

Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería Electrónica

Diseño e implementación de una red Zigbee de módulos de Adquisición de datos y control multifunción, basados en microcontrolador

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Ingeniero Electrónico

> Autores: David Lizardo Lasso Rodríguez Christian Geovanny León Carpio

Director: Freddy Gonzalo Pesantez Díaz

Cuenca, Ecuador 2013 **DEDICATORIA**

A:

Dios por permitirme despertar cada día, después de mis errores y aciertos, por darme la oportunidad de enfrentar obstáculos, por poner cada evento y persona en mi camino para mostrarme el amor y la gracia de vivir.

Mi madre que nunca ha dejado de guiarme y cuando todas las puertas podían haberse cerrado ella nunca se apartó, es mi apoyo y consejera de cada día, de toda mi vida, no sería nada sin su amor.

A mi Padre, hermanas y sobrina son motores que mueven mi vida, que han llenado cada instante de felicidad y por quienes quiero seguir adelante.

A mi Abuelita, tíos y primos que son mi ejemplo de lucha y entrega por la familia.

A mi novia y amigos con quienes he pasado momentos bellos y difíciles, en quienes confío y me apoyo para el resto de mi vida.

A todas las personas que han llegado a mi vida, a quienes no he nombrado pero sin duda nada sería igual.

Esto lo dedico a Ustedes...

Atentamente:

David Lasso Rodríguez.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto de tesis a todas las personas que han estado pendientes del mismo a lo largo de su desarrollo, incluyendo familiares docentes, amigos y principalmente a Dios por poner en mi camino a todos aquellos en mención.

Especialmente este proyecto va dirigido hacia mis padres que han hecho un gran esfuerzo por sacarme adelante y darme una educación de calidad, empezando por los valores inculcados desde casa.

A mi esposa que me ha apoyado incondicionalmente para culminar mis estudios a pesar de los obstáculos que hemos tenido que atravesar, a mis dos hijas que han sido una inspiración y la fuerza para poder continuar, pensando en un mejor futuro para ellas mi esposa y mío mismo.

A mis hermanas, tíos, abuelos y primos que siempre han estado pendientes de mi proyecto e interesados en los inconvenientes que he pasado durante su desarrollo.

AGRADECIMIENTOS

Los agradecimientos generados en este trabajo de tesis se presentan en conjunto por parte de los autores.

A la Universidad del Azuay por haber puesto a nuestra disposición, sus recursos, su personal para que los conocimientos sean adquiridos de la manera más apta y dichos conocimientos sean el apoyo de cada uno en su desarrollo profesional y personal.

Al Msc. Freddy Pesantez, director del proyecto de tesis que a lo largo del desarrollo nos ha sabido guiar oportuna, amable y competentemente, para así lograr una adecuada estructuración de los objetivos versus el resultado final.

A los miembros del jurado cuyos comentarios y sugerencias han sido invaluables desde el momento del diseño hasta la culminación del proyecto.

Atentamente:

Los Autores.

INDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Índice de contenidos	٧
Indice de Anexos	X
Resumen	xi
Abstract	xii
Introducción	1
CAPITULO 1: FUNDAMENTOS TEÓRICOS	
Introducción	4
1.1 Dispositivos de adquisición y control de datos en red	4
1.2 Descripción de protocolos inalámbricos orientados al	5
campo industrial	
1.2.1 Bluetooth	6
1.2.2 WIFI	7
1.3 Zigbee	8
1.3.1Objetivo de Zigbee	8
1.3.2 Características	8
1.3.3 Elementos en un red Zigbee	9
1.3.4 Topologías Zigbee	9
1.3.5 Campos de aplicación Zigbee	10
1.4 Estudio comparativo entre estándares Bluetooth, WIFI	12
y Zigbee	
1.5 Módulos de comunicación inalámbrica Xbee series2	14
1.6 Microcontroladores	16
1.6.1 Conceptos preliminares	16
1.6.1.1 Ciclo de máquina (CM)	16
1.6.1.2 Ciclo de instrucción (CI)	16

1.6.1.3 Registros	17
1.6.1.4 Registro de datos o de propósito general	17
1.6.1.5 Registro de control o de propósito específico	17
1.6.2 Memorias	18
1.6.2.1 Memoria para datos	18
1.6.2.2 Memoria para programas	19
1.6.3 Especificaciones y estructura física de la memoria	19
de datos	
1.6.3.1 Registros de control	19
1.6.4 Módulo EUSART	20
1.6.4.1 Modo asíncrono	21
1.6.4.2 Modo síncrono	21
1.6.4.3 Trasmisor asíncrono	21
1.6.4.4 Receptor asíncrono	22
1.6.5 Conversor analógico/digital	23
1.6.6 Módulo MSSP	24
1.7 Módulo MCP4725	24
CAPITULO 2: DISEÑO DE HARDWARE	
Introducción	26
2.1 Esquema general modulo de adquisición y control	26
2.2 Circuito básico de funcionamiento del microcontrolador	27
18f4553	
2.2.1 Alimentación	28
2.2.2 Señal de reinicio	28
2.2.3 Señal de reloj	28
2.3 Protecciones para sobre-voltajes en pines I/O	29
2.3.1 Diodo Zener	30
2.3.2 Comparador de voltaje	35
2.3.3 Generación de alarmas en circuito de protección	37
2.4 Implementación física de Universal Serial Bus (USB)	38
2.5 Conexión RS232	40

2.6 Comunicación inalámbrica en red	44
2.7 Salidas analógicas	46
2.7.1 Salida analógica controlada mediante puerto serial I2C	47
2.8 Distribución y organización de puertos	49
2.9 Desarrollo de hardware del módulo de adquisición	50
2.10 Desarrollo de hardware del módulo coordinador	50
CAPITULO 3: DISEÑO DE FIRMWARE, SOFTWARE Y RED DE ADQUISICIÓN	
Introducción	53
3.1 Códigos de configuración, envío y solicitud de información	53
3.2 Clasificación de líneas de puerto por grupos	55
3.2.1 Clasificación por sentido de la información	55
3.2.1.1 Codificación para solicitud de información	57
3.2.1.2 Codificación para envío de información	58
3.3 Información adicional para salidas digitales	60
3.4 Códigos de configuración y envío de información para	61
línea de salida analógica	
3.5 Desarrollo de firmware del microcontrolador	62
3.5.1 Directivas iniciales y vectores	62
3.5.2 Variables e inicialización	63
3.5.3 Configuración de periféricos	64
3.5.4 Programa principal	65
3.5.5 Subrutinas	65
3.5.5.1 Subrutina de demora	65
3.5.5.2 Subrutina de atención a interrupción	66
3.5.5.2.1. Subrutinas de configuración de puerto	68
3.5.5.2.2 Subrutina de configuración I2C	76
3.6 Desarrollo de red de adquisición	79
3.6.1 Consideraciones previas respecto al coordinador	79
3.6.2 Módulos Xbee	79
3.6.2.1 Interfaces para configuración de módulos Xbee	81
3.6.2.2 XbeeConfig Tool	81
3 6 2 3 X-CTU	82

	3.6.3 Desarrollo de un terminal serial de código propio	83
	en Labview®	
	3.6.3.1 Coolterm	83
	3.6.3.2 Desarrollo terminal serial en Labview®	84
	3.6.4 Manejo de registros de configuración módulos Xbee	85
	3.6.4.1Comandos AT	85
	3.6.4.2 Estructura de un comando AT	85
	3.6.4.3 Suit de comandos AT	86
	3.6.5 Configuración de Xbee como coordinador de red	88
	3.6.6 Configuración de Xbee como dispositivo final	92
3.7	Desarrollo de software de prueba en Labview®	93
	3.7.1 Desarrollo de interface grafica (panel de control)	94
	3.7.1.1 Grupo A	95
	3.7.1.2 Grupo B	96
	3.7.1.3 Grupo C	97
	3.7.1.4 Grupo D	97
	3.7.1.5 Selección de líneas y funciones	97
	3.7.1.6 Controles tipo enumeración	98
	3.7.1.7 Selectores	98
	3.7.2 Desarrollo de programación (diagrama de bloques)	99
	3.7.2.1 Diagrama general de software para adquisición y	99
	control	
	3.7.2.2 Comunicación	100
	3.7.2.3 Inicialización y configuración de puerto serial	100
	3.7.2.4 Escritura y lectura	101
	3.7.2.5 Cierre de sesión de comunicación	102
	3.7.2.6 Generación de código	102
	3.7.2.7 Envío de código	103
	3.7.2.8 Software para adquisición de líneas de entrada	104
	analógica (solicitud de información)	
	3.7.2.9 Software para adquisición de líneas de entrada	106
	digital (solicitud de información)	
	3.7.2.10 Software para adquisición de líneas de salida	106

	analógica (envío de información)	
	3.7.2.11 Software para adquisición de líneas de salida	108
	digital (envío de información)	
C	APITULO 4: PRUEBAS, RESULTADOS Y CONCLUSIONES	
	Introducción	109
	4.1 Prueba de funcionamiento para configuraciones especificas	109
	de línea	
	4.1.1 Prueba para línea multifunción	109
	4.1.1.1 Prueba de línea multifuncional como entrada	110
	analógica	
	4.1.1.2 Prueba de línea multifuncional como entrada	111
	digital	
	4.1.1.3 Prueba de línea multifuncional como salida digital	112
	4.1.2 Línea de función única (salida analógica)	113
	4.1.3 Resultado	114
	4.2 Prueba de funcionamiento de alarma contra sobre-voltajes	115
	4.2.1 Resultados	116
	4.3 Prueba de calidad de transmisión y recepción inalámbrica	116
	4.3.1 Resultados	118
	4.4 Conclusiones	119
	4.5 Recomendaciones	120
	4.6 Análisis de Costos	121
	Bibliografía	122
	Anexos	123

Anexo 1 Diagrama esquemático del hardware	123
de modulo de adquisición y control	
Anexo 2 Captura de imagen del PCB correspondiente	124
al módulo de adquisición y control	
Anexo 3 Diagrama esquemático y captura de imagen	125
del PCB correspondiente al modulo coordinador	



RESUMEN DEL TRABAJO DE TESIS DE DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED ZIGBEE DE MÓDULOS DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL MULTIFUNCIÓN, BASADOS EN MICROCONTROLADOR.

Para diseñar e implementar el hardware, software y firmware relacionados a los componentes de la red de módulos inalámbricos de adquisición y control basados en microcontrolador, se sentaron bases teóricas en redes inalámbricas de área personal (WPAN), programación de microcontroladores pic, lenguaje de programación grafico Labview®, electrónica analógica, electrónica digital y manejo de información.

Todos estos fundamentos teóricos complementados con simulaciones y cálculos permitirán el diseño profesional de tarjetas de circuito impreso. Una vez implementados los PCB con componentes correctamente dimensionados, serán sometidos a una serie de pruebas que evaluarán profundamente aspectos de estabilidad, funcionalidad y fiabilidad.

Se demostró que la unión de la multifuncionalidad provista por el microcontrolador, la adaptabilidad de Zigbee, la versatilidad de la programación en Labview y un adecuado diseño de hardware entrega un producto orientado a la industria, competitivo y recomendable.

Palabras clave:

Multifuncionalidad, sensorización, MCP4725, sobredimensionamiento, baudios, TXREG, selectores, asíncrono, serializar, reg pin, accionadores.

Ing. Francisco Vásquez

Director Escuela Ingeniería

Electrónica

Ing. Freddy Pesantez Director de proyecto de

Tesis

David Lasso Rodríguez

od: 39343

hristian León Carpi

Cod: 41433

ABSTRACT

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A ZIGBEE MODULE FOR THE ACQUISITION OF DATA AND FOR MULTIFUNCTION CONTROL, BASED ON MICROCONTROLLER

In order to design and implement the hardware, software, and firmware related to the components of the wireless modules for acquisition and control based on microcontroller, the theoretical bases of wireless personal area network (WPAN) were presented, as well as the programming of the PIC microcontrollers, the language of Labview ®, analogue electronics, digital electronics, and information management.

All these theoretical fundaments, complemented with simulations and calculations, will allow the professional design of printed circuit boards. Once the PCBs are implemented with correctly dimensioned components, they will be subjected to a series of tests that will evaluate stability, functionality, and reliability aspects.

We demonstrated that the multi functionality provided by the microcontroller, the adaptability of the Zigbee, the versatility of Labview programming, and the adequate design of the hardware, will deliver a competitive and worthwhile product.

Key Words: Multi functionality, sensor, MCP4725, over dimensioning, bauds, TXREG, selectors, asynchronous, serialize, reg_pin, actuators.

Ing. Francisco Vásquez

Director of the School of Electronic

Engineering

David Lasso Rodriguez

Cod: 39343

Ing. Freddy Pesantez Director of the Thesis

Project

Christian Leon Carpio

Cod: 41433

Translated by,

Diana Lee Rodas

DPTO. IDIOMAS

Lasso Rodríguez David Lizardo León Carpio Christian Geovanny Trabajo de Grado Ing. Freddy Gonzalo Pesántez Díaz Junio 2013

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED ZIGBEE DE MÓDULOS DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL MULTIFUNCIÓN, BASADOS EN MICROCONTROLADOR

INTRODUCCIÓN

Comúnmente, en el ambiente industrial se utilizan equipos sumamente costosos para la adquisición remota de información y control sobre ciertos actuadores, ya que tales equipos trabajan sobre protocolos que generalmente se usan para transmisión masiva de datos como WIFI ó Bluetooth. Para una aplicación de sensorización, los protocolos antes citados estarían siendo desperdiciados, por tal razón se pretende utilizar otro protocolo que maneja menores tasas de comunicación y baja latencia. Un protocolo que presenta características que se ajustan a este requerimiento es el protocolo ZIGBEE ("estándar de tecnología inalámbrica para redes de sensores y control, de bajo costo y bajo consumo" [1]).

Los equipos basados en este protocolo son de baja potencia de emisión por lo que se los usa en redes de área personal (PAN), pero así mismo el consumo energético es mínimo por lo que se podrían usar sistemas alternativos de alimentación.

Una de las desventajas al implementar una red de adquisición es cuando se lo hace sobre una infraestructura existente que no ha sido diseñada con determinados parámetros y sobre la cual una instalación de equipos se hace complicada, costosa y poco estética; en este caso un equipo inalámbrico de pequeñas dimensiones físicas facilita mucho el proceso de instalación.

[1]: http://www.zigbee.org/about/abouttecnology/zigbeetecnology.aspx

Una de las limitaciones que se puede citar de los módulos de adquisición existentes en el mercado, es que se tiene un número establecido e invariable de entradas digitales y analógicas; dada esta situación frente a aplicaciones en las cuales haya un crecimiento de la demanda, surgiría la necesidad de adquirir módulos de expansión lo cual genera más costos.

Al observar la problemática citada anteriormente se fundamentará el proyecto en base a los siguientes aspectos:

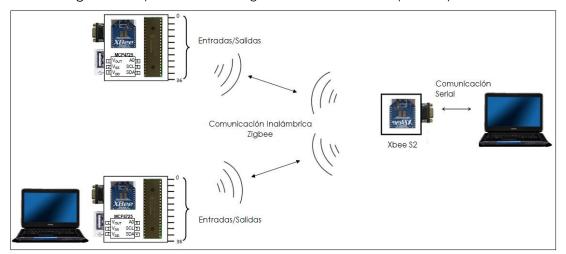
- El bajo costo que tendría el módulo de adquisición frente a productos similares que se ofertan actualmente en el mercado.
- Transferencia tecnológica, ya que actualmente en nuestro medio no se han implementado de manera documentada proyectos basados en tecnologías como Zigbee, aportando en éste estudio fundamentos teóricos acompañados de resultados prácticos.
- Debido que Zigbee es una solución de protocolo inalámbrico que opera en la banda libre ISM de los 2.4 GHz, no está sujeta a impuestos o pagos por su uso, que son dictados en nuestro país por la Superintendencia de Telecomunicaciones.
- Una arquitectura flexible, eliminará las restricciones relacionadas a una cantidad estática de entradas/salidas analógicas o digitales, ya que se podrá cambiar la configuración de cada puerto según sea la necesidad.

Basados en el análisis de la problemática y de los fundamentos anteriormente expuestos, se pretende diseñar e implementar un módulo de adquisición de datos y control inalámbrico multifunción, programable local y remotamente mediante una red Zigbee cuyo esquema general se muestra en la figura 1.

El módulo de adquisición estará conformado de un embebido Xbee S2 (Protocolo 802.15.4), un Microcontrolador 18F4553 conjuntamente con un conversor digital a analógico MCP4725 y protecciones para los componentes contra sobre-voltajes de entrada; este prototipo poseerá prestaciones como:

- -Líneas Input analógicas.
- -Líneas Input digitales
- -Línea Output analógica.
- -Líneas Output digitales.
- -Puerto serial.
- -Puerto USB (para futuras aplicaciones).

Figura 1. Esquema de la red Zigbee de módulos de adquisición y control.



Se implementarán dos aplicaciones de software denominadas, Terminal serial e Interfaz de prueba, basadas en lenguaje gráfico Labview®.

La primera aplicación servirá para configuración y direccionamiento del módulo inalámbrico con el cual se desea establecer el enlace.

La segunda aplicación servirá para configurar líneas de puerto, adquisición de datos y generación de señales de control para un módulo seleccionado. Ambas aplicaciones se podrán utilizar tanto localmente como remotamente a los módulos de adquisición.

La metodología de trabajo se la define de la siguiente manera; bibliográfica debido a que se necesita recurrir a la investigación de temas como redes Zigbee, microcontroladores, programación en lenguaje gráfico, etc. Analítica ya que es necesario establecer con sólidos fundamentos teóricos el diseño de circuitos. Experimental ya que es necesario realizar la verificación del funcionamiento de la red de adquisición y configuración remota y sintético para demostrar y visualizar adecuadamente los resultados obtenidos.

CAPÍTULO 1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Introducción

El capítulo 1 establecerá los fundamentos teóricas que marcan el desarrollo del proyecto, dichas bases exponen los temas más representativos en cuanto a sistemas de adquisición y control, protocolos de comunicaciones inalámbricas, estándar de comunicaciones Zigbee, redes de adquisición basados en Zigbee, módulos de transmisión Xbee Serie 2, microcontrolador PIC18F4553 y módulo DAC MCP4725.

1.1 Dispositivos de adquisición y control de datos en red

En muchos de los procesos internos dentro del campo industrial, la adquisición de datos y el control han sido siempre piezas fundamentales que permiten el correcto funcionamiento de un sistema de producción.

En el ámbito de la adquisición, se realiza la toma de datos controlada de un proceso o evento, estos datos nos brindarán la información para obtener una respuesta deseada, mediante el uso del control industrial y los dispositivos que estén ligados a este.

De acuerdo al ambiente industrial se hace necesario y fundamental el uso de un dispositivo que esté comprendido por entradas analógicas, entradas digitales, salidas analógicas, salidas digitales, cuyos datos enviados y recibidos serán procesados en una PC, microcontrolador o componentes DSP; los cuales obtienen información de la señal presente en el área industrial y realiza acciones que implican el envío de señales analógicas o digitales hacia dispositivos actuadores.

El sistema requiere además del dispositivo de adquisición, sensores y una PC, los cuales completan el proceso de obtención de una señal y la realización del proceso instrumental respectivo.



Figura 1.1: Dispositivo de Adquisición y Control

Fuente: Catalogo de productos National Intruments, Multifunction Data Acquisition. http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/201987. [Consulta: 1 de febrero de 2012]

El problema radica al presentarse el aumento en la cantidad de señales presentes y el distanciamiento de las mismas, dentro de un mismo campo. Muchos sistemas de adquisición al enfrentarse a este problema necesitarían de más computadores y elementos. Con la llegada de los dispositivos con protocolos inalámbricos y su adaptación para el control, estos problemas se han visto disminuidos ya que los nuevos dispositivos pueden ubicarse lejos unos de otros, en gran cantidad y siempre tener una comunicación en red proporcionando una confiabilidad y estabilidad del sistema.

1.2 Descripción de protocolos inalámbricos orientados al campo industrial

En la actualidad, las comunicaciones inalámbricas han sido identificadas como un pilar fundamental, que abarca desde las tareas más simples desarrolladas en el hogar hasta ámbitos industriales, militares, empresariales, etc. Las características intrínsecas de evolución que las comunicaciones inalámbricas presentan constantemente, han hecho que continuamente se desarrollen mejores capacidades de adaptación a la industria.

Tenemos entonces que para el campo industrial se han adaptado varias tecnologías de comunicaciones inalámbricas tales como:

- Bluetooth.
- WIFI.
- GPRS.
- 3G.

- IRDA.
- ZigBee.

Se realizará a continuación un estudio descriptivo sobre las tecnologías más extendidas y de mayor desarrollo en la actualidad; WIFI, Bluetooth y Zigbee, centrando posteriormente un desarrollo más a fondo en el estándar de comunicaciones Zigbee.

1.2.1 Bluetooth

Inicia en el año de 1998, promovida por empresas como Nokia, Intel y Toshiba. Bluetooth se crea con capacidades de transmisión en la banda libre de los 2.4 GH; además puede conseguir distancias que van desde los 10m hasta los 100m, pero empleando equipos repetidores de señal. Es una tecnología de comunicación, basada en una frecuencia de radio de disponibilidad universal, que permite la creación de pequeñas redes para realizar intercambios de información de manera sencilla.

Bluetooth posee una excelente adaptabilidad a las redes WPAN (Wireless Personal Area Network). Bluetooth ofrece facilidades de establecimiento de canal para transmisión, ya que no posee configuraciones extensas, más que nada se lo ha concebido para eliminar el uso de medios cableados. Esta facilidad también es un limitante al momento de enfrentarse a una red amplia de sensores inalámbricos en un ambiente industrial. La tasa de transmisión es de 720 Kbps por canal.

Figura 1.2 Logo comercial de estándar Bluetooth



Fuente: Pagina oficial de estándar Bluetooth descripciones técnicas y dispositivos. http://www.bluetooth.com>. [Consulta: 11 de febrero de 2012]

1.2.2 WIFI

La especificación IEEE 802.11 (ISO/IEC 8802-11), es un estándar internacional que define las características de una red de área local inalámbrica (WLAN). WIFI Alliance es el grupo que maneja las normas y garantiza la compatibilidad entre los diferentes productos que estén regidos al estándar 802.11. A los dispositivos certificados por la Wi-Fi Alliance se les permite usar el siguiente logotipo:

Figura 1.3 Logo comercial de estándar WIFI



Fuente: Pagina oficial de estándar WIFI. . [Consulta: 15 de febrero de 2012]

Con Wi-Fi se pueden crear redes de área local inalámbricas de alta velocidad, manteniendo siempre la distancia adecuada entre dispositivos (20 a 50 metros en espacio cerrados y hasta 200 metros en espacio abierto). En la práctica, Wi-Fi admite cualquier otro tipo de dispositivo de alta velocidad con propiedades de conexión también de alta velocidad.

WIFI posee capacidades que lo hacen ideales en redes con grandes cantidades de dispositivos, por lo cual en un área industrial WIFI se convierte en un candidato ideal.

Uno de las desventajas que presenta WIFI es el consumo energético, ya que su protocolo no ha sido desarrollado desde sus comienzos como un protocolo verde. Además, dadas ciertas condiciones en un ambiente industrial en el que la adquisición de datos no se la haga de manera constante, WIFI quedaría sobredimensionado ya que las características intrínsecas de este protocolo son de transmisión masiva de datos a grandes velocidades y de manera constante.

1.3 Zigbee

"ZigBee es un estándar de comunicaciones inalámbricas diseñado por la ZigBee Alliance. Zigbee no debe ser confundido con una tecnología, sino un conjunto estandarizado de soluciones en comunicaciones orientadas a redes PAN, que pueden ser implementadas por cualquier fabricante. ZigBee está basado en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (wireless personal area network, WPAN)" [2]. Cada producto desarrollado bajo la reglamentación desarrollado por Zigbee Alliance estará autorizado para utilizar el logo comercial.

Figura 1.4: Logo Comercial del estándar Zigbee



Fuente: Pagina oficial del estándar Zigbee y de ZigBee Alliance. < http://www.zigbee.org/>. [Consulta: 15 de febrero de 2012]

1.3.1Objetivo de Zigbee

El objetivo del estándar de comunicaciones inalámbrico Zigbee es habilitar redes con capacidades de control y monitoreo con características como escalabilidad y confiabilidad, de bajo consumo energético y de bajo costo, que funcione vía radio y de modo bidireccional, que presenten seguridades como encriptación de información, con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías.

1.3.2 Características

Algunas de las características de ZigBee son:

- ZigBee opera en las bandas libres ISM (Industrial, Scientific & Medical) de 2.4 GHz, tiene una velocidad de transmisión de 250 Kbps y un rango de cobertura de 10 a 75 metros.
- A pesar de coexistir en la misma frecuencia con otro tipo de redes como WIFI o Bluetooth, su desempeño no se ve afectado, esto debido a su baja tasa de transmisión y a características propias del estándar IEEE 802.15.4.

[2]: VALVERDE Jorge, El estándar inalámbrico Zigbee, Perú, Universidad Nacional de Trujillo, 2007

- Capacidad de operar en redes de gran densidad, esta característica ayuda a aumentar la confiabilidad de la comunicación.
- Cada red ZigBee tiene un identificador de red único, lo que permite que coexistan varias redes en un mismo canal de comunicación sin ningún problema.

1.3.3 Elementos en una red Zigbee

Se definen tres tipos diferentes de dispositivos ZigBee según su papel en la red:

- "Coordinador ZigBee (ZigBee coordinator, ZC). El tipo de dispositivo más completo. Puede actuar como director de una red en árbol, así como servir de enlace a otras redes y puede almacenar información del sistema. Existe exactamente un coordinador por cada red" [3].
- "Router ZigBee (ZR). Además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario, puede actuar como router interconectando dispositivos separados en la topología de la red" [4].
- "Dispositivo final (ZigBee end device, ZED). Posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo padre (el coordinador o un router), pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. De esta forma, este tipo de nodo puede estar dormido la mayor parte del tiempo, aumentando la vida media de sus baterías" [5].

1.3.4 Topologías Zigbee

En lo referente a topologías ligadas al estándar de comunicaciones ZigBee, existen tres tipos que con más recurrencia se aplican: estrella, árbol, y red mallada (mesh network), además de las topologías explicadas y presentadas en la figura 1.5, Zigbee presenta flexibilidad y adaptación a las necesidades especificadas de un ambiente en el cual se desea implementar.

[3], [4], [5]: dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/1315/1/98T00003.

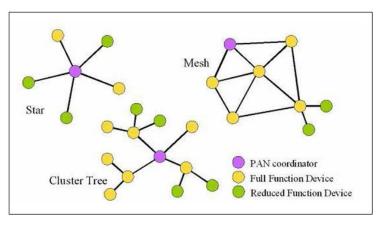


Figura 1.5 Topologías disponibles para redes Zigbee

Fuente: El estándar inalámbrico Zigbee, Universidad Nacional de Trujillo, Jorge Valverde. http://es.scribd.com/doc/51196305/ZigBee [Consulta: 15 de febrero de 2012]

Topología estrella

Está conformado por un nodo central que generalmente es un coordinador, al cual están conectados todos los dispositivos finales; dichos dispositivos recurren directamente al coordinador para realizar el intercambio de información entre ellos.

Topología árbol

Posee un nodo central (Coordinador), al cual recurren los demás nodos formados por dispositivos Full Function Device (Router) y Reduced Funtion Device (End Devices).

• Topología en malla

Se tiene un nodo central (Coordinador) con el cual se realizan la conexión de enlaces redundantes conformador por routers. Con la finalidad de proporcionar diferentes vías para un mismo destino y así confiabilidad en la red.

1.3.5 Campos de aplicación Zigbee

El mercado para redes ZigBee comprende una amplia variedad de aplicaciones las cuales van de electrodomésticos hasta teléfonos celulares. Es necesario tener en cuenta que ZigBee está diseñado para aplicaciones que transmiten unos cuantos bytes esporádicamente o bajo un pedido, que es el caso de una aplicación para automatizar el hogar (domótica). Una de las áreas de aplicación que ha tomado fuerza, es la de los sistemas

una de las areas de aplicación que na fomado fuerza, es la de los sistemas de medición avanzada, que forman parte de una red con otros dispositivos.

En el campo industrial esta es una de las opciones más eficientes y fáciles de aplicar para sensorización y control.

En la figura 1.6 se presentan los grupos más dominantes de aplicaciones que están en la mira de ZigBee.



Figura 1.6: Diversos grupos de aplicaciones para ZigBee

Fuente: El estándar inalámbrico Zigbee, Universidad Nacional de Trujillo, Jorge Valverde. http://es.scribd.com/doc/51196305/ZigBee [Consulta: 15 de febrero de 2012]

En general, ZigBee resulta ideal para redes estáticas, escalables y con muchos dispositivos, pocos requisitos de ancho de banda y uso infrecuente, y dónde se requiera una duración muy prolongada de la batería. En ciertas condiciones y para determinadas aplicaciones puede ser una buena alternativa a otras tecnologías inalámbricas ya consolidadas en el mercado, como Wi-Fi y Bluetooth, aunque la falta del soporte de TCP/IP no lo hace adecuado por sí solo para la interconexión de redes de comunicaciones IP. Por tanto, la introducción de ZigBee no acabará con otras tecnologías ya establecidas, sino que convivirá con ellas y encontrará sus propios nichos de aplicación.

1.4 Estudio comparativo entre estándares Bluetooth, WIFI y Zigbee

Luego de realizar el análisis de cada uno de los tres estándares inalámbricos y relacionar su desarrollo con el campo industrial, procedemos a obtener las siguientes conclusiones:

EL estándar Zigbee es el candidato mejor opcionado para la resolución del proyecto debido a:

- Su consumo energético.
- Su tasa de transmisión de datos.
- Su costo.
- La facilidad de programación y administración de la red.
- La facilidad de adaptabilidad en redes tipo malla.

Si bien WIFI es un protocolo de transmisión que se desarrolla constantemente, es también cierto que las grandes tasas de transmisión, el consumo energético más elevado y la dificultad de adaptabilidad en redes malla lo hacen que sea un estándar no apto para el proyecto.

Se puede decir que Bluetooth se mantiene en ciertos aspectos a la par del estándar Zigbee como el consumo, pero la capacidad de establecimiento de sesión representa un problema ya que Bluetooth necesita tramas de sincronía con los otros dispositivos, lo cual hace que no exista un modo "sleep" como tal y no se aproveche de la mejor manera las baterías o sistemas de alimentación.

Además en cuanto a Bluetooth, cabe recalcar que un problema que se puede presentar es en cuanto a la cantidad de dispositivos que se necesiten en una red y que el costo de los dispositivos no es tan bajo en relación al costo que presenta Zigbee.

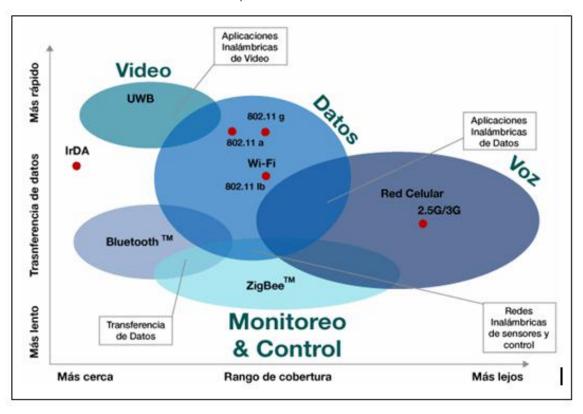
A continuación se presenta la tabla 1.1, que es un análisis comparativo entre los tres estándares anteriormente descritos. Además, la gráfica 1.8 esquematiza los mismos, en criterios de cobertura y transferencia de datos, incluyendo los estándares 3G y UWB (Ultra Wide Band Bluetooth), con aspectos como la tasa de transmisión y la distancia de cobertura.

Tabla 1.1: Comparación Zigbee-WIFI-Bluetooth

ZigBee	Bluetooth	Wi-Fi
(WPAN)	(WLAN/WPAN)	(WLAN)
 Estándar 802.15.4 250 kbps TX: 35 mA Standby: 3µA 32-60KB memoria Iluminación, sensores, control remoto, etc. Red en malla, punto a punto o punto a multipunto 	 Estándar 802.15.1 1 Mbps TX: 40 mA Standby: 200μA >100KB memoria Telecomunicaciones, audio, etc. Punto a multipunto 	 Estándar 802.11 Hasta 54Mbps TX: >400 mA Standby: 20mA >100KB memoria Internet, etc. Punto a multipunto

Fuente: El estándar inalámbrico Zigbee, Universidad Nacional de Trujillo, Jorge Valverde. http://es.scribd.com/doc/51196305/ZigBee [Consulta: 15 de febrero de 2012]

Figura 1.8: Grafica comparativa Zigbee-WIFI-Bluetooth-3G-UWB en relación a Rango de cobertura y Transferencia de datos



Fuente: El estándar inalámbrico Zigbee, Universidad Nacional de Trujillo, Jorge Valverde. http://es.scribd.com/doc/51196305/ZigBee [Consulta: 16 de febrero de 2012]

1.5 Módulos de comunicación inalámbrica Xbee Series2

Los módulos de comunicación Xbee fueron diseñados para operar a través del protocolo de comunicaciones ZigBee 802.15.4.

Xbee es solo una de las numerosas empresas que desarrollan productos basados en este protocolo, pero la decisión de optar por estos módulos se basa en la capacidades de creación de redes, configuración, direccionamiento y soporte que estos dispositivos poseen, dichas cualidades son superiores a la mayoría de módulos desarrollados por otras casas fabricantes.

Al basarse Xbee en el protocolo Zigbee estos módulos trabajan en la banda libre ISM 2.4GHz. Además su diseño compacto permite el posicionamiento de estos en ambientes muy reducidos y posee también modos de funcionamiento de bajo consumo o "sleep".

Los módulos Xbee son una alternativa económica frente a los beneficios que pueden brindar ya que cuentan con entradas analógicas, entradas digitales y salidas digitales.

El área que podemos cubrir "Indoor" con estos módulos es de 40 m y 130 m "Outdoor", además esto depende mucho del modelo del módulo Xbee. Se pueden cubrir distancias de hasta 1.6Km con los Xbee Pro, siempre que se tenga línea de vista.

Las temperaturas de funcionamiento fueron pensadas en el campo industrial ya que tienen un rango de -40°C hasta 85°C; además se puede tener teóricamente una red hasta con 65 000 dispositivos y muchas redes diferentes pueden coexistir en un mismo ambiente.

Estos módulos poseen dos tipos de configuraciones:

- Comandos transparentes AT.
- Modo configuración.

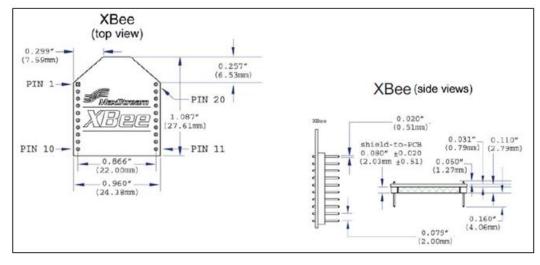


Figura 1.9Vistas mecánicas frontal y lateral de módulos Xbee S2

Fuente: XBee™ Series 2 OEM RF Modules.

<ftp://ftp1.digi.com/support/documentation/90000866_C.pdf> [Consulta: 17 de febrero de
2012]

Tabla1.2: Asignación de Pines para módulos Xbee S2

Pin #	Name	Direction	Description
1	VCC		Power supply
2	DOUT	Output	UART Data Out
3	DIN / CONFIG	Input	UART Data In
4	DIO8	Either	Digital I/O 8
5	RESET	Input	Module Reset (reset pulse must be at least 200 ns)
6	PWM0 / RSSI / DIO10	Output	PWM Output 0 / RX Signal Strength Indicator / Digital IO
7	PWM / DIO11	Either	Digital I/O 11
8	[reserved]	-	Do not connect
9	DTR / SLEEP_RQ/ DI8	Input	Pin Sleep Control Line or Digital Input 8
10	GND	-	Ground
11	DIO4	Either	Digital I/O 4
12	CTS / DIO7	Either	Clear-to-Send Flow Control or Digital I/O 7
13	ON / SLEEP	Output	Module Status Indicator
14	[reserved]	-	Do not connect
15	Associate / DIO5	Either	Associated Indicator, Digital I/O 5
16	RTS / DIO6	Either	Request-to-Send Flow Control, Digital I/O 6
17	AD3 / DIO3	Either	Analog Input 3 or Digital I/O 3
18	AD2 / DIO2	Either	Analog Input 2 or Digital I/O 2
19	AD1/DIO1	Either	Analog Input 1 or Digital I/O 1
20	AD0 / DI00	Either	Analog Input 0 or Digital I/O 0

Fuente: XBee™ Series 2 OEM RF Modules.

<ftp://ftp1.digi.com/support/documentation/90000866_C.pdf> [Consulta: 17 de febrero de
2012]

1.6 Microcontroladores

Un microcontrolador es un chip que empaqueta numerosos recursos (periféricos internos) y se comunica al exterior mediante líneas de puerto. Además para su funcionamiento necesita de un circuito oscilador externo que definirá la velocidad con la cual operará el microcontrolador.

Para grabar un programa en un microcontrolador se necesitan de herramientas de hardware y de software. Las herramientas de software están conformadas por editor, compilador y simulador, las mismas que las integra el programa MPLAB® que será utilizado en este desarrollo. Las herramientas de hardware necesarias son, una PC y un grabador de pics.

1.6.1 Conceptos preliminares

Para entender el funcionamiento del microcontrolador son necesarios algunos conceptos preliminares. Se pretende referir a las partes básicas de un microcontrolador sobre las cuales se sustenta todo su funcionamiento, como registros, memorias etc.

1.6.1.1 Ciclo de máquina (CM)

El Ciclo de Máquina es el espacio de tiempo mínimo que tarda en realizar "una acción" el microcontrolador. Un Ciclo de Máquina (CM) puede o no ser suficiente para ejecutar un comando (instrucción) completo. En los PIC`s un Ciclo de Máquina dura cuatro períodos del Oscilador Externo y ya que éste es de 16MHz, su tiempo es de 0.0625 microsegundos y un ciclo de máquina será de 0.25 microsegundos.

1.6.1.2 Ciclo de instrucción (CI)

El Ciclo de Instrucción es el tiempo que demora la ejecución de una instrucción completa; las instrucciones son los comandos que se escriben durante la programación del microcontrolador. Un CI puede requerir de uno o más Ciclos de Máquina (CM) en función de las características de cada instrucción.

1.6.1.3 Registros

Se refiere como registro a un almacenador binario de "n" bits. En el caso específico de los microcontroladores de la familia 18FXXXX, un registro para guardar datos (registro de datos) o información de control (registro de control) es de 8 bits, porque el procesamiento y el transporte de datos se realiza en esas cantidades. Los bits de un registro se enumeran de derecha a izquierda comenzando desde el cero (hasta el 7), siendo el bit 0 "el menos significativo (LSB)" y el bit 7 "el más significativo (MSB)".

REGISTRO.

MSB

7 6 5 4 3 2 1 0

Numeracion de bits

Figura 1.10. Esquema de un registro de un microcontrolador

Fuente: PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet.

http://www.bilbaoelectronics.com/datasheet-pic18f4550.html [Consulta: 17 de febrero de 2012]

1.6.1.4 Registro de datos o de propósito general

Como su nombre lo indica un "registro de datos" es un registro que almacena datos necesarios para que el programa se ejecute correctamente, de acuerdo a las necesidades del usuario. Tales registros se encuentran en la Memoria de Datos (tipo R.A.M) o en cualquier memoria auxiliar permanente (tipo FLASH).

1.6.1.5 Registro de control o de propósito específico

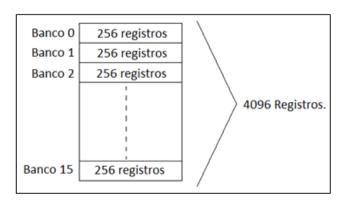
Un registro de control almacena información necesaria para que el microcontrolador funcione correctamente, adicionalmente algunos de estos registros almacenan también información del estado de funcionamiento o de algún resultado obtenido después de una operación aritmética o lógica. Tales registros se encuentran también en la Memoria de Datos (tipo R.A.M) del microcontrolador, en la parte superior del banco 15.

1.6.2 Memorias

Una memoria está formada por un conjunto organizado de registros de "n" bits. Para el microcontrolador utilizado (18F4553), éstos son de 8 bits y cada uno ocupa una dirección específica dentro de la memoria.

En las memorias modernas (segmentadas) los registros normalmente están agrupados en "bancos" o "páginas", siendo un máximo de 16 los que se pueden disponer en un microcontrolador, tal división se hace con el objetivo de hacer más rápida la búsqueda de información dentro de la memoria.

Figura 1.11. Esquema de una memoria segmentada de 16 bancos con 256 registros cada uno



Fuente: PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet.

http://www.bilbaoelectronics.com/datasheet-pic18f4550.html [Consulta: 17 de febrero de 2012]

1.6.2.1 Memoria para datos

Espacio de memoria dentro del microcontrolador destinado a almacenar información en dos tipos de registro: "de propósito general", donde se almacenan datos necesarios para ejecutar el programa y "de propósito específico" donde se almacenan datos para controlar el funcionamiento del microcontrolador.

Desde el punto de vista tecnológico, las Memorias de Datos pueden ser:

- Volátiles (como la R.A.M).
- Permanentes (como la E.E.P.R.O.M o las de tipo "Flash").

1.6.2.2 Memoria para programas

Espacio de memoria dentro del microcontrolador destinado a almacenar, ya sea: los códigos de las instrucciones o comandos, o en algunas aplicaciones también datos permanentes, en las localizaciones que no son ocupadas por los códigos de los comandos. Las memorias de programas son memorias siempre permanentes, porque en un microcontrolador el programa debe ejecutarse una y otra vez, incluso después de haber apagado y encendido el circuito del mismo.

1.6.3 Especificaciones y estructura física de la memoria de datos

La Memoria de Datos (RAM) en los microcontroladores 18FXXXX está segmentada o dividida en 16 "bancos" de 256 bytes (256 registros) cada uno. Cada registro está identificado con una dirección única que es un número de 12 bits. Como la dirección de cualquier registro es un número de 12 bits es posible tener como máximo en la Memoria de Datos 4096 registros (2¹² = 4096) en la tecnología 18FXXXX. No todos los microcontroladores de la familia 18FXXXX poseen implementados todos los registros posibles (4096), por ejemplo: en los microcontroladores de la serie PIC18F2455/2550/4455/4550/4553 sólo se implementan 8 bancos, o sea un total de 2048 registros.

1.6.3.1 Registros de control

Como ya se indicó, los registros de control se encuentran ubicados en la parte superior del banco 15 de la memoria de datos (RAM) ordenados como se muestra en la tabla 1.3.

Cada uno de estos registros será utilizado según la necesidad, ya que existen registros de control para configurar cada periférico interno que se vaya a usar. Por ejemplo para configurar los puertos, se tienen los registros PORT, TRIS y LAT; si se desea utilizar el conversor analógico/digital, uno de los registros de control a usarse es ADCON. Los registros de control involucrados con cada periférico del microcontrolador, se detallan en el correspondiente "datasheet" además de los posibles valores a cargar en cada registro, según la configuración deseada.

FFFh TOSU	FDFh INDF2 ⁽¹⁾	FBFh CCPR1H	F9Fh IPR1	F7Fh UEP15
FFEh TOSH	FDEh POSTINC2 ⁽¹⁾	FBEh CCPR1L	F9Eh PIR1	F7Eh UEP14
FFDh TOSL	FDDh POSTDEC2 ⁽¹⁾	FBDh CCP1CON	F9Dh PIE1	F7Dh UEP13
FFCh STKPTR	FDCh PREINC2 ⁽¹⁾	FBCh CCPR2H	F9Ch —(2)	F7Ch UEP12
FFBh PCLATU	FDBh PLUSW2 ⁽¹⁾	FBBh CCPR2L	F9Bh OSCTUNE	F7Bh UEP11
FFAh PCLATH	FDAh FSR2H	FBAh CCP2CON	F9Ah —(2)	F7Ah UEP10
FF9h PCL	FD9h FSR2L	FB9h <u>(2)</u>	F99h —(2)	F79h UEP9
FF8h TBLPTRU	FD8h STATUS	FB8h BAUDCON	F98h —(2)	F78h UEP8
FF7h TBLPTRH	FD7h TMR0H	FB7h ECCP1DEL	F97h —(2)	F77h UEP7
FF6h TBLPTRL	FD6h TMR0L	FB6h ECCP1AS	F96h TRISE ⁽³⁾	F76h UEP6
FF5h TABLAT	FD5h T0CON	FB5h CVRCON	F95h TRISD ⁽³⁾	F75h UEP5
FF4h PRODH	FD4h(2)	FB4h CMCON	F94h TRISC	F74h UEP4
FF3h PRODL	FD3h OSCCON	FB3h TMR3H	F93h TRISB	F73h UEP3
FF2h INTCON	FD2h HLVDCON	FB2h TMR3L	F92h TRISA	F72h UEP2
FF1h INTCON2	FD1h WDTCON	FB1h T3CON	F91h —(2)	F71h UEP1
FF0h INTCON3	FD0h RCON	FB0h SPBRGH	F90h —(2)	F70h UEP0
FEFh INDF0 ⁽¹⁾	FCFh TMR1H	FAFh SPBRG	F8Fh(2)	F6Fh UCFG
FEEh POSTINCO(1)	FCEh TMR1L	FAEh RCREG	F8Eh —(2)	F6Eh UADDR
FEDh POSTDECO ⁽¹⁾	FCDh T1CON	FADh TXREG	F8Dh LATE ⁽³⁾	F6Dh UCON
FECh PREINCO ⁽¹⁾	FCCh TMR2	FACh TXSTA	F8Ch LATD ⁽³⁾	F6Ch USTAT
FEBh PLUSW0 ⁽¹⁾	FCBh PR2	FABh RCSTA	F8Bh LATC	F6Bh UEIE
FEAh FSR0H	FCAh T2CON	FAAh(2)	F8Ah LATB	F6Ah UEIR
FE9h FSR0L	FC9h SSPBUF	FA9h EEADR	F89h LATA	F69h UIE
FE8h WREG	FC8h SSPADD	FA8h EEDATA	F88h —(2)	F68h UIR
FE7h INDF1 ⁽¹⁾	FC7h SSPSTAT	FA7h EECON2 ⁽¹⁾	F87h —(2)	F67h UFRMH
FE6h POSTINC1 ⁽¹⁾	FC6h SSPCON1	FA6h EECON1	F86h —(2)	F66h UFRML
FE5h POSTDEC1(1)	FC5h SSPCON2	FA5h(2)	F85h —(2)	F65h SPPCON ⁽³⁾
FE4h PREINC1 ⁽¹⁾	FC4h ADRESH	FA4h(2)	F84h PORTE	F64h SPPEPS ⁽³⁾
FE3h PLUSW1 ⁽¹⁾	FC3h ADRESL	FA3h(2)	F83h PORTD ⁽³⁾	F63h SPPCFG ⁽³⁾
FE2h FSR1H	FC2h ADCON0	FA2h IPR2	F82h PORTC	F62h SPPDATA ⁽³⁾
FE1h FSR1L	FC1h ADCON1	FA1h PIR2	F81h PORTB	F61h — ⁽²⁾
FE0h BSR	FC0h ADCON2	FA0h PIE2	F80h PORTA	F60h —(2)

Tabla 1.3: Registros de propósito específico del microcontrolador

Fuente: PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet.

http://www.bilbaoelectronics.com/datasheet-pic18f4550.html [Consulta: 17 de febrero de 2012]

1.6.4 Módulo EUSART

El EUSART ("Enhanced Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter") es uno de los dos módulos de comunicación serial que poseen los microcontroladores de Microchip. El mismo puede configurarse en 3 modos de trabajo diferentes:

- 1. Asincrónico o asíncrono ("full duplex").
- 2. Sincrónico Master ("half duplex").
- 3. Sincrónico Esclavo ("half duplex").

1.6.4.1 Modo asíncrono

Este modo se utiliza para comunicación "punto a punto" con periféricos asíncronos (computadoras personales por ejemplo), en modo full duplex. Su funcionamiento no necesita de enlace de reloj entre los dispositivos que se comunican.

1.6.4.2 Modo síncrono

Este modo se utiliza para comunicación con dispositivos síncronos (Memorias Seriales Externas por ejemplo). La comunicación en este modo es half duplex y dependiente del enlace físico del reloj.

Los pines asociados al funcionamiento del EUSART multiplexan sus funciones con los pines RC6 (TX) y RC7 (RX) del puerto C:

1.6.4.3 Trasmisor asíncrono

La estructura del hardware del trasmisor se muestra en la figura 1.12. La parte fundamental del trasmisor es el registro marcado como TSR ("Transmiter Shift Register"). El registro TSR es el encargado de "serializar el dato" que se carga en el "firmware" de forma paralela mediante el registro TXREG. La carga del TSR no se produce físicamente hasta que no se haya trasmitido el bit de "stop" de la trama previa.

La velocidad de desplazamiento de los bits cargados en el registro TSR es controlada por el Generador de Baudios ("Baud Rate Generator", BRG). El Generador de Baudios es un temporizador programable vía "firmware" que se dedica a garantizar la velocidad de trasmisión. Adicionalmente la trasmisión del noveno bit de datos se controla mediante dos bits (TX9 y TX9D) que conectan con una compuerta AND.

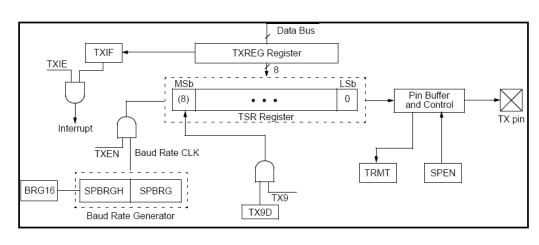


Figura 1.12. Diagrama de bloques del hardware del trasmisor

Fuente: PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet.

http://www.bilbaoelectronics.com/datasheet-pic18f4550.html [Consulta: 17 de febrero de 2012]

1.6.4.4 Receptor asíncrono

La estructura del hardware del receptor se muestra en la figura 1.13.

El dato se recibe en el pin RX e ingresa a un Registro de Desplazamiento temporal de alta velocidad ("Recovery Block"). El "Recovery Block" opera normalmente a 16 veces la velocidad de trasmisión programada. Al igual que el trasmisor, el receptor posee un registro de desplazamiento para la recepción (RSR). El RSR ("Receiver Shift Register") opera a la velocidad nominal del trasmisor.

Después del muestreo que el receptor realiza al pin RX en busca del bit de "stop", el dato recibido en el registro RSR se transfiere al Buffer de Recepción (registro RCREG). El registro RCREG físicamente es una memoria FIFO (First In First Out) de dos niveles. Lo que significa que se pueden almacenar hasta dos bytes recibidos. En caso de que se acumulen dos bytes, para extraerlos se debe leer dos veces el registro RCREG. Si no se leen los dos bytes almacenados y se termina de detectar el bit de STOP del tercero se perderá el último byte recibido (que se encuentra aún en el RSR) y se señalizará error de sobre escritura mediante el bit OERR (RCSTA <1>).

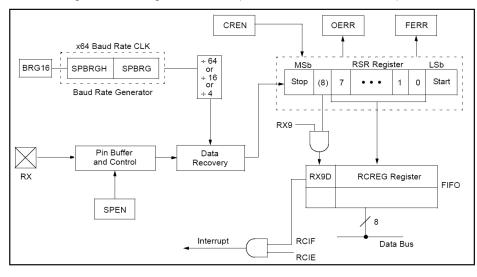


Figura 1.13. Diagrama de bloques del hardware del receptor

Fuente: PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet.

http://www.bilbaoelectronics.com/datasheet-pic18f4550.html [Consulta: 17 de febrero de 2012].

1.6.5 Conversor analógico/digital

Un convertidor analógico - digital es un dispositivo encargado de realizar los dos procesos necesarios para digitalizar una señal: muestreo y cuantificación. La estructura básica de un convertidor analógico - digital se muestra en la figura 1.14.

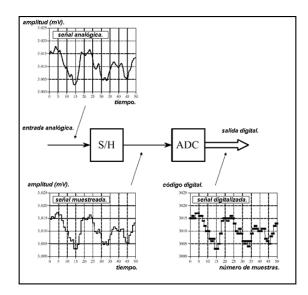


Figura 1.14. Diagrama del módulo AD

Fuente: PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet.

http://www.bilbaoelectronics.com/datasheet-pic18f4550.html [Consulta: 17 de febrero de 2012]

El proceso de digitalización de una señal consiste de dos partes; el "Sample and Hold" captura la muestra y almacena su nivel de voltaje en un capacitor y el cuantificador (ADC) es el encargado de convertir la muestra almacenada en el capacitor del S/H en un código digital de "n" bits. Para el caso del microcontrolador es de 12 bits.

1.6.6 Módulo MSSP

El Módulo MSSP ("Master Syncronous Serial Port") es un interfaz serial síncrona que resulta útil para comunicarse con periféricos síncronos. Dentro de los periféricos con los que puede establecerse comunicación utilizando el MSSP se pueden citar los siguientes: memorias seriales, convertidores analógico – digitales, registros de desplazamiento, otros microcontroladores; entre otros.

El módulo MSSP puede trabajar en dos modos:

- 1. Modo S.P.I ("Serial Peripheral Interfaz"). El modo S.P.I permite la comunicación síncrona "full duplex", a diferencia de las posibilidades que ofrece el modo síncrono implementado para el EUSART. S.P.I es un estándar síncrono multipunto que permite la conexión de hasta 8 dispositivos como máximo a una velocidad máxima teórica de 2,1 megabits / segundo.
- Inter Integrated Circuit (I2C). El modo I2C a su vez soporta los siguientes modos: master, multi master y slave. I2C es un estándar síncrono multipunto que permite la conexión de hasta 40 dispositivos como máximo a una velocidad máxima teórica de 3,4 megabits / segundo.

1.7 Módulo MCP4725

El MCP4725 es un dispositivo integrado de bajo consumo y de alta precisión que nos permite la generación de una señal analógica a partir de valores discretos o capacidad de comunicación serial I2C. Este

conversor digital a analógico posee una resolución de 12 bits y una memoria EEPROM (no volátil).

El dispositivo posee un diseño reducido el cual se adapta fácilmente a entornos industriales pequeños, además de un modo de bajo consumo cuando se halla en reposo.

Tenemos además un rango de voltaje de operación que está comprendido desde los 2.7V hasta los 5.5V.

Además que posee un rango de temperatura para su funcionamiento establecido entre -40°C y 125°C.

Aplicaciones:

- Calibración de sensores.
- Control servo de lazo cerrado.
- Instrumentación portable de bajo consumo.
- Sistemas de adquisición de datos.

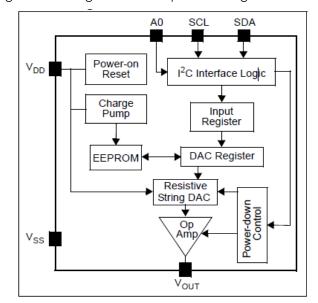


Figura 1.14. Diagrama de bloques del integrado MCP4725

Fuente: 12-Bit Digital-to-Analog Converter with EEPROM Memoryin SOT-23-6 http://www.sparkfun.com/datasheets/BreakoutBoards/MCP4725.pdf [Consulta: 17 de febrero de 2012]

CAPÍTULO 2 .DISEÑO DE HARDWARE

Introducción

En este segundo capítulo se llevará a cabo el diseño del hardware correspondiente al módulo de adquisición y coordinador.

Se tomarán en cuenta para el diseño del PCB factores como:

- Protecciones contra sobre-voltajes para líneas de entrada analógica.
- Ubicación óptima de componentes.
- Diseño reducido y estético.

Además en lo concerniente al módulo de adquisición se debe diseñar considerando las siguientes características:

- Líneas Input analógicas.
- Líneas Input digitales.
- Líneas Output analógicas.
- Líneas Output digitales.
- Puerto serial.
- Puerto USB (para futuras aplicaciones).

2.1 Esquema general módulo de adquisición y control

En lo referente a cantidad de líneas de puerto, en el módulo se proyecta 1 salida analógica, 8 salidas digitales, 5 pines doble función configurables como entrada o salida digital y 10 triple función programables como entrada digital, salida digital o entrada analógica según la necesidad, dando un total de 25 líneas de puerto disponibles. Conjuntamente con las líneas de entrada analógica se diseñan una serie de protecciones y comparadores que crean alarmas de sobre-voltajes. Adicionalmente a esto se considerará las capacidades de comunicación en dos tipos de protocolo RS232 y Zigbee. Todas estas características se detallan de manera general en la figura 2.1 y se desarrollaran a fondo en las diferentes secciones de este segundo capítulo.

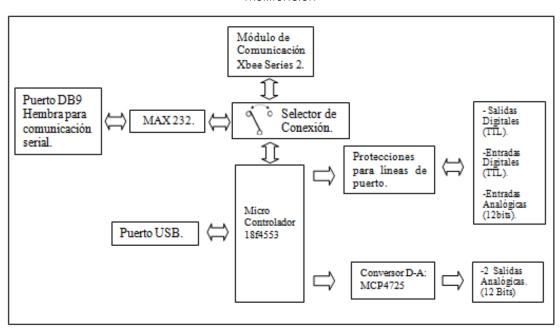


Figura 2.1: Diagrama de bloques de módulo de adquisición y control inalámbrico multifunción

En cuanto al diseño del coordinador la implementación es más sencilla, ya que el coordinador únicamente poseerá conexión alámbrica mediante RS232 a una PC y conexión inalámbrica punto-punto o de broadcast a diferentes dispositivos de adquisición mediante Zigbee por lo cual el router tendrá los siguientes componentes:

- Módulo Xbee S2
- MAX232
- Puerto DB9
- Elementos para alimentación y regulación de voltaje

2.2 Circuito básico de funcionamiento del microcontrolador 18f4553

Existen parámetros que previamente deben considerarse, dimensionarse y establecerse para que un microcontrolador funcione de manera adecuada, dichos parámetros están considerados como obligatorios en el desarrollo de cualquier hardware basado en microcontrolador y son:

- Alimentación
- Señal de reinicio
- Señal de Reloj

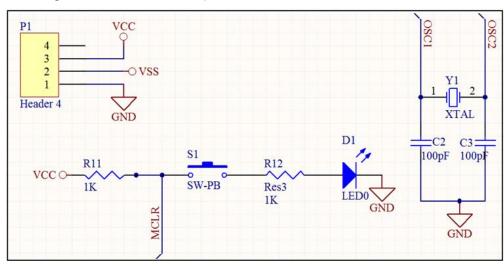


Figura 2.2 Circuitos básicos para el funcionamiento de microcontrolador

2.2.1 Alimentación

En lo referente a la alimentación es necesario el uso de una fuente externa que proporcione + 5V DC, -5V DC y la referencia a tierra o GND para el correcto funcionamiento del microcontrolador y elementos como amplificadores operacionales, etc. Se implementará en el PCB un conector molex tipo macho, el mismo que mediante un bus de 3 vías llevara dichas señales de alimentación.

2.2.2 Señal de reinicio

Para que un microcontrolador pueda funcionar apropiadamente, un uno lógico (VCC) se debe colocar en el pin de reinicio. En muchos casos el switch que conecta el pin MCLR a GND no es necesario; sin embargo, este botón casi siempre se implementa ya que habilita al microcontrolador volver al modo normal de funcionamiento en caso de que alguna subrutina presente un comportamiento inesperado. Al pulsar sobre el botón RESET (S1), el pin MCLR se lleva un voltaje de 0V, el microcontrolador se reinicia, y la ejecución de programa comienza desde el principio. Una resistencia de 10k se utiliza para impedir un corto circuito a tierra al presionar este botón.

2.2.3 Señal de reloj

A pesar de tener un oscilador incorporado, el microcontrolador no puede funcionar sin componentes externos que estabilizan su funcionamiento y

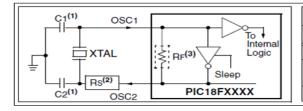
determinan su frecuencia (velocidad de operación del microcontrolador), dependiendo de los elementos utilizados así como de las frecuencias, el oscilador puede funcionar en cuatro modos diferentes:

- 3 LP Cristal de bajo consumo
- 4 XT Crystal / Resonator
- 5 HS Cristal/Resonador de alta velocidad
- 6 RC Resistencia / Condensador

La configuración del circuito oscilador utilizado en este proyecto es: HS de 16 MHz, ya que, al ser una tarjeta de adquisición y control, se requiere alta velocidad en el procesamiento de datos y la frecuencia seleccionada es una de las mayores posibles.

En los modos HS, HSPLL, XT y XTPLL se debe conectar un cristal de quarzo a los pines OSC1 y OSC2 para establecer la oscilación. Además adicional al cristal de quarzo se necesitan conectar dos condensadores con determinados valores preestablecido para cada cristal. Los valores respectivos de cristales y condensadores están detallados en las hojas de especificaciones de cada microcontrolador o familia de los mismos.

Figura 2.3 Graficas de configuración de oscilador cerámicos, y tabla de cálculo de condensadores recomendados



Typical Capacitor Values Used:							
Mode	Freq	OSC1	OSC2				
XT	4.0 MHz	33 pF	33 pF				
HS	8.0 MHz 16.0 MHz	27 pF 22 pF	27 pF 22 pF				
Capacitor	values are fo	r design guida	nce only.				

Fuente: PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet.

http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf. [Consulta: 24 de febrero de 2012]

2.3 Protecciones para sobre-voltajes en pines I/O

Una característica fundamental en el módulo de adquisición es la facilidad que poseerán la mayoría de líneas de puerto para cumplir múltiples funciones, y nos referimos a múltiples ya que podrán con el uso de un código funcionar como entrada digital o analógica y como salida digital según sea la necesidad, esta característica es importante para tomar en

cuenta diferentes consideraciones en lo referente a protecciones contra sobre-voltajes y corrientes peligrosas.

La propiedad de bidireccionalidad de las líneas de puerto del módulo determinará el uso de una serie de componentes electrónicos y la realización de determinadas pruebas y simulaciones de funcionamiento de cada uno de estos componentes.

2.3.1 Diodo Zener

Basándonos en el comportamiento de un diodo semiconductor de Silicio se observa la existencia de una zona en la cual, al aplicar un voltaje excesivo ocasiona un cambio drástico en las características, en este punto, la corriente se incrementa rápidamente con una dirección que se opone al sentido que denota la región del voltaje positivo. Los diodos Zener son elementos semiconductores que funcionan basados en esta región; de ahí su nombre. El voltaje de polarización inversa que provoca este cambio lo denominamos como Voltaje Zener.

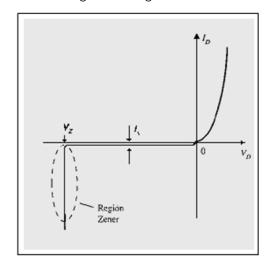


Figura 2.4 Región Zener

Fuente: Electrónica teoría de circuitos y dispositivos electrónicos. Autor Boylestad Nashelsky.

[Consulta: 12 de Marzo de 2012]

El objetivo de utilizar estos diodos es el de limitar el voltaje de ingreso al microcontrolador cuando un puerto ha sido configurado como entrada analógica. Se debe considerar que un operario podría conectar un voltaje excesivo que supere los 5.3V que puede soportar el módulo de adquisición, lo cual haría que los elementos puedan averiarse parcial o totalmente. Se

ha optado como primer elemento de protección una resistencia en serie un diodo Zener en paralelo a cada una de las entradas.

El objetivo de esta protección es la siguiente:

- Aislar correctamente los componentes delicados de voltajes que los puedan dañar
- Utilizar los excesos de voltaje para crear alarmas sobre los mismos con el uso de componentes electrónicos y programación.
- Proporcionar una característica de bidireccionalidad segura al módulo de adquisición.
- Mantener un nivel de corriente estable y conocido en cada una de las entradas de puerto.

El uso del diodo Zener y la resistencia en serie al mismo, establecen los límites de voltaje de entrada tanto mínimos y máximos en los que el Diodo Zener inicia su funcionamiento o se destruye. EL límite inferior de funcionamiento se establece en 5.3 VDC y el límite máximo de alimentación de entrada que el Diodo puede soportar se establece en 53VDC.

Los cálculos relacionados a esos rangos se presentan a continuación, los datos obtenidos para IzM (corriente máxima) e IzK (Corriente mínima).

Se ha establecido el valor de la resistencia en serie en 270Ω ya que permite establecer un rango aceptable de alimentación.

Los siguientes son parámetros del diodo Zener 1N4733A obtenidos de hoja de datos [6]:

IzK = 1mA

IzM = 178mA

Figura 2.5 Esquema de circuito de protección.

[6]: http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/fairchild/1N4733A.pdf

Vin = VRz + Vz

Vin = Iz*Rz + Vz

Para el caso de voltaje mínimo de funcionamiento

Vin (min) = IzK * Rz + Vz

 $Vin(min) = 1mA * 270\Omega + 5.1$

Vin(min) = 5.37 V

Para el caso de voltaje máximo de ruptura

Vin (max) = IzM* Rz+ Vz

Vin (max) = 178mA * $270\Omega + 5.1$

Vin (max) = 53.06 V

En la figura 2.5 se ha representado esquema sobre el cual se realizo los cálculos correspondientes a los voltajes mínimo y máximo. Además servirá como punto de partida para la simulación del comportamiento de los componentes implicados frente a un voltaje de entrada cambiante desde 1V hasta 12 V. Se realizó esta simulación en Multisim® 10®.

Se obtuvieron los datos procedentes de la simulación los cuales se muestran en la tabla 2.1 que consta de:

- Voltaje de Ingreso (V).
- Voltaje en el Diodo Zener (Vz).
- Voltaje en la Resistencia (Vr).
- Intensidad presente en el circuito (I).

A continuación se analizarán las gráficas resultantes de la simulación:

En la Figura 2.6 se observar que el comportamiento del voltaje en el Diodo Zener (Vz) es el esperado, debido a que mientras aumenta el voltaje de ingreso (V) de 0 a 5 voltios nuestra señal ingresa de manera estable con una pérdida prácticamente despreciable en la resistencia en serie.

Esta pérdida no afecta la calidad de la señal que se adquirirá por el canal analógico.

	Vz (V)	Vr (V)	I(A)
1	1	0	0
2	2	0	0
3	3	0,0000088	0
4	4	0,000021	0
5	4,9	0,046	0,000172
6	5,032	0,967	0,00358
7	5,05	1,95	0,00722
8	5,061	2,93	0,0108
9	5,068	3,93	0,0145
10	5,07	4,926	0,0182
11	5,078	5,921	0,02192
12	5,083	6,97	0,0256
15	5,092	9,908	0,0366

Tabla 2.1. Datos recopilados de la simulación del circuito de protección

Posteriormente notamos que aunque el voltaje de entrada asciende el voltaje que envía el Diodo Zener hacia el microcontrolador se mantendrá casi constante ya que su variación es despreciable.

Se realizó simulación y se obtuvo que dentro del intervalo de 5 a 15 voltios de señal de ingreso el diodo Zener vario menos de 0,2 V.

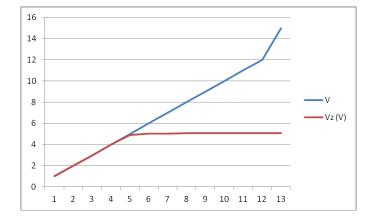


Figura 2.6 Grafica de Voltaje de ingreso Vs. Voltaje en el diodo Zener

En la Figura 2.6 se observa el comportamiento en función del voltaje que experimenta la resistencia en serie, al igual que en lo anterior se dividirá en dos intervalos.

En el intervalo de 0 a 4V de señal de ingreso el voltaje presente en la resistencia va desde 0 a 21 uV el cual es un rango muy pequeño.

A partir de los 5 voltios se observa que se comporta de una manera totalmente diferente, el voltaje residual entre la entrada y el Zener en pleno funcionamiento se encuentra en esta resistencia. Usando este potencial se puede crear una señal de alarma ya que cuando la señal de ingreso ha sobrepasado el límite de 5V la señal en la resistencia será lo suficientemente grande como para entrar en un circuito de comparación, que será explicado posteriormente.

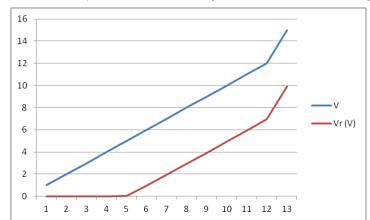


Figura 2.7 Grafica de comportamiento de Voltaje en la resistencia vs Voltaje de ingreso

Debido al tipo de señal que el módulo usará y a la potencia que poseerá la misma, la corriente podría ser un factor que no representaría un mayor riesgo, pero de igual manera se realizó una simulación para determinar cuál es el rango de variación en una entrada que oscila desde 0 a 15 voltios y se obtuvo que la corriente máxima será de 36mA.

Al recopilar datos de las hojas de especificaciones del diodo Zener y observar en la I máxima que este componente puede soportar, se determina que está muy lejos de una corriente que lo pueda dañar ya que el valor que denota es de 178mA y solo sobrepasando esta corriente dañaríamos el diodo y podríamos poner en peligro el microcontrolador.

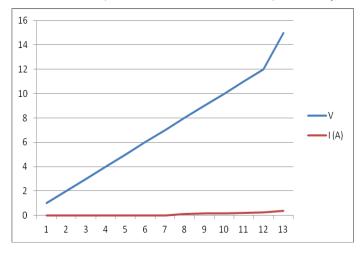


Figura 2.8 curvas de comportamiento de la Corriente y del voltaje de ingreso

2.3.2 Comparador de voltaje

Debido a la necesidad de limitar el voltaje de entrada hacia los puertos del módulo de adquisición, se establece el uso de un circuito comparador de voltaje que tomará el voltaje de ingreso y lo contrastará con un voltaje de referencia previamente establecido, con el fin de emitir una señal que posteriormente pueda ser usada para informar acerca de una sobre-tensión presente en alguno de los pines configurados como entrada analógica, con esta alarma el usuario deberá tomar acciones correctivas y revisar las entradas que podrían presentar este voltaje peligroso.

Un circuito comparador utiliza un amplificador operacional en bucle abierto (sin realimentar) el comparador de voltaje se lo denomina también como ADC de un bit. Si Vin es mayor que la referencia Vref el integrado coloca su salida en nivel alto, si Vin es menor que Vref el integrado pone la salida en nivel bajo.

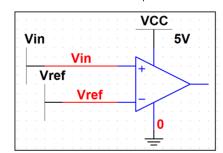


Figura 2.9 Conexión de comparador de voltaje

Al realizar la simulación en Multisim 10® del circuito comparador de la Figura 2.10 se obtiene los datos presentes en la Tabla 2.2 que dan como conclusión que el circuito funciona de la manera esperada, ya que realiza el cambio de estado alto a bajo cuando el valor de voltaje de entrada supera el umbral de 5.2V preestablecido como voltaje de referencia.

Al realizar este cambio de estado se obtiene un voltaje de 3,4V en la salida del amplificador operacional, este voltaje es proporcional al de alimentación y es suficiente para ingresarlo a un pin del microcontrolador y dentro de la programación del mismo establecer parámetros de alerta que se describirán posteriormente.

La Tabla 2.2 recopila los datos de la simulación del circuito comprador, estos datos se han graficado en la Figura 2.11 con lo que se obtiene una mejor idea del comportamiento del circuito.

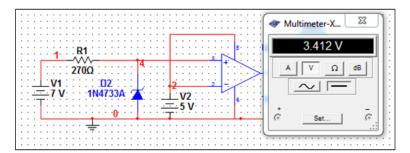


Figura 2.10 Circuito de protección y comparador de voltaje en Multisim 10®

Tabla 2.2 Datos resultantes de la simulación del circuito comparador

Vin		Vop	
	1		1,52
	2		1,52
	3		1,52
	4		1,52
	5		1,52
	5,1		1,52
	5,2		3,4
	5,3		3,4
	6		3,4
	7		3,4
	8		3,4
	9		3,4
	10		3,4
	11		3,4
	12		3,4

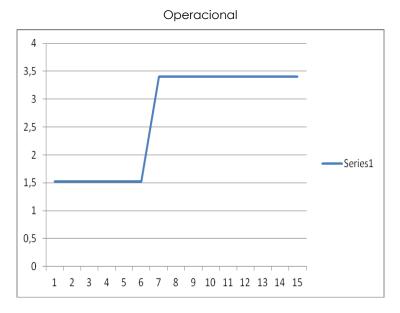


Figura 2.11 Grafica de comportamiento de circuito comparador Vin. Vs Salida de Amp.

2.3.3 Generación de alarmas en circuito de protección

Una vez comprendido el uso del comparador de voltaje se realiza la implementación del esquema que entregará la señal de alarma hacia el microcontrolador. Se utilizó un circuito basado en compuertas lógicas, específicamente el uso de la compuerta OR.

Una compuerta OR realiza una operación de suma lógica, la misma que ante un estado alto en cualquiera de sus entradas proporcionará un estado alto en su salida.

En la Figura 2.12 podemos observar la representación de la operación lógica y simbólica de la compuerta OR.

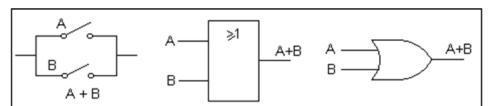


Figura 2.12 Representación de operación de compuerta lógica OR

Fuente: Puertas lógicas. http://es.wikipedia.org/wiki/Puerta_l%C3%B3gica. [Consulta: 28 de Marzo de 2012]

Basándonos en este principio se define el uso de una compuerta OR, después del comparador de voltaje presente en cada una de las entradas. Cuando el comparador emita en su salida un nivel lógico alto, ingresará a uno de los pines del circuito integrado y se realizará la operación lógica entregando a la salida una señal que se usará como alarma y posteriormente será reconocida por el microcontrolador y la red para que el operario tome las medidas correctivas necesarias.

El C.I. utilizado para la operación lógica es el HEF4072BP, este circuito se utilizó debido a que posee tres entradas por cada compuerta OR así con el uso de dos empaquetados dip14 se puede cubrir con todas la entradas analógicas y además optimizar el espacio en el módulo.

El esquema final con el circuito propuesto se visualiza en la Figura 2.13.

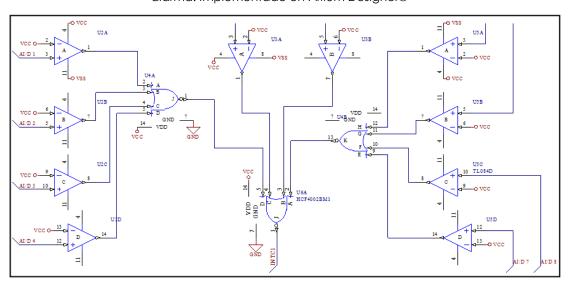


Figura 2.13 Esquema de circuito para comparación de sobre-voltajes y generación de alarma. Implementado en Altium Designer®

2.4 Implementación física de Universal Serial Bus (USB)

Actualmente todo producto encaminado hacia el área técnica, desarrollo, etc., debe poseer una conexión y aplicación para USB, en este proyecto se ha propuesto la inserción de un conector USB hembra Tipo B y de la implementación de las conexiones que son necesarias para que dicho dispositivo pueda funcionar correctamente en interfaz con el PIC 18f4553.

EL diagrama de Conexión a ser utilizado se encuentra en la Figura 2.15.

Podemos observar que se ha utilizado un partidor de tensión que toma como fuente de alimentación el voltaje del bus USB el cual es de 5V.

Este partidor reduce el nivel de corriente que puede ingresar al pin RCO, hemos determinado el ingreso de este voltaje con el motivo de poder determinar el momento en el que se ha realizado una conexión desde un terminal que podría ser una PC.

Dicho partidor de tensión ingresa un voltaje de 4,9 V hacia el pin RCO, además se consideró el valor de corriente que circularía en esta malla, la simulación del partidor de voltaje se la realizó en Multisim® 10.

El valor de corriente obtenido es de 489uA y es el adecuado, ya que no presenta ningún riesgo para el microcontrolador.

El alcance de este proyecto solamente implementa de manera física la interfaz USB, el desarrollo de su respectivo firmware se podría realizar como una extensión futura.

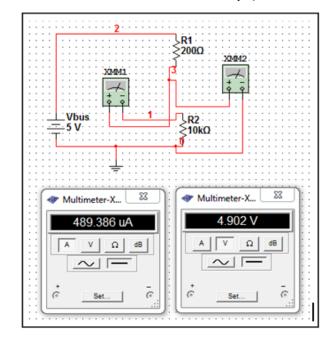


Figura 2.12 Simulación de Vbus en función de voltaje y corriente hacia pin RCO

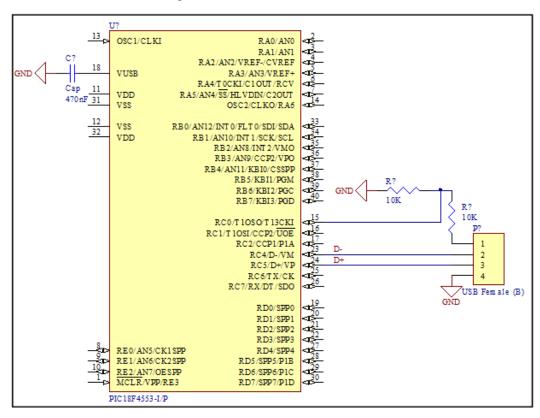


Figura 2.15 Circuito de conexión USB

2.5 Conexión RS232

Entre las características obligatorias que debe poseer un dispositivo de adquisición, es la posibilidad para establecer una comunicación serial con equipos externos como lo son dispositivos del mismo tipo, computadores, servidores, etc.

Pensando en esto se implementará un protocolo de comunicación Serial asíncrona como es RS232, la justificación para el uso de este protocolo se detalla a continuación:

- EL embebido Xbee S2, posee un canal para transmisión serial que envía las señales adquiridas en cada uno de los puertos y recibe señales de los comandos AT, además de señales para sincronía que sean necesarias para el establecimiento de este dispositivo dentro de la red y que pueden originarse de fuentes como otro dispositivo Xbee, un router o un coordinador.
- El microcontrolador a utilizar tiene la capacidad de comunicación con un PC utilizando RS232, cuando se conecte el dispositivo a la PC

se podrá visualizar información presente en el módulo, por medio de la lectura del puerto RS232, esta lectura se puede realizar utilizando la plataforma de programación gráfica, Labview®.

En nuestro caso al utilizar una comunicación serial asíncrona implica que no son necesarios pulsos de reloj, debido a que el tiempo de duración de cada bit se determina por la velocidad con la que se realiza la transferencia de datos.

En la Figura 2.14 podemos ver el funcionamiento de una transmisión serial asíncrona, habitualmente un equipo que no va a realizar una transmisión se encuentra en un estado inactivo con un nivel de voltaje que denota un nivel alto.

Al comenzar con la transmisión se coloca esta línea a un estado bajo el cual es interpretado como el bit de arranque, posteriormente se comienza a transmitir con un intervalo constante comenzando siempre por el bit menos significativo hasta terminar por el más significativo.

Es obligatorio que el equipo receptor se encuentre sincronizado esto quiere decir; que posea los mismos valores en parámetros como velocidad, paridad, número de bits, etc.

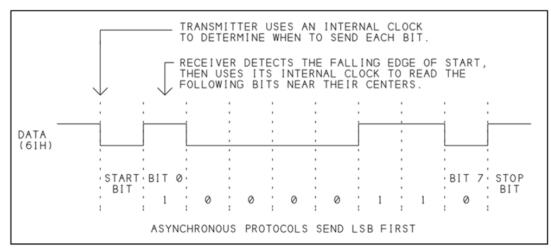


Figura 2.14 Transmisión serial asíncrona

Fuente: The serial port complete. Autor Jan Axelson. [Consulta: 15 de Marzo de 2012]

La normativa RS232 también rige los valores que se interpretarán como un estado alto o bajo y son los siguientes:

- Un "1" lógico es un voltaje comprendido entre -5v y -15v en el transmisor y entre -3v y -25v en el receptor.
- Un "0" lógico es un voltaje comprendido entre +5v y +15 v en el trasmisor y entre +3v y +25 v en el receptor.

Los niveles de voltaje para una conexión RS232, son muy altos como para entrar en interfaz directa con el microcontrolador PIC18f4553 o el módulo Xbee, entonces se utiliza un circuito integrado que soluciona este problema y se trata del MAX232, este chip se usa en cualquier aplicación en la que no se dispone de una fuente de alimentación doble y lo mas importante es que utiliza una alimentación de 5V para generar un voltaje de doble polaridad +12V y -12V.

El circuito recomendado para el uso del MAX232 se encuentra en la Figura 2.15.

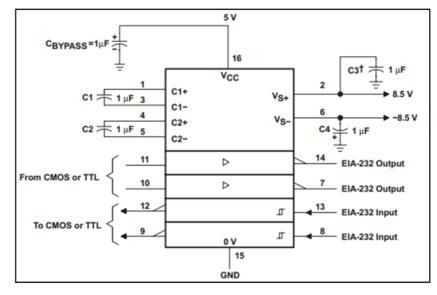


Figura 2.15 Grafica de configuración CI MAX232

Fuente: MAX232 Drivers recivers Datasheet.

http://www.ti.com/lit/ds/symlink/max232.pdf. [Consulta: 3 de Mayo de 2012]

El circuito mostrado en la Figura 2.15 será implementado en la interfaz entre la PC y el microcontrolador 18F4553, también es necesario comunicar mediante línea RS232 al embebido Xbee y al microcontrolador pero debido

que solo se dispone de un canal para esta transmisión en el microcontrolador se simplificará esta acción con el uso de un jumper que el operario puede cambiar según sea la necesidad, en una posición estarán conectadas las líneas Rx y Tx; pertenecientes al embebido Xbee con sus respectivas líneas Tx y Rx pertenecientes al microcontrolador.

Al cambiar el jumper de posición se conectarán las líneas Rx y Tx del circuito del MAX232 con las respectivas líneas de comunicación del puerto serial del computador. Este cambio obligatoriamente será un cambio manual. Se justifica este método ya que un operario puede visualizar la información que contiene el módulo in Situ, así tomar decisiones sobre los parámetros que hayan estado controlando o adquiriendo.

EL esquema representativo de esta acción se hallan en la Figura 2.16, y su interpretación en el circuito del PCB que ha sido representado en Altium Designer® y lo podemos observar en la Figura 2.17.

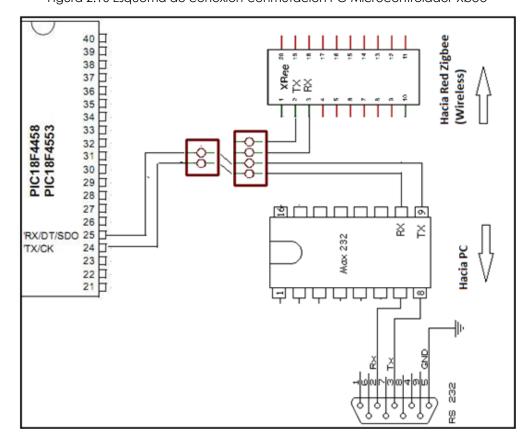


Figura 2.16 Esquema de conexión-conmutación PC-Microcontrolador-Xbee

La figura 2.17 ha sido implementada en Altium Designer® y en dicha figura se puede observar la presencia de las siguientes redes o NET que nos permiten realizar la interconexión esquemática de los elementos de entrada y salida de información que interconectan Microcontrolador – interfaz inalámbrica Xbee o Microcontrolador – interfaz de comunicación Rs232, además dichas nets se enumeran y describen a continuación:

- MAX TX: conexión entre MAX 232 y pin 2 del Header.
- MAX RX: conexión entre MAX232 y pin 1 del Header.
- PC232 IN: Conexión entre MAX23 y puerto DB9 pin 2 entrada desde PC.
- PC232 OUT: Conexión entre MAX23 y puerto DB9 pin 3 salida hacia PC.
- XBEE RX: Conexión entre UART RX del Xbee y pin 5 del Header.
- XBEE TX: Conexión entre UART RX del Xbee y pin 6 del Header.
- MCRX: Conexión entre pin RX del UART del microcontrolador y pin 3 del Header.
- MCTX: Conexión entre pin TX del UART del microcontrolador y pin 4 del Header.

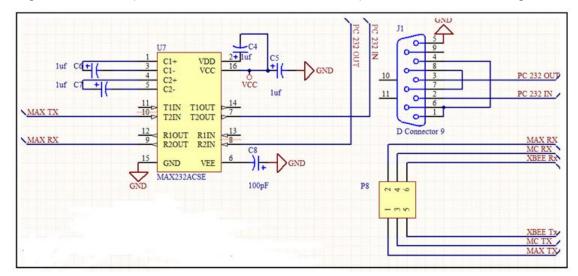


Figura 2.17 Circuito para conexión-conmutación RS232 implementado en Altium Designer®

2.6 Comunicación inglámbrica en red

El módulo de adquisición posee como una de sus características principales la capacidad de comunicación con dispositivos similares o con una red de dispositivos mediante el uso del protocolo 802.15.4 Zigbee, este protocolo al

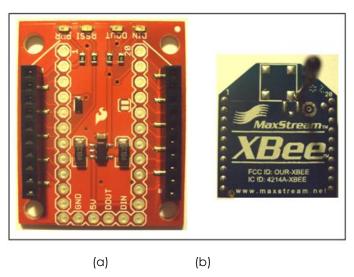
utilizar bandas libres pude ser implementado por cualquier fabricante, con lo cual se tienen en el mercado una buena oferta. Se ha elegido entonces el dispositivo llamado Xbee implementado por la marca Maxstream.

La comunicación se realiza de dos maneras:

- Mediante el uso de la antena de cable o de un chip antena se puede establecer una comunicación con una red externa o con un dispositivo en particular como un cable virtual.
- Mediante el uso del módulo de comunicaciones UART podemos establecer una comunicación con un microcontrolador o cualquier elemento que posea el mismo puerto o también con una PC.

Los pines 2 y 3 son respectivamente los canales de comunicación RX y Tx del módulo UART; estos pines se han colocado en el header, anteriormente se explicó cómo se había realizado la conexión para la comunicación.

Figura 2.18 Capturas de los elementos necesarios para Red Zigbee (a) Adaptador regulado Sparkfun (b) Transmisor Xbee Antena cable serie 1



Entre las cualidades que presentan estos embebidos es que funcionan con un voltaje de 3.3V y además utilizan un conector cuyos pines están separados por 1.5mm.

En el mercado nacional es muy difícil encontrar este tipo de conector o socket que facilite su montaje en un PCB perforado o impreso, debido a esto se buscó una solución, encontrando como alternativa el componente

WRL-09132 de Sparkfun electronics que se puede observar en la Figura 2.18 (b), este adaptador regulado permite conectar los peculiares pines del módulo Xbee y como salida se tiene hacia un header normal de 2.5mm de separación; además se tiene una regulación para el voltaje de alimentación. Se pude ingresar hasta 7 voltios en el pin de alimentación y se obtendrá 3.3 en el pin 1 VCC del embebido Zigbee, con esto se garantiza un voltaje de funcionamiento seguro.

Otra problemática que se enfrenta al momento del diseño del circuito es que las librerías en Altium Designer® no poseen un elemento que represente al embebido Xbee en su forma esquemática y su respectiva huella o footprint para PCB.

Se hace necesario el uso de facultades que ofrece Altium Designer® para diseñar cada uno de estos elementos, se puede observar en la Figura 2.19 los diagramas esquemáticos y footprint que se han diseñado.

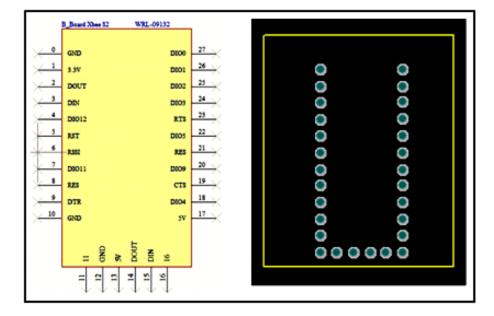


Figura 2.19 Elementos diseñados para representar al módulo Xbee en Altium Designer®

2.7 Salidas analógicas

Se ha establecido una salida analógica que será controlada mediante puerto serial I2C. Dicha salida poseerá un rango de voltaje de 0 a 5V con una resolución de 12 bits.

Se utilizará el dispositivo MCP4725 fabricado por Microchip.

A continuación se desarrollará el estudio para la implementación física de la salida analógica mediante puerto serial I2C. Lo concerniente a la configuración, programación y funcionamiento se verá en el capítulo posterior.

2.7.1 Salida analógica controlada mediante puerto serial I2C

Debido a que en el mercado electrónico el DAC analógico MCP4725 solo se encuentra en presentación para montaje superficial se buscó una alternativa, optando por el adaptador desarrollado por la empresa Sparfun, el cual trae todas las líneas necesarias para que con el uso de un header de 1x5 sea muy fácil la adaptación a cualquier PCB.

Cabe destacar que el tamaño de este adaptador de DAC es de 14mm x 13mm, este tamaño reducido lo hace muy conveniente para el diseño.

Además el carácter modular con el que ha sido pensado, brinda la capacidad de un reemplazo con mucha facilidad en caso de detectarse alguna falla.

En la Figura 2.20 podemos observar una foto del adaptador para MCP4725 ya adquirido en Sparfun Electronics.

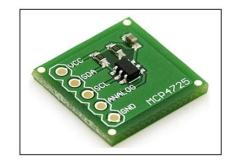


Figura 2.20 Adaptador para CI MCP4725

Fuente: Sparfun Breakout Board BOB-08736. < http://www.sparkfun.com/products/8736>.[Consulta: 4 de Mayo de 2012]

Al observar el diagrama esquemático del adaptador o breakout board para DAC de Sparkfun se visualiza una limitación que resulta ser determinante en el desarrollo de hardware y firmware relacionado a las líneas de salida analógica. Esta limitación está relacionada al pin AO, este pin permite establecer la dirección del dispositivo al que se desea hacer referencia desde el microcontrolador. Ya que en el circuito dicha línea

esta por default conectado a GND la única dirección posible con la cual se puede trabajar es la 0. Esto perjudica al módulo ya que reduce a una la salida analógica.

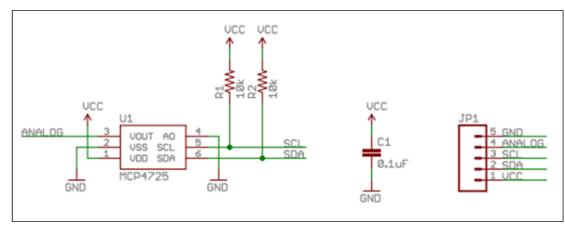


Figura 2.21 Adaptador para CI MCP4725

Fuente: Sparfun Breakout Board BOB-08736.

< http://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/BreakoutBoards/MCP4725_v12.pdf>
[Consulta: 21 de Marzo de 2013]

En la Figura 2.22 se observa las conexiones y etiquetas necesarias para el funcionamiento correcto del bus serial I2C, estas líneas son SDA y SCL. La línea de salida de voltaje analógico tiene la etiqueta AO1, esta línea está asociada a la bornera de salida correspondiente.

La descripción de la programación, configuración y referencia teórica se desarrollara en el capítulo posterior.

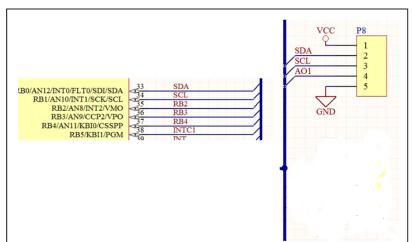


Figura 2.22 Conexiones de DAC I2C con PIC18f4553 en Altium Designer®

2.8 Distribución y organización de puertos

Una vez que se ha determinado todos los periféricos externos que se utilizaran se definirá la mejor organización de los puertos.

Para lo correspondiente a los pines que pueden funcionar cono entrada/salida digital y entrada analógica la organización es la siguiente:

- AI/D 1 correspondiente al pin 2, RAO en microcontrolador PIC18f4553.
- AI/D 2 correspondiente al pin 3, RA1 en microcontrolador PIC18f4553.
- AI/D 3 correspondiente al pin 4, RA2 en microcontrolador PIC18f4553.
- AI/D 4 correspondiente al pin 5, RA3 en microcontrolador PIC18f4553.
- AI/D 5 correspondiente al pin 35, RB2 en microcontrolador PIC18f4553.
- AI/D 6 correspondiente al pin 36, RB3 en microcontrolador PIC18f4553.
- AI/D 7 correspondiente al pin 7, RA5 en microcontrolador PIC18f4553.
- AI/D 8 correspondiente al pin 8, REO en microcontrolador PIC18f4553.
- AI/D 9 correspondiente al pin 9, RE1 en microcontrolador PIC18f4553.
- AI/D10 correspondiente al pin 10, RE2 en microcontrolador PIC18f4553.

La organización que presenta las líneas digitales bidireccionales es:

- DIO 1 correspondiente al pin 6, RA4 en microcontrolador PIC18f4553.
- DIO 2 correspondiente al pin 34, RB4 en microcontrolador PIC18f4553.
- DIO 3 correspondiente al pin 40, RB7 en microcontrolador PIC18f4553.
- DIO 4 correspondiente al pin 16, RC1 en microcontrolador PIC18f4553.
- DIO 5 correspondiente al pin 17, RC2 en microcontrolador PIC18f4553.

Las líneas de puerto que tendrán una función como salida digital se organizan:

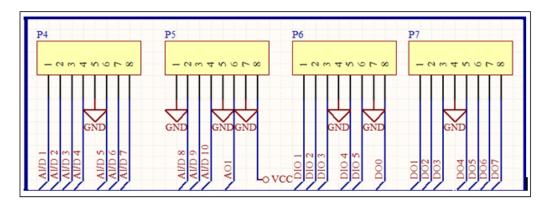
- DO 0 corresponde al pin 19, RD0 en microcontrolador PIC18f4553.
- DO 1 corresponde al pin 20, RD1 en microcontrolador PIC18f4553.
- DO 2 corresponde al pin 21, RD2 en microcontrolador PIC18f4553.
- DO 3 corresponde al pin 22, RD3 en microcontrolador PIC18f4553.
- DO 4 corresponde al pin 27, RD4 en microcontrolador PIC18f4553.
- DO 5 corresponde al pin 28, RD5 en microcontrolador PIC18f4553.

- DO 6 corresponde al pin 29, RD6 en microcontrolador PIC18f4553.
- DO 7 corresponde al pin 30, RD7 en microcontrolador PIC18f4553.

Para las líneas de puerto cuya función será la de salida analógica se disponen de la siguiente manera:

- Para salida analógica controlada mediante I2C AO1; se encuentra conectada al pin Analog, 4 de su respectivo MCP4725.
- Salida de voltaje para referencia o alimentación de sistemas de acondicionamiento VCC.

Figura 2.23 Organización para puertos del dispositivo esquema realizado en Altium Designer®



2.9 Desarrollo de hardware del módulo de adquisición

Se visualiza en la Figura 2.24 la propuesta final del módulo de adquisición usando la vista en 3D de Altium. Además el diseño final del diagrama esquemático y el diseño del PCB con las líneas de enrutado se visualizan en el Anexo 1 y Anexo 2.

2.10 Desarrollo de hardware del módulo coordinador.

Dentro de una red Zigbee se debe tener presente tener presente como mínimo dos elementos:

- Coordinador de red
- Elementos finales de adquisición y control.

Anteriormente se ha diseñado el módulo de adquisición, teniendo en cuenta todos los periféricos, seguridades y la organización mas optima.

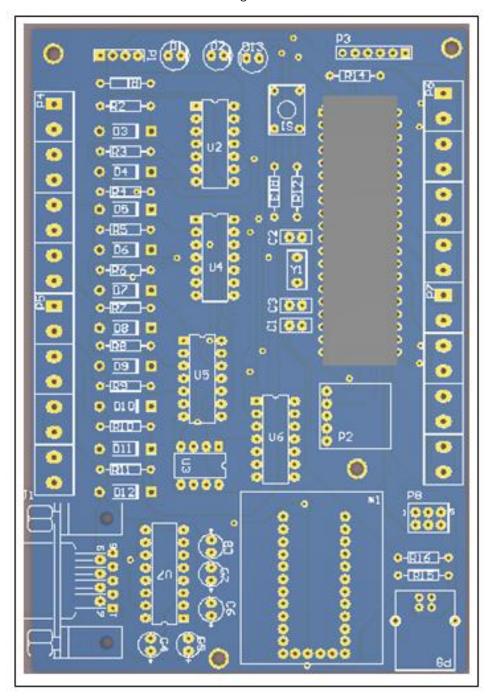


Figura 2.24 Vista en 3D de diseño propuesto final de módulo de adquisición en Altium Designer®

El coordinador de red es el elemento encargado del establecimiento de la red de los requisitos para el funcionamiento adecuado de la misma, además que a través de este elemento circula toda la información de adquisición o control que puede posteriormente ser visualizada en una PC por medio de una interfaz para usuario.

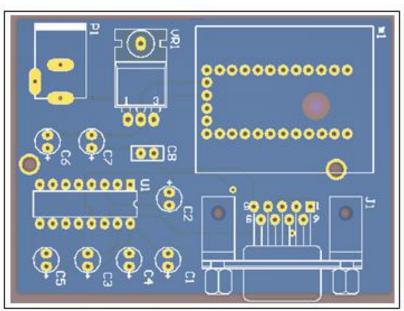
Es por eso que el hardware del coordinador debe proveer al usuario de una conexión RS232 hacia una PC.

Se ha elegido este tipo de conexión debido a la presencia de un módulo UART en el embebido Xbee. EL circuito a utilizarse poseerá entonces un conector DB9 macho y un Max232, para acoplar los voltajes para la comunicación con la PC una descripción más detallada sobre la conexión serial, elementos y teoría referente se lo realizó anteriormente.

EL circuito a utilizarse es idéntico al circuito utilizado con el módulo de adquisición, podemos observar el diseño final propuesto en la Figura 2.25. Las representaciones correspondientes al diagrama esquemático y PCB con

enrutado las podemos visualizar en el Anexo 3.

Figura 2. 25 Vista en 3D de diseño propuesto final del coordinador de red en Altium Designer®



CAPÍTULO 3 DISEÑO DE FIRMWARE, SOFTWARE Y RED DE ADQUISICIÓN

Introducción

El capítulo numero tres abordará el desarrollo del firmware relacionado al microcontrolador, los módulos Xbee, su configuración aplicada a la red de adquisición y terminará con el desarrollo del software en Labview®.

Antes de abordar todos estos temas, es necesario implantar pautas que nos permitirán de la mejor manera organizar la información. Estas pautas son codificaciones y agrupaciones que se detallan a continuación.

Posterior al desarrollo de la organización de información se presenta el desarrollo de firmware y cada una de las etapas que implican al diseño de software.

3.1 Códigos de configuración, envío y solicitud de información

En este punto del desarrollo del proyecto se hace necesario la implementación de una serie de códigos propios, que aportaran con una mejor organización de la información circundante entre la red de adquisición y cada uno de los módulo inalámbricos.

La característica de multifuncionalidad de las líneas de puerto exige el establecimiento de un método para la configuración de una línea en un estado determinado.

Además existen líneas de puerto que tienen por objetivo el control de manera analógica o digital mediante una adecuada codificación la interfaz deberá ser capaz de enviar los datos que se necesiten hacia la línea adecuada.

El objetivo preciso de estos códigos es permitir a un usuario de manera remota configurar un módulo, solicitar información y enviar información según sea su necesidad basada en los siguientes parámetros:

- Línea Digital o analógica.
- Línea de entrada o salida

- Identificación de Puerto
- Pin perteneciente al puerto que se requiera.

Utilizaremos un byte de datos para transmitir desde la interfaz de Labview® organizado de la siguiente manera:

Figura 3.1. Ejemplo de byte de Datos

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit O	
Tipo de	Entrada	Identificación de puerto			Numero de pin relacionado			
Línea	o Salida	(Puert	(Puerto A, B, C, D o E)			al puerto previamente		
					С	onfigurad	0	

El valor que toma cada bit o conjunto de bits serán los siguientes:

- Bit 7: para una línea analógica un valor de 1 y para una línea digital un valor de 0.
- Bit 6: Para una línea que funcione como Entrada un valor de 1 y para salida un valor de 0.
- Bits 4, 5 y 6: estos bits nos permiten escoger el puerto y debido a que existen 5 puertos en el microcontrolador 18f4553 se utilizaron 3 bits. Se asignan así en la tabla los valores de cada puerto:

Tabla 3.1. Disposición de bits para identificación de puerto

ldentificación del	Bit 5	Bit 4	Bit 3
Puerto			
Puerto A	0	0	0
Puerto B	0	0	1
Puerto C	0	1	0
Puerto D	0	1	1
Puerto E	1	0	0

Bits 2,1 y 0: con estos bits se realiza la identificación del número de pin perteneciente al puerto escogido con los bits 4,5 y 6. Los cinco puertos presentes en el microcontrolador presentan diferencias entre la cantidad líneas de puerto; así que al analizar los puertos que poseen más se hace necesario el uso de tres bits para representar los 8 pines de acuerdo a la tabla 3.2.

Con el uso entonces de estas tablas codificaremos las líneas según los criterios establecidos.

Para una aplicación correcta y más entendible de estos códigos complementaremos los mismos realizando divisiones en grupos y categorías de cada una de las líneas de puerto.

Bit 1 Bit 0 Numero del pin Bit 2 Pin 0 0 0 0 Pin 1 0 0 1 Pin 2 0 0 1 Pin 3 0 1 Pin4 0 0 1 Pin5 1 0 1 Pin6 0 1 1 Pin 7

Tabla 3.2 Disposición de bits para identificación de numero de pin

3.2 Clasificación de líneas de puerto por Grupos

Esta clasificación basa su filosofía debido a que determinadas líneas de puerto poseen características similares y diferentes respecto a otras líneas así:

- Para el grupo de líneas que pueden funcionar como Entrada analógica, entrada digital y salida digital, colocaremos en el grupo A estas líneas están numeradas desde la AI/D1 hasta la AI/D10
- Las líneas que pueden funcionar como entrada y salida digital se las catalogara como grupo B y son las líneas DIO 1 hasta la DIO5
- Los puertos que funcionan únicamente como salida digital se los incluirá en el grupo C están identificados desde el DO0 hasta el DO7
- La salida analógica pertenece al grupo E estas y ha sido previamente etiquetada como AO1.

3.2.1 Clasificación por sentido de la información

Además de la división por grupos subdividiremos a estas categorías en 2 nuevas clasificaciones de acuerdo al sentido que va a tener la información y nos referimos a esto ya que la información que va desde el PC hacia el

módulo con el objetivo de pedir el valor de una entrada analógica o digital es diferente a la información que va desde la misma PC al módulo para establecer un estado digital o un valor analógico por parte de un usuario, es por esto entonces que las nuevas categorías serán:

- Solicitud de información
- Envío de información.

Así:

- El grupo A cuyas líneas de puerto pueden tener tres configuraciones diferentes categoriza sus funciones de entrada analógica y entrada digital como solicitud de información, y la función de salida digital la establece como envío de información.
- El grupo B al poseer las funciones de entrada digital y salida digital categoriza las mismas con las correspondientes solicitudes de información y envío de información.
- EL grupo C funciona únicamente como puertos de control o salidas digitales debido a esto las mismas se categorizan como envío de información
- Al igual que el grupo C, el grupo D categoriza su línea para envío de información pero existe una codificación por bits diferente ya que es una salida analógica controlada por I2C.

La categorización por funciones de solicitud y envío se vuelve obvia y absolutamente necesaria para el desarrollo de la interfaz de prueba en Labview® que se verá posteriormente.

El objetivo de toda esta codificación y categorización tienes tres puntos principales

- Brindar al usuario la posibilidad de interactuar a conveniencia con el módulo y sus puertos según su necesidad.
- 2. Una explicación más didáctica de la organización del módulo
- 3. La disposición adecuada de los bits del paquete de datos que se enviara y los medios de control con el microcontrolador.

3.2.1.1 Codificación para solicitud de información

A continuación se muestran las tablas relacionadas a los códigos de los grupos A y B dentro de la categoría de Solicitud de información.

Tabla 3.3. Códigos para configurar Entradas Analógicas Grupo A (Solicitud Información)

Códigos pa	ra configur	ar Ent	radas	Ana	lógico	as Gru	Jpo A			
(Solicitud de	(Solicitud de información)									
	Bit	Bit	Bit	Bit	Bit	Bit	Bit	Bit		
Etiqueta.	7.	6.	5.	4.	3.	2.	1.	0.		
AI/D 1	1	1	0	0	0	0	0	0		
AI/D 2	1	1	0	0	0	0	0	1		
AI/D 3	1	1	0	0	0	0	1	0		
AI/D 4	1	1	0	0	0	0	1	1		
AI/D 5	1	1	0	0	1	0	1	0		
AI/D 6	1	1	0	0	1	0	1	1		
AI/D 7	1	1	0	0	1	1	0	0		
AI/D 8	1	1	1	0	0	0	0	0		
AI/D 9	1	1	1	0	0	0	0	1		
AI/D 10	1	1	1	0	0	0	1	0		

Tabla 3.4. Códigos para configurar Entradas Digitales Grupo A (Solicitud Información)

Códigos para configurar Entradas Digitales Grupo A										
(Solicitud de información) Bit Bit										
Etiqueta.	7.	6.	5.	4.	3.	2.	1.	0.		
AI/D 1	0	1	0	0	0	0	0	0		
AI/D 2	0	1	0	0	0	0	0	1		
AI/D 3	0	1	0	0	0	0	1	0		
AI/D 4	0	1	0	0	0	0	1	1		
AI/D 5	0	1	0	0	1	0	1	0		
AI/D 6	0	1	0	0	1	0	1	1		
AI/D 7	0	1	0	0	1	1	0	0		
AI/D 8	0	1	1	0	0	0	0	0		
AI/D 9	0	1	1	0	0	0	0	1		
AI/D 10	0	1	1	0	0	0	1	0		

Códigos para configurar entradas digitales Grupo B (Solicitud de información) Bit Bit Bit Bit Bit Bit Bit Bit Etiqueta. 7. 6. 5. 4. 3. 2. 1. 0. DIO 1 0 1 0 0 0 0 0 DIO 2 0 0 0 1 0 0 1 DIO 3 0 0 0 1 DIO 4 0 1 0 0 0 0 1 DIO 5 0 1 0 1 0 0 0

Tabla 3.5. Códigos para configurar Entradas Digitales Grupo B (Solicitud Información)

Una vez realizada la explicación de la estructura del byte de datos para la categoría de solicitud de información, se especificará la estructura del byte correspondiente a la categoría de envío de información.

3.2.1.2 Codificación para envío de información

Las líneas de puerto comprendidas en los diferentes grupos que se enmarcan con esta división poseen la característica de poder enviar información de forma remota para que el módulo de adquisición genere dos tipos de señales:

- Salida de voltaje analógico.
- Salida de control digital.

Se observa de manera obvia que para líneas de salida tanto digital como analógica un byte de datos no sería suficiente así que para estas líneas se adiciona información que puede dividirse en dos tipos:

- Estado On/OFF para las líneas digitales.
- El valor que se cargara a la cualquiera de las líneas que funcionan como salida analógica.

La explicación de la correspondiente información adicional se la realizará posteriormente.

Utilizando las divisiones por categoría establecidas anteriormente realizaremos las tablas para líneas de salida digital para los grupos A, B y C. Las tablas que se muestran a continuación se han realizado de la misma manera que las tablas para solicitud de información pero con el cambio respectivo en los Bits 7 y 6.

Tabla 3.6.Códigos para configurar Salidas Digitales Grupo A (Envío información)

Códigos para configurar Salidas Digitales Grupo A									
(Envío de información)									
	Bit								
Etiqueta.	7.	6.	5.	4.	3.	2.	1.	0.	
AI/D 1	0	0	0	0	0	0	0	0	
AI/D 2	0	0	0	0	0	0	0	1	
AI/D 3	0	0	0	0	0	0	1	0	
AI/D 4	0	0	0	0	0	0	1	1	
AI/D 5	0	0	0	0	1	0	1	0	
AI/D 6	0	0	0	0	1	0	1	1	
AI/D 7	0	0	0	0	1	1	0	0	
AI/D 8	0	0	1	0	0	0	0	0	
AI/D 9	0	0	1	0	0	0	0	1	
AI/D 10	0	0	1	0	0	0	1	0	

Tabla 3.7 Códigos para configurar Salidas Digitales Grupo B (Envío Información)

Códigos para configurar Salidas Digitales Grupo B (Envío de información de información)								
	Bit							
Etiqueta.	7.	6.	5.	4.	3.	2.	1.	0.
DIO 1	0	0	0	0	0	1	0	0
DIO 2	0	0	0	0	0	1	0	1
DIO 3	0	0	0	0	1	1	1	1
DIO 4	0	0	0	1	0	0	0	1
DIO 5	0	0	0	1	0	0	1	0

(Envío de información)									
	Bit								
Etiqueta.	7.	6.	5.	4.	3.	2.	1.	0.	
DO0	0	0	0	1	1	0	0	0	
DO1	0	0	0	1	1	0	0	1	
DO2	0	0	0	1	1	0	1	0	
DO3	0	0	0	1	1	0	1	1	
DO4	0	0	0	1	1	1	0	0	
DO5	0	0	0	1	1	1	0	1	
DO6	0	0	0	1	1	1	1	0	
D07	0	0	0	1	1	1	1	1	

Tabla 3.8. Códigos para configurar Salidas Digitales Grupo C (Envío Información)

3.3 Información adicional para salidas digitales

La información adicional que el usuario desee enviar hacia una línea que anteriormente ha sido configurada como salida digital, podrá tomar dos valores 0 o 1. Dichos valores nos indican lo siguiente:

- 0 línea de control en estado bajo (Desactivado OFF)
- 1 línea de control en esta alto (Activado ON)

PC - Módulo ADQ.

El envío de este dato adicional se realizará mediante un proceso de sincronía entre el módulo y la PC. La descripción de dicho proceso se lo realiza posteriormente en el desarrollo de software para líneas de salida digital.

Figura 3.2 Información adicional y sincronía para líneas de salida digital

3.4 Códigos de configuración y envío de información para línea de salida analógica

En el módulo de adquisición se posee una sola línea para la generación de señal analógica, debido a que esta única línea se encuentra regida mediante el puerto serial I2C, los códigos se generan de una manera diferente a lo establecido previamente para otras líneas de única o múltiple función.

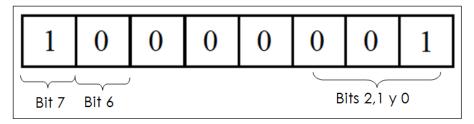
En la sección de desarrollo de firmware de microcontrolador se ahonda en el porqué de la organización de la información de una manera específica y el porqué de la presencia de una sola salida analógica.

Para establecer la comunicación correcta con DAC MCP4725 son necesarios dos pasos:

- Informar al módulo de adquisición y control que el usuario desea activar el funcionamiento de la línea de salida analógica.
- Enviar el valor deseado que se desea obtener en la línea previamente configurada.

Lo primero que se hace es generar el código de configuración de la línea analógica desde la interfaz de control para esto el byte de datos que se enviara será el siguiente:

Figura 3.3 Información adicional y sincronía para líneas de salida digital



Como se puede observar aunque se maneja una trama muy parecida a la utilizada en las demás líneas multifunción la diferencia radica en los grupos de bits 5,4,3 y 2,1,0.

- Bit 7: Configuración de tipo de línea 1 Analogica, 0 digital.
- Bit 6: Sentido de la información para la línea 1 entrada, 0 salida.

- Bits 5, 4 y 3: Estos bits no se utilizan entonces se establecen en cero por default.
- Bits 2, 1 y 0: Estos bits permitirán establecer el número de dispositivo
 I2C al que se hará referencia, debido a la construcción del módulo
 MCP4725 solo se puede configurar a estos bits con un valor de 0.

La segunda parte que conforma el envío de la información se detalla posteriormente en el desarrollo de interfaz de software en Labview® y la explicación sobre el diagrama de bloques correspondiente.

3.5 Desarrollo de firmware del microcontrolador

3.5.1 Directivas iniciales y vectores

Como en todo programa desarrollado en lenguaje ensamblador, que en este caso se trata del MPLAB® 8.0, se inicia con unas directivas para introducir información útil para el programa. Las directivas no son instrucciones para el microcontrolador sino sólo para controlar ciertos aspectos en el ensamblador, por lo tanto estas no generan código máquina para ser descargado en el microcontrolador. Existen varias directivas pero para iniciar el programa son útiles dos, en las cuales se indica el tipo de microcontrolador que se va a utilizar (18F4553) y su respectivo fichero, tales directivas son "list" e "include" respectivamente y se utilizan como se muestra en la figura 3.4.

Figura 3.4 Directivas del lenguaje ensamblador

- Directivas de inicio:

list p=18f4553 #include "p18f4553.inc"

- Vectores de reset e interrupción:

org 0x00 goto inicio org 0x18 goto int

A continuación de las directivas iniciales se citan los vectores de inicio e interrupción con la ayuda de la directiva "org", que sirve para insertar

ciertas instrucciones a partir de una dirección dentro de la memoria de programas que se especifique en la directiva.

El vector de reset se ubica en la dirección 0x0000 de la memoria de programas y a partir de ésta se enlaza la parte principal del firmware. Los vectores de interrupción son dos y se ubican en las direcciones 0x0008, los de alta prioridad y en la dirección 0x0018 los de baja prioridad. En este caso solo se utiliza el segundo vector ya que se dispone de un solo tipo de interrupción que es la generada por el módulo EUSART receptor y se implementa como se muestra en la figura 3.4.

3.5.2 Variables e inicialización

En la siguiente sección del firmware se establecen las variables que se utilizan a lo largo de la programación y se la realiza asignando un nombre a cada una de los registros utilizados de la memoria RAM. Hay que recordar que la memoria RAM del microcontrolador está conformada por bancos, que son 16 y cada uno de ellos está a su vez formado por 256 registros o bytes, lo que da un total de 4096 registros disponibles a excepción de los ocupados por los registros de control que se ubican permanentemente en ciertas direcciones del banco 15. Las variables dentro de un programa se utilizan para almacenar valores numéricos que son utilizados por varias funciones dentro del mismo o para respaldar información recibida o también para utilizarlos como banderas indicadoras de ciertos eventos, cuando se las trata bit a bit. Algunas de las variables utilizadas en este firmware se muestran en la figura 3.5.

Figura 3.5. Registros Utilizados

-Registros Variables.

dato = 0x05

puerto = 0x06

 $reg_A = 0x20$

 $reg_B = 0x21$

-Registros Banderas:

bandera = 0x08

bandera 1 = 0x12

Estos registros deben ser inicializados antes de pasar a la secuencia principal del programa, para que de esta manera tengan un valor inicial constante, es decir un punto de partida y desde éste ir generando las condiciones para realizar una u otra tarea. Esta sección del firmware se llama "Condiciones Iniciales" y es en donde se cargan los registros de datos con los valores necesarios para el buen desempeño del programa. El valor de inicio para los registros puede ser un número comprendido entre 0 y 255. En la figura 3.6 se muestra la inicialización para algunos de los registros de la RAM utilizados.

Figura 3.6 Inicialización de registros

clrf dato clrf puerto clrf bandera

movlw b'00000000' movwf reg_A movlw b'00000001' movwf reg_B

3.5.3 Configuración de periféricos

El siguiente bloque constituye la configuración de los periféricos utilizados del microcontrolador, como el módulo EUSART, el módulo A/D, interrupciones y puertos. El módulo EUSART estará funcionando constantemente para comunicarse con la PC central, ya sea recibiendo o enviando información por lo que su configuración en este punto será completa. La comunicación serial está configurada para una velocidad de 9600 baudios.

El módulo convertidor analógico a digital, será configurado pero no totalmente ya que su funcionamiento dependerá de ciertas condiciones impuestas por el usuario durante el funcionamiento, de manera que la parte de configuración faltante se la realizará en la subrutina que corresponda, en esta sección solo se configurará el formato del dato transformado a digital y tiempos de adquisición y muestreo.

Seguidamente se configuran las interrupciones del microcontrolador, que en este caso será una sola y es la generada por recepción del EUSART que será utilizada para configurar los puertos del microcontrolador solicitados por el

usuario y el envío de información de vuelta a la PC con la información contenida en el puerto en cuestión.

Finalmente la configuración del puerto B, que es utilizado para indicar un sobre-voltaje en cualquiera de las líneas configurada como estrada analógica, ya que éstas solo admiten el rango de: 0V – 5V. Esta tarea se la realiza mediante el puerto RB5 del microcontrolador configurado como entrada digital, más la circuitería externa de comparación de niveles de entrada. El pin RB6 también se utiliza pero como salida digital para encender un led indicador de sobre-voltaje incorporado al hardware. Cabe mencionar que al mismo tiempo se envía un carácter especial a la PC para que en la aplicación de Labview®, se advierta del problema.

3.5.4 Programa principal

El programa principal del microcontrolador, es una subrutina sin acciones que se está ejecutando constantemente hasta que se produzca una recepción en el puerto serial proveniente de la PC central ya sea remota o localmente, lo que provocará que el microcontrolador salte al vector de interrupción de baja prioridad (ya que la interrupción fue configurada de baja prioridad), ubicado en la dirección 0x18 de la memoria de programas. La figura 3.7 muestra el extracto de firmware de la subrutina principal, en la cual se cargan con un valor constante a dos registros (m1 y m2), que sirven para el funcionamiento de una subrutina llamada "demora".

Figura 3.7. Subrutina principal

emp movlw d'200' movwf m1 movff m1,m2 call demora goto emp

3.5.5 Subrutinas

3.5.5.1 Subrutina de demora

La subrutina "demora" es un triple lazo anidado, a manera de contador decremental, en la que por cada disminución en 200 (valor cargado a m1 y

m2) del registro "cont", disminuye en uno "cont1" y por cada disminución en 200 de "cont1", disminuye en uno "cont2", terminando la subrutina cuando "cont2" llegue a 0. El valor para "cont2" es el cargado en m2 y el valor para "cont1" y "cont", es el cargado en m1 que para este caso es 200 en ambos. Para posibles cálculos respecto al tiempo de ejecución, cabe mencionar que la subrutina "demora" tiene una duración de 10 segundos cuando los registros m1 y m2 están cargados con 200. En la figura 3.8 se muestra esta subrutina.

Figura 3.8. Subrutina "demora"

demora movf m2.w movwf cont2 continuar2 movf m1,w movwf cont1 continuar1 movf m1,w movwf cont continuar decf cont movlw 0x00 cpfseq cont goto continuar decf cont1 movlw 0x00 cpfseq cont1 goto continuar1 decf cont2 movlw 0x00 cpfseq cont2 goto continuar2 return

3.5.5.2 Subrutina de atención a interrupción

La subrutina de interrupción es ejecutada cuando se ha producido una recepción por el puerto serial del EUSART, saltando así el programa al vector de interrupción de baja prioridad, dada la configuración, que pertenece a la dirección 0x18 de la memoria de programas y en este vector se hace referencia a la subrutina de interrupción llamada "int".

Esta subrutina es la encargada de permitir que una u otra tarea sea ejecutada por el microcontrolador, dependiendo del proceso que se esté llevando a cabo. Por ejemplo si es el primer dato el que se recibe, de seguro se trata de la configuración de algún puerto, pero si ya no es el primero,

puede tratarse del valor para una de las salidas analógicas que posee la tarieta.

Lo primero que se hace es verificar que exista un dato en el puerto de recepción mediante el bit 5 del registro PIR1. Una vez verificada la existencia del dato, se procede a deshabilitar el receptor EUSART para evitar nuevas interrupciones mientras se atiende a la primera. Luego se respalda el contenido del registro "W" para cargarlo nuevamente al salir de esta subrutina, ya que estaba siendo utilizado por la subrutina "demora" y en la actual también se utilizará. Entonces se procede a testear un bit bandera creado para indicar si el dato recibido es de configuración o de información, ya que el funcionamiento consiste inicialmente en la configuración del puerto a utilizar y luego el valor o estado que se desea en dicho puerto. El registro creado para esto se llama "bandera" y cada bit de este registro tiene la tarea de indicar si algo ya fue realizado.

Cabe mencionar que para la configuración de un puerto de la tarjeta se deben enviar 8 bytes desde la PC central, como ya se explico en la sección 3.1 y luego de estos bytes de configuración; si se ha configurado como salida, sea ésta digital o analógica, se solicita el valor para la misma y entonces la PC envía 1 o 0 para el caso digital o, un valor comprendido entre 0 y 5 para el caso analógico, dependiendo de la elección del usuario. Para el caso de que se haya configurado como entrada, es la tarjeta la que empieza a enviar la información receptada hacia la PC central para que ésta pueda mostrar al usuario.

Entonces al preguntar por el bit 2 del registro "bandera" lo que se hace es verificar si el byte recibido es de configuración o de información. En caso de ser de configuración, se llama a la subrutina "bytes", pero en caso de ser de información, se pregunta por cada uno de los bits del registro "bandera_2", creado para indicar cuál de los puertos se está trabajando sea este A, B, C, D o E, en el microcontrolador. Más adelante se explicará con mayor detalle ésta parte del firmware, que corresponde a las salidas digitales, ahora se procede a la explicación de la subrutina "bytes". En la figura 3.9 se muestra la subrutina "int".

Figura 3.9. Subrutina "int"

int btfss PIR1,5 retfie bcf RCSTA,4 movff WREG,w temp btfss bandera,2 goto bytes bcf bandera,2 movff RCREG,dato_d movff RCREG, dato d1 btfsc bandera_2,0 goto pin_0_out btfsc bandera 2,1 goto pin 0 out B btfsc bandera_2,2 goto pin_0_out_C btfsc bandera 2,3 goto pin 0 out D btfsc bandera 2,4 goto pin_0_out_E btfsc bandera_2,5 goto datos I2C goto cod_error

3.5.5.2.1. Subrutinas de configuración de puerto

La subrutina "bytes" se ayuda del registro "bandera_1" para saber cuál de los 8 bytes de configuración está recibiendo y poder armar un solo registro llamado "dato" conteniendo toda la información de configuración del puerto elegido por el usuario. Para extraer la información de cada byte de configuración y pasarlo al registro "dato", se compara el byte con 1 o 0 en ASCII (entre apostrofes para representar el ASCII de un carácter, en ensamblador), y dependiendo del resultado se llama a una de las dos subrutinas para la escritura del bit en el registro "dato", ya sea para escribir 1 o 0 respectivamente. En la figura 3.10 se muestra la subrutina "bytes" y en la figura 3.11, la subrutina para la escritura de uno de los bits del registro "dato", específicamente del bit 0; para los otros 7 bits es análogo el procedimiento.

Figura 3.10. Subrutina "bytes"

```
bytes
        movff RCREG, dato byte
     movff RCREG,dato byte1
btfss bandera_1,0
                         goto
            byte 0
      btfss bandera 1,1
         goto byte_1
       btfss bandera_1,2
         goto byte_2
       btfss bandera_1,3
         goto byte 3
       btfss bandera_1,4
         goto byte_4
       btfss bandera_1,5
         goto byte 5
       btfss bandera_1,6
         goto byte_6
         goto byte_7
```

Figura 3.11 Escritura del bit 0 del registro "dato"

```
bsf bandera_1,0
byte_0
    movlw '0'
        cpfseq dato byte
        goto w1_byte_0
        goto w0_byte_0
        goto cod error
w1_byte_0 bsf dato,0
        goto send
w0_byte_0 bcf dato,0
        goto send
send
        movlw '+'
    movwf TXREG
    nop
    nop
try 0
       btfss PIR1,4
   goto try_0
    goto regresar
```

Como se puede observar en la figura 3.11, existe una subrutina que es usada siempre después de la escritura de cualquier bit de "dato" y se llama "send". Lo que hace esta rutina es enviar un signo "+" a la PC central para indicarle que envíe el siguiente byte de configuración, hasta llegar al octavo byte que es cuando se llama a otra subrutina para el procesamiento ya de la configuración establecida llamada "buffer".

La subrutina "regresar" siempre es llamada antes de salir de la interrupción y lo que hace es recargar el registro "W" con el valor que tenía antes de entrar a la interrupción y habilita nuevamente el receptor EUSART para permitir que se dé una interrupción por el mismo, ya que el programa en este punto regresará a la subrutina principal ("emp"); ésta subrutina se muestra en la figura 3.12.

Figura 3.12 Subrutina "regresar"

regresar movf w_temp,w bsf RCSTA,4 retfie

Una vez creado el registro "dato", se empiezan a realizar las configuraciones de los registros del microcontrolador dependiendo de la información contenida en "dato" mediante la subrutina "buffer". Primero se deduce el puerto que se va a configurar, tal información se encuentra en los bits 3, 4 y 5 de "dato". Estos bits son transferidos a un registro de respaldo llamado "puerto", registro 0x06 de la memoria RAM, para poder luego comparar éste con unos registros creados inicialmente que contiene códigos binarios fijos (establecidos en "condiciones iniciales" del firmware), que diferencian un puerto de otro, tales registros son: reg_A, reg_B, reg_C, reg_D, reg_E e I2C, cada uno contiene un código binario desde el 000 hasta el 111 respectivamente, de ésta manera se puede saber el puerto al que se hace referencia. La salida analógica se la hace a través de ningún puerto sino, por un módulo externo llamado MCP4725 que se lo verá más adelante. La figura 3.13 muestra la subrutina "buffer".

De manera análoga se deduce el pin referido, cuya información se ubica en los bits 0, 1 y 2 de "dato" y son respaldados en el registro "reg_pin", registro 0x07 de la memoria RAM. El procedimiento es igual que para la deducción del puerto; se tienen para este caso 8 registros precargados con diferentes valores numéricos que representan a cada una de las 8 posibles líneas de un puerto. Tales registros son: b0, b1, b2, b3, b4, b5, b6 y b7, cuyos valores numéricos van desde el 0 al 7 en código binario y son establecidos en la sección de condiciones iniciales.

Figura 3.13. Subrutina "buffer"

buffer clrf bandera 1 write1 0 bsf INDF0,0 clrf tarea clrf goto next **FSROH** write1_1 bsf INDF0,1 movlw 0x06 movwf goto next write1 2 FSR0L bcf bandera,0 bsf INDF0,2 btfsc dato,3 goto tareas goto write 10 write0 0 bcf INDF0,0 goto write0_0 goto next bit4 bsf bandera,0 write0 1 bcf INDF0,1 goto next btfsc dato,4 goto write1 1 write0 2 bcf INDF0,2 goto write0 1 goto tareas bit5 btfsc dato,5 goto write1 2 goto write0_2

Una particularidad de esta sección de la programación es que tanto la subrutina de deducción del puerto como la de pin, utilizan la misma subrutina para escritura de los registros de respaldo que son "puerto" y "reg_pin". Esta parte común del firmware es la que muestra en la parte derecha de la figura 3.13, y es por ésta razón que se utilizan los registros punteros, para así poder direccionar el registro a escribir. La figura 3.14 muestra la subrutina de escritura del pin referido.

La figura 3.15 muestra el fragmento de firmware que se encarga de llamar a la subrutina apropiada de escritura de los registros dependiendo de cuál de ellos se está tratando ya sea "puerto" o "reg_pin".

Figura 3.14. Subrutina "pin"

pin bsf tarea,0
clrf FSR0H
movlw 0x07
movwf FSR0L
bcf bandera,1
btfsc dato,0
goto write1_0
goto write0_0
bit1 bsf bandera,1
btfsc dato,1
goto write1_1
goto write0_1
bit2 btfsc dato,2
goto write1_2
goto write0_2

Figura 3.15. Deducción registro a escribir

next movlw b'00000110'
cpfseq FSR0L
goto bits1_2
goto bits4_5
bits1_2 btfsc bandera,1
goto bit2
goto bit1
bits4_5 btfsc bandera,0
goto bit5
goto bit4

Luego de escribir el registro puerto, que es la primera tarea en realizarse, se llama a una subrutina denominada "tarea", que se encarga de direccionar el programa a la siguiente subrutina según le corresponda por las secuencia del mismo. La tarea a continuación es la de escritura del registro "reg_pin" y luego de ésta nuevamente se llama a la subrutina "tarea" la cual ahora enviará al programa a realizar la configuración del puerto y pin seleccionados por el usuario. Es posible seleccionar uno de entre los siguientes puertos del microcontrolador: A, B, C, D, E o en su defecto, la selección del modo I2C para el caso particular de salida analógica. Si se selecciona alguno de los puertos ya mencionados, se puede elegir de entre 8 líneas de puerto, del 0 al 7. Estas tareas de selección de puerto y línea las realiza la aplicación desarrollada en Labview®, el usuario sólo debe elegir si desea una línea analógica o digital y si es entrada o salida.

Una vez establecido el puerto y pin al que se hace referencia, se empieza a preguntar por los siguientes bits del registro dato, que contiene información para configurar una línea como analógica o digital y como entrada o salida mediante los bits 7 y 6 respectivamente, indicando con 1 que es analógico, en el primer caso y entrada en el segundo caso.

.

Figura 3.16. Configuración inicial de puerto A

```
config_Abtfss dato,7
        goto digit_A
        goto analog_A
            setf ADCON1
digit A
    goto in_out_A
analog_A
            movlw b'00001010'
        movwf ADCON1
    goto in A
in_out_A
            btfss dato,6
        goto out_A
        goto in A
out A
            btfsc dato,7
        goto cod_error
    clrf TRISA
        goto enviar_dato
in A
            setf TRISA
        goto pin_0_in
```

Los registros a configurar dentro de las subrutinas son "ADCON1", en el cuál se asigna a las líneas como analógicas o digitales y el registro TRIS, en el que se configura una línea como entrada o salida. La figura 3.16 muestra el fragmento de firmware utilizado para configurar el puerto A como se acaba de indicar.

Se tienen tres posibles casos de configuración de un puerto; un primer caso puede ser, salida digital, el segundo caso, entrada digital y el tercero, entrada analógica. Ya se mencionó que para obtener una salida analógica se utiliza un módulo externo al microcontrolador.

Para el primer caso, es decir salida digital, se escribe un carácter especial hacia la PC que este caso es una letra "D" en mayúsculas, con lo cual se solicita el dato para la salida digital, ya sea 1 o 0. La PC contesta inmediatamente con el valor requerido y entonces el microcontrolador descifra ésta información y establece la línea deseada en 1 o en 0, con lo cual se termina el procesamiento del mismo y se regresa a la subrutina principal en espera de una nueva solicitud de configuración. Un fragmento de código para la configuración mencionada en el puerto A se muestra en la figura 3.17.

Figura 3.17. Configuración de puerto A como salida digital

enviar dato bsf bandera,2 movlw 'D' movwf TXREG goto envio pin_0_out movf b0,w cpfseq reg_pin goto pin_1_out goto set_A_b0 movlw '1' set_A_b0 cpfseq dato d goto A clear 0 bsf PORTA,0 goto regresar A_clear_0 bcf PORTA,0 goto regresar

El segundo y tercer caso tienen una parte del código en común por ser entradas, que es la parte en donde se establece el pin al que se quiere configurar como entrada. Ahora, para el caso 2, se pregunta directamente por el estado en el pin de la entrada digital y según el resultado, se escribe 1 o 0 en el registro de salida serial (TXREG), para informar a la PC central del estado de la línea y que ésta a su vez pueda mostrar al usuario. Igualmente luego de enviar este último dato, el programa salta a la subrutina principal. El código se muestra en la figura 3.18.

Para el caso 3, primeramente se selecciona el canal apropiado según la solicitud del usuario, configurando el registro "ADCONO", luego se activa el módulo conversor y se inicia el proceso de conversión, finalizando cuando mediante un bit bandera del módulo se da aviso. Luego se respaldan los registros con los resultados de la conversión; son 2 registros ya que se tiene una resolución de 12 bits y cada registro es de 8 bits.

Finalmente, se deben crear tres datos a partir de los 2 registros binarios, pasando por un proceso de conversión de binario a hexadecimal; tal conversión es necesaria para poder enviar el dato en tres tiempos, como tres datos y facilitar la tarea de deducción del valor decimal al que se hace referencia con dicho código, dentro del rango 0 a 5 voltios.

Figura 3.18. Configuración de entrada digital

```
pin 0 inmovf b0,w
    cpfseq reg pin
   goto pin_1_in
        goto scan_A_b0
scan A b0 btfsc dato,7
        goto scan_AN0
   btfss PORTA,0
   goto send 0
        goto send 1
send 0
            btfsc PORTB,5
        goto sobrevolt
        movlw '0'
   movwf TXREG
        goto envio
send_1
            btfsc PORTB,5
       goto sobrevolt
        movlw '1'
    movwf TXREG
        goto envio
```

El fragmento de código lo muestran las figuras 3.19, 3.20 y 3.21 mientras que en la figura 3.22 se presenta la tabla de conversión de binario a hexadecimal y envío en ASCII.

Cabe mencionar que para cualquiera de los dos casos de entrada, se escanea un bit de alarma por sobre-voltaje que es el bit 5 del puerto B.

Figura 3.19. Configuración de entrada analógica

```
scan_AN0
           btfsc PORTB,5
   goto sobrevolt
       clrf ADCON0
                           bsf
ADCON0,0
                   bsf
ADCON0,1
                   goto
datos_AN
datos_AN call dem_0
    btfsc ADCON0,1
                       goto
datos_AN
        movff ADRESH, ANH
    movff ADRESL, ANL
                           bcf
ADCON0,0
                   clrf ANL 1
        clrf ANL 2
       clrf ANH 1
```

Figura 3.20. Generación de los 3 datos Figura 3.21. Envío de datos convertidos

movf ANL,w andlw 0x0f movwf ANL 1 swapf ANL movf ANL,w andlw 0x0f movwf ANL_2 movf ANH,w andlw 0x0f movwf ANH 1 movff NL_1,dato_aux call conv_ascii movwf ANL 1 movff NL_2,dato_aux call conv_ascii movwf ANL 2 movff NH_1,dato_aux call conv ascii movwf ANH 1

movf ANL_1,w movwf TXREG gon try_1 btfss PIR1,4 goto try_1 movf ANL_2,w movwf TXREG nop try 2 btfss PIR1,4 goto try_2 movf ANH_1,w movwf TXREG nop try_3 btfss PIR1,4 goto try_3

Figura 3.22. Tabla de conversiones binario-hexadecimal

```
conv ascii
            movlw b'00000000'
        cpfseq dato_aux
        goto next1
        movlw '0'
        return
next1
            movlw b'00000001'
        cpfseq dato aux
        goto next2
        movlw '1'
        return
next2
            movlw b'00000010'
next14
            movlw b'00001110'
        cpfseq dato aux
        goto next15
        movlw 'E'
        return
next15
            movlw 'F'
        return
```

3.5.5.2.2. Subrutina de configuración I2C

Como ya se mencionó anteriormente, para obtener una línea configurada como salida analógica, utilizado un módulo DAC externo llamado MCP4725 conjuntamente con el microcontrolador cuya comunicación es de tipo serial I2C. Este módulo es un conversor digital – analógico con una resolución de 12 bits y un solo canal de salida, teniendo 2 pines para la comunicación I2C, tales pines son "SCL" y "SDA" pertenecientes a lo pines 34 (RB1) y 33 (RB0) del microcontrolador. Para realizar una comunicación con este módulo son necesarias tres tramas enviadas desde el microcontrolador hacia el módulo MCP4725, después de cada una de las cuales el módulo responde con un "ACK". En la figura 3.23 se muestran éstas tramas.

La primera trama contiene el código del dispositivo MCP4725, que es un código fijo y es "1100", también contiene la dirección del dispositivo al cual se quiere escribir, para lo cual posee tres bits, de los cuales 2 vienen conectados a GND, de fábrica por lo que se tendría un solo bit para direccionar, lo que permite usar un máximo de 2 módulos en una misma red.

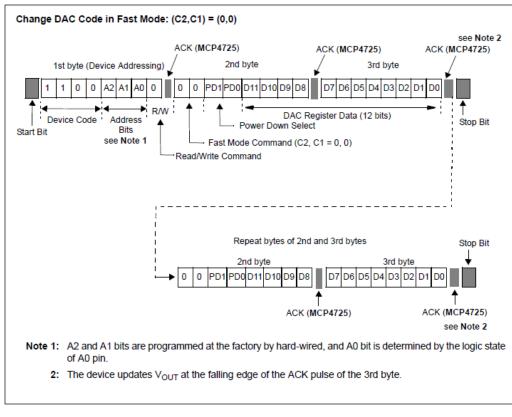


Figura 3.23. Tramas de comunicación I2C

Fuente: 12-Bit Digital-to-Analog Converter with EEPROM Memory in SOT-23-6.

https://www.sparkfun.com/datasheets/BreakoutBoards/MCP4725.pdf [consulta: 08 de abril del 2013]

Esta posibilidad se redujo a un solo módulo ya que el dispositivo adquirido viene acoplado en una tarjeta con circuitería necesaria para el funcionamiento del mismo y en ésta, se conecta el pin correspondiente al bit de direccionamiento, a GND.

El último bit de la primera trama es el encargado de indicar si es una comunicación para lectura o escritura, que en este caso tiene que ser de escritura ya que se pretende enviar al MCP4725 el código digital del valor analógico que se desea que saque.

En la segunda trama, la mitad corresponde a los modos de trabajo del módulo que se han seleccionado en modo rápido y normal respectivamente, que se logra poniendo en cero los 4 bits más significativos de la trama. La otra parte de ésta trama y la tercera, corresponden a los 12 bits para generar la salida analógica. A todo esto se suman las condiciones de "Start" y "Stop" que se deben enviar antes de las tramas y al final de ellas

respectivamente para que la comunicación se lleve a cabo. Además se deben configurar algunos registros pertenecientes al módulo conversor como: "SSPSTAT", "SSPCON1" y "SSPADD". En la figura 3.24 se muestra el extracto de código perteneciente a la configuración I2C que consta de las condiciones de "start", "stop" y el envío de las tres tramas de datos.

Figura 3.24. Configuración I2C

```
bsf SSPCON2,0
start
        nop
write_B1 movlw b'11000000'
        movwf SSPBUF
        btfss SSPCON1,7
        goto ACK 1
        bcf SSPCON1,7
        call dem 0
        goto write_B1
ACK 1
             btfss SSPCON2,6
        goto write_B2
        call dem 0
        goto ACK_1
write_B2 movlw b'00001111'
        movwf SSPBUF
ACK 2
             btfss SSPCON2,6
        goto write_B3
        call dem_0
        goto ACK_2
write_B3 movlw b'11111111'
        movwf SSPBUF
ACK 3
             btfss SSPCON2,6
        goto test_flag
        call dem 0
        goto ACK_3
test_flag btfsc flag,0
        goto stop
        bsf flag,0
        goto write_B2
        bsf SSPCON2,2
stop
        goto dem 1
        goto regresar
```

3.6 Desarrollo de red de adquisición

Los temas a tratar en el desarrollo de la red de adquisición contemplan:

- La configuración de los módulos en sus distintas facetas como coordinador y end device.
- El tratamiento de la información relacionada a los registros de configuración.
- Las herramientas necesarias tanto de software y hardware para llevar a cabo esta implementación.

3.6.1 Consideraciones previas respecto al coordinador

Se estableció inicialmente en el diseño de proyecto como equipo coordinador de red al Gateway ConnectPort X2, pero para realizar las labores de administración de red el equipo requiere de configuración y programación que exceden el alcance del proyecto. Para nuestros fines relacionados a la implementación red de adquisición se encontró como alternativa a un Xbee cargado con un firmware diferente, este firmware permite que dicho módulo funcione como un coordinador de red. Con esto se puede prescindir el uso del Gateway. El cambio de equipo aportará al proyecto tanto en los tiempos de desarrollo como económicamente.

3.6.2 Módulos Xbee

Al escuchar los términos Zigbee y Xbee muchas personas consideran que son lo mismo pero eso es totalmente falso. Zigbee es el estándar de comunicaciones para redes WSN (Wirelees sensor Network) el cual puede ser implementado por cualquier empresa que desarrolle transmisores que trabajen en este estándar, pero Xbee es un módulo o embebido que soporta una variedad de protocolos inalámbricos como WIFI, Zigbee, etc.

En el mercado existen muchas opciones de transmisor que trabajen en protocolo Zigbee los más importantes son los siguientes:

EL MRF24J40 Rf Transceiver desarrollado por la empresa Microchip, este módulo posee las siguientes características:

Estándar para transmisores 802.15.4

- Compatible con ZigBee ®, MiWi ™, MiWi P2P y con protocolos de red inalámbricos de propietarios.
- Interfaz serial simple y de 4 cables (SPI)
- Bajo consumo de corriente
- Diseño para montaje superficial de 40 pines.

EL AT86RF230 transceiver for Zigbee desarrollado por ATMEL de la línea de microcontroladores y embebidos AVR, ofrece las siguientes características:

- Alto rendimiento en transmisiones RF en banda 2.4GHz basado en estándar 802.15.4, Zigbee, 6LoWPan, SP100 y aplicaciones ISM.
- Bajo consumo de corriente
- Diseño para montaje superficial de 40 pines.

El Xbee Series 2 de MaxStream este dispositivo posee las siguientes características:

- Soporta el stack de protocolos IEEE 802.15.4, Zigbee, y protocolos propios
- Comunicaciones serial con microcontroladores PIC, AVR, etc.
- Microcontrolador interno con líneas analógicas y digitales.
- Bajo consumo de corriente
- Diseño para montaje through hole fácil instalación/desinstalación

Cabe destacar que en el caso de los transmisores AT86RF230 y MRF24J40 el diseño es de montaje superficial y es necesario la implementación de oscilador externo y una antena lo cual genera gastos extras.

Además la configuración y pruebas de estos módulos de transmisión son totalmente dependientes del microcontrolador que esté conectado a los mismos así que en el caso de detectarse una falla es más difícil de tratarla que en el caso de usarse un Xbee que nos brinda esa característica de modularidad.

Entonces una vez justificado el uso de Xbee en comparación con similares productos se procederá con la configuración de los mismos.

3.6.2.1 Interfaz para configuración de módulos Xbee

Como se describió anteriormente los módulos Xbee brindan la posibilidad de configuración sin la necesidad de un microcontrolador externo, ya que en el empaquetado trae implementado internamente un microcontrolador, el cual al conectarse con una PC puede establecer una comunicación vía puerto serial y así acceder a los registros de configuración.

Dichos registros se pueden configurar de distintas maneras y con distintos programas que se encuentran a disponibilidad el desarrollador como por ejemplo.

3.6.2.2 XbeeConfig Tool

Es un programa de código abierto y por lo tanto totalmente gratuito escrito por Tom Igoe para la plataforma processing este programa nos permite la configuración de los Xbee con el uso de una terminal y el adaptador USB Explorer de Sparkfun.



Figura 3.25. Interfaz frontal de software de configuración XbeeConfig Tool

3.6.2.3 X-CTU

Es programa desarrollado por Digi es la interfaz por defecto para el uso, pruebas y configuración de módulos Xbee.

X-CTU nos ofrece una interfaz tanto grafica como una comunicación mediante terminal, además posee características como empaquetado de información para uso de tramas API. Con este software podemos realizar cambios de versión de los módulos; con esto nos referimos a que si se hace necesario cambiar el comportamiento de un router a un end device o coordinador se lo puede realizar de una manera muy sencilla.

El programa es totalmente gratuito y ofrece actualizaciones para las versiones de los Xbee. Con este programa realizará el cambio de tipo de modem, debido a que se tendrá dos dispositivos configurados como end devices y un dispositivo configurado como coordinador.

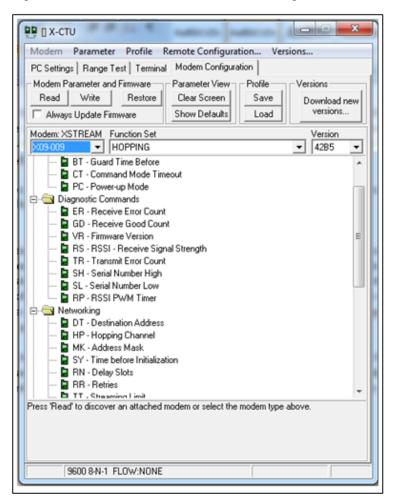


Figura 3.26. Interfaz frontal de software de configuración X-CTU

3.6.3 Desarrollo de un terminal serial de código propio en Labview®

La delimitación establecida para el proyecto dispuso que la configuración para los Xbee se llevara a cabo utilizando una interfaz desarrollado en Labview®.

El programa que debía desarrollarse para la configuración seria entonces un entorno similar al que ofrece Hyperterminal, pero el ambiente de trabajo del mismo es un ambiente poco amigable con el usuario, así que se recurrió a una mejor opción.

3.6.3.1 Coolterm

Se encontró entonces Coolterm, es un programa escrito por Roger Meier basado en lenguaje de programación orientado a objetos RealBasic, este desarrollador ha puesto a disposición del público un programa muy sencillo de utilizar.

Coolterm presenta las siguientes características:

- Capacidad de múltiples conexiones simultáneas si varios puertos serie.
- Visualización de los datos recibidos en texto o en formato hexadecimal.
- El envío de datos a través de pulsaciones de teclas, así como una "Enviar String" de diálogo que apoya la entrada de datos en texto o en formato hexadecimal.
- El envío de datos a través de copiar y pegar del texto en la ventana de terminal.
- Eco local de los datos transmitidos.
- Eco local de los datos recibidos (circular al remitente).
- Hardware (CTS, DTR) y control de flujo de software (XON).
- Ópticas indicadores de línea de estado.



Figura 3.27. Interfaz frontal de terminal serial CoolTerm

3.6.3.2 Desarrollo terminal serial en Labview®

Tomando como ejemplo a coolterm se desarrolló en Labview® un terminal serial, el cual nos servirá para configurar los módulos.

Se utilizo el suit de herramientas que nos ofrece el módulo VISA (Comunicación Serial) la interfaz grafica desarrollada se ve en la Figura 3,28.



Figura 3.28. Panel Frontal de Terminal Serial Implementado en Labview®

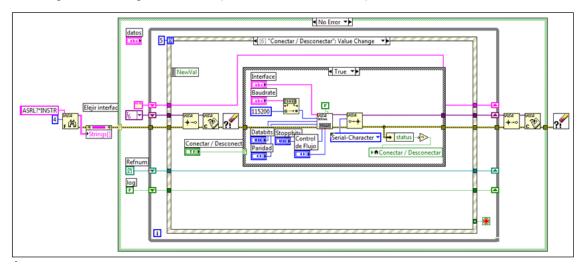


Figura 3.29. Diagrama de bloques de Terminal Serial Implementado en Labview®

3.6.4 Manejo de registros de configuración módulos Xbee

Para llevar a cabo la configuración de un módulo Xbee a través de un terminal serial es necesario conocer los códigos su significado y la manera adecuada de utilizarlos. Para estos nos remitimos entonces a la guía de producto de los Xbee series 2.

3.6.4.1Comandos AT

Estos comandos son la forma que los desarrolladores han implementado para configurar ajustar o modificar parámetros.

Los comandos AT nos permiten realizar la configuración de un módulo local o de un módulo remoto.

Para utilizar los comandos AT en necesario poseer un programa con una interfaz de comunicación serial como los descritos anteriormente, además del hardware necesario para este tipo de comunicación.

Se ha adquirido entonces El USB Explorer de la marca Parallax el cual se describió en el capítulo 2.

3.6.4.2 Estructura de un comando AT

La estructura de un comando AT se muestra en la Figura 3.30:

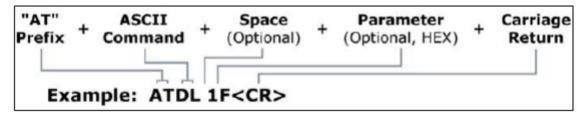
El prefijo AT que indica que la instrucción pertenece al modo comando.

Los dos siguientes caracteres se encuentran en formato hexadecimal corresponden al comando que se quiere modificar o preguntar.

El siguiente es el nuevo valor que se desea cargar al parámetro este valor al igual que el resto de partes debe estar en formato hexadecimal.

Si se deseara solo preguntar por el estado de un comando bastaría con ingresar AT y el comando en ASCII luego se presiona un ENTER en caso de utilizarse un microcontrolador se debe enviar los caracteres CR (carrier return) y LF (Line Feed).

Figura 3.30. Estructura de un comando AT < Xbee Guía de usuario> < Autor: Andrés Oyarce>



3.6.4.3 Suit de comandos AT

Para la configuración de un módulo mediante la terminal serial los Xbee poseen una cantidad my grande de comandos AT, estos comandos informan y configuran cada uno de los aspectos que envuelve el funcionamiento.

Se seleccionaron los comandos que entran en directa relación con el comportamiento esperado para el desarrollo de los módulos de adquisición. Los aspectos que se consideraron se han establecido con el fin de conseguir una correcta comunicación con el microcontrolador, comunicación con la PC estos aspectos son:

- Tasa de baudios,
- Velocidades de transmisión,
- Elementos presentes en la red de trabajo
- Comportamiento óptimo para reducir el consumo de energía.

Tabla 3.9. Extracto de comandos AT utilizados para la configuración

Comando	Rango	Descripción
AT		
AC	-	Aplica los cambios realizados explícitamente en
		la configuración

Continúa

AP	0 - 0x02	Habilita el modo de configuración API Defecto =
		0
		0 = Modo de API deshabilitado
		1 = Modo de API habilitado
		2 = Modo de API habilitado con carácter de
		escape
BD	0 – 0x07	Ajusta la tasa de transmisión entre el módulo y su
		cliente conectado a través de la interfaz serial.
		0 = 1200
		1 = 2400
		2 = 4800
		3 = 9600
		4 = 19200
		5 = 38400
		6 = 57600
		7 = 115200
СН	0x0B - 0x1A	Establece el canal por el cual se va a realizar la
		conexión RF entre módulos. Por defecto CH =
		0x0C
CE	0 - 1	Indica el comportamiento del módulo. Defecto =
		0
		0 = Dispositivo Terminal
		1 = Coordinador
CN	-	Salida del modo comando
DL	0 –	Ajusta los 32 bits menos significativos para el
	OxFFFFFFF	direccionamiento Defecto = 0
DH	0 –	Ajusta los 32 bits más significativos para el
	OxFFFFFFF	direccionamiento Defecto = 0
ID	0 – 0xFFFF	Ajusta Dirección PAN del módulo Defecto 0x3332
MY	0 – 0xFFFF	Configura la Dirección de 16 bits para el módulo.
		SI MY = 0xFFFF o 0xFFFE se habilita el modo de
		direccionamiento de 64 bits
ND	-	Reporta todos los dispositivos que se encuentran
		en el mismo canal y en la misma PAN que el
<u> </u>	<u> </u>	

Continúa

		módulo. El formato de respuesta es el siguiente en el modo transparente. MY (dirección de 16 bits) SH (Serial number High) SL (Serial Number low) DB (Fuerza de la señal proveniente de ese
		módulo)
SL	0 –	Entrega los 32 bits menos significativos del
	OxFFFFFF	numero serial del módulo
SH	0 –	Entrega los 32 bits más significativos del numero
	OxFFFFFF	serial del módulo
SP	1 – 0x68B0 (x	Ajusta el tiempo de duración en que un módulo
	10ms)	duerme o se mantiene en el modo SLEEP. Una
		vez buscado el periodo busca por un dato
		entrante si no hay nada vuelve a dormir y espera
		por un nuevo ciclo.
ST	1 – OxFFFF	Ajusta el tiempo de inactividad.
	(x1ms)	
WR	-	Guarda en la memoria no volátil del módulo,
		todos los valores de los parámetros.

3.6.5 Configuración de Xbee como coordinador de red

Como se describió anteriormente una red Zigbee debe poseer siempre un coordinador de red. Y en el desarrollo de este proyecto no será la excepción.

El coordinador será el elemento que conectado a una PC remota puede visualizar y enviar información desde y hacia un determinado módulo de adquisición.

Para realizar la configuración de coordinador es necesario tener los siguientes elementos de hardware:

- Xbee USB explorer
- Cable USB mini USB
- PC

Dentro de la PC debemos tener los siguientes elementos se software:

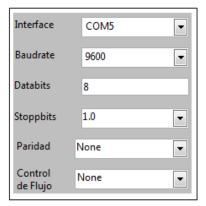
- Drivers conexión Parallax (Xbee USB explorer)
- Interfaz terminal serial

En caso de tener un programador Xbee serial se hace necesario el uso de un cable denominado RS232 a USB y los respectivos drivers instalados en la PC.

Una vez conectado el transmisor Xbee al programador y este al PC. Procedemos a abrir el software de configuración, este software como se dijo anteriormente podría ser Xbee Config Tool o X-CTU. Pero en nuestro caso utilizaremos la interfaz desarrollada en Labview® esta interfaz se comportar de la misma manera que los programas que podemos encontrar disponibles en la web.

Para realizar la programación el primer paso que debemos seguir es configurar nuestra puerto serial con los parámetros que posee el Xbee para lograr una comunicación exitosa los parámetros se muestran en la Figura 3.31.

Figura 3.31. Sección de configuración de parámetros en interfaz serial



Una vez configurados los parámetros para la comunicación serial realizamos el inicio de comunicación con el Xbee.

Este paso se realiza colocando el cursor en la pantalla de texto y digitando se manera seguida tres signos mas +++. Una vez ingresados estos símbolos esperaremos aproximadamente un segundo y si la comunicación fue exitosa el Xbee nos responderá con un OK.

En caso de no existir esta respuesta se debe revisar los valores ingresados en la sección de configuración de parámetros, y de manera más especifica revisar el puerto que el puerto COM sea el adecuado.



Figura 3.32. Establecimiento de conexión PC - Xbee mediante Terminal Serial

Una vez establecida la comunicación procedemos a ingresar los valores necesarios en los registros de configuración. La descripción de cada registro se realizó anteriormente.

Los valores que se cargaran a los registros se detallan en la Tabla 3.10.

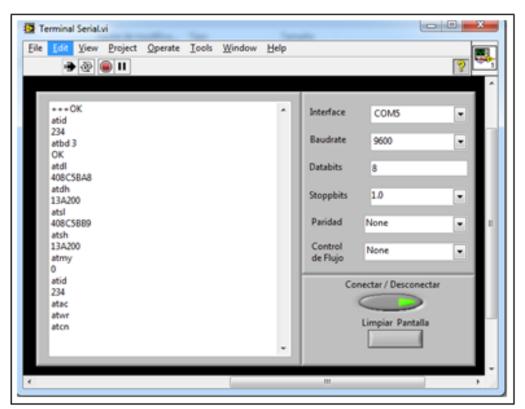
Comando Valor Justificación Comportamiento de Xbee como Coordinador **ATCE** 1 **ATAP** (*) Solicitar información de modo de configuración AP. **ATAP** 0 Deshabilitamos el modo AP **ATBD** 3 Baudrate cargado con una tasa de 9600 baudios. **ATCH** (*) Preguntamos por valor asignado al registro del canal de transmisión **ATID** 234 Cargamos registros dirección pan con valor 234 **ATCH** С Valor C(hex) en registro de canal.

Tabla 3.10. Valores correspondiente a los registros del módulo Xbee Coordinador

Continúa

	10	
ATNI	Coordinador	Cargamos valor String para identificación del
		nodo.
ATDH	13A200	Valor que se carga a dirección de destino 64 bits
		parte superior
ATDL	408C5BA8	Valor que se carga a dirección de destino 64 bits
		parte inferior
ATSH	13A200	Valor cargado a registro de dirección serial
		fuente, 64 parte superior
ATSL	408C5BB9	Valor cargado a registro de dirección serial
		fuente, 64 parte inferior
ATMY	0	Direccionamiento de 16 bits deshabilitado con 0
		cargado en el registro
ATAC	(*)	Aplica cambios realizados a la configuración
ATWR	(*)	Guarda en la memoria no volátil los cambios
ATCN	(*)	Salida del modo comando

Figura 3.33. Configuración de registros del módulo coordinador mediante terminal serial



3.6.6 Configuración de Xbee como dispositivo final

Se procede ahora con la configuración de los registros para los dispositivos end device, estos módulos utilizaran las mismas herramientas de hardware y software que los módulos coordinador.

La diferencia radica en los valores cargados a los registros y el direccionamiento.

Las tablas con los comandos y valores cargados a los respectivos registros juntamente con la justificación se detallan a continuación:

Tabla 3.11. Configuración de registros en Xbee para módulo de adquisición 1

Comando	Valor	Justificación
ATAP	(*)	Solicitar información de modo de configuración AP.
ATAP	0	Deshabilitamos el modo AP
ATBD	3	Baudrate cargado con una tasa de 9600 baudios.
ATCH	(*)	Preguntamos por valor asignado al registro del canal de
		transmisión
ATID	234	Cargamos registros dirección pan con valor 234
ATCH	С	Valor C(hex) en registro de canal.
ATNI	Disp	Cargamos valor String para identificación del nodo.
	1	
ATDH		Valor que se carga a dirección de destino 64 bits parte
		superior
ATDL		Valor que se carga a dirección de destino 64 bits parte
		inferior
ATSH		Valor cargado a registro de dirección serial fuente, 64
		parte superior
ATSL		Valor cargado a registro de dirección serial fuente, 64
		parte inferior
ATMY	0	Direccionamiento de 16 bits deshabilitado con 0
		cargado en el registro
ATAC	(*)	Aplica cambios realizados a la configuración
ATWR	(*)	Guarda en la memoria no volátil los cambios
ATCN	(*)	Salida del modo comando

Tabla3.11. Configuración de registros en Xbee para módulo de adquisición 2

Comando	Valor	Justificación
ATAP	(*)	Solicitar información de modo de configuración AP.
ATAP	0	Deshabilitamos el modo AP
ATBD	3	Baudrate cargado con una tasa de 9600 baudios.
ATCH	(*)	Preguntamos por valor asignado al registro del canal de
		transmisión
ATID	234	Cargamos registros dirección pan con valor 234
ATCH	С	Valor C(hex) en registro de canal.
ATNI	Disp	Cargamos valor String para identificación del nodo.
	2	
ATDH		Valor que se carga a dirección de destino 64 bits parte
		superior
ATDL		Valor que se carga a dirección de destino 64 bits parte
		inferior
ATSH		Valor cargado a registro de dirección serial fuente, 64
		parte superior
ATSL		Valor cargado a registro de dirección serial fuente, 64
		parte inferior
ATMY	0	Direccionamiento de 16 bits deshabilitado con 0
		cargado en el registro
ATAC	(*)	Aplica cambios realizados a la configuración
ATWR	(*)	Guarda en la memoria no volátil los cambios
ATCN	(*)	Salida del modo comando

3.7 Desarrollo de software de prueba en Labview®

Una vez realizada la explicación del tema concerniente a la programación del microcontrolador y la red de adquisición, con la configuración de sus diferentes componentes se procederá a realizar la implementación de una interfaz de prueba que en cuyo nombre expresa su objetivo y es el de poder evaluar de manera práctica y didáctica cada uno de los componentes que conforman a un determinado módulo de adquisición.

Se pretende realizar una interfaz basada en lenguaje de programación grafica, muchas veces ya citado en este proyecto y conocido como Labview®.

Los motivos por los cuales se optó por este tipo de lenguaje de programación son:

- La flexibilidad que nos ofrece
- La capacidad de visualizar nuestro código de una manera más amigable
- El entorno gráfico de Labview® logra desarrollos que antes tardaban meses y los reduce a pocas semanas o hasta días.
- Un comportamiento predictivo y herramientas muy variadas que se ajustan a cada necesidad.

EL desarrollo de dicho software se lo realizará en dos partes, la primera describe la interfaz grafica más conocida en Labview® como Panel de control. Esta interfaz grafica es la que estará en contacto directo con el usuario. Así que se describirá todos los elementos que en ella intervienen.

La segunda parte trata del desarrollo de programación, en Labview® se lo conoce como diagrama de bloques en esta parte se desarrolla todo basado en lenguaje gráfico todas las condiciones necesarias para el funcionamiento de la red, adquisición de datos, etc.

3.7.1 Desarrollo de interfaz gráfica (panel de control)

Anteriormente se estableció los lineamientos y la organización para información con una serie de codificaciones, divisiones en categorías y grupos. De igual manera en la interfaz grafica se mantiene esta filosofía y se trata de implementar de la manera más didáctica y funcionalmente sencilla. El objetivo de la organización de la interfaz grafica es lograr un entorno de trabajo lo mas simplificado posible.

EL usuario debe ser capaz de poder manipular la totalidad de opciones de configuración, comunicación y acceso a información con el uso de pocos controles.

La figura 3.34 presenta la interfaz grafica dividida en grupos y posterior a esto se desarrolla la explicación de cada uno de los elementos que componen cada uno de los grupos.

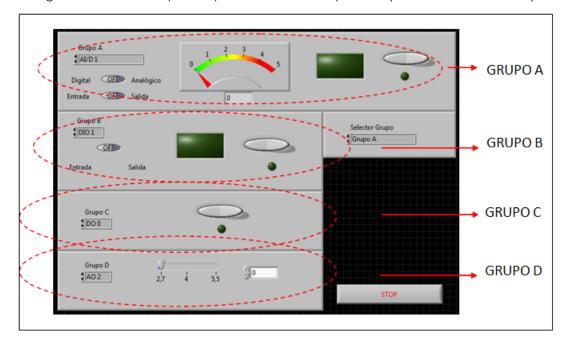


Figura 3.34 Interfaz de prueba para comunicación y control (Panel frontal, Labview®)

3.7.1.1 Grupo A

Como se describió anteriormente este grupo posee líneas de puerto multifuncionales y para las cuales se estableció un indicador y control respectivo que se detallan a continuación:

 Entrada Analógica: Este indicador será del tipo gauge, el mismo nos permite visualizar el valor que se está receptando en el correspondiente pin. Esta entrada puede acoger valores por ejemplo de cualquier tipo de sensor, o información de variaciones de voltaje de una fuente que tenga un voltaje máximo de 5 V.

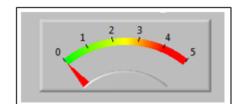
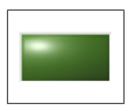


Figura 3.35. Indicador tipo Gauge implementado en interfaz de prueba

 Entrada Digital: Este indicador nos permite conocer el estado booleano de la respectiva entrada, el mismo es del tipo LED el objetivo del uso de este tipo de indicador es que nos pueda informar de manera simple si la entrada esta en un estado alto o bajo con el encendido o apagado de la luz representativa del led.

Figura 3.36. Indicador Led implementado en interfaz de prueba



• Salida Digital. Dentro del grupo A poseemos líneas que fueron categorizadas como líneas para envío de información. Específicamente estas líneas manejan información del tipo digital, obviamente los estado que se podrán enviar mediante estas líneas tendrán estado de alto y bajo. Debido a esto se escogió un pulsante para enviar el estado deseado, además junto a este interruptor se coloco un led que nos perimirá de manera visual comparar el estado de la línea sin necesidad de tener que estar en el sitio a donde ha llegado la información.

Figura 3.37. Control para líneas digitales (Switch ON-OFF) y led indicador



3.7.1.2 Grupo B

Las líneas pertenecientes al grupo B poseen dos tipos de función:

- Entrada digital.
- Salida digital.

Los indicadores para las respectivas funciones son los mismos que los mencionados anteriormente en el grupo A.

Remítase explicación respectiva para los indicadores de entradas digitales y accionadores de salidas digitales del grupo A.

3.7.1.3 Grupo C

Las líneas pertenecientes a este grupo como se ha explicado anteriormente poseen una función única y es la de salida digital, La explicación correspondiente al interruptor utilizado en la interfaz para este tipo de líneas se detalla en el grupo A.

3.7.1.4 Grupo D

Las líneas pertenecientes a este grupo son únicas en relación a todas las otras líneas debido a que poseen la función de salida analógica.

Están controladas mediante el puerto serial I2C. El dispositivo que utilizado para la representación en la interfaz es un controlador numérico de deslizamiento horizontal como Muestra la Figura 3.38. Los limites superior e inferior de este controlador se establecieron como 2.7 y 5.5 V respectivamente.

Además junto al controlador deslizante se agrego el display digital. Este display tiene doble función permite visualizar el valor que se desea cargar a la salida analógica configurada y mediante una entrada de teclado variar dicho valor con una mayor precisión ya que el ingreso de la magnitud se lo realiza mediante el teclado.

2,7 4 5,5

Figura 3.38. Control numérico de para interfaz I2C

3.7.1.5 Selección de líneas y funciones

Debido a la existencia de 4 grupos y dentro de cada uno de estos grupos una variedad de líneas de puerto que presentan además una diversidad de configuraciones posibles, es necesario encontrar una forma práctica en la que el usuario pueda escoger dentro un determinado grupo, una línea especifica, la configuración que desea darle a dicha línea y con esta selección se pueda visualizar de manera correcta la información entrante o saliente en el indicador destinado.

Con fundamento en esta necesidad se recurre a las herramientas de selección que nos ofrece Labview®, se utilizará selectores y controles tipo enumeración cuyo funcionamiento se detalla a continuación.

3.7.1.6 Controles tipo enumeración

Estos controles se utilizan para la creación de una lista cíclica.

EL valor presente en cada ítem es un string asociado a un número en lugar de solo un número como ocurre en los controles tipo anillo. Con este controlador se puede analizar casos respectivos en una maquina de estados o case structure.

El dato asociado al control puede cambiarse por otro tipo de dato según conveniencia en la opción Representation.

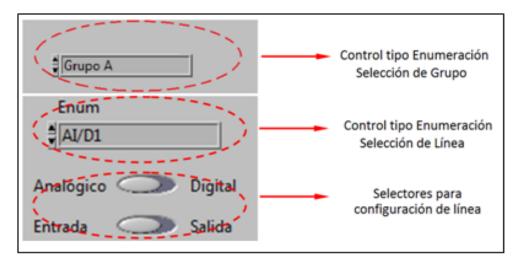


Figura 3.39 Selectores y control enumeración implementados en interfaz de prueba

3.7.1.7 Selectores

Los selectores tipo interruptor permiten escoger entre 2 tipos de configuración, con dos opciones en cada selector como se muestra en la figura 3.39. Estos selectores entregan una salida del tipo booleano, con el uso de estos selectores y el control tipo enumeración realizaremos el armado de los códigos para solicitud y envío de información. La organización de manera teoría de los códigos se la realizo anteriormente.

3.7.2 Desarrollo de programación (diagrama de bloques)

3.7.2.1 Diagrama general de software para adquisición y control

Para describir correctamente la manera en la que se ha desarrollado cada una de las instancias de software es necesario establecer una idea general, esta idea se ha representado mediante un diagrama de bloques en la Figura 3.40.

Existen en el diagrama etapas que se aplican de forma general para las diferentes opciones de configuración de línea estas opciones son son:

- Software para adquisición de líneas de entrada analógica (solicitud de información).
- Software para adquisición de líneas de entrada digital (solicitud de información).
- Software para adquisición de líneas de salida analógica (envío de información).
- Software para adquisición de líneas de salida digital (envío de información).

Se describirá en primer lugar las etapas generales que son:

- Comunicación
- Generación de código
- Envío de código

Posterior a esto se describirá en cada opción de configuración la respectiva etapa específica. Estas etapas son:

- Recepción de información
- Procesamiento de datos y visualización.

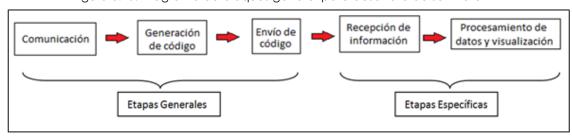


Figura 3.40. Diagrama de bloques general para desarrollo de software

.

3.7.2.2 Comunicación

La comunicación serial entre el módulo de adquisición y la interfaz de prueba en la PC se realiza mediante el uso del módulo VISA.

VISA es un lenguaje estándar I/O para programación en instrumentación. VISA se maneja como una API de alto nivel. Esta API llama a drivers que se encuentra en un nivel más bajo dentro de una jerarquía.

Para establecer una comunicación exitosa visa posee diferentes herramientas que nos permiten abrir el puerto de comunicación, escritura de datos, lectura, cierre de una sesión de comunicaciones ay el manejo de diferentes tipos de errores.

VISA

Serial GPIB VXI

OS Calls NI-488.2 NI-VXI

Figura 3.41 Jerarquía NI VISA. Fuente: Labview® VISA tutorial. http://www.ni.com/support/visa/vintro.pdf

3.7.2.3 Inicialización y configuración de puerto serial

En toda aplicación que requiere de una comunicación con dispositivos externos es siempre necesario el inicio de sesión de la comunicación. Además en cuanto a lo que respecta a la comunicación serial es necesario que determinados parámetros sean configurados de otra forma los datos que deseemos enviar recibir no podrán llegar a su destino.

La configuración de puerto se utiliza solo una vez en el programa de pruebas.

En la figura 3.42 se muestra la herramienta configuración para comunicación serial. Además de todos los valores precargados a los diferentes parámetros.

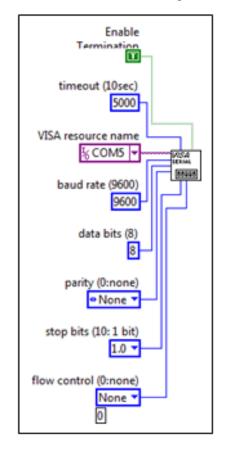


Figura 3.42. Herramienta VISA Configure Serial Port

3.7.2.4 Escritura y lectura

Estas herramientas del módulo VISA nos permiten la escritura y lectura de información respectivamente en la interfaz especificada en el parámetro de configuración.

Las herramientas para escritura y lectura se utilizan de manera recurrente y especifica en cada uno de las partes del desarrollo del software. Por ejemplo el uso de lectura y escritura VISA no va en el mismo orden en una entrada analógica como en una salida digital. La información circundante que por estas herramientas será tanto enviada como receptada están en formato string.

VISA Write

VISA resource name

write buffer
error in (no error)

VISA resource name
byte count
error out

VISA resource name
byte count
error in (no error)

Figura 3.43. Herramientas VISA Write y VISA Read

3.7.2.5 Cierre de sesión de comunicación

Esta herramienta cierra la sesión de comunicación de la interfaz especificada en la configuración del puerto serial. EL cierre de sesión al igual que la configuración se lo realiza una sola vez durante todo el programa. Es el último paso que la interfaz de prueba llevará a cabo.

Conjuntamente con el cierre de sesión se ha colocado un controlador de error simple, el cual indica si algún error mediante la devolución al usuario de un cuadro de dialogo.

En la figura 3.44 se muestra las herramientas de cierre de sesión y controlador de error simple interconectadas entre si además de la imagen de descripción respectiva.

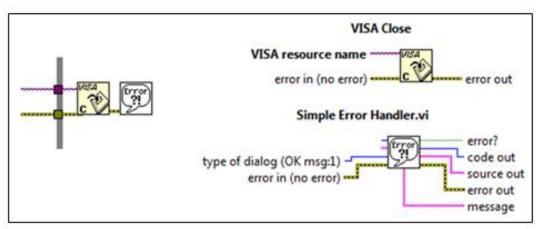


Figura 3.44. Herramientas VISA Close y Simple Error Handler

3.7.2.6 Generación de código

Con el uso se herramientas de selección de caso, controles tipo enumeración e interruptores se desarrolló dos maquinas de estados, la primera nos permitirá escoger el grupo, la segunda nos permitirá seleccionar una línea determinada dentro del grupo preseleccionado.

Adicionalmente a esta máquina de estado se utilizaron herramientas para la elaboración de arreglos tipo string.

Así se concatenaron datos tipo String que se desea enviar a través de la red de adquisición.

"AI/D 2" 🔻 11000001 ◀ True ▼ Anl o dig Grupo A String Grupo A 1 2 AI/D 2 True -Ent o Sal Grupo A TEN Digital Analógico Grupo A Salida Entrada

Figura 3.45. Capturas del diagrama de bloques y panel frontal para generación de código

En la Figura 3.45 podemos observar el resultado de la configuración para la selección de la línea AI/D 2 perteneciente al grupo A y el código generado a través de la programación en Labview®.

3.7.2.7 Envío de código

En la figura 3.46 podemos observar la sección del programa encargada de enviar el código generado. Por motivos didácticos se dividirá en tres partes:

- 1. Segmentación y conteo de bits.
- 2. Demora.
- 3. Lectura de datos de sincronía.

Figura 3.46 Etapas de código de uso común en diagrama de bloques

1. Segmentación y conteo de bits

En esta parte se extrae 1 bit a la vez del código antes generado. El bit extraído se envía con el uso de la herramienta VISA Write descrita anteriormente. Además se implementa un contador que llevara el registro

de la cantidad de bits enviados. Este contador al terminar de enviar todos los bits emitirá una señal booleana TRUE que terminara con la etapa de envío de código.

Esta primera parte está en estrecha relación con la parte tres.

2. Demora

Se ha establecido un tiempo para permitir el paso correcto entre la parte 1 y parte 3, debido a que en la parte tres se utiliza la herramienta VISA read, es necesario un tiempo de espera para garantizar la lectura de la información.

3. Lectura de datos de sincronía

Esta parte de la etapa de envío de código está encargada de recibir un dato de sincronía proveniente del microcontrolador, la herramienta de comunicación a utilizarse es VISA Read.

Dicho dato es un signo +, cada vez que se reciba este dato se habilitara a la parte 1 a enviar el siguiente bit extraído del código. Hasta que se complete el envío de datos y se culmine con esta etapa.

3.7.2.8 Software para adquisición de líneas de entrada analógica (solicitud de información)

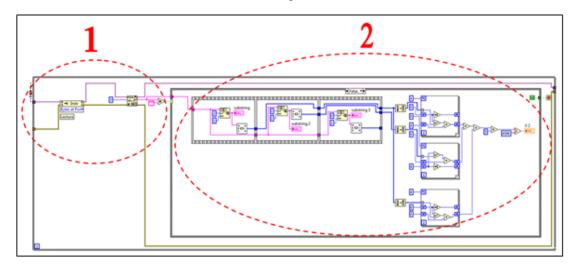
En la figura 3.47 se puede observar el extracto de software específico para la opción de configuración de una línea como entrada analógica. Dicha sección de código contiene las etapas de Recepción de información etiquetada con el numero 1 y procesamiento de datos y visualización etiquetada con el numero 2.

1. Recepción de información

Con el uso de las herramientas VISA Read y Property node, extraemos los tres bytes que el microcontrolador ha enviado hacia la interfaz de prueba. Además se realiza una comparación para determinar información existente en el buffer de recepción. Esta comparación se la realiza con el fin de no realizar actividades en falso en caso de no existir información receptada.

Una vez que la comparación ha resultado positiva el código pasara hacia la sección de procesamiento de datos y visualización.

Figura 3.47 Extracto de código específica para configuración de líneas como entrada analógica



2. Procesamiento de datos y visualización

Los bytes obtenidos en la etapa de recepción de la información son el resultado de la conversión analógica a digital llevada a cabo por el módulo ADC del microcontrolador. Estos valores son enviados en formato hexadecimal, cada uno de los bytes en este formato es convertido a binario.

Una vez realizada dicha conversión, con los tres bytes se tendrá un tráiler de información en formato binario.

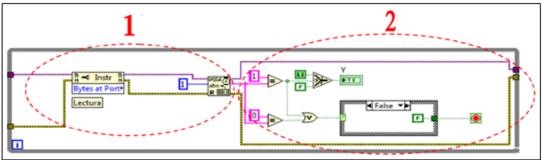
A continuación se obtendrá el equivalente decimal de dicha agrupación de bits. Como anteriormente se explico al tener una resolución de 12 bits en el ADC se poseen 4096 niveles lógicos dentro del rango de voltaje que para el desarrollo del proyecto serán entre 0 y 5 VDC.

Una vez obtenido el valor decimal respectivo a la conversión, se obtiene el voltaje correspondiente a dicho nivel mediante una regla de tres realizada con herramientas matemáticas. Este valor será posteriormente enviado hacia el indicador correspondiente para la visualización en la interfaz grafica.

3.7.2.9 Software para adquisición de líneas de entrada digital (solicitud de información)

La figura 3.48 corresponde a la sección de código específico para las etapas de recepción de información y procesamiento de datos y visualización, cada etapa esta etiquetada con los números 1 y 2 respectivamente.

Figura 3.48 Extracto de código especifico para configuración de líneas como entrada digital



1. Recepción de información

La operación de recepción de información en este tipo de configuración de línea utiliza únicamente las herramientas VISA Read y Property node para leer el único byte que el microcontrolador adquiere por el puerto anteriormente configurado.

2. Procesamiento de datos y visualización

Una vez obtenido el byte que contiene la información mediante herramientas de comparación se determina si el dato proveniente fue un estado alto 1, o un estado bajo 0. Luego de realizar dichas comparaciones se procede a ubicar la información en el indicador adecuado en la interfaz grafica.

3.7.2.10 Software para adquisición de líneas de salida analógica (envío de información)

La figura 3.49 presenta la selección de las etapas de generación de valor analógico y envío de tramas dichas secciones están respectivamente etiquetadas.

Figura 3.49 Extracto de código específico para configuración de líneas como salida analógica

1. Generación de valor correspondiente a salida analógica

En esta sección del código se realiza la transformación en valor binario de 12 bits y posteriormente el equivalente hexadecimal de valor establecido por el usuario en el control numérico que nos permite fijar la salida analógica y variarla entre 0 y 5VDC con una resolución de 0,001 VDC.

Esta resolución se logra gracias a los 12 bits que nos entregan 4096 niveles en los que se divide el rango de voltaje ya mencionado.

Una vez generado el valor en 12 bits se lo secciona en tres tramas de 4 bits de cada una y se obtiene el valor en hexadecimal correspondiente. Nótese que el orden en el que se ha dispuesto las tramas permite el posterior envío de la tramas desde el valor más bato del dato LSB.

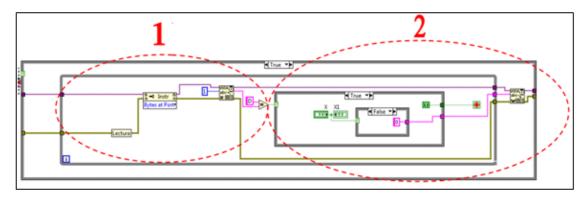
2. Envío de tramas

Una vez generado los correspondientes datos en hexadecimal del valor para la línea de salida, en esta sección se realiza el envío hacia el módulo de adquisición de dichos datos, pero se ha tenido especial cuidado en la transmisión ya que se envía los caracteres hexadecimales desde el valor menos significativo. Además para evitar una descoordinación en la transmisión o pérdida de paquetes, se desarrolla un protocolo de sincronía en el cual se envía el dato por parte de la interfaz y el módulo notifica la correcta recepción e informa que se encuentra listo para una nueva transmisión.

3.7.2.11 Software para adquisición de líneas de salida digital (envío de información)

La figura 3.50 presenta la selección de las etapas recepción de información y visualización de datos respectivamente etiquetadas,

Figura 3.50 Extracto de código especifico para configuración de líneas como salida digital



1. Recepción de información

La sección correspondiente a la recepción de información proveniente del microcontrolador permite a la interfaz establecer una operación de sincronía ya que el dato a recibirse será el código ASCII correspondiente a una letra D. Dicho código se recibe correctamente con el uso de las herramientas VISA Read y Property node. Posterior a esto se realizará una operación de comparación en la cual un resultado booleano true del código dará paso a la etapa de procesamiento de datos. En caso de resultar en un estado booleano false la interfaz repetirá el proceso de configuración de línea.

2. Procesamiento de datos y visualización

Posterior a la comparación de sincronía se establece el procesamiento de datos, en el caso de líneas configuradas como salida digital el procesamiento se da en dos etapas. En la primera parte se realizará lectura del control tipo interruptor implementado en la interfaz gráfica, este control entregará a la programación el estado booleano que el usuario haya establecido, este estado obviamente será 1 (encendido) o 0 (apagado). Una vez receptado el estado a transmitir se utilizará la herramienta VISA Write que enviará la información en cuestión hacia el microcontrolador estableciendo la operación lógica deseada por el usuario del sistema.

CAPÍTULO 4 PRUEBAS, RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Introducción

El capítulo final del proyecto presenta los resultados de una serie de pruebas realizadas para la comprobación de la funcionalidad, estabilidad y fiabilidad tanto de los módulos de adquisición, módulo router y red en general.

Se someterán cada una de las características funcionales del módulo de adquisición de datos, a una verificación de concordancia de la información.

Cada una de las pruebas realizadas se desarrolla sobre el prototipo real ya implementado tanto en hardware como en firmware.

Además de obtener conclusiones resultantes de la serie de pruebas, se realizarán recomendaciones de futuras mejoras aplicables al sistema y componentes individuales.

4.1 Prueba de funcionamiento para configuraciones específicas de línea

En esta prueba se realzará la evaluación de cada una de las opciones de configuración de línea establecidas, pero debido a la cantidad de opciones que presentan, se divide a esta prueba en 2 partes:

- Línea multifunción (Entrada analógica o digital y salida digital).
- Línea función única (Salida analógica).

4.1.1 Prueba para línea multifunción

La línea de puerto sobre la cual se desarrollará esta prueba es AI/D1, la misma que, al igual que todas las líneas de puerto similares enmarcadas dentro del grupo A, posee la cualidad de ser configurada de tres maneras diferentes. Se realizará entonces la configuración en cada una de estas opciones con el uso de la interfaz de prueba y se respaldará su funcionamiento con herramientas tales como multímetro y cámara de fotos.

4.1.1.1 Prueba de línea multifuncional como entrada analógica

Utilizando la interfaz de prueba en la estación remota, se establecen los parámetros de configuración, mediante las herramientas de selección para el funcionamiento de la línea, como una entrada analógica.

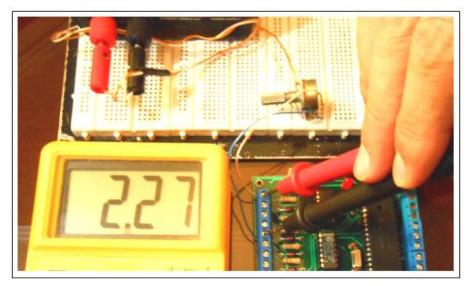
Previamente se ha realizado la conexión del puerto AI/D1, con una fuente de voltaje variable entre 0 y 5VDC y se la establece en un valor de 2.27VDC.

Como se puede observar, el valor registrado a través del conversor AD de la tarjeta de adquisición y transmitido hacia la PC, es exactamente el mismo que el medido con el multímetro (Figura 4.2), cabe mencionar que, si existen variaciones aleatorias en el registro de datos analógicos, estas normalmente presentan una diferencia entre el dato real y dato transmitido de máximo 0,01 VDC, lo cual corrobora que el módulo de adquisición presenta los datos analógicos con una precisión en su medida, muy notable.

Figura 4.1 Interfaz de prueba en estación remota para configuración de entrada analógica



Figura 4.2 Medición de entrada analógica y corroboración de datos con multímetro



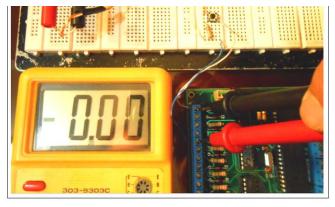
4.1.1.2 Prueba de línea multifuncional como entrada digital

Se realizará la prueba de funcionamiento de la línea multifuncional AI/D1, configurada como entrada digital. Para esta prueba se utilizará la interfaz de terminal local, es decir, se conectará directamente la PC al módulo de adquisición por medio de un cable USB – RS232, para así comprobar a la vez el correcto funcionamiento de la conexión por cable. En la interfaz de prueba de la estación local se utilizan los selectores del panel frontal para conseguir la configuración deseada.

Previamente se ha realizado la conexión que simula una señal digital (0 o 5VDC), esta señal se la logra con el uso de una fuente y un pulsante con una resistencia de pull up hacia GND. Los niveles de voltaje alto y bajo en esta son, 4.61 y 0 VDC respectivamente. Es necesario mencionar que el módulo de adquisición recibe valores desde 1.61 hasta 5 VDC como un estado alto o 1 lógico y desde 0 a 1.59 VDC como estado bajo o 0 lógico.

Figura 4.3 Resultados de funcionamiento de línea como entrada digital en interfaz de prueba

Figura 4.4 Ingreso de estado bajo en línea AI/D1 configurada como entrada digital



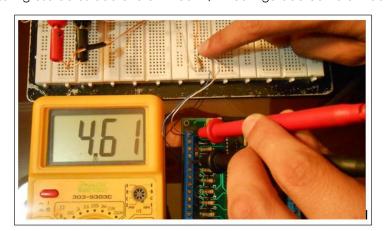
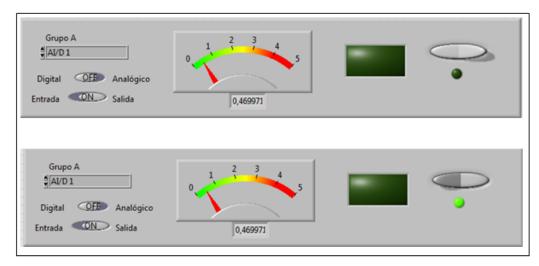


Figura 4.5 Ingreso de estado alto en línea AI/D1 configurada como entrada digital

4.1.1.3 Prueba de línea multifuncional como salida digital

El análisis de funcionamiento de la línea AI/D1 configurada como salida digital, se lo realiza de manera similar a las anteriores pruebas. La conexión con el módulo de adquisición utiliza un led y una resistencia de 220Ω conectados a las borneras de salida. El uso de la resistencia es por motivo de limitar el voltaje de salida que es de 5VDC y podría dañar el led. En las figuras 4.6, 4.7 y 4.8 es posible corroborar el funcionamiento del módulo de adquisición y de la red por medio de la activación del diodo led indicador, que funciona como medio de aviso visual en la interfaz de prueba.

Figura 4.6 Resultados de funcionamiento de línea configurada como salida digital, en interfaz de prueba



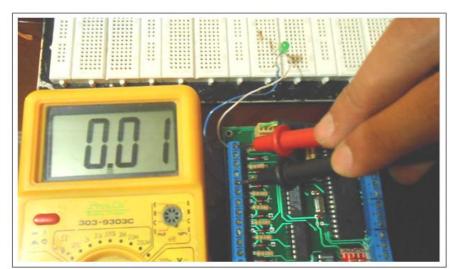
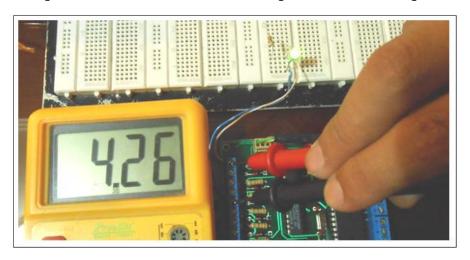


Figura 4.7 Estado bajo en línea AI/D1 configurada como salida digital

Figura 4.8 Estado alto en línea Al/D1 configurada como salida digital



4.1.2 Línea de función única (Salida analógica)

Mediante la interfaz de prueba remota, se realizará la configuración para el funcionamiento de la línea AO1. Esta línea posee una única función y es el de proporcionar una salida variable de voltaje desde 0 a 5VDC. Como se mencionó anteriormente la resolución que ofrece el MCP4725 es de 12 bits, con lo cual se tendrán 4096 valores dentro del rango ya mencionado. Así, por motivos de prueba, se configura el control de tipo desplazamiento en la interfaz ajustándolo a un voltaje de 1.81VDC. Se corrobora entonces el valor en la bornera de salida del módulo con el uso de un multímetro.

Como se observa en la figura 4.9, se tiene una salida de voltaje analógico con un valor de 1.80859VDC, este valor es redondeado por la interfaz en Labview® a un valor de 1.81VDC, pero debido a la resolución del multímetro se visualiza un valor de 1.82VDC. Se observo durante toda la prueba una concordancia excelente entre el dato presente en la interfaz de prueba y en el módulo de adquisición así como de tiempo de respuesta muy cortos.

Figura 4.9 Resultados de funcionamiento de línea configurada como salida analógica en interfaz de prueba



Figura 4.10 Medición de salida analógica y corroboración de datos con multímetro



4.1.3 Resultado

Los resultados obtenidos para cada una de las configuraciones posibles de una línea multifuncional fueron satisfactorios. Se comprobó con esta prueba la exactitud y concordancia de la información en el ámbito de adquisición y generación de señales analógicas y digitales. Además de esta manera se logra comprobar el correcto funcionamiento del sistema de selección de

línea y generación de código, debido a que no existieron problemas al utilizar la línea deseada en alguna de las configuraciones posibles.

4.2 Prueba de funcionamiento de alarma contra sobre-voltajes

En capítulos anteriores se desarrolló tanto a nivel de hardware como de firmware y software, un sistema de alarma para protección del módulo de adquisición en el caso de que una línea multifunción sea alimentada con un voltaje excesivo. Se estableció el voltaje máximo de adquisición en 5V. Al superar el voltaje máximo el hardware del módulo de adquisición crea una alarma que alerta al microcontrolador del sobrevoltaje. El microcontrolador emitirá una alarma visual sobre un led para alertar al operario sobre el sobrevoltaje presente en el módulo.

Además, de manera inalámbrica se transmitirá una señal de alarma hacia la PC, para crear en el software un aviso con el uso de un cuadro de dialogo. Este cuadro de dialogo se repetirá de manera recurrente hasta que la señal enviada por el microcontrolador deje de ser emitida y esto solo ocurrirá una vez que haya sido corregido el sobre-voltaje. Las figuras 4.9 y 4.10 demuestran el funcionamiento frente a un sobre-voltaje y los resultados del sistema de alarmas tanto a nivel de hardware, firmware y software. Además se corrobora el nivel de tensión peligroso con el uso de un multímetro.

Grupo A AI/D5 Digital ON Analógico Entrada OFF Salida 4,99878 Grupo B 1 × Selector Grupo DIO 1 Sobrevoltaje en linea de puerto REVISAR CONEXION (Max 5V) Grupo A OFF ACEPTAR Salida Entrada

Figura 4.11 Resultado de mensaje de alarma de sobre-voltaje, en línea multifunción, en interfaz de prueba



Figura 4.12 Señal de sobrevoltaje en línea de puerto de módulo de adquisición

4.2.1 Resultados

Los resultados del sistema de alarmas demostraron un comportamiento eficiente tanto a nivel de hardware como de firmware y software. Los tiempos de reacción de las señales informativas son muy pequeños con esto se comprueba que el usuario del sistema será avisado oportunamente de errores en la interconexión de sus sensores o sistema de acondicionamiento de señal para poder tomar las medidas necesarias.

4.3 Prueba de calidad de transmisión y recepción inalámbrica

La prueba de comunicación inalámbrica evalúa ámbitos como cantidad de bits recibidos e intensidad de señal recibida entre el router y un módulo de adquisición en términos de distancia. Se utilizará el software X-CTU para la obtención de los datos en la opción "Range Test", con la configuración por defecto. Se habilita la opción para la visualización de la intensidad de potencia recibida. El software X-CTU envía desde un Xbee a otro una trama de 32 bytes y el Xbee receptor devuelve al origen la trama recibida.

Se tomarán medidas de intensidad de recepción a 25 m, 50 m y 100 m.

ВВ [COM3] X-CTU [COM3] X-CTU - - X PC Settings Range Test | Terminal | Modern Configuration | PC Settings Range Test Terminal Modem Configuration -70 -66 Percent 76.3 ercent 65.3 Stop R R a n g e R a n g e S Clear Stats S S Advanced >>> Advanced >>> Good 74 Good C Loop Back Bad Bad 33 Timeout waiting for data
Timeout waiting for data for data for data for data waiting for data MN00123456789:;<->
waiting for data
waiting for data Timeout waiting for data Timeout waiting for data Transmit Receive Transmit Receive COM3 9600 8-N-1 FLOW:NONE COM3 9600 8-N-1 FLOW:NONE

Figura 4.13 Medida de recepción de datos e intensidad de señal de comunicación entre coordinador y módulo a 25 m

Figura 4.14 Medida de recepción de datos e intensidad de señal de comunicación entre coordinador y módulo a 50 m



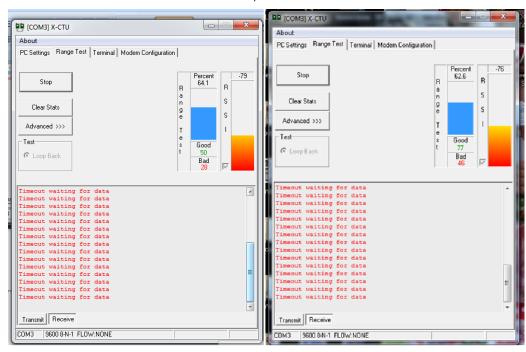


Figura 4.15 Medida de recepción de datos e intensidad de señal de comunicación entre coordinador y módulo a 100 m

4.3.1 Resultados

La prueba de calidad de transmisión y recepción inalámbrica demuestra que a una distancia de 25m, se tiene un porcentaje promedio de recepción de paquetes de aproximadamente 67 % con una intensidad de señal de recepción de -70 dbm.

A una distancia de 50 metros, el porcentaje de recepción mejora debido a que se establece una mejor línea de vista, el porcentaje promedio de paquetes recibidos es de 87 % y la intensidad de señal es de -77dbm.

A los 100 metros de distancia en línea de vista, se tiene un porcentaje promedio de recepción de paquetes de 63% y el nivel de RSSI promedio es de -66 dbm.

Los módulos Xbee garantizan a una distancia de 100m una transmisión fiable, además, existieron perdidas de paquetes debido a descoordinación en segundos para la activación de la prueba.

En caso de colocarse un obstáculo o no tener una línea de vista totalmente recta se tienen pérdidas de información y del nivel RSSI.

4.4 Conclusiones

Se comprueba que el uso de embebidos Xbee para el establecimiento de enlaces inalámbricos en ambientes industriales, es una excelente opción debido a su bajo coste y características de configuración flexibles, ya que la capacidad de direccionamiento y establecimiento de parámetros según sea la necesidad del ambiente de trabajo, permite direccionar información de una manera muy sencilla en una red punto – multipunto o mallada.

EL uso de un lenguaje de programación gráfico como Labview® para el desarrollo de interfaz de control o adquisición, es una incomparable opción debido a que presenta características y herramientas muy predictivas y especificas que simplifican y minimizan el trabajo, así como los respectivos tiempos de desarrollo como una facilidad para la corrección de errores y expansión de código según la necesidad.

El desarrollo de un módulo de adquisición y control que puede presentar características de multifuncionalidad en sus líneas de puerto y protecciones, ofrece una gran ventaja respecto a otros productos similares que se encuentran en el mercado. Al presentar esta flexibilidad que se acompaña de muy buenas resoluciones en caso de líneas analógicas y tiempo de respuesta cortos en líneas digitales, se ofrece un equipo con mucho futuro que podría ser muy bien recibido en el campo industrial.

EL establecimiento de una red de adquisición y control basada en un desarrollo adecuado de software, firmware y hardware que presente una gran fiabilidad, escalabilidad y robustez, demuestran que el proyecto presenta un futuro prometedor en ámbitos industriales ya existentes, debido a que se adaptaría fácilmente a sus áreas de sensorización remota, además facilitaría la instalación en industrias nuevas ya que se adaptaría al crecimiento de la misma desde cero.

4.5 Recomendaciones

Una mejora recomendada a partir de la experiencia de las pruebas realizaras en el proyecto, es el uso de un Xbee serie 2 en versión PRO. Debido a que con estos módulos se tiene un alcance de hasta 1.2 km y con una mejor tasa de transmisión, lo cual nos brinda un rango mucho más amplio de cobertura y mayor fiabilidad en la calidad de la información circundante en la red.

Tras el desarrollo del hardware correspondiente al módulo de adquisición y control, se observó que aunque se obtuvo un hardware con dimensiones físicas reducidas, es posible lograr un equipo con un tamaño más pequeño gracias al uso y diseño del mismo con componentes micro-electrónicos de montaje superficial. Aproximadamente existiría una reducción de un 40 % en el tamaño total del módulo, aportando facilidad de instalación y economía en la implementación.

Aunque el sistema de alarmas presentó un excelente funcionamiento, es posible mejorar el mismo, además de utilizar de mejor manera el espacio con el uso de un microcontrolador para detectar cambios en las entradas de adquisición.

Se plantea así como mejora, el uso de un microcontrolador de menor cantidad de pines para la detección de sobre-voltajes y generación de alarmas de una manera específica, es decir, con el uso de este elemento el usuario además de ser alertado del problema también podría ubicar el fallo en la línea especifica en la que se está produciendo.

Debido a que la DAC I2C MCP 4725 de la casa "Sparkfun electronics" presenta la restricción de no permitir el uso de más de un módulo, ya que el pin A0 que recibe la dirección asignada por I2C está a GND, generando una dirección 0, es necesario utilizar un componente que tenga habilitado físicamente este pin para el desarrollo de más de una opción de salida analógica en el módulo de adquisición.

4.6 Análisis de Costos

Se desglosa a continuación los costos de cada material involucrado en el proyecto:

Tabla 4.1 Costo tentativo por módulo de adquisición

Componentes	Costo
Microcontrolador 18f4553	12
Conversor D/A MCP4725	8
Modulo de transmisión Xbee S2	25
PCB (Printed Board Circuit)	40
Adaptador de pines para Xbee	5
Materiales electrónicos varios	30
Carcasa	20
Total	140

Tabla 4.1 Costo tentativo por elementos de red

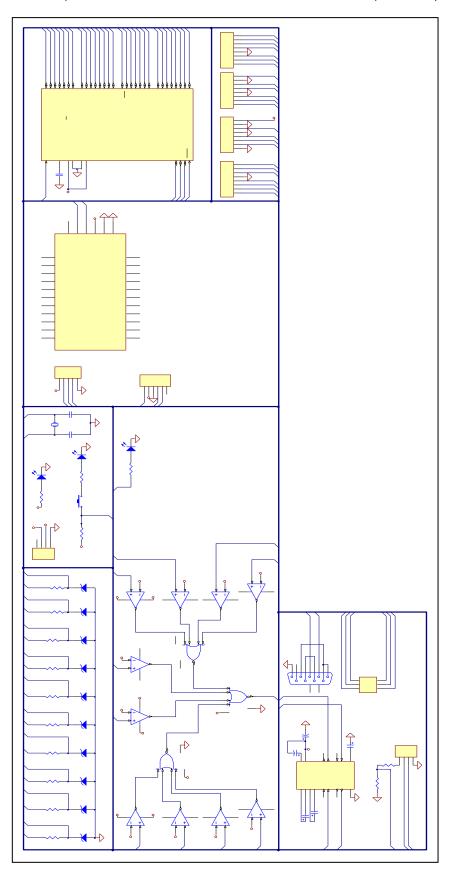
Componentes	Costo
Modulo Xbee Router	25
Materiales electrónicos varios	20
Adaptador de pines para Xbee	5
PCB	20
Carcasa	20
Total	90

BIBLIOGRAFIA

- 1. AXELSON Jan, The serial port complete, USA, Lakewiew research, p12 13, 1ra edición, 2000.
- BOYLESTAD Robert, NASHELSKY Louis, Electrónica teoría de circuitos y dispositivos electrónicos, México, Pearson Education, p 37 - 39, 8va edición, 2003.
- 3. DIGI International Inc., XBee™ Series 2 OEM RF Module, USA, p 5 20, p 27- 40, 2008.
- 4. FAIRCHILD Semiconductor Inc, Zeners 1N4728A 1N4752A, p 1-2.
- MICROCHIP Technology Inc, PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet,
 USA, 2006, p 202 258, p 259 268, 2001.
- MICROCHIP Technology Inc, PIC18F2458/2530/4458/4553 Data Sheet.
 USA, p 19 28, 2007.
- 7. MICROCHIP Technology Inc, MCP4725 12-Bit Digital-to-Analog Converter with EEPROM Memory in SOT-23-6, USA, 2007, p 1-32.
- 8. PHILIPS Semiconductors Inc, HEF4072B gates, Dual 4-input OR gate, p 1 3, 1995.
- 9. TEXAS Instruments Inc, MAX232, MAX232I Dual EIA 232 DRIVERS/RECEIVERS, USA, p 1 18, 2004.
- 10. VALVERDE Jorge, El estándar inalámbrico Zigbee, Perú, Universidad Nacional de Trujillo, 2007, p 1 22, 2007.

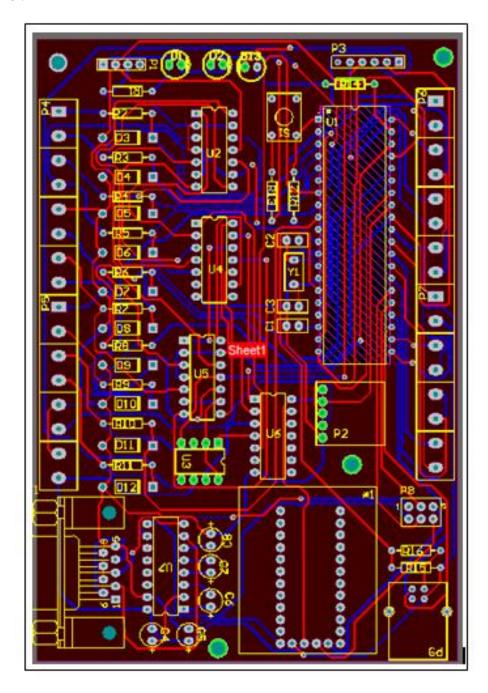
ANEXOS ANEXO 1

Diagrama esquemático del hardware de módulo de adquisición y control



ANEXO 2

Captura de imagen del PCB correspondiente al módulo de adquisición y control.



ANEXO 3

Diagrama esquemático y captura de imagen del PCB correspondiente al módulo coordinador.

