



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN  
TELECOMUNICACIONES Y REDES**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN  
CONTROL Y REDES INDUSTRIALES**

**“SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DEL  
INVERNADERO DEL CENTRO EXPERIMENTAL DEL RIEGO  
DE LA ESPOCH MEDIANTE TECNOLOGIA ZIGBEE”**

**TESIS DE GRADO**

**PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES  
Y REDES**

**DAVID RAFAEL GARCÉS HERNÁNDEZ**

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA CONTROL Y REDES  
INDUSTRIALES**

**SERGIO WILLAN JIMÉNEZ ACARO**

**RIOBAMBA – ECUADOR  
2012**

Agradezco a Dios por la vida, a mi familia quienes son mi apoyo incondicional, y todas aquellas personas que de manera directa o indirecta han hecho posible llegar a esta meta.

**DAVID**

Mi mayor gratitud al creador por la vida y la salud, a mi padre el Sr. Sergio Jiménez que durante toda mi vida ha estado apoyándome incondicionalmente, a mi mama Mercedes Acaro por el amor desinteresado hacia sus hijos y que con el ejemplo has demostrado lo valiosa que eres, a mis hermanos Milton, Deysdania, Roosevet, David, por todo el apoyo demostrado hacia mí, a mis amigos, docentes, que fui conociendo cada etapa de mi formación académica, y a las personas que de alguna u otra forma colaboraron para poder lograr mis metas.

**SERGIO**

A mi querido abuelo, Francisco Hernández (+).

**DAVID**

El presente trabajo de tesis va dedicado a mis padres por su apoyo incondicional en todo momento demostrándome su gran cariño y apoyo enseñándome que todo se puede lograr con esfuerzo y dedicación, a mis hermanos que son los mejores amigos que puedo tener, a mis abuelitos q han sido parte fundamental en mi formación como persona y a toda mi familia q de una u otra forma ha demostrado su aprecio hacia mí y para finalizar también va dedicado para la persona q más quiero por todo lo que significa en mi vida.

**SERGIO**

## FIRMAS RESPONSABLES Y NOTAS

	FECHA	FIRMA
Ing. Iván Menes <b>DÉCANO FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA</b>	_____	_____
Ing. Pedro Infante <b>DIRECTOR DE ESCUELA ING. EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y REDES</b>	_____	_____
Ing. Paúl Romero <b>DIRECTOR DE ESCUELA ING. EN ELECTRÓNICA CONTROL Y REDES INDUSTRIALES</b>	_____	_____
Ing. Paúl Romero <b>DIRECTOR DE TESIS</b>	_____	_____
Dr. Rigoberto Muñoz <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	_____	_____
Tec. Carlos Rodríguez. <b>DIRECTOR CENTRO DE DOCUMENTACIÓN</b>	_____	_____
<b>NOTA DE LA TESIS</b>	_____	

## RESPONSABILIDAD DE LOS AUTORES

“Yo DAVID RAFAEL GARCÉS HERNÁNDEZ y SERGIO WILLIAN JIMÉNEZ ACARO, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis de Grado, y el patrimonio intelectual de la misma pertenecen a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

---

David Rafael Garcés Hernández

CI: 060250846-7

---

Sergio Willian Jiménez Acaro

CI: 110437240-2

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

AIB	APS Information Base.
ALU	Unidad Aritmético Lógica.
APS	Sub capa de aplicación.
CAD	Conversor Analógico a digital.
CAN	Controlador de red de Área.
CDA	Conversor Digital a analógico.
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
DOMUS	Casa en Latín.
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum.
EEPROM	Memoria de solo lectura programable y borrable eléctricamente.
EPROM	Memoria programable y borrable de sólo lectura.
FFD	Dispositivos de función completa.
FLASH	Memoria no volátil de bajo consumo.
FSK	Modulación de frecuencia.
GOF	General Operations Frame.
GLCD	Pantalla de cristal Liquida Grafica.
GPR	Registros de propósito General.
HS	Cristal de alta velocidad.
HSEROUT	Salida serial de hardware asíncrono.
IEEE	Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos.
LP	Cristal para baja potencia y bajo consumo de corriente.
LR-WPAN	Redes Inalámbricas de Área Personal de Baja Velocidad.
MAC	Chequeo de Autenticidad de Mensaje
MCLR	Master Clear (Reset).
NWK	Capa de red.
NWKID	Identificador de red.
OSCI/CLKIN	Entrada del oscilador (cristal). Entrada de oscilador externo.
PAN	Red de área personal.
PDU	Unidad de protocolo de datos.
PHY	Capa Física.
PIC	Peripheral Interface Controller.
POP	Power-onReset.
PWM	Modulación por ancho de pulso.
RAM	Memoria de acceso aleatorio.

# ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO

DEDICATORIA

FIRMAS RESPONSABLES Y NOTA

RESPONSABILIDAD DEL AUTOR

INDICE DE ABREVIATURAS

INDICE GENERAL

INDICE DE GRAFICOS

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

MARCO REFERENCIAL..... 14

1.1 ANTECEDENTES ..... 14

1.2 JUSTIFICACIÓN..... 15

1.2.1 OBJETIVO GENERAL ..... 16

1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS ..... 17

1.3 HIPÓTESIS ..... 17

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO..... 18

2.1 EL INVERNADERO ..... 18

2.1.1 CONTROL CLIMÁTICO ..... 20

2.1.2 CONTROL AMBIENTAL..... 21

2.2 SISTEMAS DE CONTROL..... 22

2.2.1 SISTEMAS EN LAZO CERRADO..... 23

2.2.2 SISTEMAS EN LAZO ABIERTO..... 25

2.2.3 MÉTODOS DE CONTROL..... 27

2.3 ZIGBEE..... 28

2.3.1 TIPOS DE DISPOSITIVOS..... 29

2.3.2 TOPOLOGÍAS DE RED..... 31

2.3.3	MÓDULO XBEE S1 .....	32
2.3.4	UTILIZACIÓN DE XBEE PARA SENSORES REMOTOS .....	39
2.4	MICROCONTROLADORES .....	45
2.4.1	LAS TRES GAMAS DEL PIC .....	49
2.4.2	PIC 16F877A.....	53
2.4.3	PIC 18F2550.....	55
2.5	SENSORES Y ACTUADORES .....	58
2.5.1	SENSORE DE HUMEDAD DE SUELO - BLOQUES DE YESO.....	58
2.5.2	SENSOR HUMEDAD - HIH3040.....	60
2.5.3	SENSOR TEMPERATURA – LM35 .....	61
2.5.4	ELECTROVÁLVULA.....	62
2.5.5	MOTORES DC.....	65
2.6	INTERFACE DE MONITOREO.....	66
2.6.1	LABVIEW.....	66
2.6.2	PRINCIPALES USOS.....	67
2.6.3	SERVIDOR WEB LABVIEW.....	68
<b>CAPÍTULO III</b>		
	ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA.....	70
3.1	ANÁLISIS PRELIMINAR.....	70
3.2	DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS .....	72
3.3	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	75
3.3.1	MODULO MAESTRO.....	76
3.3.2	MODULO DE SENSORES .....	78
3.3.3	MODULO DE ACTUADORES .....	79
3.3.4	DESCRIPCIÓN DE LA INTERFACE WEB DE MONITOREO .....	81
<b>CAPÍTULO IV</b>		
	IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO.....	82
4.1	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA .....	82
4.1.1	CONSTRUCCIÓN DEL MODULO MAESTRO.....	83
4.1.3	CONSTRUCCIÓN DEL MODULO DE SENSORES .....	85
4.1.4	CONSTRUCCIÓN DEL MODULO DE ACTUADORES.....	86
4.1.6	ICONSTRUCCIÓN DE LA INTERFACE WEB .....	87
4.1.7	INSTALACIÓN DEL SISTEMA .....	89
<b>CAPÍTULO V</b>		

PRUEBAS Y ANÁLISIS .....	90
5.1    FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.....	90
5.1.1  MÓDULO MAESTRO.....	91
5.1.2  MÓDULO DE SENSORES .....	93
5.1.3  MODULO DE ACTURADORES.....	95
5.2    GUIA DE USO DEL SISTEMA.....	96

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

RESUMEN

SUMMARY

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II. 1 Sistema de Control Lazo Cerrado.....	24
Figura II.2 Sistema de Control Lazo Abierto.....	26
Figura II. 3 Usos de ZegBee .....	29
Figura II. 4 Tipos de Dispositivos ZegBee.....	31
Figura II. 5 Modulo XBee.....	32
Figura II. 6 Circuito Básico Serial y Pines de Conexión Xbee.....	33
Figura II. 7 Comandos AT.....	34
Figura II. 8 Frame de API XBee.....	38
Figura II. 9 Microcontrolador .....	45
Figura II. 10 Tres Gamas de PICs.....	50
Figura II. 11 PIC 16F877A.....	53
Figura II. 12 PIC 18F2550.....	55
Figura II. 13 Modulo USB PIC 18F2550.....	57
Figura II. 14 Bloque de Yeso.....	58
Figura II. 15 Equipo de Medición de Bloque de Yeso.....	59
Figura II. 16 Sensor de Humedad HIH-3040.....	60
Figura II. 17 Electroválvula.....	64
Figura II. 18 Motor DC.....	66
Figura III. 19 Centro Experimental del Riego.....	71
Figura III. 20 Invernadero CER- CER-IRRIFRUT .....	72
Figura III. 21 Válvula principal de Riego del CER-IRRIFRUT.....	73
Figura III. 22 Medidor de Humedad de Suelo.....	74
Figura III. 23 Persianas del Invernadero del CER-IRRIFRUT.....	74
Figura III. 24 Sistema de Control y Monitoreo.....	75
Figura III. 25 Vista 3D Modulo Maestro.....	76
Figura III. 26 Esquemático Modulo Maestro.....	77
Figura III. 27 Vista 3D Modulo Sensores.....	78
Figura III. 28 Esquemático Modulo Sensores.....	79
Figura III. 29 Vista 3D Modulo Actuadores.....	80
Figura III. 30 Esquemático Modulo Actuadores.....	80
Figura III. 31 Plotter de Historial - Componente Labview.....	81
Figura III. 32 Barras de Estado de Sensores- Componente Labview.....	81
Figura IV. 33 PCB Modulo Maestro Vista Posterior.....	83
Figura IV. 34 Modulo Maestro.....	84
Figura IV. 35 Módulos de Sensores.....	85
Figura IV. 36 Modulo de Actuadores .....	86
Figura IV. 37 Panel Labview.....	87
Figura IV. 38 Interface de Programación Labview.....	88
Figura IV. 39 Instalación del Sistema.....	89
Figura V. 40 Prueba GLCD .....	91
Figura V. 41 Prueba de Teclado.....	92
Figura V. 42 Prueba USB .....	92
Figura V. 43 Prueba Comunicación Xbee .....	93
Figura V. 44 Prueba de Sensores.....	94
Figura V. 45 Prueba del Módulo de Actuadores.....	95

Figura V. 46 Pantalla de Inicio.....	96
Figura V. 47 Pantalla Principal.....	97
Figura V. 48 Pantalla de Actuadores.....	97
Figura V. 49 Pantalla de Sensores.....	98
Figura V. 50 Pantalla de Créditos.....	98
Figura V. 51 Interface WEB.....	99

## INTRODUCCIÓN

El presente proyecto fue realizado para brindar una solución al diseño del Centro Experimental del Riego CER-IRRIFRUT, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

El diseño del sistema de control y monitoreo que se desarrolló para el invernadero del Centro Experimental de Riego de la ESPOCH mediante tecnología ZigBee, permite monitorear la temperatura y la humedad del invernadero, a través de la utilización de tecnología de comunicaciones inalámbricas basado en una red de sensores inalámbricos.

Este documento se realizó en varios capítulos y cuenta con anexos en los incluye los respaldos de cada uno de los módulos desarrollados.

En el Primer Capítulo contiene una revisión del Marco Referencial, objetivos e hipótesis que nos plantemos en nuestra investigación.

En el Segundo Capítulo se presenta una descripción del Marco Teórico de los Sistemas de Control, Sistemas de actuadores, tipos de dispositivos entre otros dispositivos que permiten la construcción de los módulos.

En el tercer Capítulo contiene la descripción de análisis y diseño de sistema los dispositivo e interfaz web.

En el Capítulo Cuarto se muestra la construcción del cada uno de los módulos desarrollados como el módulo maestro quien hace el control del sistema y visualiza sus parámetros en un GLCD, los módulos de sensores que entregan los datos de las condiciones ambientales y el módulo de actuadores el cual activa o desactiva dispositivos.

En el Capítulo Quinto demostramos las pruebas de análisis de cada uno de los módulos diseñados en el sistema, las conclusiones y recomendaciones a las que llegamos después de haber concluido la investigación.

# **CAPÍTULO I**

## **MARCO REFERENCIAL**

### **1.1 ANTECEDENTES**

Los invernaderos en Ecuador son muy utilizados para cultivar productos como vegetales, frutas o flores; estas últimas son un renglón importante en las exportaciones del país, sin embargo la automatización de invernaderos es muy reducida, los proyectos de automatización implementados en los últimos tiempos ha permitido procesos más eficientes.

Por lo anteriormente expuesto es de suponer que habrá un aumento en la demanda de sistemas de telecontrol, telemetría, software de aplicación, sensores y actuadores que permitan un control de los parámetros que intervienen en la obtención de un ambiente artificial en el invernadero.

En el Centro Experimental del Riego de la ESPOCH, se cuenta con un invernadero, el cual no tiene ningún tipo de automatización, monitoreo o control automático del ambiente; es así como los proponentes deciden hacer un sistema de control y monitoreo mediante una red inalámbrica basada en la tecnología ZigBee para mejorar las condiciones ambientales de temperatura y humedad para el invernadero.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

La automatización es el uso de sistemas o elementos computarizados y electromecánicos utilizados para controlar maquinarias y/o procesos industriales sustituyendo a operadores humanos, en los últimos años ha ido en aumento estos sistemas dando lugar a que se pueda utilizar en cualquier lugar en donde se requiera controlar un proceso, los sistemas de control ayudan a mejorar las condiciones o variables que inciden dentro del proceso mejorando la productividad, eficiencia y calidad, además de disminuir la intervención de las personas, optimizando así tiempos y recursos.

Zigbee es una tecnología de comunicaciones inalámbricas diseñado por la ZigBee Alliance, basado en el estándar IEEE 802.11.4 para redes WPAN, tiene como objetivo las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías, este protocolo es ideal para redes domóticas, específicamente diseñado para reemplazar la proliferación de sensores/actuadores individuales. Este fue creado para cubrir la necesidad del mercado de un sistema a bajo coste, de bajo consumo, seguro y fiable. El monitoreo remoto de un sistema ayuda a que el personal pueda conocer el estado del proceso desde cualquier lugar disminuyendo los tiempos de operación y ejecución de las acciones a tomar sobre el mismo. El uso de este tipo de automatización en el mejoramiento de las condiciones ambientales dentro de un invernadero ayudará a mantener una temperatura y humedad deseada de acuerdo con los requerimientos del operario.

## **OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

- Desarrollar un sistema para controlar y monitorear la temperatura y la humedad del invernadero del Centro Experimental de Riego de la ESPOCH mediante tecnología Zigbee.

## **1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Investigar el funcionamiento de la tecnología de comunicaciones inalámbricas Zigbee para una red de sensores inalámbricos.
- Desarrollar el módulo maestro, el módulo de sensores y el módulo de actuadores para el sistema de control y monitoreo.
- Desarrollar una interface web para el monitoreo del sistema.
- Demostrar del proceso de implementación y modo de funcionamiento de cada uno de los módulos propuestos para el manejo del sistema de control y monitoreo de temperatura y humedad mediante una red Zigbee.

## **1.3 HIPÓTESIS**

El sistema de control y monitoreo mediante Zigbee incidirá en las condiciones ambientales (temperatura y humedad) del invernadero del Centro Experimental del Riego de la ESPOCH.

# **CAPÍTULO II**

## **MARCO TEÓRICO**

### **2.1 EL INVERNADERO**

Un invernadero es toda aquella estructura cerrada cubierta por materiales transparentes a los rayos solares, que además de proporcionar abrigo y protección a los cultivos, dentro de éste es posible obtener unas condiciones artificiales de microclima, y con ello cultivar plantas fuera de estación en condiciones óptimas.

Un invernadero nos va a proporcionar un mayor control sobre el clima, las plagas y las enfermedades para que nuestro cultivo pueda llevarse a cabo adecuadamente. Para que

un invernadero se pueda considerar como tal, se debe facilitar las fases de crecimiento de los cultivos que se ven condicionadas por cuatro factores ambientales o climáticos: temperatura, humedad relativa, luz, y nivel de dióxido de carbono. Estos factores se combinan en diferente medida, para que las plantas puedan realizar sus funciones, y fuera de estos parámetros, cesa su metabolismo, por tanto éste debe de contar con las siguientes características:

- Proporcionar una temperatura adecuada al cultivo
- Permitir la entrada de luz solar
- Tener ventilación suficiente
- Mantener una buena humedad ambiental

El cultivo bajo invernadero siempre ha permitido obtener producciones de calidad y mayores rendimientos, en cualquier momento del año, a la vez que permiten alargar el ciclo de cultivo, permitiendo producir en las épocas del año más difíciles y obteniéndose mejores precios. Este incremento del valor de los productos permite que el agricultor pueda invertir tecnológicamente en su explotación mejorando la estructura del invernadero, los sistemas de riego localizado, los sistemas de gestión del clima, etc., que se reflejan posteriormente en una mejora de los rendimientos y de la calidad del producto final.

En los últimos años son muchos los agricultores que han iniciado la instalación de equipos que permiten la automatización de la apertura de las ventilaciones, radiómetros que indican el grado de luminosidad en el interior del invernadero, instalación de

equipos de calefacción, etc. Por ello en el presente documento se exponen aquellos parámetros más relevantes que intervienen en el control climático de los invernaderos como son la temperatura y humedad.

### **2.1.1 CONTROL CLIMÁTICO**

El desarrollo de los cultivos, en sus diferentes fases de crecimiento, está condicionado por cuatro factores ambientales o climáticos: temperatura, humedad relativa, luz y CO<sub>2</sub>. Para que las plantas puedan realizar sus funciones es necesaria la conjunción de estos factores dentro de unos límites mínimos y máximos, fuera de los cuales las plantas cesan su metabolismo, pudiendo llegar a la muerte.

#### **TEMPERATURA**

Este es el parámetro más importante a tener en cuenta en el manejo del ambiente dentro de un invernadero, ya que es el que más influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Normalmente la temperatura óptima para las plantas se encuentra entre los 10 y 20° C.

## **HUMEDAD RELATIVA**

La humedad es la masa de agua en unidad de volumen, o en unidad de masa de aire. La humedad relativa es la cantidad de agua contenida en el aire, en relación con la máxima que sería capaz de contener a la misma temperatura.

Existe una relación inversa de la temperatura con la humedad por lo que a elevadas temperaturas, aumenta la capacidad de contener vapor de agua y por tanto disminuye la HR. Con temperaturas bajas, el contenido en HR aumenta. Normalmente la humedad óptima depende de la especie se encuentra entre los 70% y 90%.

### **2.1.2 CONTROL AMBIENTAL**

El control ambiental está basado en manejar de forma adecuada todos aquellos sistemas instalados en el invernadero: sistema de calefacción, la ventilación y el suministro de fertilización carbónica, para mantener los niveles adecuados de la radiación, temperatura, humedad relativa y nivel de CO<sub>2</sub>, y así conseguir la mejor respuesta del cultivo y por tanto, mejoras en el rendimiento, precocidad, calidad del producto y calidad del cultivo.

*El invernadero del CER-IRRIFRUT de la ESPOCH, no cuenta con un sistema de control y monitoreo de temperatura y humedad que permita optimizar tiempo y recursos para mejorar los procesos productivos.*

## **2.2 SISTEMAS DE CONTROL**

Un sistema de control es un ordenamiento de componentes físicos conectados de tal manera que el mismo pueda comandar, dirigir o regularse a sí mismo o a otro sistema, en el sentido más abstracto es posible considerar cada objeto físico como un sistema de control, cada cosa altera su medio ambiente de alguna manera activa o positivamente.

Con el propósito de optimizar los recursos empleados, se hace necesario medir y/o mantener constantes algunas magnitudes, tales como el nivel de una cisterna, la temperatura ambiente y la humedad. Un sistema de control automático permitirá la regulación de estas variables en condiciones más idóneas que las que el propio operador podría realizar.

Un sistema de control permite la regulación automática de variables físicas, puede definirse como aquel que compara el valor de la variable o condición a controlar con un valor deseado y toma una acción de corrección de acuerdo con la desviación existente sin que el operario intervenga en absoluto.

## **2.2.1 SISTEMAS EN LAZO CERRADO**

### **DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS**

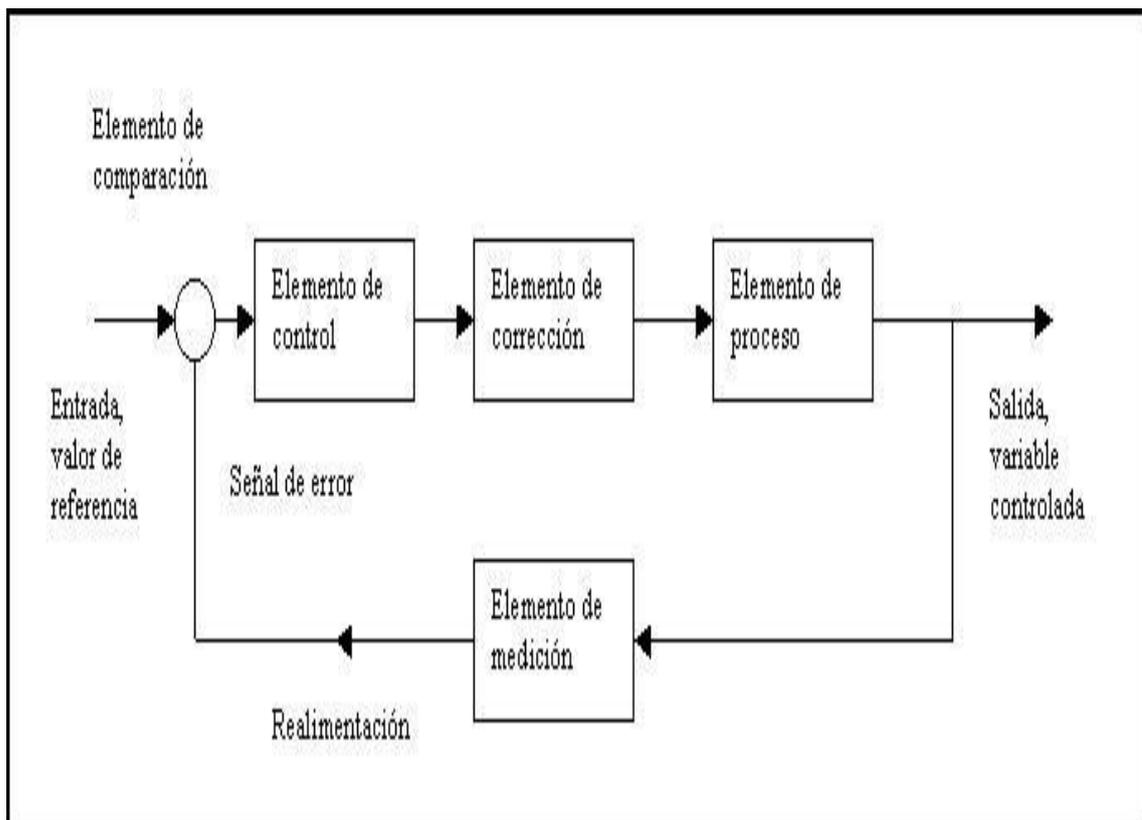
Los sistemas de control realimentados se denominan también sistemas de control de lazo cerrado, en la práctica, los términos control realimentado y control en lazo cerrado se usan indistintamente.

En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la salida de realimentación (que puede ser la señal de salida misma o una función de la señal de salida y sus derivadas o/y integrales) a fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor conveniente. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentando para reducir el error del sistema.

### **ELEMENTOS BÁSICOS**

- Elemento de comparación.- Este elemento compara el valor requerido o de referencia de la variable por controlar con el valor medido de lo que se obtiene a la salida, y produce una señal de error la cual indica la diferencia del valor obtenido a la salida y el valor requerido.

- Elemento de control.- Este elemento decide que acción tomar cuando se recibe una señal de error.
- Elemento de corrección.- Este elemento se utiliza para producir un cambio en el proceso al eliminar el error.
- Elemento de proceso.- El proceso o planta, es el sistema dónde se va a controlar la variable.
- Elemento de medición.- Este elemento produce una señal relacionada con la condición de la variable controlada, y proporciona la señal de realimentación al elemento de comparación para determinar si hay o no error.



**Figura II. 1 Sistema de Control Lazo Cerrado**

## **2.2.2 SISTEMAS EN LAZO ABIERTO**

### **DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS**

Son los sistemas en los cuales la salida no afecta la acción de control, en un sistema en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada.

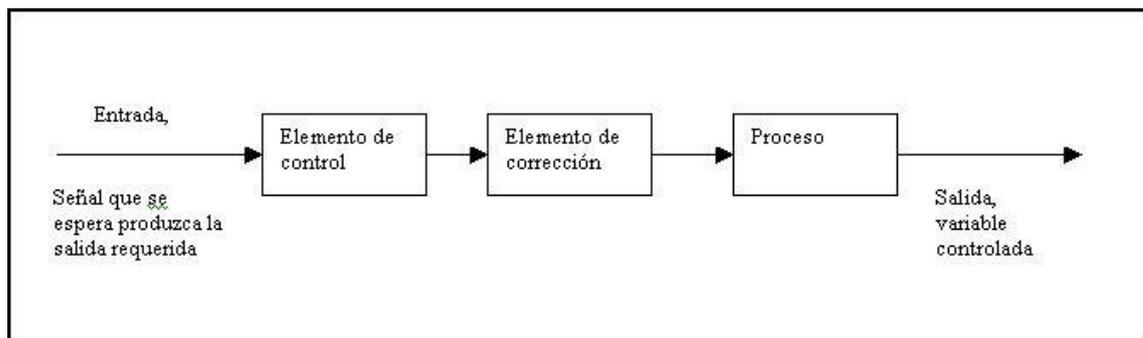
En cualquier sistema de control en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia, por lo tanto a cada entrada de referencia le corresponde una condición operativa fija; como resultado, la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada.

En la práctica, el control en lazo abierto sólo se utiliza si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas ni externas. Es evidente que estos sistemas no son de control realimentado.

### **ELEMENTOS BÁSICOS**

- Elemento de control: Este elemento determina qué acción se va a tomar dada una entrada al sistema de control.

- Elemento de corrección: Este elemento responde a la entrada que viene del elemento de control e inicia la acción para producir el cambio en la variable controlada al valor requerido.
- Proceso: El proceso o planta en el sistema en el que se va a controlar la variable.



**Figura II.2 Sistema de Control Lazo Abierto**

## **SISTEMAS DE CONTROL EN LAZO CERRADO CONTRA LOS SISTEMAS DE CONTROL EN LAZO ABIERTO**

### **Ventajas:**

- Más exacto en la igualación de los valores real y requerido para la variable.
- Menos sensible a las perturbaciones.
- Menos sensible a cambios en las características de los componentes.
- La velocidad de respuesta se incrementa y, por lo tanto, el ancho de banda es mayor, es decir, el intervalo de frecuencias en los que el sistema responderá.

### **Desventajas:**

- Hay una pérdida en la ganancia en cuanto a que la función de transferencia de un sistema en lazo abierto, se reduce de  $G$  a  $G/(1+GH)$  por una trayectoria de realimentación con una función de transferencia  $H$ .
- Existe una gran posibilidad de inestabilidad.
- El sistema es más complejo y, por lo tanto, no sólo más caro, sino más propenso a descomposturas.

### **2.2.3 MÉTODOS DE CONTROL**

#### **CONTROL ON/OFF**

- Lógica de control cableada.
- Elementos on/off: relés, termopares, etc.

#### **CONTROL ANALÓGICO**

- Circuitos electrónicos analógicos. Aparece PID.
- Existencia de derivas.

#### **CONTROL DIGITAL CON DATOS MUESTREADOS**

- Uso de tecnología digital (microcontroladores).
- Mayor flexibilidad en el control.

## 2.3 ZIGBEE

Más de un centenar de empresas se asociaron bajo el nombre de ZigBee Alliance y trabajaron de forma conjunta en la creación de un estándar orientado a aplicaciones común ancho de banda y un consumo energético muy reducidos, como las WSN.

Hasta ese momento, los estándares existentes (por ejemplo, Wifi o Bluetooth) estaban orientados a aplicaciones más complejas, con necesidades de un ancho de banda mucho mayor, traducido en un consumo energético elevado, finalmente, en 2007 se aprueba el estándar IEEE 802.15.4, conocido comercialmente como ZigBee, este estándar contempla aspectos tan importantes en las WSN<sup>1</sup> como la autonomía de los dispositivos, una capacidad de transmisión de datos menor (del orden de Kbps) y un coste muy reducido.

El mercado para las redes ZigBee comprende una amplia variedad de aplicaciones, en la actualidad un gran número de las compañías que forman parte de la ZigBee Alliance se encuentran desarrollando productos que van desde electrodomésticos hasta teléfonos celulares, impulsando el área que más les interesa.

Una de las áreas de aplicación que ha tomado fuerza, es la de los sistemas de medición avanzada, medidores de agua, luz y gas que forman parte de una red con otros dispositivos como display ubicados dentro de las casas, que pueden monitorear el

---

<sup>1</sup>WSN: Wireless Sensor Network

consumo de energía, temperatura, humedad y no sólo eso, sino que también pueden interactuar con electrodomésticos o cualquier otro sistema eléctrico como bombas de agua o calefacción, con la finalidad de aprovechar mejor la energía.



Figura II. 3 Usos de ZegBee

### 2.3.1 TIPOS DE DISPOSITIVOS

Una red Zigbee la forman básicamente 3 tipos de elementos.

- Un único dispositivo Coordinador,
- Dispositivos Routers y
- Dispositivos finales (endpoints).

## **EL COORDINADOR**

Es el nodo de la red que tiene la única función de formar una red. Es el responsable de establecer el canal de comunicaciones y del PAN ID (identificador de red) para toda la red.

Una vez establecidos estos parámetros, el Coordinador puede formar una red, permitiendo unirse a él a dispositivos Routers y EndPoints. Una vez formada la red, el Coordinador hace las funciones de Router, esto es participar en el enrutado de paquetes y ser origen y/o destinatario de información.

## **LOS ROUTERS**

Es un nodo que crea y mantiene información sobre la red para determinar la mejor ruta para transmitir un paquete de información. Lógicamente un router debe unirse a una red Zigbee antes de poder actuar como Router retransmitiendo paquetes de otros routers o de Endpoints.

## ENDDEVICE

Los dispositivos finales no tienen capacidad de enrutar paquetes, deben interactuar siempre a través de su nodo padre, ya sea este un Coordinador o un Router, es decir, no puede enviar información directamente a otro enddevice. Normalmente estos equipos van alimentados a baterías. El consumo es menor al no tener que realizar funciones de enrutamiento.

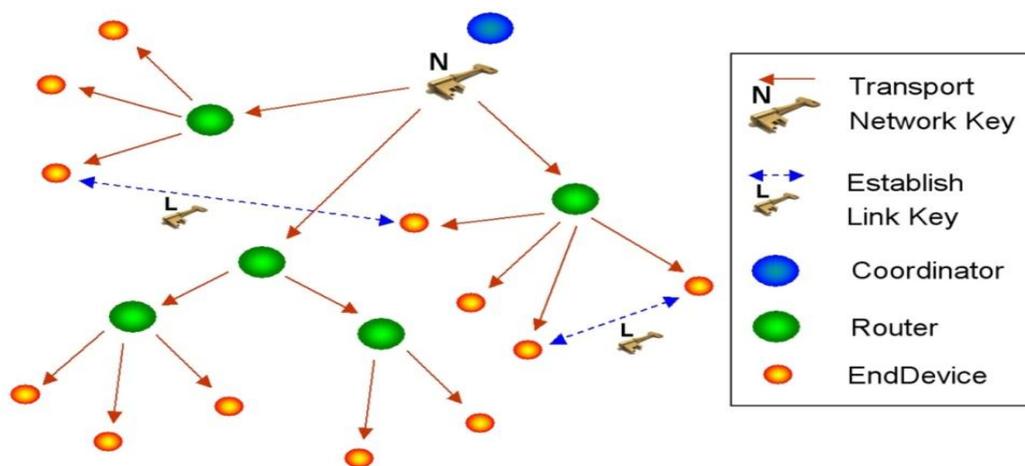


Figura II. 4 Tipos de Dispositivos ZegBee

### 2.3.2 TOPOLOGÍAS DE RED

ZigBee permite tres topologías de red:

- Topología en estrella.- el coordinador se sitúa en el centro.
- Topología en árbol.- el coordinador será la raíz del árbol.
- Topología de malla.- al menos uno de los nodos tendrá más de dos conexiones.

### 2.3.3 MÓDULO XBEE S1

Módulo de Transmisión/Recepción de datos, basado en tecnología ZigBee.



Figura II. 5 Modulo XBee

### CIRCUITO BÁSICO PARA EL XBEE

La Figura II.6 muestra las conexiones mínimas que necesita el módulo Xbee para poder ser utilizado, luego de esto, se debe configurar según el modo de operación que sea para la aplicación requerida por el usuario.

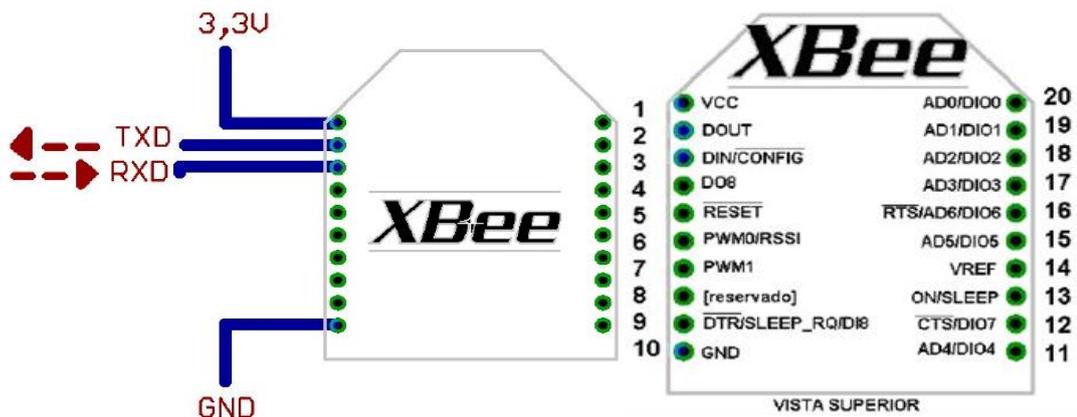


Figura II. 6 Circuito Básico Serial y Pines de Conexión Xbee

El módulo requiere una alimentación desde 2.8 a 3.4 V, la conexión a tierra y las líneas de transmisión de datos por medio del UART (TXD y RXD) para comunicarse con un micro controlador, o directamente a un puerto serial utilizando algún conversor adecuado para los niveles de voltaje.

## MODO DE COMANDO

Este modo permite ingresar comandos AT al módulo Xbee, para configurar, ajustar o modificar parámetros, permite ajustar parámetros como la dirección propia o la de destino, así como su modo de operación entre otras cosas, para poder ingresar los comandos AT es necesario utilizar el Hyperterminal de Windows, el programa X-CTU o algún micro controlador que maneje UART y tenga los comandos guardados en memoria o los adquiera de alguna otra forma.

Para ingresar a este modo se debe esperar un tiempo dado por el comando GT (Guard Time, por defecto ATGT=0x3E84 que equivalen a 1000ms) luego ingresar +++ y luego esperar otro tiempo GT, como respuesta el módulo entregará un OK. El módulo Xbee viene por defecto con una velocidad de 9600bps. En caso de no poder ingresar al modo de comandos, es posible que sea debido a la diferencia de velocidad entre el módulo y la interfaz que se comunica vía serial.

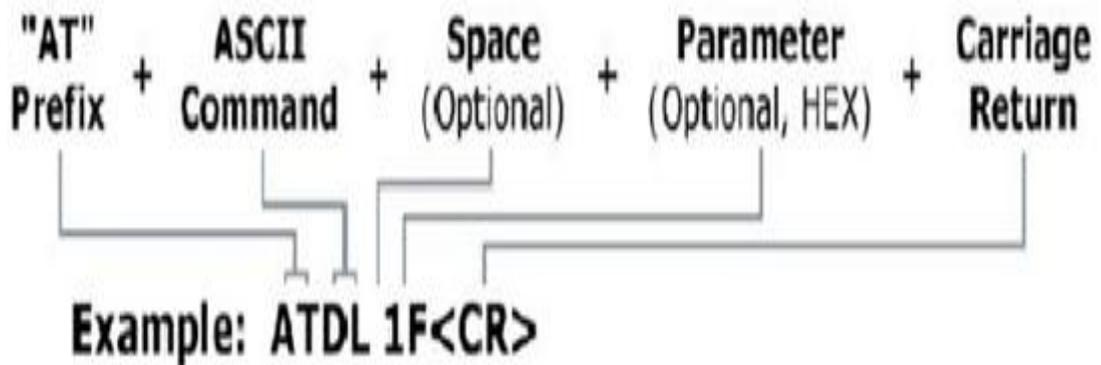


Figura II. 7 Comandos AT

En la Figura XX se observa la sintaxis de un comando AT, luego de ingresar a este modo, se debe ingresar el comando deseado para ajustar los parámetros del módulo XBEE.

## **MODO RECIBIR/TRANSMITIR**

Se encuentra en estos modos cuando al módulo le llega algún paquete RF a través de la antena(modos Receive) o cuando se manda información serial al buffer del pin 3 (UART Data in) que luego será transmitida (modo Transmit).

La información transmitida puede ser Directa o Indirecta. En el modo directo la información se envía inmediatamente a la dirección de destino. En el modo Indirecto la información es retenida durante un período de tiempo y es enviada sólo cuando la dirección de destino la solicita. Además es posible enviar información por dos modos. Unicast y Broadcast.

Por el Unicast, la comunicación es desde un punto a otro, y es el único modo que permite respuesta de quien recibe el paquete RF, es decir, quien recibe debe enviar un ACK (paquete llamado así, y que indica que recibió el paquete, el usuario no puede verlo, es interno de los módulos) a la dirección de origen. Quien envió el paquete, espera recibir un ACK, en caso de que no le llegue, reenviará el paquete hasta 3 veces o hasta que reciba el ACK.

En el modo Broadcast la comunicación es entre un nodo y a todos los nodos de la red. En este modo, no hay confirmación por ACK.

## **MODO DE OPERACIÓN API**

Este modo es más complejo, pero permite el uso de frames con cabeceras que aseguran la entrega de los datos, al estilo TCP. Extiende el nivel en el cual la aplicación del cliente, puede interactuar con las capacidades de red del módulo. Cuando el módulo XBEE se encuentra en este modo, toda la información que entra y sale, es empaquetada en frames, que definen operaciones y eventos dentro del módulo.

Así, un Frame de Transmisión de Información (información recibida por el pin 3 o DIN)

Incluye:

- Frame de información RF transmitida.
- Frame de comandos (equivalente a comandos AT).

Mientras que un Frame de Recepción de Información incluye:

- Frame de información RF recibida.
- Comando de respuesta.
- Notificaciones de eventos como Reset, Associate, Disassociate, etc.

Esta API, provee alternativas para la configuración del módulo y ruteo de la información en la capa de aplicación del cliente. Un cliente puede enviar información al módulo Xbee. Estos datos serán contenidos en un frame cuya cabecera tendrá información útil referente el módulo.

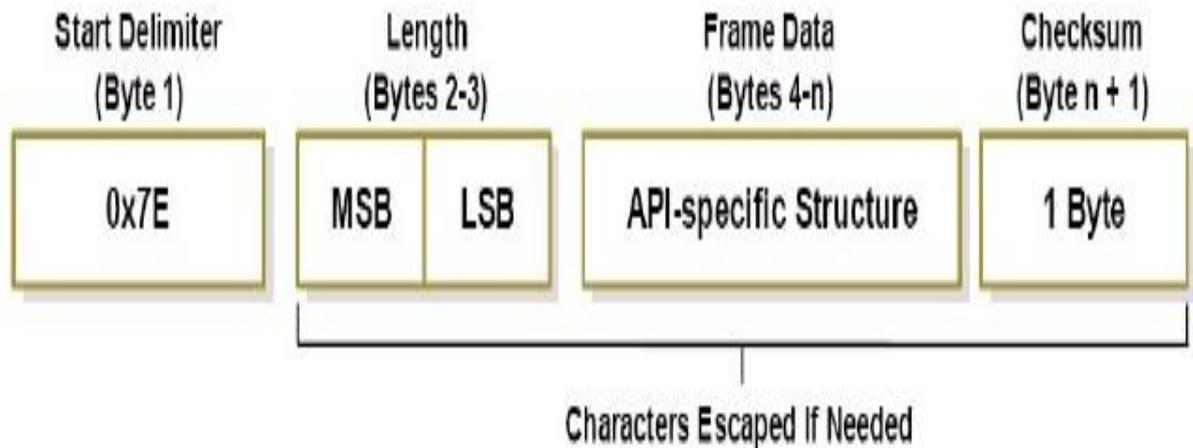
Esta información además se podrá configurar, esto es en vez de estar usando el modo de comandos para modificar las direcciones, la API lo realiza automáticamente.

El módulo así enviará paquetes de datos contenidos en frames a otros módulos de destino, con información a sus respectivas aplicaciones, conteniendo paquetes de estado, así como el origen, RSSI (potencia de la señal de recepción) e información de la carga útil de los paquetes recibidos.

- Entre las opciones que permite la API, se tienen:
- Transmitir información a múltiples destinatarios, sin entrar al modo de Comandos.
- Recibir estado de éxito/falla de cada paquete RF transmitido.
- Identificar la dirección de origen de cada paquete recibido.

## **CONEXIÓN API**

Esta conexión, agrega información extra a los paquetes de datos RF. Ya no son enviados de forma transparente, sino que cada paquete de datos, son almacenados dentro de un frame, con una estructura definida que permite una forma más robusta para enviar datos. Esto permite entre otras cosas determinar el origen de algún paquete recibido dentro de la red. Cuando la configuración API está activada, cada paquete RF que se envía o recibe se encapsula en un frame de datos UART. Para esto se utiliza el comando AP. El frame se observa en la siguiente figura:



**Figura II. 8 Frame de API XBee**

Existen tres posibilidades de configuración. Con  $AP=0$ , se deshabilita el frame API y el módulo trabaja en modo transparente. Con  $AP=1$ , el módulo trabaja en el modo API. Y con  $AP=2$ , el módulo trabaja en modo API, pero con Carácter de Escape. Este modo es necesario sólo cuando se envían bytes que interfieren con la estructura del Frame. Éstos son:

`0x7E` – Delimitador de Frame.

`0x7D` – Escape

`0x11` – XON

`0x13` – XOFF

Este modo, ingresa un carácter de escape, además de otra operación sobre el bytes de interferencia. Esto hace que el frame sea más grande al agregar bytes, pero evita que la cabecera del frame se confunda con los datos enviados.

Otra ventaja es el Checksum, que permite verificar que los datos entregados no se hayan corrompido.

Entre las posibilidades que permite la API, es la posibilidad de cambiar parámetros a través de comandos AT, enviándolos al módulo de destino. Así, desde un módulo, es posible configurar otro utilizando el modo API.

También es posible consultar sobre el estado de algún parámetro en otro módulo. Además se puede consultar sobre el estado del módem, como saber si está asociado a un coordinador, o si el módulo es o no un coordinador.

#### **2.3.4 UTILIZACIÓN DE XBEE PARA SENSORES REMOTOS**

##### **TRAMAS API**

Cada uno de los pines DIOx puede ser configurado para su operación como entrada analógica, entrada digital, o salida digital, posee un comando ATDx que permite operar sobre esta selección. Los pines DIO10 a DIO12 se configuran mediante los comandos ATP0 a ATP2, respectivamente.

## **Entradas analógicas**

Para configurar alguna de las entradas como analógica, es decir, asociada al conversor analógico a digital, utilizamos el comando que le corresponde, por ejemplo `ATD2=2` setea el pin `AD2/DIO2` como `AD2`, es decir, asociado al ADC. Los módulos poseen una referencia interna de 1,2V. No debe conectarse el pin `VREF` dado que no se lo utiliza.

## **Entradas digitales**

Para configurar alguna de las entradas como digital, utilizamos el comando que le corresponde, por ejemplo `ATD0=3` setea el pin `AD0/DIO0` como entrada (DI). El comando `ATP1=3` setea el pin `DIO11` como entrada (DI).

## **Lectura local de la información**

Es posible leer el estado de los pines desde la UART, mediante el comando `ATIS`. Este comando fuerza una muestra inmediata, y devuelve por la UART la información. En el firmware AT, dicha información estará en

ASCII:

+++OK

ATIS

01

081C

03

0818

03FF

03FF

Este método en realidad sólo es confiable si no tomamos muestras automáticamente, dado que si es así, en realidad estamos tomando muestras de ese proceso de muestreo. El primer número que observamos es la cantidad de muestras que hay en el buffer, el segundo es la configuración de canales digitales y el tercero la de canales analógicos; el siguiente es el estado de las entradas y salidas digitales habilitadas, y sólo está presente si las hay. A continuación, los valores de todos los canales AD habilitados.

Si utilizamos el firmware API, deberemos enviar el comando dentro de una trama de comando y recibiremos la respuesta dentro de una trama de respuesta. Por ejemplo, si no estamos trabajando en el modo con caracteres de escape, el siguiente mensaje:

7E00040812495349

solicita una muestra.

7E: inicio de trama

0004: longitud de datos (4 bytes a continuación, más uno de checksum)

08: comando

12: identificador de trama (cualquier número distinto de cero)

4953: IS, el comando

49: checksum

Ejecutada la acción, recibiremos una trama conteniendo el resultado:

7E 00 0F 88 12 49 53 00 01 08 1C 03 00 18 03 FF 03 FF 85

7E: inicio de trama

00 0F: longitud de datos (15 bytes a continuación, más uno de checksum)

88: respuesta a comando

12: identificador de trama (el valor que enviamos en el comando)

49 53: IS, el comando enviado

00: resultado, OK

01: cantidad de muestras

08 1C: I/O habilitados (DIO11, DIO4, DIO3, DIO2)

03: canales analógicos habilitados (AN1, AN0)

00 18: estado de I/O

03 FF: valor de AN0

03 FF: valor de AN1

85: checksum

### **Lectura remota de la información**

Es posible solicitar la ejecución del comando ATIS a un módulo remoto. Para esto, el módulo XBee ZB (XBee-PRO ZB) que controla debe tener el firmware API, dado que la solicitud de comandos remotos se realiza mediante una trama especial en la que se indica la dirección del módulo sobre el que se opera, y el comando en sí. El módulo controlado puede tener cualquier firmware.

Por ejemplo, si no estamos trabajando en el modo con caracteres de escape, el siguiente mensaje:

7E 00 0F 17 12 00 13 A2 00 40 0A 5E 3B FF FE 00 49 53 A5

solicita al módulo con dirección 00 13 A2 00 40 0A 5E 3B que tome una muestra.

7E: inicio de trama

00 0F: longitud de datos (15 bytes a continuación, más uno de checksum)

17: comando remoto

12: identificador de trama (cualquier número distinto de cero)

00 13 A2 00 40 0A 5E 3B: dirección IEEE del destinatario

FF FE: dirección corta del destinatario, FFFE indica que no se la conoce

00: opciones

49 53: IS

A5: checksum

Ejecutada la acción, recibiremos una trama conteniendo el resultado:

7E 00 19 97 12 00 13 A2 00 40 0A 5E 3B 5E 6A 49 53 00 01 08 1C 03 00 18 03 FF 03  
FF 16

7E: inicio de trama

00 19: longitud de datos (25 bytes a continuación, más uno de checksum)

97: respuesta a comando remoto

12: identificador de trama (el valor que enviamos en el comando)

00 13 A2 00 40 0A 5E 3B: dirección IEEE de quien responde

5E 6A: dirección corta de quien responde

49 53: IS, el comando enviado

00: resultado, OK

01: cantidad de muestras  
08 1C: I/O habilitados (DIO11, DIO4, DIO3, DIO2)  
03: canales analógicos habilitados (AN1, AN0)  
00 18: estado de I/O  
03 FF: valor de AN0  
03 FF: valor de AN1  
16: checksum

### **Envío periódico de la información**

En el caso más común, nos interesa enviar la información de forma periódica a algún módulo remoto. El comando ATIR nos permite setear la frecuencia de muestreo en milisegundos, por ejemplo ATIR=3E8 configura al módulo para tomar muestras cada 1s (recordemos que los valores son en hexadecimal).

### **Recepción de la información**

En el módulo que recibe la información de I/O, deberemos tener el firmware API. La información proveniente del otro módulo se envía por la UART en una trama de I/O. A menos que explícitamente estemos trabajando en el modo con caracteres de escape, tendremos algo como lo siguiente:

```
7E00 16 92 00 13 A2 00 40 0A 5E 3A F2 64 01 01 08 1C 03 00 18 02 B1 02 DF AB
```

7E: inicio de trama

00 16: longitud de datos (22 bytes a continuación, más uno de checksum)

92: recepción de datos de I/O

00 13 A2 00 40 0A 5E 3A: dirección IEEE de quien envía

F2 64: dirección corta de quien envía

01: se ha enviado ACK

01: cantidad de muestras

08 1C: I/O habilitados (DIO11, DIO4, DIO3, DIO2)

03: canales analógicos habilitados (AN1, AN0)

00 18: estado de I/O

02 B1: valor de AN0

02 DF: valor de AN1

AB: checksum

## 2.4 MICROCONTROLADORES

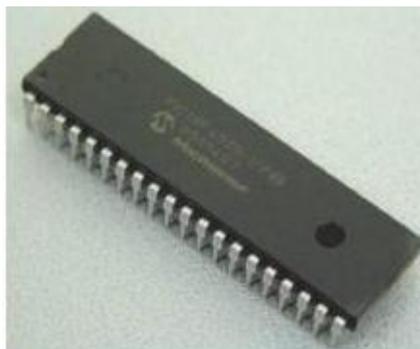


Figura II. 9 Microcontrolador

Un microcontrolador (abreviado  $\mu\text{C}$ , UC o MCU) es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. Un microcontrolador incluye en su interior las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida.

Algunos microcontroladores pueden utilizar palabras de cuatro bits y, funcionan a velocidad de reloj con frecuencias tan bajas como 4 kHz, con un consumo de baja potencia (mW o microvatios). Por lo general, tendrá la capacidad para mantener la funcionalidad a la espera de un evento como pulsar un botón o de otra interrupción, el consumo de energía durante el sueño (reloj de la CPU y los periférico de la mayoría) puede ser sólo nanovatios, lo que hace que muchos de ellos muy adecuados para aplicaciones con batería de larga duración.

Otros microcontroladores pueden servir para roles de rendimiento crítico, donde sea necesario actuar más como un procesador digital de señal (DSP), con velocidades de reloj y consumo de energía más altos.

## **CARACTERÍSTICAS**

Los microcontroladores son diseñados para reducir el costo económico y el consumo de energía de un sistema en particular, por eso el tamaño de la unidad central de procesamiento, la cantidad de memoria y los periféricos incluidos dependerán de la

aplicación. El control de un electrodoméstico sencillo como una batidora utilizará un procesador muy pequeño (4 u 8 bits) porque sustituirá a un autómata finito. En cambio, un reproductor de música y/o vídeo digital (MP3 o MP4) requerirá de un procesador de 32 bits o de 64 bits y de uno o más códecs de señal digital (audio y/o vídeo).

El control de un sistema de frenos ABS (AntilockBrakeSystem) se basa normalmente en un microcontrolador de 16 bits, al igual que el sistema de control electrónico del motor en un automóvil.

Los microcontroladores representan la inmensa mayoría de los chips de computadoras vendidos, sobre un 50% son controladores "simples" y el restante corresponde a DSPs más especializados. Mientras se pueden tener uno o dos microprocesadores de propósito general en casa (Ud. está usando uno para esto), usted tiene distribuidos seguramente entre los electrodomésticos de su hogar una o dos docenas de microcontroladores. Pueden encontrarse en casi cualquier dispositivo electrónico como automóviles, lavadoras, hornos microondas, teléfonos, etc.

Un microcontrolador típico tendrá un generador de reloj integrado y una pequeña cantidad de memoria de acceso aleatorio y/o ROM/EPROM/EEPROM/flash, con lo que para hacerlo funcionar todo lo que se necesita son unos pocos programas de control y un cristal de sincronización.

## PERIFERICOS

- Entradas y salidas de propósito general
- Temporizadores y contadores
- Conversor analógico/digital
- Comparadores
- Modulador de ancho de pulsos
- Memoria de datos no volátil

## PUERTOS DE COMUNICACIÓN

**Puerto serie:** Este periférico está presente en casi cualquier microcontrolador, normalmente en forma de UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) o USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) dependiendo de si permiten o no el modo sincrónico de comunicación.

**SPI:** Este tipo de periférico se utiliza para comunicar al microcontrolador con otros microcontroladores o con periféricos externos conectados a él, por medio de una interfaz muy sencilla. Hay solo un nodo controlador que permite iniciar cualquier transacción, lo cual es una desventaja en sistemas complejos, pero su sencillez permite el aislamiento galvánico de forma directa por medio de optoacopladores.

**I2C:** Cumple las mismas funciones que el SPI, pero requiere menos señales de comunicación y cualquier nodo puede iniciar una transacción. Es muy utilizado para conectar las tarjetas gráficas de las computadoras personales con los monitores, para que estos últimos informen de sus prestaciones y permitir la autoconfiguración del sistema de vídeo.

**USB:** Los microcontroladores son los que han permitido la existencia de este sistema de comunicación. Es un sistema que trabaja por polling (monitorización) de un conjunto de periféricos inteligentes por parte de un amo, que es normalmente un computador personal.

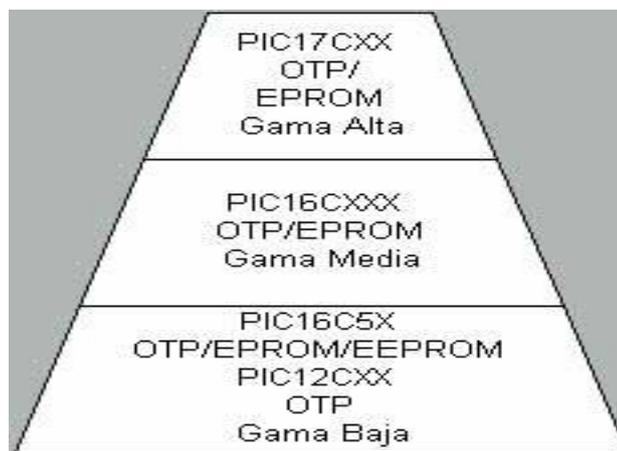
Cada modo inteligente está gobernado inevitablemente por un microcontrolador.

**Ethernet:** Es el sistema más extendido en el mundo para redes de área local cableados. Los microcontroladores más poderosos de 32 bits se usan para implementar periféricos lo suficientemente poderosos como para que puedan ser accedidos directamente por la red. Muchos de los enrutadores caseros de pequeñas empresas están contruidos en base a un microcontrolador que hace del cerebro del sistema.

#### **2.4.1 LAS TRES GAMAS DEL PIC**

Para resolver aplicaciones sencillas se precisan pocos recursos; en cambio, las aplicaciones grandes requieren numerosos y potentes. Siguiendo esta filosofía, Microchip construye diversos modelos de microcontroladores orientados a cubrir, de forma, las necesidades de cada proyecto. Así, hay disponibles microcontroladores sencillos y baratos para atender las aplicaciones simples y otros complejos y más costosos para las de mucha envergadura.

Por eso los dispositivos se encuentran divididos en tres gamas: alta, media y baja



**Figura II. 10 Tres Gammas de PICs**

## **LA GAMA BAJA**

La gama baja de los PIC encuadra nueve modelos fundamentales en la actualidad, cuyas principales características aparecen en las anteriores tablas.

La memoria de programa puede contener 512, 1 k. y 2 k palabras de 12 bits, y ser de tipo ROM, EPROM. También hay modelos con memoria OTP, que sólo puede ser grabada una vez por el usuario.

La memoria de datos puede tener una capacidad comprendida entre 25 y 73 bytes. Sólo disponen de un temporizador (TMR0), un repertorio de 33 instrucciones y un número de patitas para soportar las E/S comprendido entre 12 y 20. El voltaje de alimentación admite un valor muy flexible comprendido entre 2 y 6,25 V, lo cual posibilita el funcionamiento mediante pilas corrientes teniendo en cuenta su bajo consumo ( menos de 2 mA a 5 V y 4 MHz ).

## **LA GAMA MEDIA**

En esta gama sus componentes añaden nuevas prestaciones a las que poseían los de la gama baja, haciéndoles más adecuados en las aplicaciones complejas. Admiten interrupciones, poseen comparadores de magnitudes analógicas, convertidores A/D, puertos serie y diversos temporizadores.

Algunos modelos disponen de una memoria de instrucciones del tipo OTP ("One Time Programmable"), que sólo la puede grabar una vez el usuario y que resulta mucho más económica en la implementación de prototipos y pequeñas series.

Hay modelos de esta gama que disponen de una memoria de instrucciones tipo EEPROM, que, al ser borrables eléctricamente, son mucho más fáciles de reprogramar que las EPROM, que tienen que ser sometidas a rayos ultravioleta durante un tiempo determinado para realizar dicha operación.

## **LA GAMA ALTA**

En la actualidad, esta gama está formada por tres modelos cuyas prestaciones más representativas se mostraron en las tablas anteriores.

Los dispositivos PIC17C4X responden a microcontroladores de arquitectura abierta pudiéndose expansionar en el exterior al poder sacar los buses de datos, direcciones y control. Así se pueden configurar sistemas similares a los que utilizan los microprocesadores convencionales, siendo capaces de ampliar la configuración interna del PIC añadiendo nuevos dispositivos de memoria y de E/S externas. Esta facultad obliga a estos componentes a tener un elevado número de patitas comprendido entre 40 y 44. Admiten interrupciones, poseen puerto serie, varios temporizadores y mayores capacidades de memoria, que alcanza los 8 k palabras en la memoria de instrucciones y 454 bytes en la memoria de datos.

## 2.4.2 PIC 16F877A

Este microcontrolador pertenece a la familia de Gama Media y disponen de una memoria e programa FLASH de 4 a 8 KBytes de 14 bits, considerablemente superior frente al PIC 16F84 en el que solo disponíamos de 1 Kbyte de 14 bits.

Tiene 40 pines como se puede observar en la figura II.11, lo que les permite disponer de hasta 33 líneas de E/S.

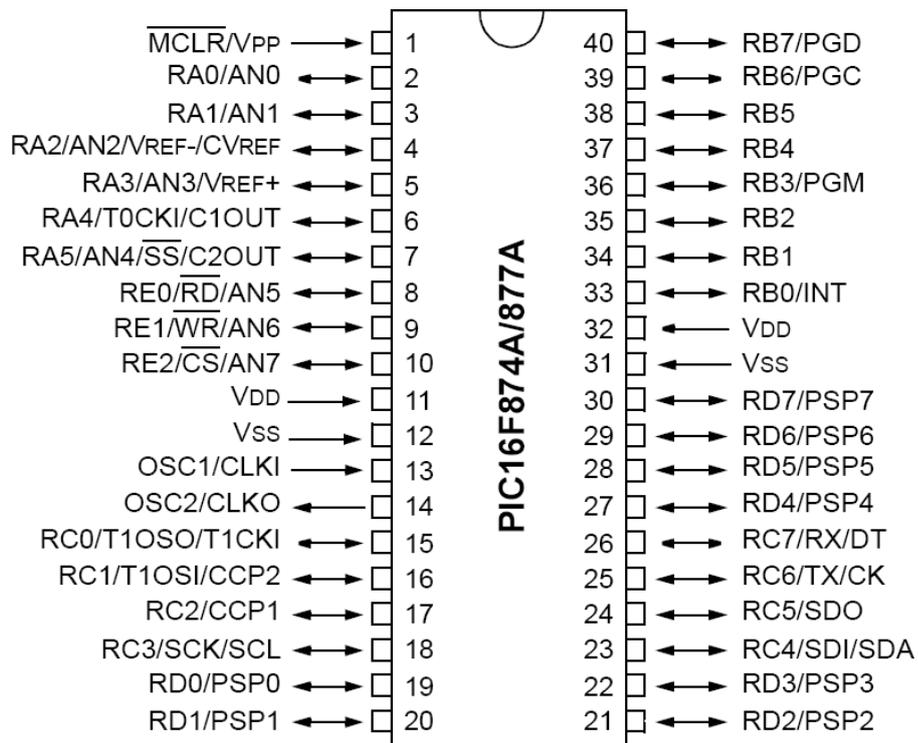


Figura II. 11 PIC16F877A

## PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

- Procesador de arquitectura RISC avanzada.
- Juego de solo 35 instrucciones con 14 bits de longitud. Todas ellas se ejecutan en un ciclo de instrucción, menos las de salto que tardan dos.
- Hasta 8K palabras de 14 bits para la Memoria de Programa, tipo FLASH en los modelos 16F876 y 16F877 y 4KB de memoria.
- Hasta 368 Bytes de memoria de Datos RAM.
- Hasta 256 Bytes de memoria de Datos EEPROM.
- Pines de salida compatibles para el PIC 16C73/74/76/77.
- Hasta 14 fuentes de interrupción internas y externas.
- Pila de 8 niveles.
- Modos de direccionamiento directo e indirecto.
- Power-onReset (POP).
- Temporizador Power-on (POP) y Oscilador Temporizador Start-Up.
- Perro Guardián (WDT).
- Código de protección programable.
- Modo SLEEP de bajo consumo.
- Voltaje de alimentación comprendido entre 2 y 5,5 V.
- Bajo consumo: < 2 mA valor para 5 V y 4 Mhz 20 A para 3V y 32 M < 1A en
- standby.
- Comunicación Serial
- Comunicación SPI

### 2.4.3 PIC 18F2550

Microcontroladores de 8 bits, pertenece a la familia de Gama Alta, tiene variedad de pines, cuenta con varios módulos de comunicación, su principal funcionalidad es que cuenta con soporte por hardware para comunicación USB.

En la Figura II.12, podemos mirar la distribución de pines.

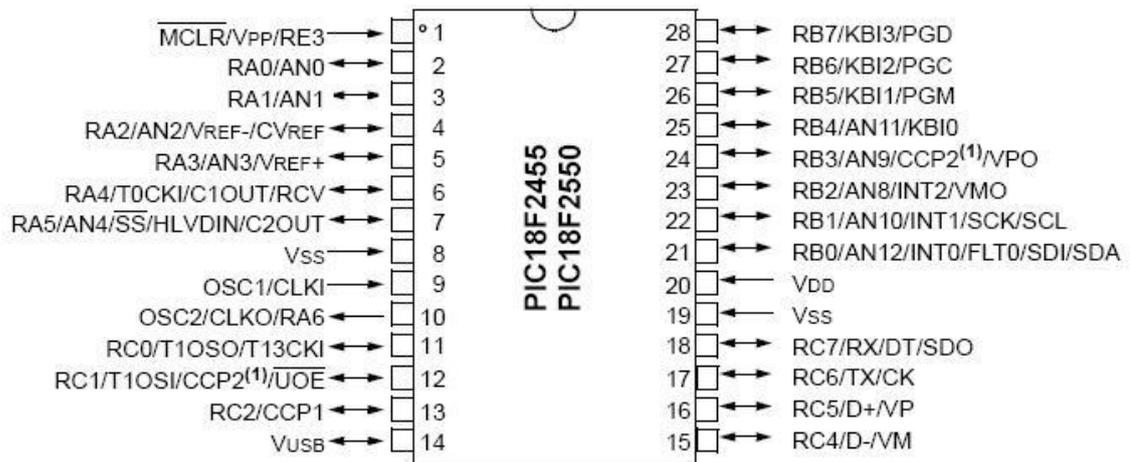


Figura II. 12 PIC 18F2550

### CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES

- Arquitectura RISC avanzada Harvard: 16 - bit con 8 - bit de datos.
- Soporta 77 instrucciones.
- Hasta 64K bytes de programa (hasta 2 Mbytes en ROMless).

- Multiplicador Hardware 8x8.
- Hasta 3968 bytes de RAM y 1KBytes de EEPROM.
- Frecuencia máxima de reloj 40Mhz. Hasta 10 MIPS.
- Pila de 32 niveles.
- Múltiples fuentes de interrupción.
- Periféricos de comunicación avanzados (CAN y USB).
- Comunicación SPI.

## **MÓDULO USB**

La familia de dispositivos PIC18FX455/X550 contiene una interfaz serie compatible con el SIE (serial interface engine o máquina con comunicación serie en español) USB “full-speed” (2.0) y “de poca velocidad” (1.0) que permite la comunicación rápida entre cualquier dispositivo USB y el microcontrolador PIC®.

El SIE puede interconectarse directamente al USB, utilizando el transmisor - receptor interno, o puede conectarse a través un transmisor-receptor externo. El PIC tiene un regulador interno de 3,3V para alimentar el transmisor-receptor interno en aplicaciones de 5V.

Se han incluido algunas características especiales en el hardware para mejorar el funcionamiento. Se proporciona memoria de puerto dual en la memoria de datos del dispositivo (RAM del USB) para tener acceso directo a la memoria desde el núcleo del microcontrolador y desde el SIE. También se proporcionan unos buffer para que el programador elija libremente el uso de la memoria dentro del espacio de la RAM del USB. Existe un puerto paralelo para transmitir grandes cantidades de datos (SSP), para esto se ha proporcionado la ayuda de transferencia ininterrumpida de volúmenes de datos grandes, por ejemplo datos síncronos, a los buffer de memoria externos.

En la Figura II.13 se detalla cómo se comunica la SIE con el exterior y las diferentes opciones a nivel conexionado del USB con el exterior:

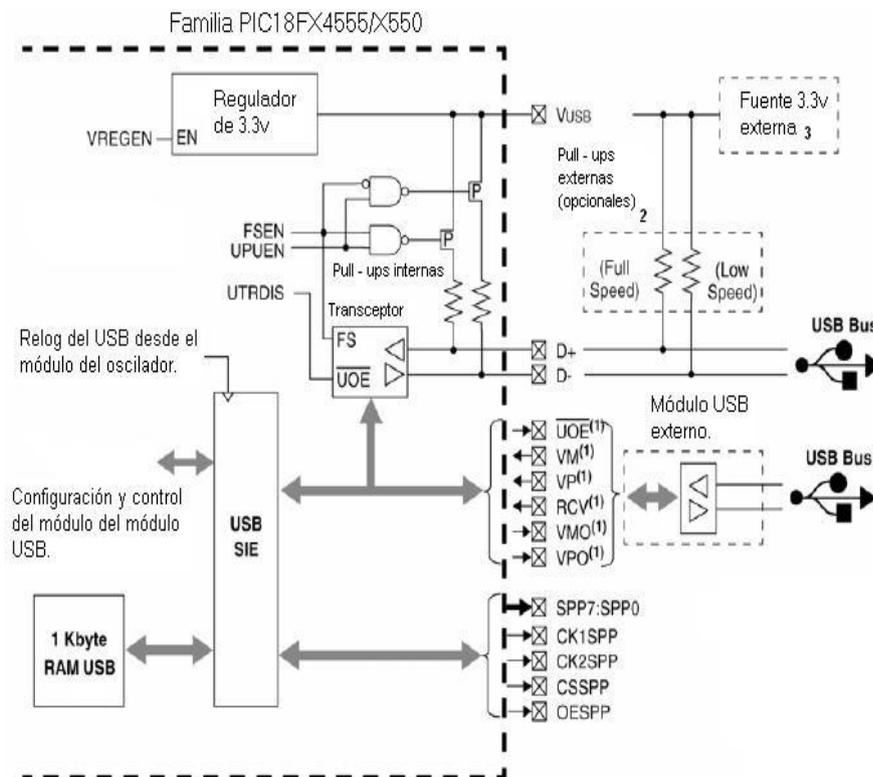


Figura II. 13 Modulo USB PIC 18F2550

## 2.5 SENSORES Y ACTUADORES

### 2.5.1 SENSORE DE HUMEDAD DE SUELO - BLOQUES DE YESO

Este sensor formado por dos electrodos concéntricos empotrados en yeso para obtener una respuesta rápida de los cambios de humedad del suelo.

Disponibles sensores GB-1, GB-2 y GB-3, con 2, 7.5 y 15 metros de cable respectivamente.



Figura II. 14 Bloque de Yeso

## MODO DE OPERACIÓN

Los bloques con introducidos en áreas representativas de la zona a controlar. Se dejan enterrados a diferentes profundidades en función del tipo de cultivo y la profundidad de las raíces. Cuando el cable del bloque se conecta al medidor, el valor de la humedad de ese suelo es inmediatamente mostrada en el display del aparato. Las lecturas puede ser convertidas en términos de humedad del suelo o tensión de humedad del suelo, mediante curvas de calibración, las cuales forman parte de la documentación de uso del aparato.

Lo habitual es tener varios sensores enterrados en la finca y pasar con el medidor haciendo un barrido por todos ellos.



**Figura II. 15** Equipo de Medición de Bloque de Yeso

## 2.5.2 SENSOR HUMEDAD - HIH3040

El HIH-4030 es un sensor de humedad relativa (% HR) que ofrece como salida una tensión analógica. Se puede conectar la salida del sensor directamente a un ADC en un microcontrolador; y, gracias a la salida cerca de tensión lineal del sensor, los datos es muy fácil de procesar.

La tensión aplicada a los pines de suministro debe estar dentro de 4-5.8VDC, y óptimamente a 5V. El sensor normalmente sólo consumen alrededor de 200 $\mu$ A.

Este producto viene como se muestra en la Figura II.15, con el HIH-4030 soldada a la placa de arranque.



Figura II. 16 Sensor de Humedad HIH-3040

### CARACTERÍSTICAS

- Salida lineal, analógica
- 4-5.8VDC tensión de alimentación

- Todas las patas rotas a un cabezazo de tono 0.1 "
- Diseño de baja potencia, consumo de corriente típica de sólo 200µA
- precisión mejorada
- Tiempo de respuesta rápido
- Un rendimiento estable y baja deriva

### 2.5.3 SENSOR TEMPERATURA – LM35

El LM35 es un sensor de temperatura con una precisión calibrada de 1°C y un rango que abarca desde -55° a +150°C.

El sensor se presenta en diferentes encapsulados pero el más común es el to-92 de igual forma que un típico transistor con 3 patas, dos de ellas para alimentarlo y la tercera nos entrega un valor de tensión proporcional a la temperatura medida por el dispositivo. Con el LM35 sobre la mesa las patillas hacia nosotros y las letras del encapsulado hacia arriba tenemos que de izquierda a derecha los pines son: VCC - Vout - GND.

La salida es lineal y equivale a 10mV/°C por lo tanto:

- +1500mV = 150°C
- +250mV = 25°C
- -550mV = -55°C

## **FUNCIONAMIENTO**

Para hacernos un termómetro necesitamos un voltímetro bien calibrado y en la escala correcta para que nos muestre el voltaje equivalente a temperatura. El LM35 funciona en el rango de alimentación comprendido entre 4 y 30 voltios.

Podemos conectarlo a un conversor Analógico/Digital y tratar la medida digitalmente, almacenarla o procesarla con un  $\mu$ Controlador o similar.

## **USOS**

El sensor de temperatura puede usarse para compensar un dispositivo de medida sensible a la temperatura ambiente, refrigerar partes delicadas del robot o bien para loggear temperaturas en el transcurso de un trayecto de exploración.

### **2.5.4 ELECTROVÁLVULA**

Una electroválvula es una válvula electromecánica, diseñada para controlar el flujo de un fluido a través de un conducto como puede ser una tubería. La válvula está controlada por una corriente eléctrica a través de una bobina solenoidal.

No se debe confundir la electroválvula con válvulas motorizadas, que son aquellas en las que un motor acciona el cuerpo de la válvula.

Existen varios tipos de electroválvulas. En algunas electroválvulas el solenoide actúa directamente sobre la válvula proporcionando toda la energía necesaria para su movimiento. Es corriente que la válvula se mantenga cerrada por la acción de un muelle y que el solenoide la abra venciendo la fuerza del muelle. Esto quiere decir que el solenoide debe estar activado y consumiendo energía mientras la válvula deba estar abierta.

Las electroválvulas pueden ser cerradas en reposo o normalmente cerradas lo cual quiere decir que cuando falla la alimentación eléctrica quedan cerradas o bien pueden ser del tipo abiertas en reposo o normalmente abiertas que quedan abiertas cuando no hay alimentación.

Hay electroválvulas que en lugar de abrir y cerrar lo que hacen es conmutar la entrada entre dos salidas. Este tipo de electroválvulas a menudo se usan en los sistemas de calefacción por zonas lo que permite calentar varias zonas de forma independiente utilizando una sola bomba de circulación.

En la Figura II.17 se muestra el funcionamiento de este tipo de válvula. En la parte superior vemos la válvula cerrada. El agua bajo presión entra por A. B es un diafragma elástico y tiene encima un muelle que le empuja hacia abajo con fuerza débil. La función de este muelle no nos interesa por ahora y lo ignoramos ya que la válvula no depende de él para mantenerse cerrada. El diafragma tiene un diminuto orificio en el centro que permite el paso de un pequeño flujo de agua. Esto hace que el agua llene la cavidad C y que la presión sea igual en ambos lados del diafragma. Mientras que la presión es igual a ambos lados, vemos que actúa en más superficie por el lado de arriba que por el de abajo por lo que presiona hacia abajo sellando la entrada. Cuanto mayor sea la presión de entrada, mayor será la fuerza con que cierra la válvula.

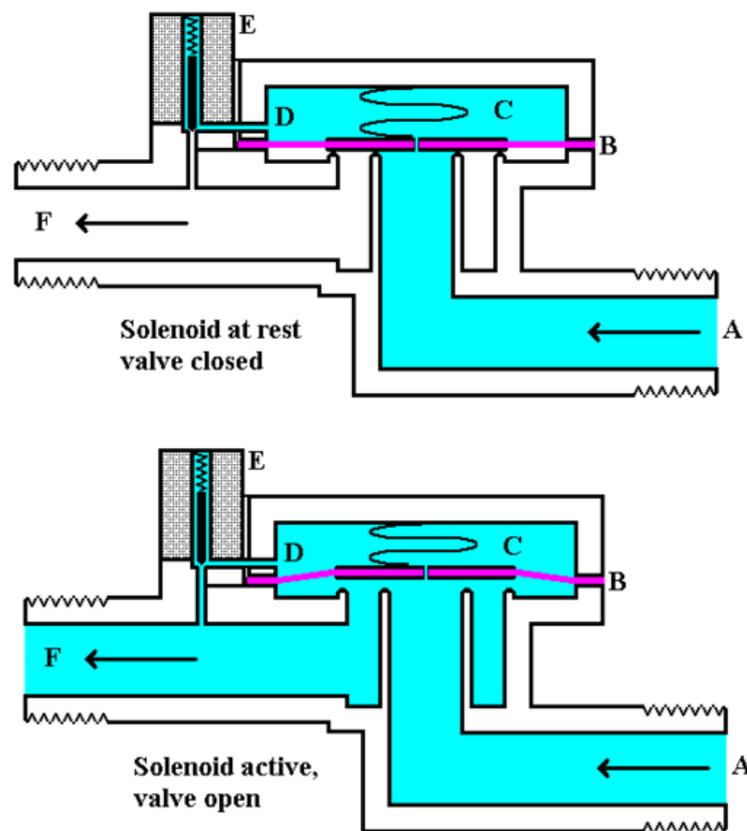


Figura II. 17 Electroválvula

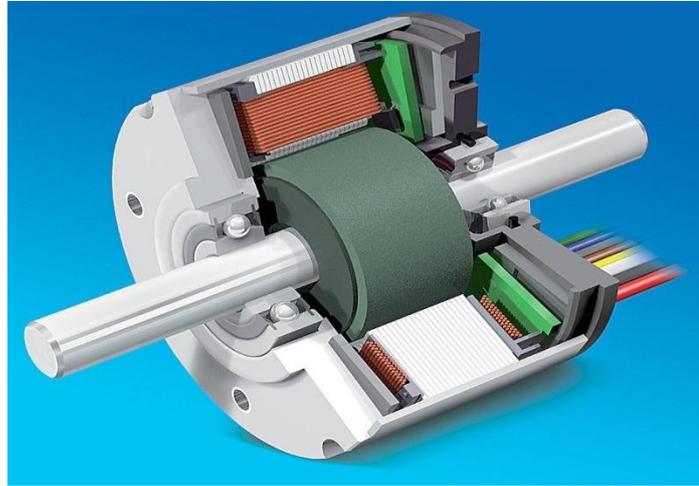
## 2.5.5 MOTORES DC

El motor de corriente continua es una máquina que convierte la energía eléctrica continua en mecánica, provocando un movimiento rotatorio. Esta máquina de corriente continua es una de las más versátiles en la industria. Su fácil control de posición, paro y velocidad la han convertido en una de las mejores opciones en aplicaciones de control y automatización de procesos. Este tipo de motores son utilizados en muchas aplicaciones de potencia (trenes y tranvías) o de precisión (máquinas, micromotores, etc.)

La principal característica del motor de corriente continua es la posibilidad de regular la velocidad desde vacío a plena carga. Una máquina de corriente continua (generador o motor) se compone principalmente de dos partes, un estator que da soporte mecánico al aparato y tiene un hueco en el centro generalmente de forma cilíndrica. En el estator además se encuentran los polos, que pueden ser de imanes permanentes o devanados con hilo de cobre sobre núcleo de hierro. El rotor es generalmente de forma cilíndrica, también devanado y con núcleo, al que llega la corriente mediante dos escobillas.

El sentido de giro de un motor de corriente continua depende del sentido relativo de las corrientes circulantes por los devanados inductor e inducido. La inversión del sentido de giro del motor de corriente continua se consigue invirtiendo el sentido del campo

magnético o de la corriente del inducido. Si se permuta la polaridad en ambos bobinados, el eje del motor gira en el mismo sentido.



**Figura II. 18 Motor DC**

## **2.6 INTERFACE DE MONITOREO**

### **2.6.1 LABVIEW**

LabVIEW es una herramienta gráfica para pruebas, control y diseño mediante la programación. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje Gráfico.

Este programa fue creado por National Instruments (1976) para funcionar sobre máquinas MAC, salió al mercado por primera vez en 1986. Ahora está disponible para las plataformas Windows, UNIX, MAC y GNU/Linux. La última versión es la 2011.

Los programas desarrollados con LabVIEW se llaman Instrumentos Virtuales, o VIs, y su origen provenía del control de instrumentos, aunque hoy en día se ha expandido ampliamente no sólo al control de todo tipo de electrónica (Instrumentación electrónica) sino también a su programación embebida. Un lema tradicional de LabVIEW es: "La potencia está en el Software", que con la aparición de los sistemas multinúcleo se ha hecho aún más potente. Entre sus objetivos están el reducir el tiempo de desarrollo de aplicaciones de todo tipo (no sólo en ámbitos de Pruebas, Control y Diseño) y el permitir la entrada a la informática a profesionales de cualquier otro campo. LabVIEW consigue combinarse con todo tipo de software y hardware, tanto del propio fabricante - tarjetas de adquisición de datos, PAC, Visión, instrumentos y otro Hardware- como de otros fabricantes.

## **2.6.2 PRINCIPALES USOS**

Es usado principalmente por ingenieros y científicos para tareas como:

- Adquisición de datos y análisis matemático
- Comunicación y control de instrumentos de cualquier fabricante
- Automatización industrial y programación de PACs (Controlador de Automatización Programable)

- Diseño de controladores: simulación, prototipaje rápido, hardware-en-el-ciclo (HIL) y validación
- Diseño embebido de micros y chips
- Control y supervisión de procesos
- Visión artificial y control de movimiento
- Robótica
- Domótica y redes de sensores inalámbricos
- En 2008 el programa fue utilizado para controlar el LHC, el acelerador de partículas más grande construido hasta la fecha.
- Pero también juguetes como el Lego Mindstorms o el WeDo lo utilizan, llevando la programación gráfica a niños de todas las edades.

### **2.6.3 SERVIDOR WEB LABVIEW**

Así como los avances en la tecnología de las PCs transformaron la manera en que se automatizan las mediciones, las redes están revolucionando la arquitectura fundamental de los sistemas de medición basados en PC. Algunos proponen que las nuevas tecnologías de red están propiciando una era “Post-PC ”, pero las redes no están anticuando a las PCs solo están revolucionando este tipo de sistemas. Los componentes básicos que se encuentran en una PC como procesadores, memoria, almacenamiento y despliegue siguen siendo bloques de construcción, pero ya no tienen que ser empaquetados como una sola unidad. Con las tecnologías de red, se pueden distribuir estos componentes a los lugares más apropiados para la aplicación. La plataforma sigue

fundamentalmente la misma, pero las capacidades de distribución se han mejorado radicalmente. La herramienta esencial que necesita para amarrar todas las piezas es el software. NI LabVIEW provee una plataforma para diseñar un sistema de prueba que toma ventaja de las tecnologías más recientes mientras el ambiente sigue enfocado a desarrollar sus aplicaciones rápidamente.

NI LabVIEW se enfoca en solucionar necesidades de medición y automatización al incorporar tecnologías comerciales y balanceando funcionalidad poderosa y fácil de usar. Nos esforzamos por proveer el ambiente de desarrollo más productivo para darles el poder a ingenieros y científicos de que desarrollen sus propias soluciones. Cualquier aplicación en LabVIEW, sin tiempo de desarrollo adicional se puede convertir en una aplicación remota accesada via un Web browser.

Para ciertas aplicaciones de prueba y control puede necesitar una solución embebida y confiable. Para estas aplicaciones el modulo de LabVIEW Real-Time Module se puede descargar en una computadora industrial PXI o un módulo de E/S distribuidas FieldPoint. En estos sistemas, LabVIEW corre en un sistema operativo de tiempo real pero aún se puede acceder desde una computadora vía Ethernet. Desde esta computadora usted puede usar las funciones de paneles remotos en LabVIEW para controlar la aplicación o usar DataSocket para transferir los datos directamente de él sistema a tiempo real a la computadora anfitrión, la cual después puede actuar como un servidor para diseminar la información aún más.

# **CAPÍTULO III**

## **ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA**

### **3.1 ANÁLISIS PRELIMINAR**

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, cuenta con un Centro Experimental del Riego CER-IRRIFRUT, cuyos objetivos son el diseñar y complementar un modelo de investigación y transferir tecnología a técnicos y agricultores de los sistemas de riego de la zona central del país, sobre alternativas de producción con tecnología apropiada riego a presión, con énfasis en el buen uso y manejo del agua de riego, a fin de

contribuir a mejorar las condiciones de vida de la población, definir cuándo, cuánto cómo y dónde regar eficientemente los cultivos para su producción sustentable.



**Figura III. 19** Centro Experimental del Riego

## **ESTRUCTURA ORGÁNICA DEL CER-IRRIFRUT**

### **DIRECTOR**

Ing. Juan León R.M.Sc.

ESPOCH

### **CO-DIRECTOR**

Ing. Jorge Cevallos R. M.Sc.

SUBSECRETARIA DE RIEGO Y DRENAJE  
INVESTIGADORES

Nuestro Sistema de Control y Monitoreo está enfocado a ser una herramienta de ayuda para el cumplimiento de los objetivos del CER-IRRIFRUT, brindando la posibilidad de monitorear parámetros como son la temperatura ambiental y la humedad relativa del Invernadero con el que ellos cuentan, el cual se encuentra ubicado en el campus de la ESPOCH.



**Figura III. 20 Invernadero CER- CER-IRRIFRUT**

### **3.2 DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS**

En las inspecciones realizadas en el sitio, se ha podido observar la manera en la que se realizan las mediciones de las condiciones ambientales y los procedimientos empleados para el control de los parámetros.

## **SISTEMA DE RIEGO**

El sistema de riego cuentan con una válvula mecánica de operación manual, la cual debe ser abierta o cerrada en ciclos programados o dependiendo de las condiciones de humedad del suelo.



**Figura III. 21 Válvula principal de Riego del CER-IRRIFRUT**

En la Figura III.21 se observa la válvula de riego del invernadero, su operación es manual. Para automatizar el sistema de riego se requiere la implementación de electroválvulas conectadas al módulo de actuadores del sistema de control y monitoreo.

## **HUMEDAD DE SUELO**

Para determinar la humedad del suelo se utiliza mediciones manuales, como lo muestra la Figura III.22. Para automatizar la medición se requiere instalar sensores de humedad

como bloques de yeso, los cuales se conectaran al módulo de sensores del sistema de control y monitoreo.



**Figura III. 22 Medidor de Humedad de Suelo**

## **TEMPERATURA**

El control de temperatura se lo hace tomando mediciones en horarios predefinidos y abriendo o cerrando manualmente las persianas del invernadero.



**Figura III. 23 Persianas del Invernadero del CER-IRRIFRUT**

### 3.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El Sistema de Control y Monitoreo, contara con tres módulos interconectados de forma inalámbrica mediante una ZegBee, formando una red WSN, la FiguraII.24 muestra la operación de misma.

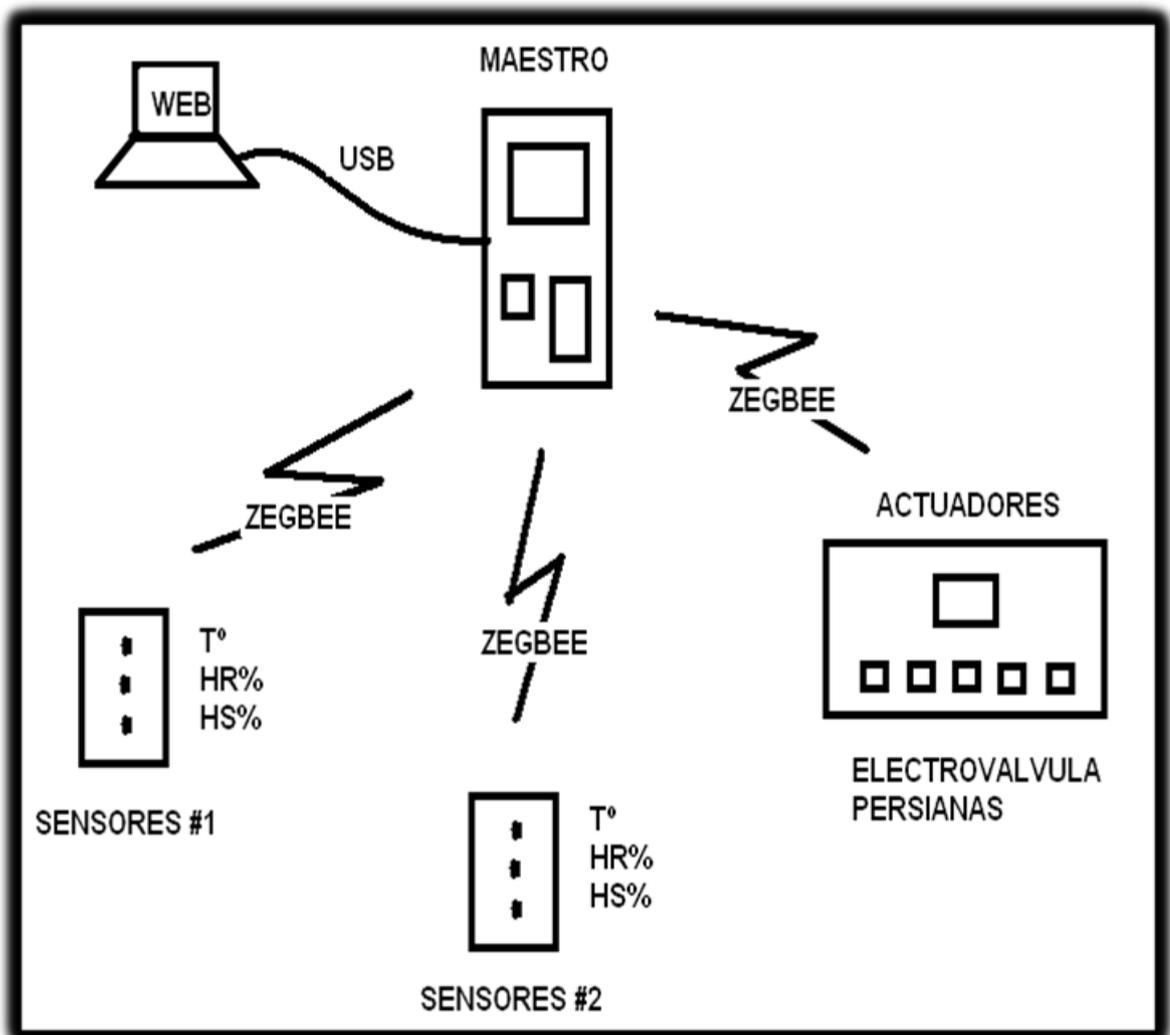


Figura III. 24 Sistema de Control y Monitoreo

### 3.3.1 MODULO MAESTRO

Este módulo recibe los datos desde los módulos Sensores, muestra sus variables en una pantalla GLCD, para establecer los rangos del sistema cuenta con un teclado 4X3, también tiene con una conexión USB hacia el PC en el cual se mostrara una interface Web basada en Labview. Este módulo en base a los datos obtenidos, enviara tramas de respuesta hacia el modulo actuador.

### DISEÑO ELECTRONICO

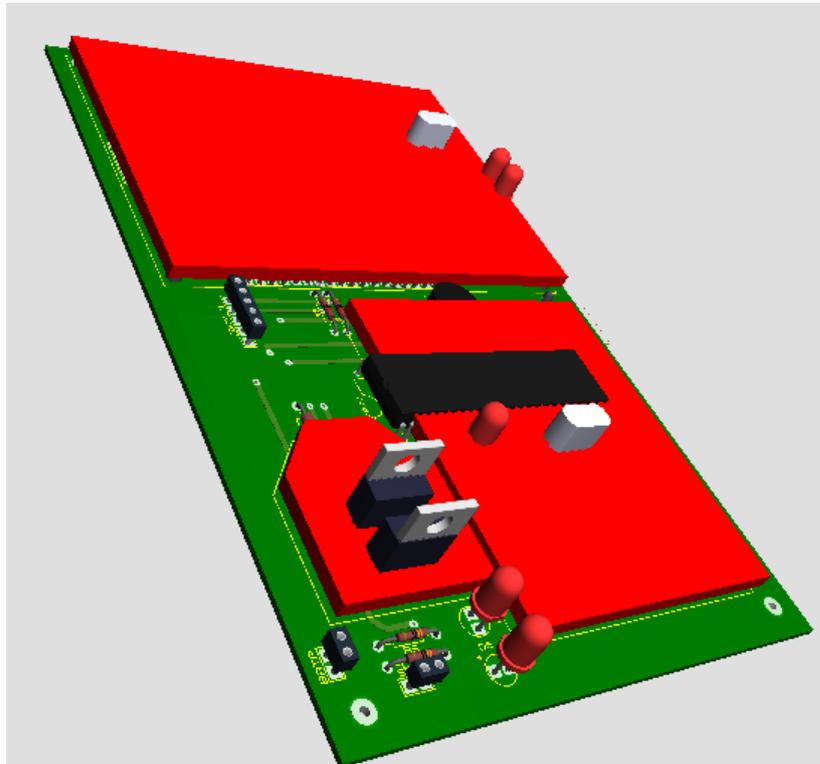


Figura III 25 Vista 3D Modulo Maestro

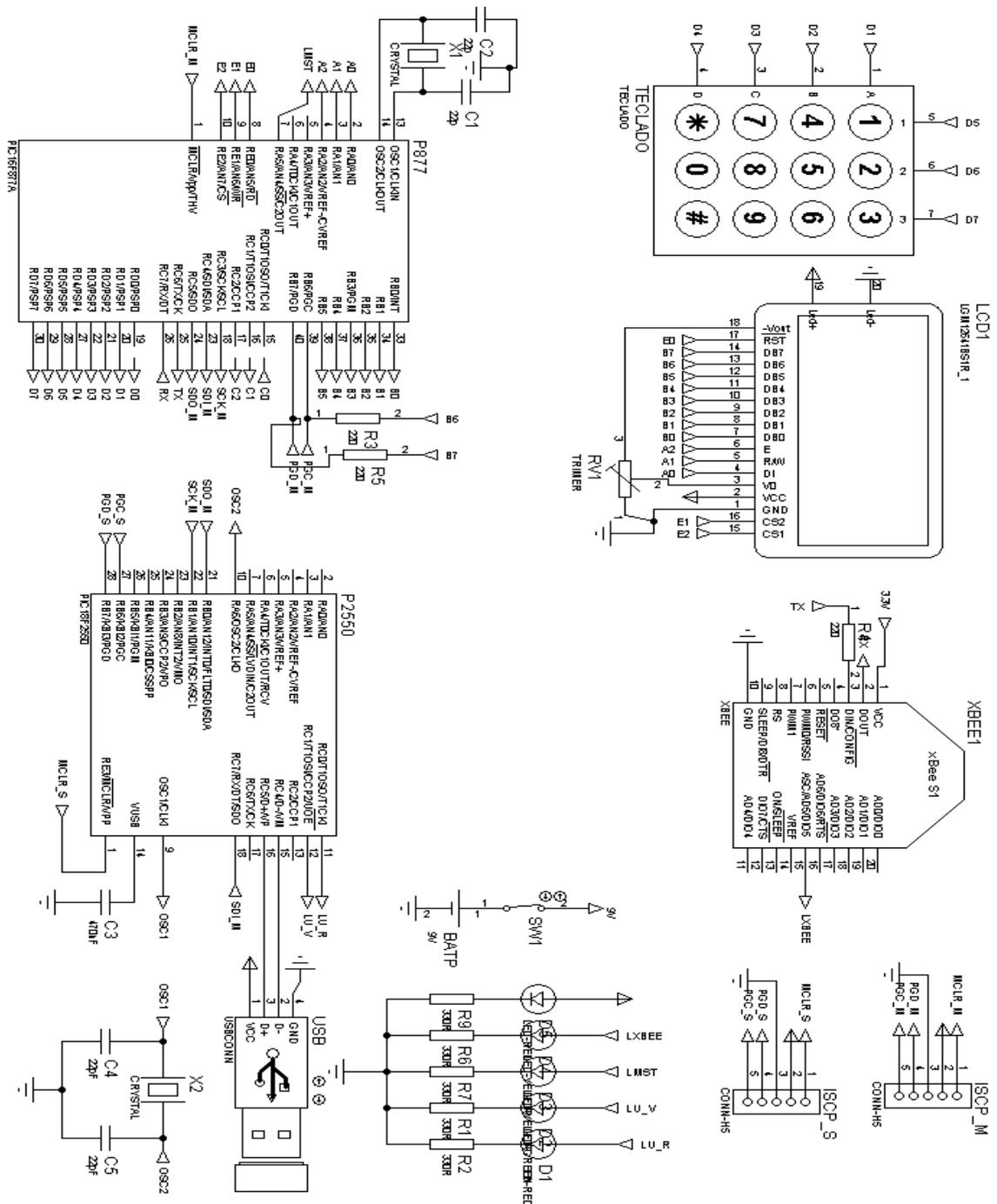


Figura III. 26 Esquemático Modulo Maestro

### 3.3.3 MODULO DE SENSORES

El módulo de sensores está desarrollado pensando en la portabilidad y en la independencia del mismo, puesto que cuenta con una batería de 3.7v de Li-Po junto con su cargador USB, también está dispuesto de tres entradas de sensores: Sensor de Temperatura LM35, sensor de Humedad HHH-3040 y una entrada de conexión para los Bloques de Yeso. Estos sensores se conectan directamente a las entradas analógicas de módulo XBee.

### DISEÑO ELECTRONICO

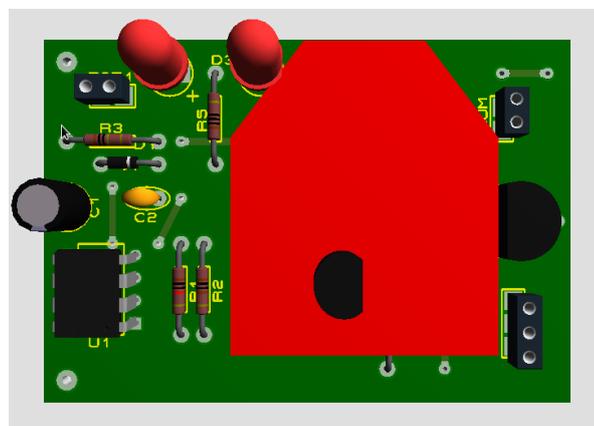


Figura III. 27 Vista 3D Modulo Sensores



# DISEÑO ELECTRONICO

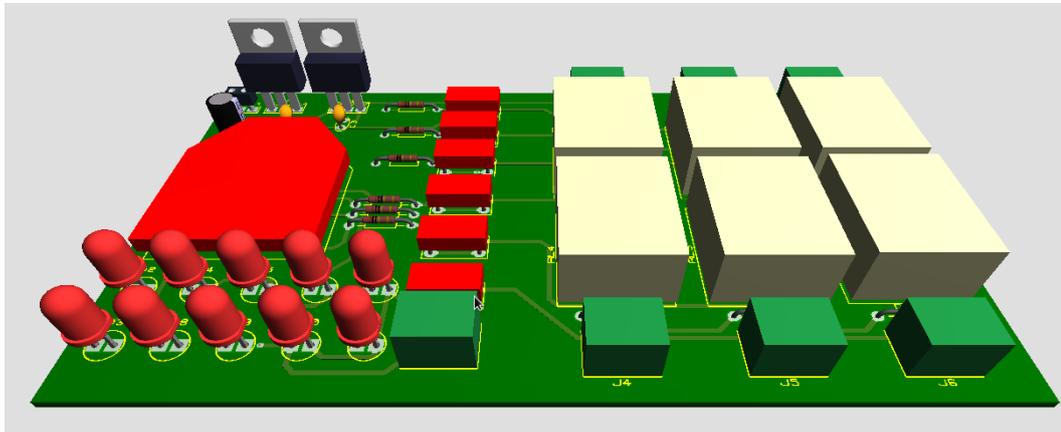


Figura III. 29 Vista 3D Modulo Actuadores

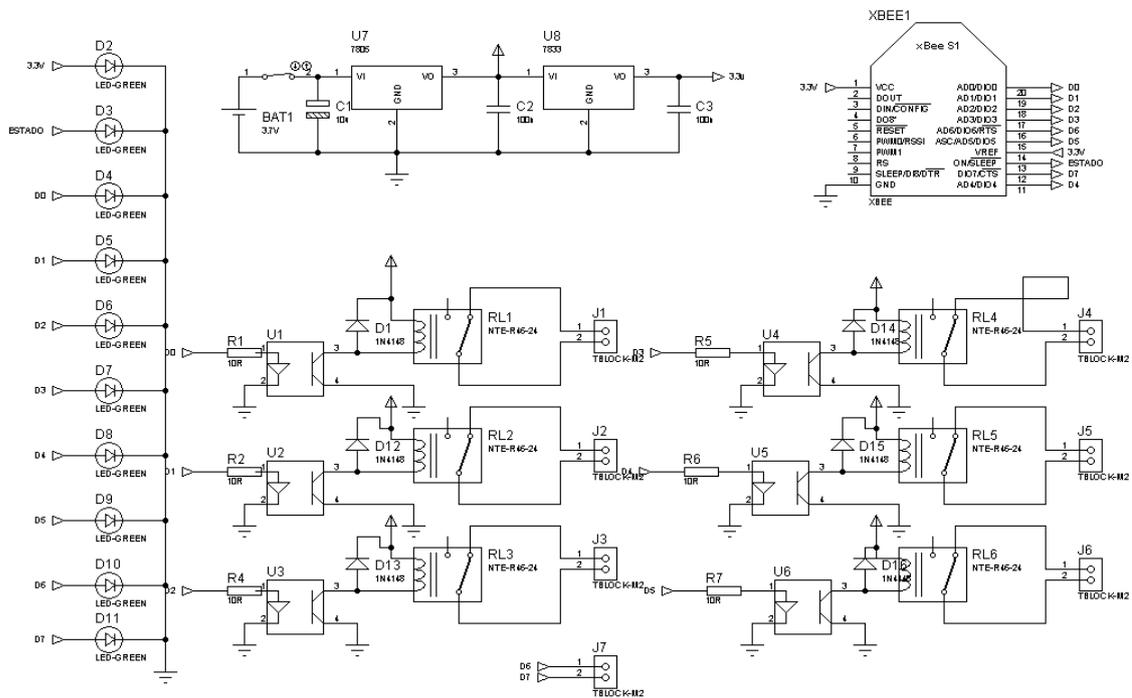


Figura III. 30 Esquemático Modulo Actuadores

### 3.3.5 DESCRIPCIÓN DE LA INTERFACE WEB DE MONITOREO

La interfaz web fue desarrollada mediante el uso del software de programación gráfica Labview 9.0 en el panel frontal se muestran los estados de cada una de las variables a medir como son la temperatura, humedad del suelo y humedad relativa, además de una gráfica historial para la temperatura y la humedad..

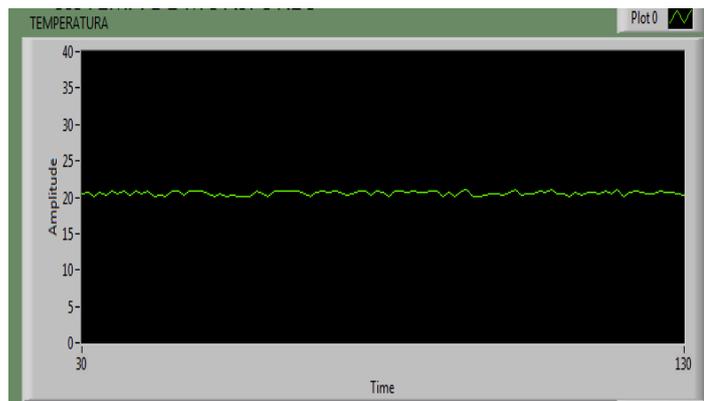


Figura III. 31 Plotter de Historial - Componente Labview

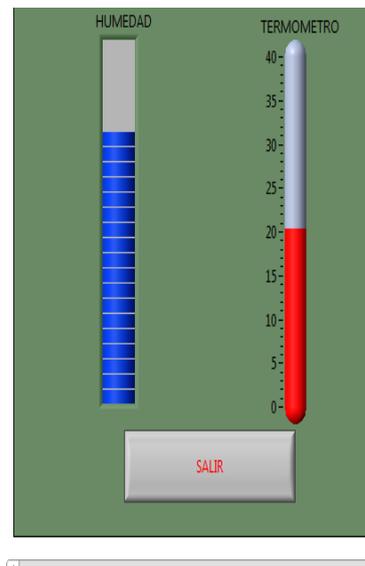


Figura III.32 Barras de Estado de Sensores- Componente Labview

# **CAPÍTULO IV**

## **IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO**

### **4.1 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA**

La construcción e implementación de los dispositivos ha sido fabricada al 100% por los autores de este documento, para lo cual utilizaron métodos manuales para la fabricación de las placas de circuitos electrónicos y herramientas disponibles en cualquier ferretería.

#### 4.1.1 CONSTRUCCIÓN DEL MODULO MAESTRO

Para la construcción del módulo maestro se realizó los siguientes pasos:

- Adquirir la lista de materiales del Anexo I.
- Fabricar la PCB utilizando método de transferencia térmica.
- Montaje de los elementos electrónicos.
- Programación del PIC 16F877A, código adjunto en el Anexo II.
- Programación del PIC 18F2550, código adjunto en el Anexo III.
- Configuración del Xbee como Coordinador.
- Conexión de la fuente de alimentación de 6 – 12 voltios.

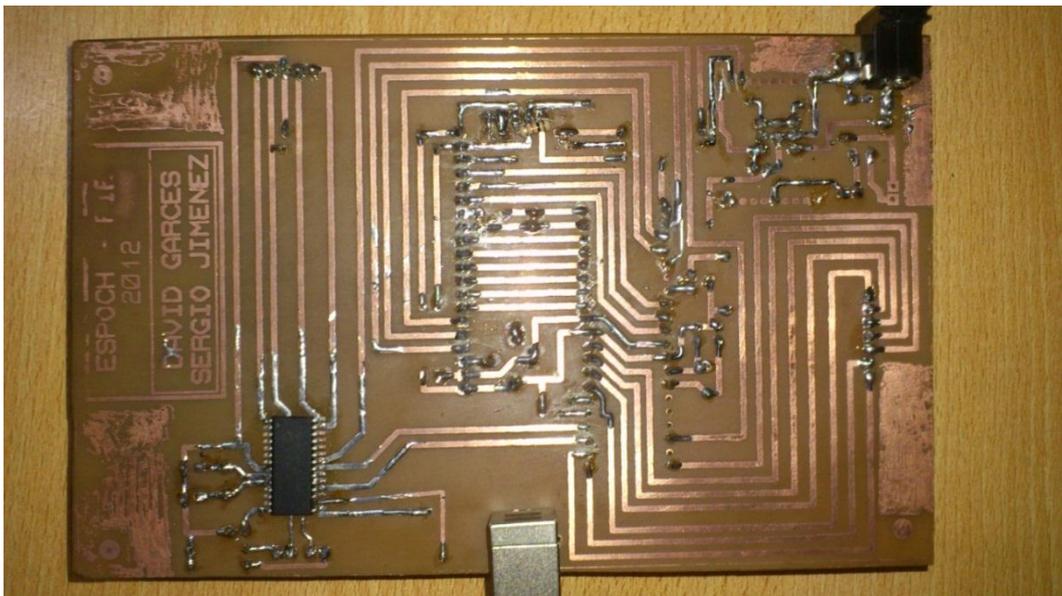


Figura IV. 33 PCB Modulo Maestro Vista Posterior



Figura IV. 34 Modulo Maestro

### 4.1.3 CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO DE SENSORES

Para la construcción del módulo maestro se realizó los siguientes pasos:

- Adquirir la lista de materiales del Anexo I.
- Fabricar la PCB utilizando método de transferencia térmica.
- Montaje de los elementos electrónicos.
- Montaje de los Sensores
- Configuración del Xbee como End Device.
- Instalación de Cargador de Batería.
- Conexión de Batería 3.7v

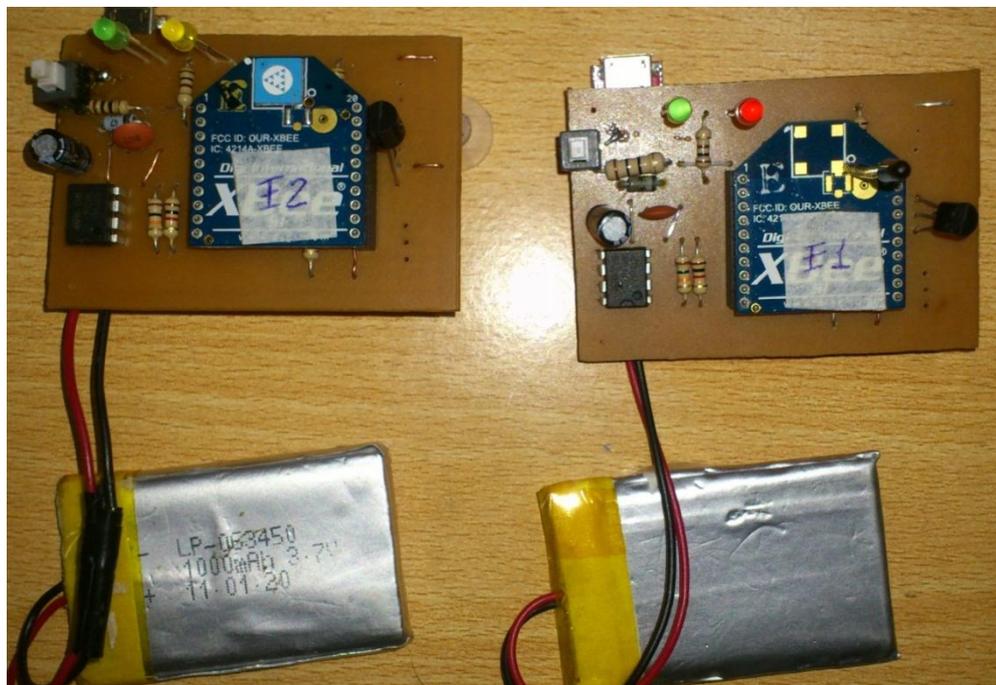


Figura IV. 15 Módulos de Sensores

#### 4.1.4 CONSTRUCCIÓN DEL MODULO DE ACTUADORES

Para la construcción del módulo maestro se realizó los siguientes pasos:

- Adquirir la lista de materiales del Anexo I.
- Fabricar la PCB utilizando método de transferencia térmica.
- Montaje de los elementos electrónicos.
- Configuración del Xbee como End Device.
- Conexión de la fuente de alimentación de 6 – 12 voltios.



Figura IV. 36 Modulo de Actuadores

#### 4.1.6 CONSTRUCCIÓN DE LA INTERFACE WEB

En la programación se ha utilizado varias herramientas para la creación de esta aplicación, primero el uso de librerías para la comunicación USB con el microcontrolador, utilizando sub Vi que son los encargados de crear el puerto de comunicaciones. La transmisión de los datos se la hace mediante un paquete de 64 bytes en el que se escribe cada una de las variables medidas y también se utiliza para establecer los valores deseados de cada una de las variables. Si se pierde la comunicación USB con el modulo central la aplicación lanzará una notificación de error indicando que se ha perdido la comunicación, si desea reintentar conectarse o desea cancelar la ejecución. Al finalizar la aplicación esta debe cerrar los puertos de comunicación para evitar problemas de conexión en la siguiente vez que se ejecute la misma..

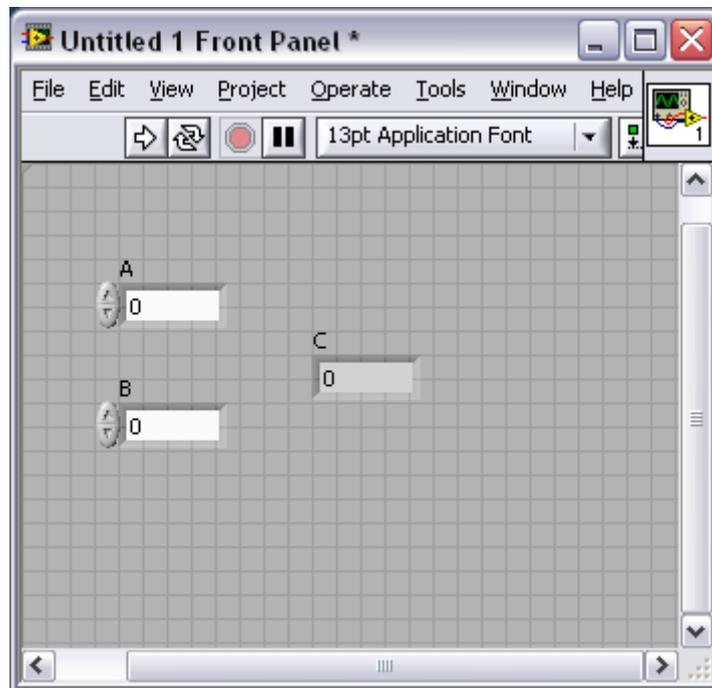


Figura IV. 37 Panel Labview

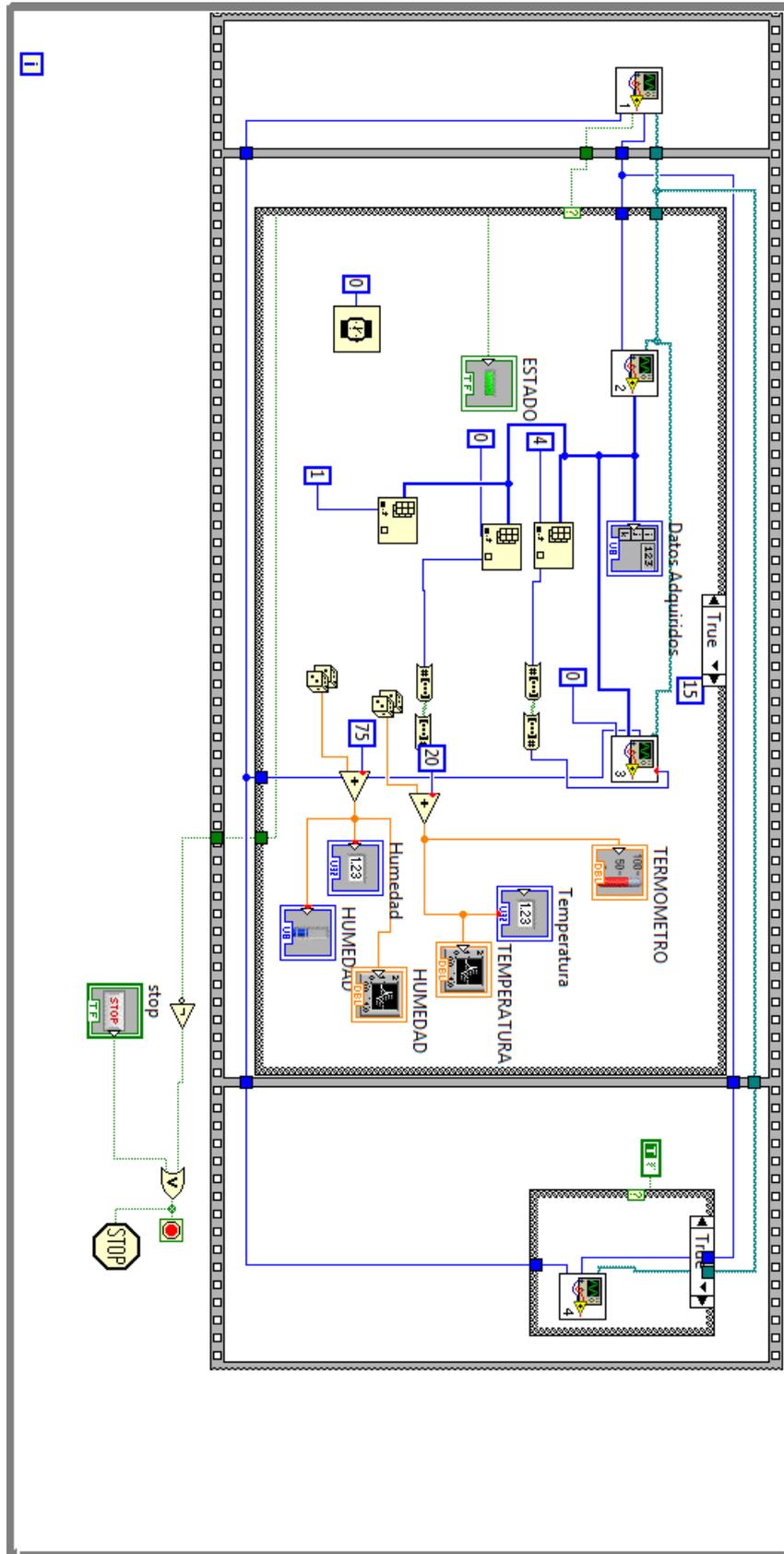


Figura IV. 38 Interface de Programación Labview

#### 4.1.7 INSTALACIÓN DEL SISTEMA

Cada módulo se lo coloco en cajas para protección de los circuitos y se utilizó antenas externas para mayor alcance.



Figura IV. 39 Instalación del Sistema

# CAPÍTULO V

## PRUEBAS Y ANÁLISIS

### 5.1 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Durante las pruebas realizadas procedieron a comprobar las conexiones de los componentes electrónicos en cada una de las placas, para posteriormente conectar a la alimentación que cada una necesita.

Se probó la comunicación de la red, enviando tramas de prueba y de descubrimiento de nodos el comando utilizado es *#ATND*, enviaron desde el PIC 16F877A hacia el *Xbee*

*Coordinador*, el cual nos entregó como respuesta las tramas de direcciones de los *Xbee End Device* que se encuentran en la Red.

### 5.1.1 MÓDULO MAESTRO

El módulo maestro siendo el más importante y quien lleva el control de todo el sistema, se lo fue comprobando etapa por etapa, siendo exitosas cada una de ellas.

- Comunicación SPI, entre el Maestro PIC16F877 y el Esclavo PIC 18F2550
- Escritura en el GLCD.



**Figura V. 40 Prueba GLCD**

- Conexión del teclado.



Figura V. 41 Prueba de Teclado

- Comunicación USB.

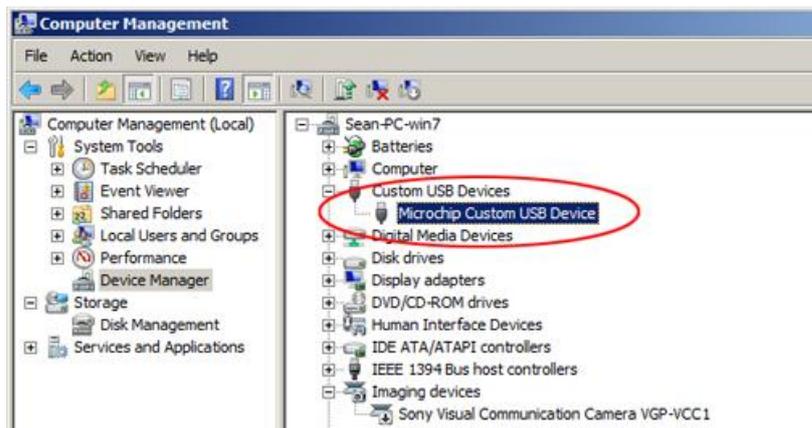


Figura V. 42 Prueba USB

- Comunicación ZigBee.



Figura V. 13 Prueba Comunicación Xbee

### 5.1.2 MÓDULO DE SENSORES

Se implementaron dos módulos de sensores para demostrar así la escalabilidad que puede tener la red. Los módulos fueron probados individualmente y en conjunto, siendo la única forma de comprobar, el realizar la lectura de los sensores y visualizarlos en el GLCD del módulo maestro.

Para ello se realiza la lectura de datos desde el Modulo Maestro, y los módulos de sensores entregan los datos instantáneos.

En la Figura V.44, se puede observar la aproximación de las lecturas comparadas con otro equipo de medición.



Figura V. 44 Prueba de Sensores

### 5.1.3 MODULO DE ACTURADORES

En el módulo de Actuadores, se realizaron pruebas con cada uno de los relés y varias cargas disponibles, simulando el control de un ventilador, de un motor DC de 250W capaz de mover las persianas del invernadero, así como también pulsos digitales que pueden ser visualizados en los LEDS para el control de válvulas.



Figura V. 45 Prueba del Módulo de Actuadores

## 5.2 GUIA DE USO DEL SISTEMA

Una vez instalado el sistema se procedió a conectar las fuentes de alimentación de cada uno de los dispositivos.

En la Figura V.46 observamos la pantalla de Inicio, donde inicializa los dispositivos y carga sus componentes.



**Figura V. 46 Pantalla de Inicio**

Luego se carga la pantalla principal del sistema en la que escogemos pulsando “\*“, la visualización del estado de los sensores, o pulsando “#“ se puede mirar el estado de los actuadores.

En la Figura V.47 se observa la pantalla principal.



Figura V. 47 Pantalla Principal

Al escoger la opción de Actuadores podemos visualizar el estado de los mismos o si alguno se encuentra Alarmado.



Figura V. 48 Pantalla de Actuadores

Al escoger la opción de Sensores podemos visualizar los valores de los sensores conectados a los dispositivos inalámbricos.



Figura V. 49 Pantalla de Sensores

En la opción "0" se cargara una pantalla con los nombres de los autores del Sistema.



D

Figura V. 50 Pantalla de Créditos

Para el monitoreo por interface Web se debe colocar en el navegador de internet la dirección <http://localhost/main.html> donde localhost puede ser la IP o la dirección web del servidor en el que se encuentre conectado el Modulo Maestro.

Al cargar la página web se debe pulsar en el botón de *CONECTAR*, con esto empezara la visualización en tiempo real de los valores las condiciones ambientales, también se mostrara una gráfica del historial de los parámetros.

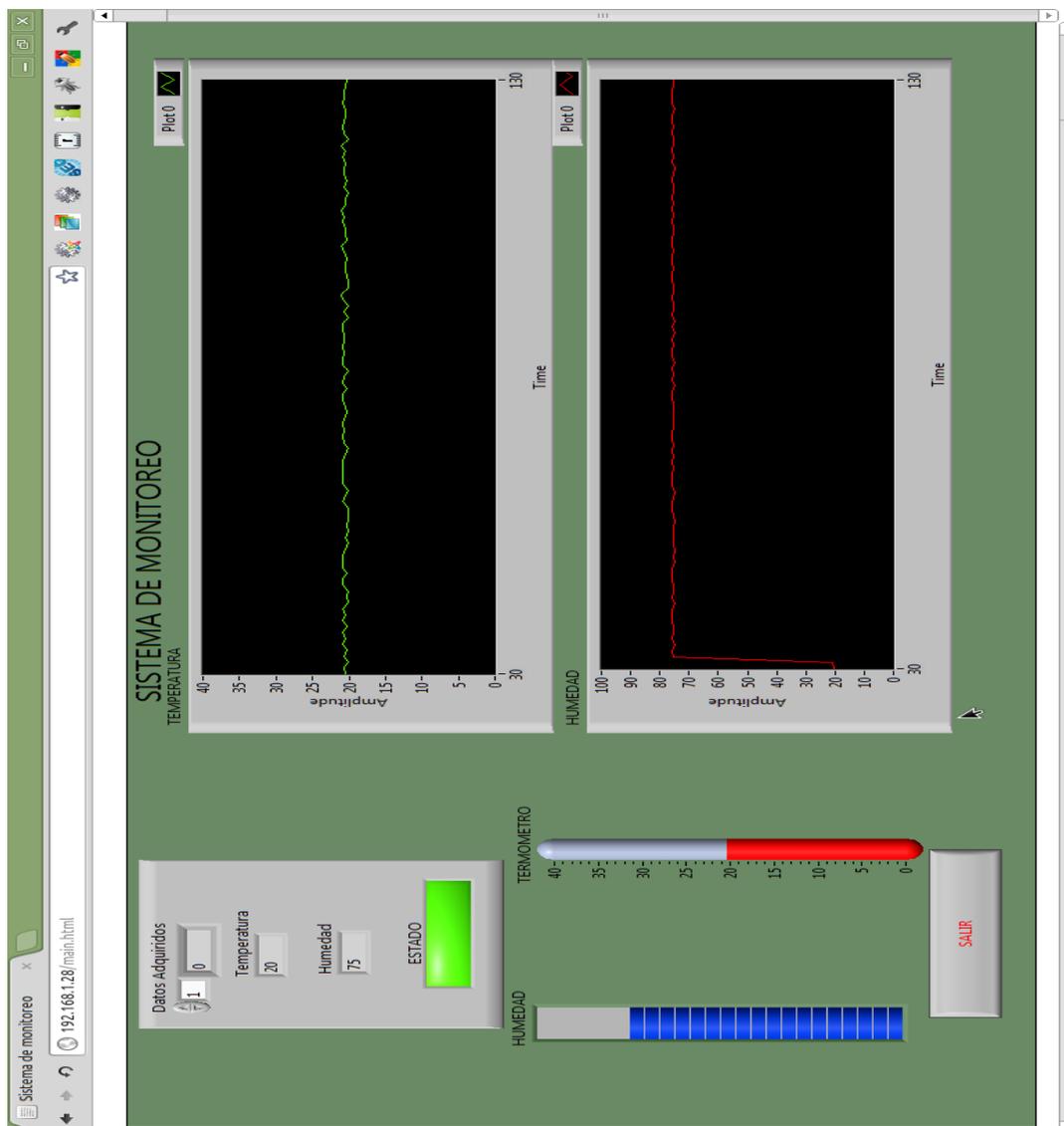


Figura V. 51 Interface WEB

La Web está cambiando la manera en que se toman las mediciones y se distribuyen los resultados. Existen muchas diferentes opciones para publicar reportes, compartir datos y remotamente controlar aplicaciones. LabVIEW incorpora las tecnologías más recientes de Web para poder tomar ventaja del poder de la Web sin tener que convertirse en un experto en las tecnologías.

## CONCLUSIONES

- El estándar ZigBee ofrece una baja complejidad y una baja exigencia de recursos, permite operar en tres bandas de frecuencia no licenciadas, lo cual reduce los costos de operación e instalación, siendo utilizado en proyectos donde las redes de sensores inalámbricos sirven para el monitoreo de sistemas o aplicaciones.
- Las Redes Inalámbricas de Sensores son excelentes para llegar a lugares donde se dificulta la instalación de dispositivos y su tasa de transmisión de datos es pequeña.
- Se determinó que los módulos desarrollados pueden comunicarse inalámbricamente mediante tramas API, en los módulos XBEE se puede controlar y las entradas/salidas del dispositivo.
- Se desarrolló una interface Web para el monitoreo remoto del sistema a la cual se puede ingresar desde cualquier dispositivo dentro de la red.
- El control de parámetros ambientales en este proyecto, es un servicio que contribuye a la optimización de tiempos y recursos en la producción del invernadero, ya que éste puede controlar la temperatura y mantener los valores de humedad de acuerdo a las necesidades.

## RECOMENDACIONES

- Es importante proteger adecuadamente los circuitos electrónicos, puesto que la humedad y el polvo los pueden dañar.
- Se recomienda una carga promedio de una hora de las baterías de los módulos de sensores antes de realizar las mediciones.
- Es recomendable comprobar las fuentes de alimentación que se encuentren adecuadamente polarizadas para evitar posibles daños al circuito.
- Para hacer uso de los Módulos XBEE es necesario diseñar una fuente de alimentación muy confiable y precisa, pues los dispositivos ZigBee son sensibles a fallas de voltaje y pueden resultar averiados de forma permanente, lo aconsejable es el uso regulador de 3.3V para asegurar un voltaje constante.
- Es recomendable mantener la línea de vista entre los dispositivos Xbee de tal manera que la comunicación sea lo más eficiente posible.
- Para la interface de monitoreo Web, es importante contar con la licencia adecuada del software Labview.

## RESUMEN

El Sistema de Control y Monitoreo del Invernadero del Centro Experimental de Riego de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo mediante tecnología ZigBee, fue realizado para brindar una solución óptima en la automatización, y control de condiciones ambientales de temperatura y humedad.

Diseñamos una Red de Sensores Inalámbricos capaz de proveer de las mediciones, a un módulo central, el cual toma decisiones basadas en parámetros establecidos por el usuario y realiza el control de los actuadores.

Desarrollamos módulos dispuestos de sensores de temperatura LM35, de humedad relativa HIH-4000 y un conexión para bloques de yeso para medir la humedad del suelo, conectados directamente a un dispositivo Xbee.

Se desarrolló un módulo dispuesto de 6 relevadores, y dos salidas digitales capaces de encender o apagar dispositivos actuadores como son válvulas y/o persianas, administrado por un dispositivo Xbee.

El sistema permite monitorear los parámetros mediante un módulo maestro que cuenta con una pantalla GLCD en la que se visualizan los datos, también tiene la posibilidad de conectarse hacia el PC mediante conexión USB y visualizar los parámetros en una interfaz gráfica Web.

El control de parámetros ambientales de temperatura y humedad, es un servicio que contribuye a la optimización de tiempo y recursos en la producción del invernadero, de acuerdo a las necesidades del operador.

## SUMMARY

A Control System and Monitoring of Greenhouse Irrigation Experimental Center at Polytechnic School of Chimborazo using ZigBee technology was made to provide an optimal solution in automation and control Environmental conditions of temperature and humidity.

We designed a Wireless Sensor Network can provide measurements at a core module, which makes decision based on parameters set by the user and performs control of the actuators.

Develop modules arranged LM35 temperature sensor, humidity on HIH-4000 and a connection for gypsum blocks to measure soil moisture, connected directly to a Xbee device.

We developed a set of 6 relay module, and two digital outputs can devices on or off actuators such as valves and / or blinds, administered by a Xbee device.

The system can monitor the parameters by a master module that has GLCD with a screen on which data is displayed, also has the possibility of connect to the PC via USB and view the parameters in a Web GUI.

Environmental parameters control temperature and humidity, is a service contributes to the optimization of time and resources in the production of gases, according to the needs of the operator.

# ANEXOS

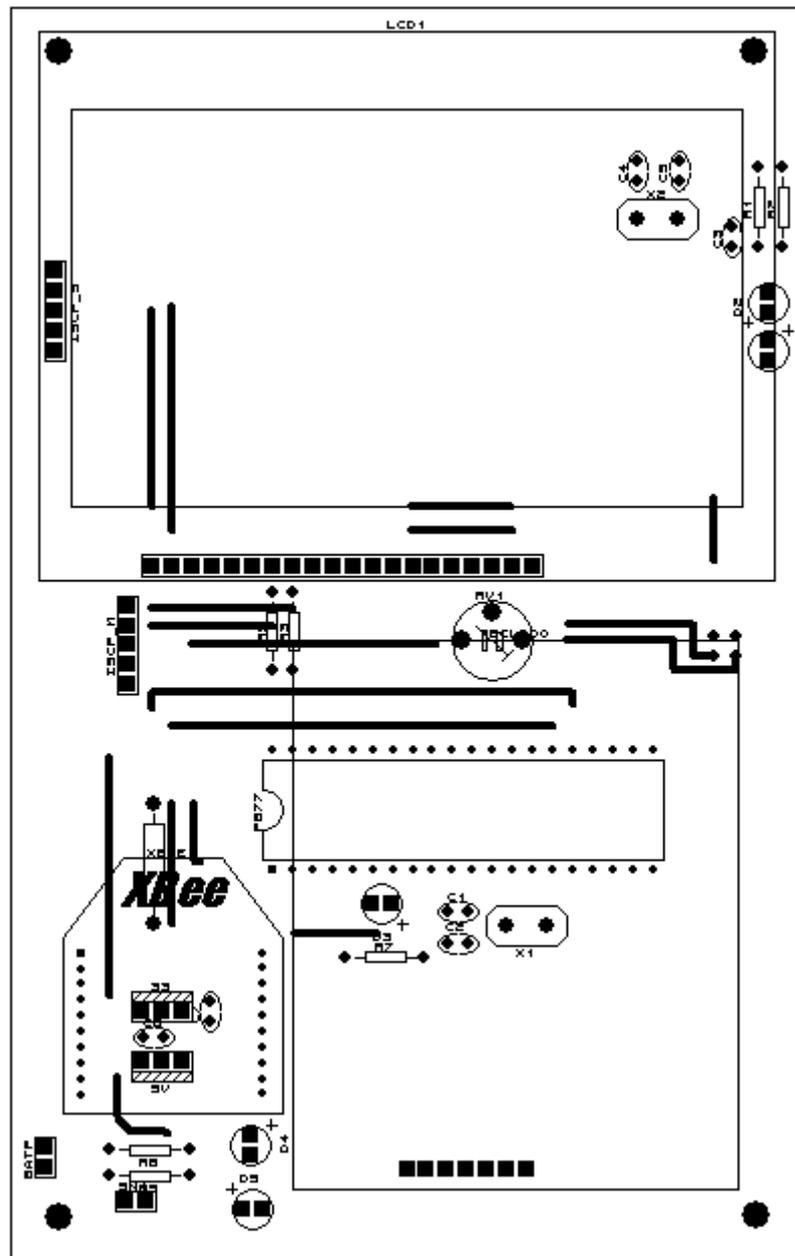
## ANEXO I: Esquemáticos de las Placas

### MODULO MAESTRO

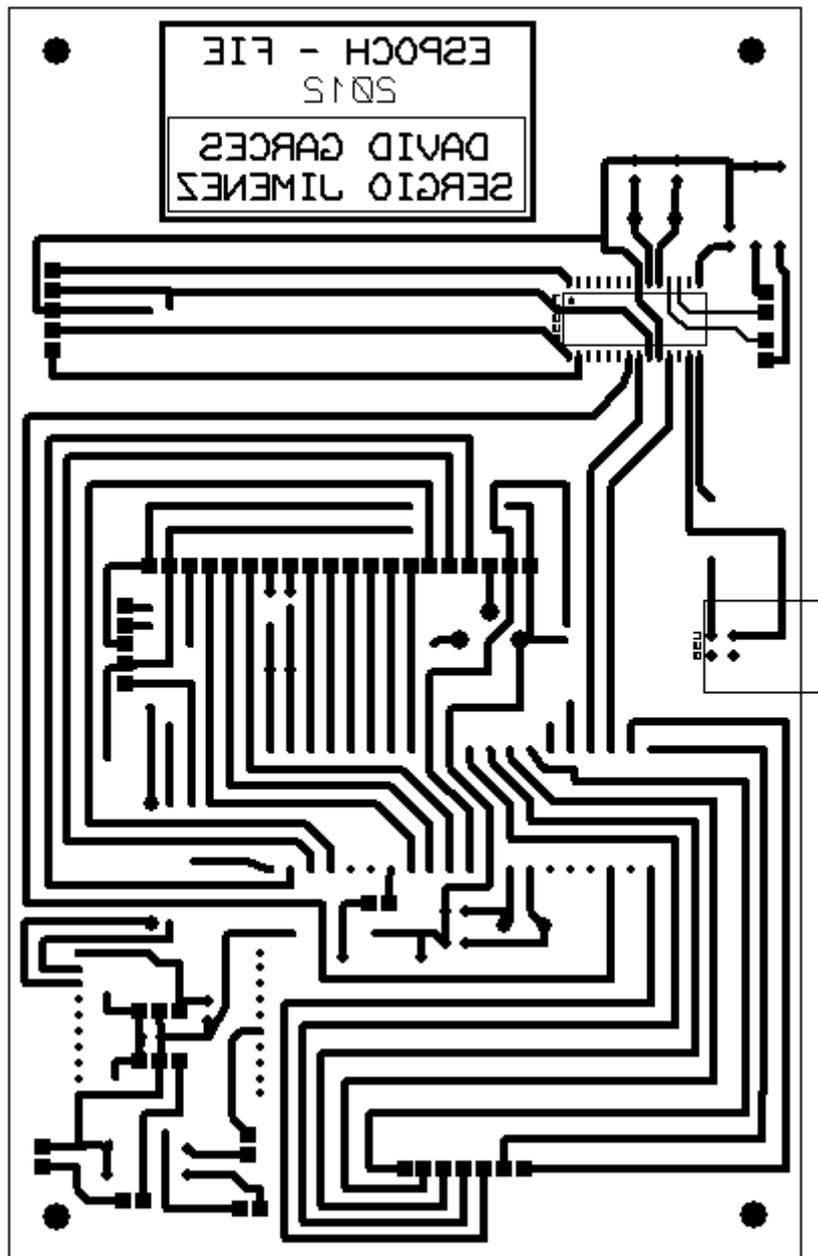
#### Lista de Materiales

QTY	PART-REFS	VALUE	CODE
---	-----	-----	-----
Resistors			
-----			
5	R1,R2,R6,R7,R9	330R	M330R
3	R3-R5	220	
Capacitors			
-----			
2	C1,C2	22p	Maplin WX78K
1	C3	470nF	
2	C4,C5	22pF	
1	C6	0.1uF	
1	C7	1nF	
1	C8	0.33u	
Diodes			
-----			
2	D1,D5	LED-RED	
1	D2	LED-GREEN	
2	D3,D4	LED-YELLOW	
Miscellaneous			
-----			
1	BATP	9V	
2	ISCP_M, ISCP_S	CONN-H5	
1	LCD1	LGM12641BS1R_1	
1	P877	PIC16F877A	
1	P2550	PIC18F2550	
1	RV1	TRIMER	
1	SW1		
1	TECLADO	TECLADO	
1	USB	USBCONN	
2	X1,X2	CRYSTAL	
1	XBEE1	XBEE	xbee

## Disposición De Elementos



# Esquema De Circuito Impreso

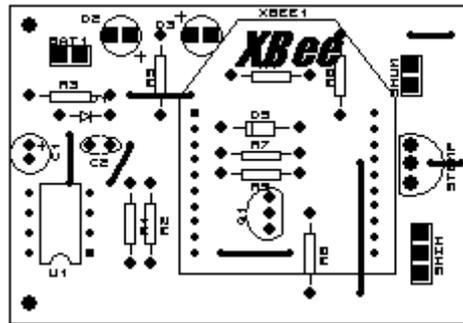


## MODULO DE SENSORES

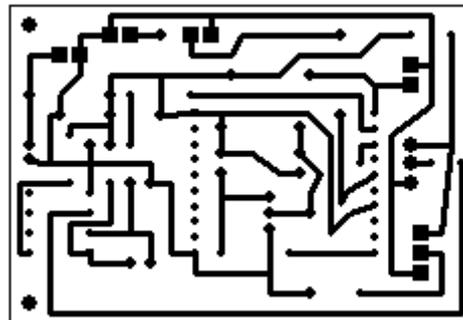
### Lista de Materiales

<u>QTY</u>	<u>PART-REFS</u>	<u>VALUE</u>	<u>CODE</u>
<u>Resistors</u>			
1	R1	10k	M10K
2	R2,R4	1k	M1k
1	R3	10R	M100R
2	R5,R6	100R	M100R
1	R7	8k2	M8K2
2	R8,R9	2k2	M2k2
<u>Capacitors</u>			
1	C1	10u	Maplin VH06G
1	C2	100n	Maplin DT98G
<u>Integrated Circuits</u>			
1	U1	LM358	
<u>Transistors</u>			
1	Q1	2N3904	
<u>Diodes</u>			
1	D1	1N4728A	
1	D2	LED-GREEN	
1	D3	LED-BLUE	
<u>Miscellaneous</u>			
1	BAT1	3.7V	
1	SHIH	CONN-SIL3	
1	SHUM	CONN-SIL2	
1	STEMP	LM35	
1	XBEE1	XBEE	xbee

## Disposición De Elementos



## Esquema De Circuito Impreso

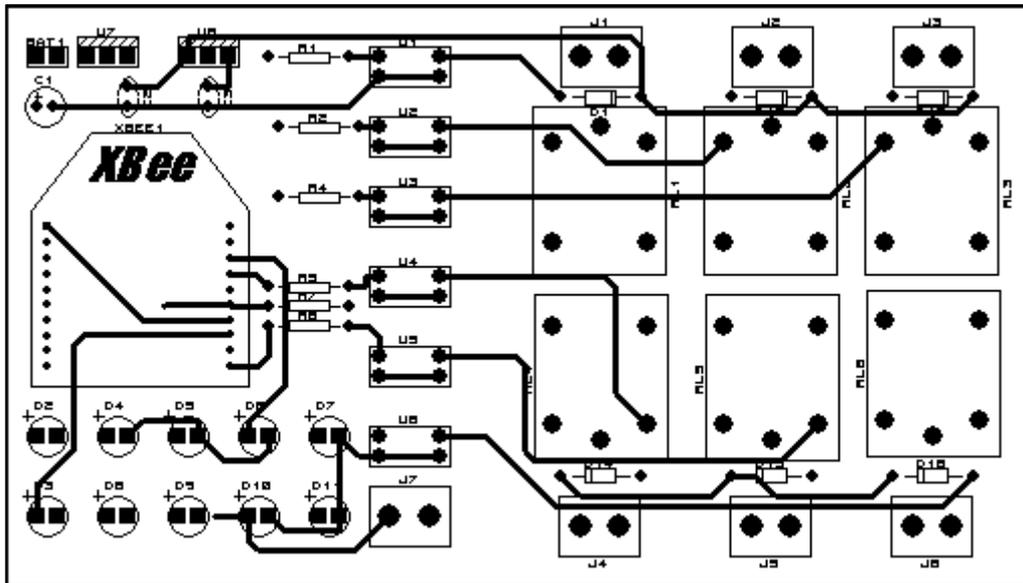


## MODULO DE ACTUADORES

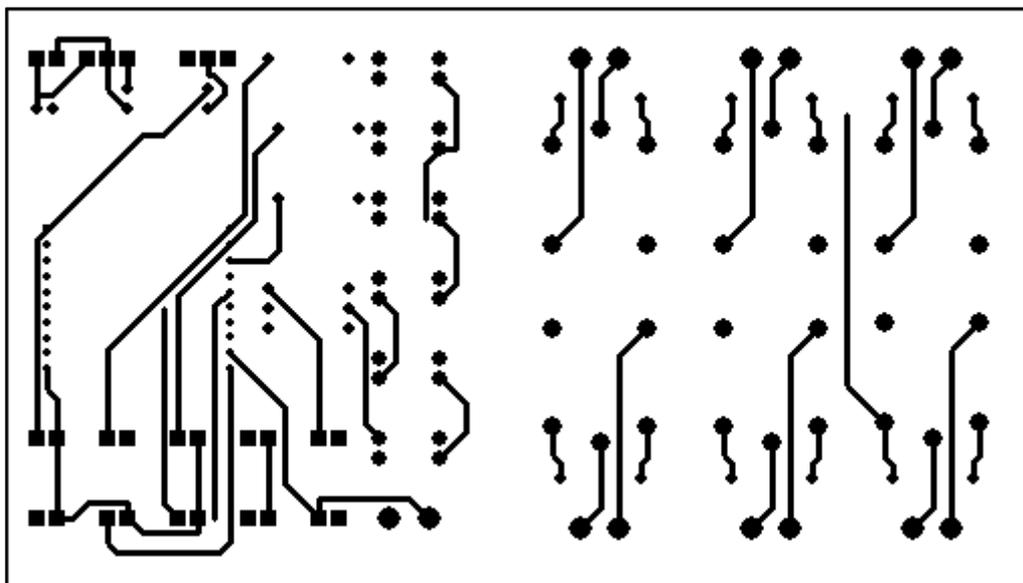
### Lista de Materiales

QTY	PART-REFS	VALUE	CODE
----	-----	-----	-----
Resistors			
-----			
6	R1,R2,R4-R7	10R	M10R
Capacitors			
-----			
1	C1	10u	Maplin VH06G
2	C2,C3	100n	Maplin DT98G
Integrated Circuits			
-----			
6	U1-U6		
1	U7	7805	
1	U8	7833	
Diodes			
-----			
6	D1,D12-D16	1N4148	
10	D2-D11	LED-GREEN	
Miscellaneous			
-----			
1	BAT1	3.7V	
7	J1-J7	TBLOCK-M2	
6	RL1-RL6	NTE-R46-24	
1	XBEE1	XBEE	xbee

## Disposición De Elementos



## Esquema De Circuito Impreso



## ANEXO II: Código PIC 16f877A

```
#include <16f877a.h>
#include "C:\Users\Checho\Desktop\usb-pic-labview\HDM64GS12.c"
#include <graphics.c>
#include "C:\Users\Checho\Desktop\usb-pic-labview\GLCD877-LIB.h"
//#device ADC=10 //Descomente ésta opción en caso de usar el ADC a 10bits
#fuses HS,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP,NODEBUG
#use delay(clock=2000000)
#use rs232(baud=9600, xmit=PIN_C6, rcv=PIN_C7,parity=N,bits=8)
#use spi
#priority RDA,SSP,TIMER0

// DEFINES //
#define PERS 0
#define VALV 1
#define ENC 5
#define APA 4
#define LEDT PIN_A5
#define LED_ON output_high
#define LED_OFF output_low

#define I_TRAMA 0x7E
#define L_T_IS 0x0F
#define L_T_DX 0x10
#define R_TRAMA 0x17
#define ID_TRAMA 0x12
#define use_portb_kbd FALSE
#define blue_keypad FALSE
#define t_high 0x10
#define t_low 0x11
#define hs_high 0x12
#define hs_low 0x13
#define hr_high 0x14
#define hr_low 0x15

//DECLARACION DE FUNCIONES//
void envio_de_trama();
void limpiarRecepcion();
void Transmision_spi();
void lectura_e1();
void lectura_e2();
void escritura_act(int salida, int estado);
void copiar_trama();
void displayVoltage(int adc,int x, int y);
void displaynum(int i6 adc,int x, int y);
void visualizacion();

//DECLARACION DE VARIABLES GLOBALES//
int temp=0, cont=0, lrt=0, estado_p=4,estado_v=4;
int hr_h=60,hr_l=50,hs_h=65,hs_l=55,t_h=22,t_l=20;
int intentosE1=0;
int intentosE2=0;
int count=0,i=0,t=0;
int valor=0;
int i6 sensores[8];
```

```

SHORT t_agotado=FALSE;
char tecla='0';
const BYTE DIR_E1[8]={0x00,0x13,0xA2,0x00,0x40,0x49,0xB5,0x02};
const BYTE DIR_E2[8]={0x00,0x13,0xA2,0x00,0x40,0x49,0xC1,0x30};
const BYTE DIR_ACT[8]={0x00,0x13,0xA2,0x00,0x40,0x6A,0x66,0xFD};
BYTE datos_usb[16];
BYTE datos_usb2[13];
BYTE recepcionXbee[32]; //almacenamiento de las recepciones

//INTERRUPCIONES UTILIZADAS//
#INT_TIMER0
void isr_timer0(void){
    char x;
    LED_ON(PIN_D7);
    if(count==1){
        if(input(PIN_D1)){
            x='*'; break;
        }else if(input(PIN_D2)){
            x='0'; break;
        }else if(input(PIN_D3)){
            x='#'; break;
        }else{
            x='0';
        }
        if(x!='0'){tecla=x;}
        count=0;
    }else{count++;}
    set_timer0(0);
}

#int_rda
void serial_isr() { // Interrupción recepción serie USART
    while(kbhit()){
        recepcionXbee[lrt]=getc();
        lrt++;
    }
}

//FUNCIONES UTILIZADAS//
void lectura_e1(){
    BYTE check=0x00;
    check=(R_TRAMA+ID_TRAMA+DIR_E1[0]+DIR_E1[1]+DIR_E1[2]+DIR_E1[3]+DIR_E1[4]+DIR_E1[5]+DIR_E1[6]+DIR_E1[7]+0xFF+0xFE+0x49+0x53);

    check=0xFF-check;

    putc(I_TRAMA);putc(0x00);putc(L_T_IS);putc(R_TRAMA);putc(ID_TRAMA);putc(DIR_E1[0]);putc(DIR_E1[1]);putc(DIR_E1[2]);putc(DIR_E1[3]);

    putc(DIR_E1[4]);putc(DIR_E1[5]);putc(DIR_E1[6]);putc(DIR_E1[7]);putc(0xFF);putc(0xFE);putc(0x00);putc(0x49);putc(0x53);putc(check);
}

void lectura_e2(){
    BYTE check=0x00;
    check=(R_TRAMA+ID_TRAMA+DIR_E2[0]+DIR_E2[1]+DIR_E2[2]+DIR_E2[3]+DIR_E2[4]+DIR_E2[5]+DIR_E2[6]+DIR_E2[7]+0xFF+0xFE+0x49+0x53);
    check=0xFF-check;
}

```

```
putc(L_TRAMA);putc(0x00);putc(L_T_IS);putc(R_TRAMA);putc(ID_TRAMA);putc(DIR_E2[0]);putc(DIR_E2[1]);putc(DIR_E2[2]);putc(DIR_E2[3]);
```

```
putc(DIR_E2[4]);putc(DIR_E2[5]);putc(DIR_E2[6]);putc(DIR_E2[7]);putc(0xFF);putc(0xFE);putc(0x00);putc(0x49);putc(0x53);putc(check);
```

```
}
```

```
void escritura_act(BYTE salida, BYTE estado){
```

```
    BYTE check=0x00;
```

```
    salida=salida+0x30;
```

```
    estado=estado*0x01;
```

```
    check=(R_TRAMA+ID_TRAMA+DIR_ACT[0]+DIR_ACT[1]+DIR_ACT[2]+DIR_ACT[3]+DIR_ACT[4]+DIR_ACT[5]+DIR_ACT[6]+DIR_ACT[7]+0xFF+0xFE+0x02+0x44+estado+salida);
```

```
    check=0xFF-check;
```

```
    putc(L_TRAMA);putc(0x00);putc(L_T_DX);putc(R_TRAMA);putc(ID_TRAMA);putc(DIR_ACT[0]);putc(DIR_ACT[1]);putc(DIR_ACT[2]);putc(DIR_ACT[3]);
```

```
    putc(DIR_ACT[4]);putc(DIR_ACT[5]);putc(DIR_ACT[6]);putc(DIR_ACT[7]);putc(0xFF);putc(0xFE);putc(0x02);putc(0x44);putc(salida);putc(estado);putc(check);
```

```
}
```

```
void limpiarRegistros(){
```

```
    int t=0,k=0;
```

```
    for(t=0;t<32;t++){recepcionXbee[t]=0; }
```

```
}
```

```
short comprobacion(){
```

```
    int j=0;
```

```
    BYTE sumaDeControl=0x00;
```

```
    short estado=FALSE;
```

```
    for (j=0;j<recepcionXbee[2];j++){
```

```
        sumaDeControl=sumaDeControl+recepcionXbee[3+j];
```

```
    }
```

```
    sumaDeControl=0xFF-sumaDeControl;
```

```
    if (sumaDeControl==recepcionXbee[recepcionXbee[2]+3]){
```

```
        estado=TRUE; }
```

```
    else {
```

```
        estado=FALSE; }
```

```
    return(estado);
```

```
}
```

```
void procesamiento_trama(int modulo){
```

```
    if(modulo==1){
```

```
        sensores[0]=recepcionXbee[27]*256+recepcionXbee[28];//HUMEDAD RELATIVA MI
```

```
        sensores[1]=recepcionXbee[23]*256+recepcionXbee[24];//HUMEDAD SUELO MI
```

```
        sensores[2]=recepcionXbee[25]*256+recepcionXbee[26];//TEMPERATURA MI
```

```
        sensores[3]=recepcionXbee[29]*256+recepcionXbee[30];//BATERIA MI
```

```
        datos_usb[0]=recepcionXbee[23];
```

```
        datos_usb[1]=recepcionXbee[24];
```

```
        datos_usb[2]=recepcionXbee[25];
```

```
        datos_usb[3]=recepcionXbee[26];
```

```
        datos_usb[4]=recepcionXbee[27];
```

```
        datos_usb[5]=recepcionXbee[28];
```

```
        datos_usb[12]=recepcionXbee[29];
```

```
        datos_usb[13]=recepcionXbee[30];
```

```
    }
```

```

if(modulo==2){
  sensores[4]=repcionXbee[27]*256+repcionXbee[28];// HUEMDAD RELATIVA M2
  sensores[5]=repcionXbee[23]*256+repcionXbee[24];// HUEMDAD RELATIVA M2
  sensores[6]=repcionXbee[25]*256+repcionXbee[26];// TEMPERATURA M2
  sensores[7]=repcionXbee[29]*256+repcionXbee[30];// BATERIA M2

  datos_usb[6]=repcionXbee[23];
  datos_usb[7]=repcionXbee[24];
  datos_usb[8]=repcionXbee[25];
  datos_usb[9]=repcionXbee[26];
  datos_usb[10]=repcionXbee[27];
  datos_usb[11]=repcionXbee[28];
  datos_usb[14]=repcionXbee[29];
  datos_usb[15]=repcionXbee[30];
}
}

void visualizacion(int x){
  disable_interrupts(INT_RDA);
  if (x==0){
    glcd_fillscreen(0);
    displayVoltage(repcionXbee[22],0,0);
    displayVoltage(repcionXbee[24],20,0);
    displayVoltage(repcionXbee[25],40,0);
    displayVoltage(repcionXbee[26],60,0);
    displayVoltage(repcionXbee[27],0,50);
    displayVoltage(repcionXbee[28],20,50);
    displayVoltage(repcionXbee[29],40,50);
    displayVoltage(repcionXbee[30],60,50);
    delay_ms(1000);
  }
  else{
    glcd_fillscreen(0);
    displaynum(sensores[0],0,0);
    displaynum(sensores[1],30,0);
    displaynum(sensores[2],60,0);
    displaynum(sensores[3],90,0);
    displaynum(sensores[4],0,50);
    displaynum(sensores[5],30,50);
    displaynum(sensores[6],60,50);
    displaynum(sensores[7],90,50);
    delay_ms(1000);
  }
  enable_interrupts(INT_RDA);
}

void procesamiento_salidas(){
  if(sensores[2]*0.0358 >= 18){escritura_act(pers,enc); estado_p=enc; }else{escritura_act(pers,apa);
estado_p=apa; }
  delay_ms(50);
  if(sensores[6]*0.0358 >= 20){escritura_act(valv,enc); estado_v=enc; }else{escritura_act(valv,apa);
estado_v=apa; }
  delay_ms(50);
}

```

```

void seteo_de_valores(){
    write_eeprom(t_high,t_h);
    write_eeprom(t_low,t_l);
    write_eeprom(hs_high,hs_h);
    write_eeprom(hs_low,hs_l);
    write_eeprom(hr_high,hr_h);
    write_eeprom(hr_low,hr_l);
}

void displayVoltage(int adc,int x, int y) {
    char voltage[9];
    sprintf(voltage, "%X", (int)adc); // Converts adc to text
    voltage[4] = '\0'; // Limit shown digits to 3
    glcd_rect(45, 18, 69, 25, YES, OFF); // Clear the old voltage
    glcd_text57(x, y, voltage, 1, ON); // Write the new voltage
}

void displaynum(int16 adc,int x, int y) {
    char num[9];
    sprintf(num, "%Lu", (int16)adc); // Converts adc to text
    glcd_rect(45, 18, 69, 25, YES, OFF); // Clear the old voltage
    glcd_text57(x, y, num, 1, ON); // Write the new voltage
}

void Transmision_spi(){
    int i=0;
    for(i=0;i<13;i++){
        spi_write(datos_usb[i]);
        //output_toggle(LED1);
        delay_ms(5);
    }
    //LED_ON(LED1);
}

void comunicacionXbee(){
    lrt=0;
    limpiarRegistros();
    //delay_ms(10);
    enable_interrupts(INT_RDA);
    //delay_ms(10);
    //do{
        lectura_e1();
        //LED_OFF(LED1);
        delay_ms(50);
    //}while(!comprobacion());
    //LED_ON(LED1);
    if(lrt==32 || intentosE1==3){ procesamiento_trama(1); intentosE1=0; }else{intentosE1++;}
    lrt=0;
    limpiarRegistros();
    //do{
        lectura_e2();
        //LED_OFF(LED1);
        delay_ms(50);
    //}while(!comprobacion());
    //LED_ON(LED1);
    if(lrt==32 || intentosE2==3){ procesamiento_trama(2); intentosE2=0; }else{intentosE2++;}
    procesamiento_salidas();
}

```

```

    Transmision_spi();
}

void menus(){
    if(tecla == '0'){
        Glcd_sensores(sensores[0],sensores[1],sensores[2],sensores[4],sensores[5],sensores[6]);
        //glcd_rect(4,50, 123, 65, YES, OFF);
    }
    if(tecla == '*'){
        glcd_actuadores(estado_v,estado_p);
    }

    if(tecla == '#'){
        glcd_set_point(hr_h,hr_l,hs_h,hs_l,t_h,t_l);
    }
}

//PROGRAMA PRINCIPAL//
void main(void) {
    setup_spi(spi_master | spi_1_to_h | SPI_CLK_DIV_4); //Configurar spi para que el pic funcione como
maestro.
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_256);
    enable_interrupts(INT_TIMER0);
    //setup_timer_2(T2_DIV_BY_1,0,5);
    enable_interrupts(GLOBAL);
    enable_interrupts(INT_RDA);

    glcd_init(ON);
    pantalla();
    glcd_start();
    delay_ms(600);
    for(t=0;t<8;t++){sensores[t]=0;}
    LED_OFF(LED1);
    set_timer0(0);
    tecla='0';
    for(;;){
        comunicacionXbee();
        Glcd_sensores(sensores[0],sensores[1],sensores[2],sensores[4],sensores[5],sensores[6]);
        do{
            tecla=kbd_getc();
        }while(tecla=='\0');
        if(kbd_getc()!='\0'){tecla=kbd_getc();}
        menus();
        delay_ms(2000);
    } //FIN DEL FOR PRINCIPAL
}

```

### ANEXO III: Código PIC 18F2550

```
#include <18F2550.h>
#fuses
HSPLL,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP,NODEBUG,USBDIV,PLL5,CPUDIV1,VRE
GEN,NOMCLR,NOPBADEN
#use delay(clock=48000000)
#use spi
#use RS232(BAUD=9600, BITS=8, PARITY=N, XMIT=PIN_C6, RCV=PIN_C7)
#define USB_HID_DEVICE FALSE //deshabilitamos el uso de las directivas
HID
#define USB_EP1_TX_ENABLE USB_ENABLE_BULK //turn on EP1(EndPoint1)
for IN bulk/interrupt transfers
#define USB_EP1_RX_ENABLE USB_ENABLE_BULK //turn on EP1(EndPoint1)
for OUT bulk/interrupt transfers
#define USB_EP1_TX_SIZE 64 //size to allocate for the tx endpoint 1
buffer
#define USB_EP1_RX_SIZE 64 //size to allocate for the rx endpoint 1
buffer

#include <pic18_usb.h> //Microchip PIC18Fxx5x Hardware layer for CCS's
PIC USB driver

#include <usb_desc_scope.h> //descriptors del Pic USB
#include <usb.c> //handles usb setup tokens and get descriptor reports
#define LEDV PIN_C1
#define LEDR PIN_C0
#define LED_ON output_high
#define LED_OFF output_low

#priority USB,SSP

//DECLARACION DE VARIABLES GLOBALES
int i=0;
int8 datos_usb[64];

#INT_SSP
void spi_isr() { // Interrupción recepción spi
while(spi_data_is_in())//Si hay un dato en el spi.
{
datos_usb[i]=spi_read();
i++;
}
}
```

```

// PROGRAMA PRINCIPAL//
void main(void) {

    LED_OFF(LEDV);
    LED_ON(LEDV);
    setup_spi(spi_slave | spi_1_to_h | spi_clk_div_16); //Esclavo spi
    enable_interrupts(GLOBAL);
    enable_interrupts(INT_SSP);

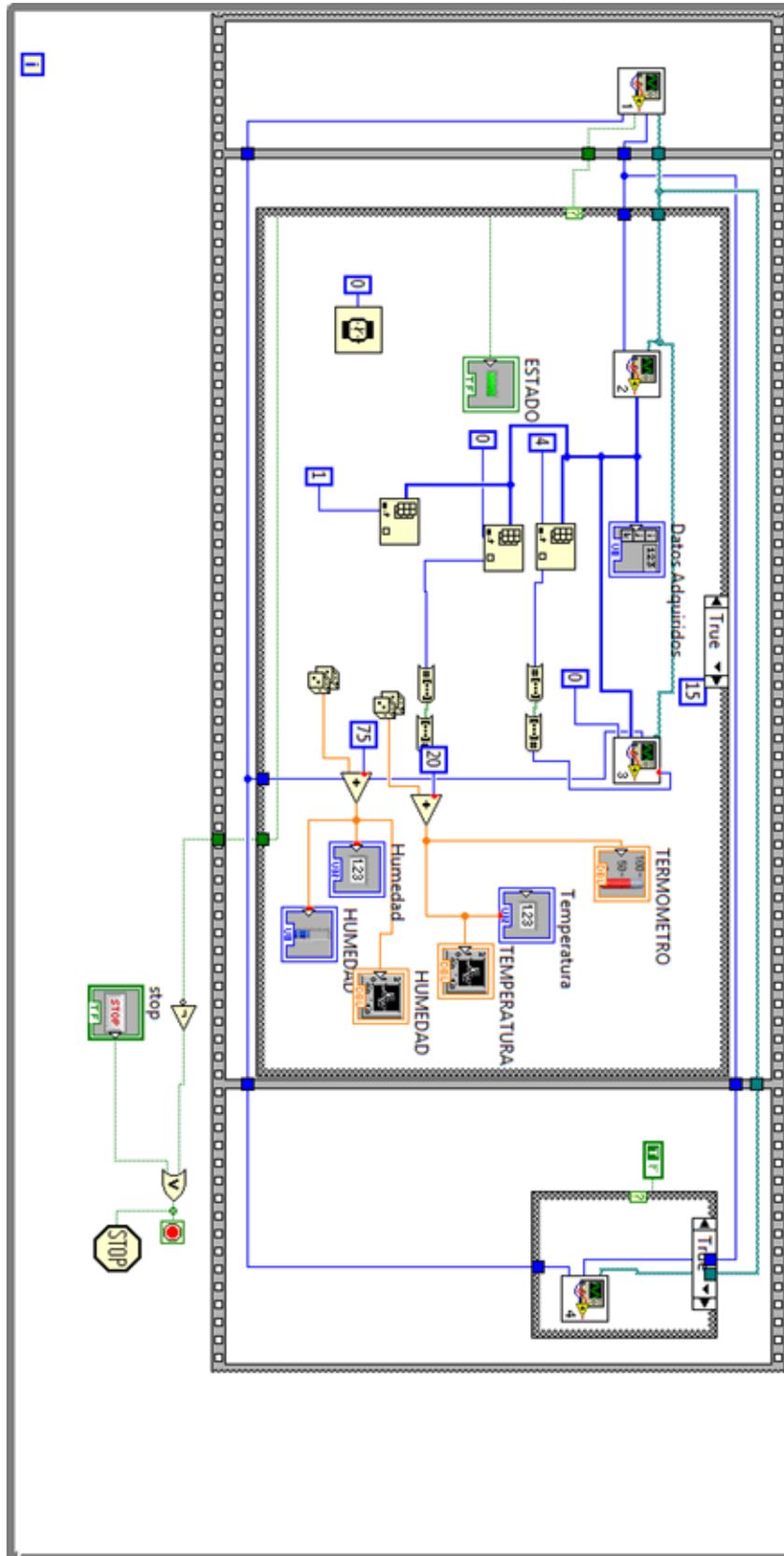
    usb_init(); // inicializamos el USB
    usb_task(); // habilita periferico usb e interrupciones
    usb_wait_for_enumeration(); // esperamos hasta que el PicUSB sea
configurado por el host

    LED_ON(LEDV);
    LED_OFF(LEDV); // encendemos led en RB7 al establecer
ontacto con la PC

    while (TRUE){
        if(usb_enumerated()){ // si el Pic está configurado via USB
            for(i=0;i<64;i++){ datos_usb[i]=0;}
            i=0;
            enable_interrupts(INT_SSP);
            do{LED_OFF(LEDV);}while(i!=13);
            LED_ON(LEDV);
            usb_put_packet(1, datos_usb, 64, USB_DTS_TOGGLE);
            delay_ms(10);
        }
    }
}

```

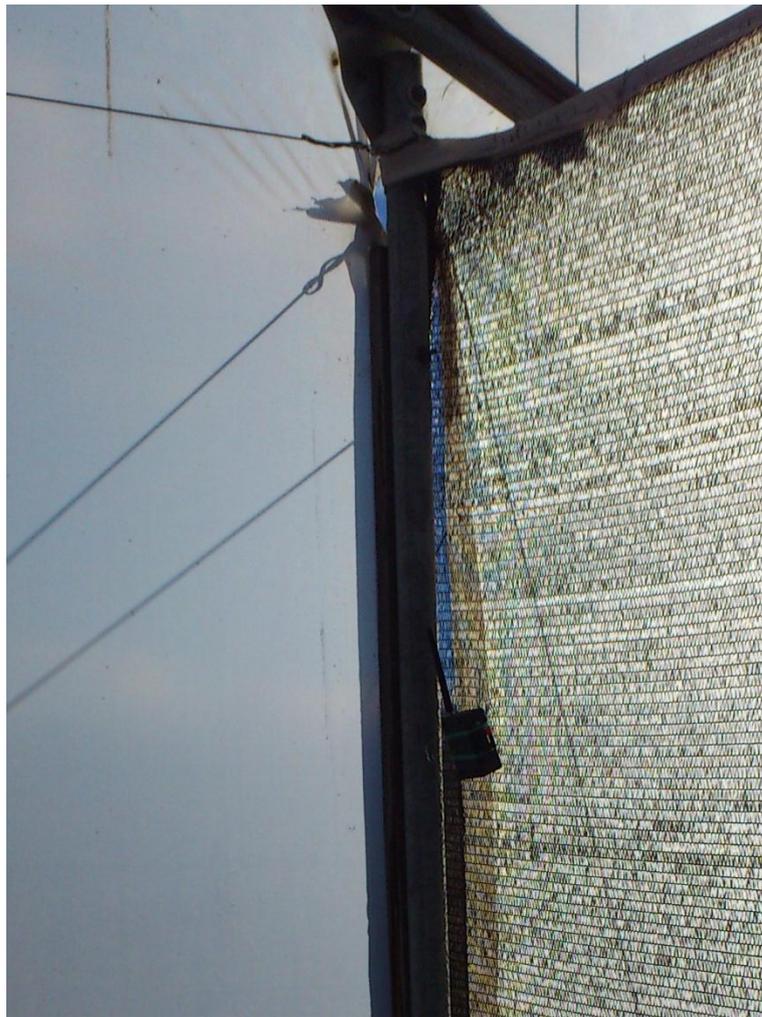
# ANEXO IV: Código Labview Interface Web



## ANEXO V: Fotografías de Instalación









## **BIBLIOGRAFIA**

1. **ANGULO, J.M,** Robótica Práctica: tecnología y aplicaciones. 4ª ed., Madrid – España., Paraninfo., 1996., Pp., 120 -270.
2. **ANGULO, Y OTROS.,** Microcontroladores PIC: La solución en un chip., Madrid – España., Paraninfo., 1997., Pp., 70 – 75.
3. **ANGULO, J.M, Y OTROS.,** Microbótica., Madrid – España., Paraninfo., 1999., Pp., 20, 65, 70.
4. **BLAKE, R,** Sistemas Electrónicos de Comunicaciones. 2da ed. Londres – Inglaterra., Thomson Learning., 2004., Pp., 100 - 120
5. **TAYLOR, P.M,** Control Robótico., Madrid – España., CEAC., 1992., Pp., 40 – 80.
6. **TORRES, POMARES, J.,** Robots y Sistemas Sensoriales. New Jersey – Estados Unidos de América., Prentice Hall., 2002., 320.

## BIBLIOGRAFÍA DE INTERNET

### 7. MICROCONTROLADORES

- <http://www.microchip.com>  
2012/05/12
- <http://www.galeon.com/microchip/>  
2012/05/13
- <http://www.todopic.com.ar>  
2012/05/20
- <http://todopic.mforos.com/8826/2007482-pic16f877-y-lcd-grafico-wintek/>  
2012/05/20
- <http://todopic.mforos.com/6510/3522308-problema-con-el-pic-y-los-voltajes/>  
2012/05/20
- <http://micros.mforos.com/?cat=351376>  
2012/05/22
- <http://www.jvmbots.com/viewtopic.php?t=684&postdays=0&postorder=asc&start=0>  
2012/05/22
- <http://www.freewebs.com/glafebre/proyectos.htm>  
2012/06/10

- [http://www.unicrom.com/Tut\\_MotorCC.asp](http://www.unicrom.com/Tut_MotorCC.asp)

2012/06/10

## **8. ZIGBEE**

- <http://todopic.mforos.com/6510/3522308-problema-con-el-pic-y-los-voltajes/>

2012/05/5

- <http://www.blogelectronica.com/zigbee-maxstream-sdk/>

2012/05/5

- <http://www.blogelectronica.com/category/tecnologias/zigbee/>

2012/05/15

- [http://www.olimex.cl/pdf/Wireless/ZigBee/XBee-Guia\\_Usuario.pdf](http://www.olimex.cl/pdf/Wireless/ZigBee/XBee-Guia_Usuario.pdf)

2012/05/15