text = "ON"
    BtnOK.Text = "LEDS"
Case 114
    Label111.Visible = True
    BtnControl.Text = "Automatico"
    GroupBox1.Enabled = True
    Label15.Text = "Modo Manual Activo"
    Label15.ForeColor = Color.Red
    BtnValve.Text = "ON"
    BtnPumb.Text = "ON"
    BtnOK.Text = "LEDS"
Case 115
    Label112.Visible = True
    BtnControl.Text = "Automatico"
    GroupBox1.Enabled = True
    Label15.Text = "Modo Manual Activo"
    Label15.ForeColor = Color.Red
    BtnValve.Text = "ON"
    BtnPumb.Text = "ON"
    BtnOK.Text = "LEDS"
Case 116
    BtnOK.Text = "OK"
Case 117
    Label12.Visible = True
    BtnControl.Text = "Automatico"
    GroupBox1.Enabled = True
    Label15.Text = "Modo Manual Activo"
    Label15.ForeColor = Color.Red
    BtnValve.Text = "ON"
    BtnPumb.Text = "ON"
    BtnOK.Text = "LEDS"
Case 118
    Label114.Visible = True
    BtnControl.Text = "Automatico"
    GroupBox1.Enabled = True
    Label15.Text = "Modo Manual Activo"
    Label15.ForeColor = Color.Red
    BtnValve.Text = "ON"
    BtnPumb.Text = "ON"
    BtnOK.Text = "LEDS"
End Select
End Sub
Public Sub BarraMaxLVL()

```

```

    If CInt(StateForm.TextLVLMAX.Value) >= VarMinLv1 + 1 Then
        varMaxLv1 = StateForm.TextLVLMAX.Value
        TextBox5.Text = StateForm.TextLVLMAX.Value
    Else
        StateForm.TextLVLMAX.Value = varMaxLv1
    End If
End Sub
Public Sub BarraMinLVL()
    If CInt(StateForm.TextLVLMIN.Value) <= varMaxLv1 - 1 Then
        VarMinLv1 = StateForm.TextLVLMIN.Value
        TextBox6.Text = StateForm.TextLVLMIN.Value
    Else
        StateForm.TextLVLMIN.Value = VarMinLv1
    End If
End Sub
Public Sub BarraMaxTEMP()
    If CInt(StateForm.NumTemMax.Value) >= VarMintemp + 1 Then
        varMaxtemp = StateForm.NumTemMax.Value
        TextBox1.Text = StateForm.NumTemMax.Value
    Else
        StateForm.NumTemMax.Value = varMaxtemp
    End If
End Sub
Public Sub BarraMinTEMP()
    If CInt(StateForm.NumTemMin.Value) <= varMaxtemp - 1 Then
        VarMintemp = StateForm.NumTemMin.Value
        TextBox2.Text = StateForm.NumTemMin.Value
    Else
        StateForm.NumTemMin.Value = VarMintemp
    End If
End Sub
Public Sub BarraMaxH()
    If CInt(StateForm.NumHMAX.Value) >= VarMinH + 1 Then
        varMaxH = StateForm.NumHMAX.Value
        TextBox3.Text = StateForm.NumHMAX.Value
    Else
        StateForm.NumHMAX.Value = varMaxH
    End If
End Sub
Public Sub BarraminH()
    If CInt(StateForm.NumHmin.Value) <= varMaxH - 1 Then
        VarMinH = StateForm.NumHmin.Value
        TextBox4.Text = StateForm.NumHmin.Value
    Else
        StateForm.NumHmin.Value = VarMinH
    End If
End Sub
Private Sub BtnCerrar_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles BtnCerrar.Click
    End
End Sub
Private Sub BtnMonitor_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles BtnMonitor.Click
    If BtnMonitor.Text = "Monitorear" Then
        BtnMonitor.Text = "Cancelar"
    End If
End Sub

```

```

Else
    BtnMonitor.Text = "Monitorear"
End If
End Sub
Private Sub TimerMonitor_Tick(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles TimerMonitor.Tick
    If BtnMonitor.Text = "Cancelar" Then
        BufferOut(0) = 0
        BufferOut(1) = CInt(104)
        BufferOut(2) = CInt(104)
        Call WriteSomeData()
        If MoreData = False Then
            If nHist <= 60 Then
                If CounterTime >= 60 Then
                    AddValue()
                    CounterTime = 0
                End If
            Else
                MoreData = True
            End If
        Else
            If CounterTime >= 3600 Then
                AddValue()
                CounterTime = 0
            End If
        End If
        CounterTime = CounterTime + 1
    End If
    LabelHora.Text = Date.Now.ToString
    Try
        If enviados > 100 Then
            enviados = enviados - 30
            recibidos = recibidos - 30
        End If
        Pbv41.Value = (recibidos / enviados) * 100
    Catch ex As Exception
        enviados = 1
        recibidos = 1
    End Try
End Sub
Public Sub AddValue()
    HistLVL(nHist) = Nivel
    HistTemp(nHist) = Temperatura
    HistHumedad(nHist) = Humedad
    hora(nHist) = Date.Now.Hour.ToString & ":" & Date.Now.Minute.ToString & " "
    & Date.Now.Date
    nHist = nHist + 1
    If nHist >= 9999 Then
        nHist = 0
    End If
End Sub
Public Sub MostrarValores()
    If Nivel <= 100 Then
        DigitalPanelMeter1.Value = Nivel
    ElseIf Nivel > 100 Then

```

```

        DigitalPanelMeter1.Value = 100
    End If
    If Nivel <= 100 Then
        Tank1.Value = Nivel
        TextBox7.Text = Nivel * 2
    ElseIf Nivel > 100 Then
        Tank1.Value = 100
        TextBox7.Text = 200
    End If
    If Nivel < varMaxLvl And Nivel > VarMinLvl Then
        Label13.BackColor = Color.DodgerBlue
    ElseIf Nivel >= varMaxLvl Then
        Label13.BackColor = Color.DodgerBlue
    ElseIf Nivel <= VarMinLvl Then
        Label13.BackColor = Color.Red
    End If
    If Temperatura <= 100 Then
        DigitalPanelMeter2.Value = Temperatura
    ElseIf Temperatura > 100 Then
        DigitalPanelMeter2.Value = 100
    End If
    If Temperatura <= 100 Then
        Meter1.Value = Temperatura
    ElseIf Temperatura > 100 Then
        Meter1.Value = 100
    End If
    If Temperatura < varMaxtemp And Temperatura > VarMintemp Then
        Label4.BackColor = Color.Orange
    ElseIf Temperatura >= varMaxtemp Then
        Label4.BackColor = Color.Red
    ElseIf Temperatura <= VarMintemp Then
        Label4.BackColor = Color.Red
    End If
    If Humedad <= 200 Then
        DigitalPanelMeter3.Value = Humedad
    ElseIf Humedad > 200 Then
        DigitalPanelMeter3.Value = 200
    End If
    If Humedad <= 200 Then
        Gauge1.Value = Humedad
    ElseIf Humedad > 200 Then
        Gauge1.Value = 200
    End If
    If Humedad < varMaxH And Humedad > VarMinH Then
        Label19.BackColor = Color.LawnGreen
    ElseIf Humedad >= varMaxH Then
        Label19.BackColor = Color.Red
    ElseIf Humedad <= VarMinH Then
        Label19.BackColor = Color.Red
    End If
End Sub
Private Sub Form1_Shown(ByVal sender As Object, ByVal e As System.EventArgs)
Handles Me.Shown
    Estado_Controlador() 'ERROR
    BufferOut(0) = 0

```

```

        BufferOut(1) = CInt(108)
        BufferOut(2) = CInt(108)
        Call WriteSomeData()
    End Sub
    Private Sub SetPointsToolStripMenuItem1_Click(ByVal sender As System.Object,
    ByVal e As System.EventArgs) Handles SetPointsToolStripMenuItem1.Click
        BtnMonitor.Text = "Monitorear"
        Me.Enabled = False
        StateForm.Show()
    End Sub

    Private Sub ActualizarEstadoToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As
    System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
    ActualizarEstadoToolStripMenuItem.Click
        BtnMonitor.Text = "Monitorear"
        Estado_Controlador()
    End Sub
    Private Sub ExportToToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal
    e As System.EventArgs) Handles ExportToToolStripMenuItem.Click
        Me.Enabled = False
        FormReport.Show()
    End Sub
    Private Sub AcercaDeToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal
    e As System.EventArgs) Handles AcercaDeToolStripMenuItem.Click
        Me.Enabled = False
        Acerca_de.Show()
    End Sub
    Private Sub BtnPumb_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
    System.EventArgs) Handles BtnPumb.Click
        If BtnPumb.Text = "ON" Then
            BufferOut(0) = 0
            BufferOut(1) = CInt(109) 'Encender Bomba
            BufferOut(2) = CInt(109)
            Call WriteSomeData()
            System.Threading.Thread.Sleep(10)
        ElseIf BtnPumb.Text = "OFF" Then
            BufferOut(0) = 0
            BufferOut(1) = CInt(110) 'Apagar Bomba
            BufferOut(2) = CInt(110)
            Call WriteSomeData()
            System.Threading.Thread.Sleep(10)
        End If
    End Sub
    Private Sub BtnValve_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
    System.EventArgs) Handles BtnValve.Click
        If BtnValve.Text = "ON" Then
            BufferOut(0) = 0
            BufferOut(1) = CInt(111) 'Encender Valvula
            BufferOut(2) = CInt(111)
            Call WriteSomeData()
            System.Threading.Thread.Sleep(10)
        ElseIf BtnValve.Text = "OFF" Then
            BufferOut(0) = 0
            BufferOut(1) = CInt(112) 'Apagar Valvula
            BufferOut(2) = CInt(112)

```

```

        Call WriteSomeData()
        System.Threading.Thread.Sleep(10)
    End If
End Sub
Private Sub BtnControl_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles BtnControl.Click
    If BtnControl.Text = "Manual" Then
        BufferOut(0) = 0
        BufferOut(1) = CInt(107) 'Modo Manual
        BufferOut(2) = CInt(107) 'Modo Manual
        Call WriteSomeData()
    ElseIf BtnControl.Text = "Automatico" Then
        BufferOut(0) = 0
        BufferOut(1) = CInt(108) 'Modo Automatico
        BufferOut(2) = CInt(108) 'Modo Automatico
        Call WriteSomeData()
    End If
End Sub
Private Sub BtnOK_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles BtnOK.Click
    If BtnOK.Text = "LEDS" Then
        BufferOut(0) = 0
        BufferOut(1) = CInt(116) 'apagar leds
        BufferOut(2) = CInt(116) 'apagar leds
        Call WriteSomeData()
    End If
End Sub
Private Sub QTX_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button2.Click
    enviados = 1
    recibidos = 1
    Pbv41.Value = 0
End Sub
Private Sub Label6_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Label6.Click
    Label6.Visible = False
End Sub
Private Sub Label11_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Label11.Click
    Label11.Visible = False
End Sub
Private Sub Label12_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Label12.Click
    Label12.Visible = False
End Sub
Private Sub Label2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Label2.Click
    Label2.Visible = False
End Sub
Private Sub Label14_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Label14.Click
    Label14.Visible = False
End Sub
End Class

```

FormReport

```
Public Class FormReport
```

```
    Dim dt As New DataTable
    Dim counter As Integer = 0
    Private Sub FormReport_FormClosed(ByVal sender As Object, ByVal e As
System.Windows.Forms.FormClosedEventArgs) Handles Me.FormClosed
        MonitorForm.Enabled = True
    End Sub
    Private Sub FormReport_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles MyBase.Load
        Try
            Dim dr As DataRow
            dt.Columns.Add(New DataColumn("Hora", GetType(String)))
            dt.Columns.Add(New DataColumn("Nivel", GetType(String)))
            dt.Columns.Add(New DataColumn("Temperatura", GetType(Integer)))
            dt.Columns.Add(New DataColumn("Humedad", GetType(Integer)))
            For i = MonitorForm.nHist To 9999
                If MonitorForm.hora(i) <> "" Then
                    dr = dt.NewRow()
                    dr("Nivel") = MonitorForm.HistLVL(i)
                    dr("Temperatura") = MonitorForm.HistTemp(i)
                    dr("Humedad") = MonitorForm.HistHumedad(i)
                    dr("Hora") = MonitorForm.hora(i)
                    dt.Rows.Add(dr)
                    counter = counter + 1
                End If
            Next
            For i = 0 To MonitorForm.nHist - 1
                If MonitorForm.hora(i) <> "" Then
                    dr = dt.NewRow()
                    dr("Nivel") = MonitorForm.HistLVL(i)
                    dr("Temperatura") = MonitorForm.HistTemp(i)
                    dr("Humedad") = MonitorForm.HistHumedad(i)
                    dr("Hora") = MonitorForm.hora(i)
                    dt.Rows.Add(dr)
                    counter = counter + 1
                End If
            Next
            Catch ex As Exception
            End Try
            Label11.Text = counter
        End Sub
    Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button1.Click
        If counter <> 0 Then
            Try
                Dim iExp As New Funciones
                iExp.DataTableToExcel(CType(Me.dt, DataTable))
            Catch ex As Exception
                MsgBox(ex.Message)
            End Try
        Else
            MsgBox("No existe Registro de Mediciones", MsgBoxStyle.Exclamation)
```

```

        End If
    End Sub
    Private Sub BtnElimREG_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles ElimREG.Click
        dt.Dispose()
        For i = 0 To 9999
            MonitorForm.HistLVL(i) = 0
            MonitorForm.HistTemp(i) = 0
            MonitorForm.HistHumedad(i) = 0
            MonitorForm.hora(i) = ""
        Next
        counter = 0
        MonitorForm.nHist = 0
        MonitorForm.MoreData = False
        Label1.Text = counter
        MsgBox("Se han eliminado todos los registros", MsgBoxStyle.Exclamation,
Title:="Registros Eliminados")
    End Sub
End Class

```

Programa dispositivo USB

```
#include <18F4550.h> // Definición de registros internos.
```

```
#fuses MCLR,HSPLL,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP,NODEBUG,USBDIV,PLL5,CPUDIV1,VREGEN,NOPBADEN
```

```
#use delay(clock=4800000) // Frecuencia máxima de trabajo.
```

```
#use rs232(baud=9600, xmit=PIN_C6, rcv=PIN_C7, BITS=8) //para debuguear las salidas
del printf,puts etc.
```

```
#DEFINE USB_HID_DEVICE TRUE //Si usar HID
```

```
#define USB_EP1_TX_ENABLE USB_ENABLE_INTERRUPT //Activa el punto final 1 para
transferencias por bloque
```

```
#define USB_EP1_TX_SIZE 8 //8 bytes para envio
```

```
#define USB_EP1_RX_ENABLE USB_ENABLE_INTERRUPT //Activa el punto final 1 para
recepcion por bloque
```

```
#define USB_EP1_RX_SIZE 8 //8 bytes para recepcion
```

```
#include <pic18_usb.h>
```

```
#include <usb_desc_hidP.h>#include <usb.c>
```

```
int8 in_data[32];
```

```
int out_data[2];
```

```
int8 InSerial,OutSerial=0;
```

```
#int_rda
```

```
rda_isr()
```

```
{
```

```
InSerial=getc();
```

```
usb_put_packet(1, out_data, 2, USB_DTS_TOGGLE);
```

```
}
```

```
void main()
```

```
{
```

```

delay_ms(1000);
enable_interrupts(int_rda);
enable_interrupts(global);
while (TRUE)
{
    usb_task();
    usb_wait_for_enumeration();
    if (usb_enumerated())
    {
        {
            usb_get_packet(1,in_data,8);
            outserial= in_data[0];
            putc(outserial);
        }//FIN SI LLEGA DE USB
    }
} //true
} //Main

```

Programa dispositivo de control

```

#include <16f877A.H>
#define adc=8

```

```

#FUSES NOWDT
#FUSES HS
#FUSES NOPUT
#FUSES NOPROTECT
#FUSES NODEBUG
#FUSES NOBROWNOUT
#FUSES NOLVP

```

```

#use delay(clock=2000000)
#use rs232(baud=9600, xmit=PIN_C6, rcv=PIN_C7, BITS=8) //para debugear las salidas
del printf,puts etc.

```

```

#BYTE PORTA =0X05
#BYTE PORTB =0X06
#BYTE PORTC =0X07

```

```

int Comando, Valor, Dir=0;
int8 InSerial,OutSerial=0;
int estado=0;
short TransOK=0;
int Nivel,TEMP,HUMEDAD=0;
int lecADC;

```

```

int lvlMax=read_eeprom(0);
int lvlmin=read_eeprom(1);
int tMax=read_eeprom(2);
int tmin=read_eeprom(3);
int Hmax=read_eeprom(4);
int Hmin=read_eeprom(5);

```

```

#int_rda

```

```

rda_isr()
{

output_toggle(PIN_B0);

Inserial=getc();
  if (Inserial==104 ||Inserial==105 ||Inserial==106)
  {
  Comando=Inserial;
  }
  else if (Inserial>=200)
  {
    if (estado==0)
    {
      Dir=Inserial;
      Dir=Dir-200;
      estado=1;
    }
    else
    {
      estado=0;
      Dir=0;
      Comando=101;
      valor=0;
    }
  }
  else if (Inserial>=101)
  {
    if (estado==1)
    {
      Comando=Inserial;
      estado=2;
    }
    else
    {
      estado=0;
      Dir=0;
      Comando=101;
      valor=0;
    }
  }
  else
  {
    if (estado==2)
    {
      Valor=Inserial;
      estado=0;
      TransOK=1;
    }
    else
    {
      estado=0;
      Dir=0;
      Comando=101;
      valor=0;
    }
  }
}

```

```

        }
    }
}

void main()
{
    port_b_pullups (1);

    setup_adc_ports(ALL_ANALOG);
    setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_64);

    enable_interrupts(int_rda);
    enable_interrupts(global);

    delay_ms(200);
    output_high(PIN_B1);

    while (1)
    {
        if (transOK==1)
        {
            transOK=0;

            if (Comando==102) //102=Leer(Dir)
            {
                outserial=read_eeprom(Dir);
                putc(outserial);
                Comando=101;
            }

            if (Comando==103)//Write(Dir,Valor)
            {
                write_eeprom (Dir, Valor);
                Comando=101;
            }
            if (Comando==104)//ENVIAR NIVEL
            {
                putc(Nivel);
                Comando=101;
            }
            if (Comando==105)//ENVIAR TEMP
            {
                putc(temp);
                Comando=101;
            }
            if (Comando==106)//ENVIAR HUMEDAD
            {
                putc(Humedad);
                Comando=101;
            }
        }
        else
        {

```

```

set_adc_channel(0);
delay_ms(40);
LecADC=read_adc();
Temp=LecADC;

set_adc_channel(1);
delay_ms(40);
LecADC=read_adc();
Humedad=LecADC;

set_adc_channel(2);
delay_ms(40);
LecADC=read_adc();
Nivel= LecADC;
    if(Temp>=tmax)//Temp MUY ALTA
    {
    output_high(pin_d3);
    }
    else
    {
    output_low(pin_d3);
    }
    if(Temp<=tmin)//Temp MUY BAJA
    {
    output_high(pin_d2);
    }
    else
    {
    output_low(pin_d2);
    }
    if(Nivel<=lvlmin)
    {
    output_high(pin_d0);
    }
    if(Nivel>=lvlmax)
    {
    output_low(pin_d0);
    }
    if(Humedad>=Hmin && Humedad<=Hmax)
    {
    output_low(pin_d1);
    }
    if(Humedad>=Hmax)
    {
    output_high(pin_d1);
    }
}
} //FIN BUCLE INF
} //Fin Main

```