



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**Desarrollo e implantación de un interruptor inteligente basado
por telemetría ZigBee**

TESIS
Para obtener el grado de
Ingeniero en Redes

PRESENTA
Luis Antonio López Monroy



DIRECTOR DE TESIS
Dr. Freddy Ignacio Chan Puc

ASESORES
Dr. Homero Toral Cruz
M.C. Emmanuel Torres Montalvo





UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Trabajo de Tesis elaborado bajo supervisión del Comité de asesoría y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

INGENIERO EN REDES

Comité de Trabajo de Tesis

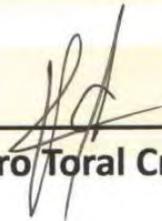
Director:



Dr. Freddy Ignacio Chan Puc

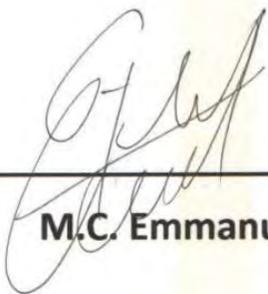


Asesor:

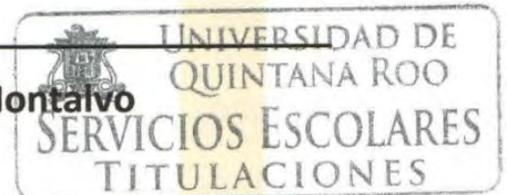


Dr. Homero Toral Cruz

Asesor:



M.C. Emmanuel Torres Montalvo



Chetumal Quintana Roo, México, diciembre de 2014

Dedicatoria

Primero que nada esta tesis se la dedico a Dios quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerza para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido un privilegio ser su hijo, son los mejores.

A mi hermana, que aunque pareciera que siempre estamos en una batalla constante, hay también momentos en los que nos unimos para lograr cosas maravillosas. Gracias por no solo ayudarme a concluir esta etapa en mi vida, sino por todos los bonitos momentos que hemos pasado en nuestras vidas. Te quiero.

Agradecimientos

Son muchas las personas especiales a las que me gustaría agradecer su amistad, apoyo, ánimo y compañía en las diferentes etapas de mi vida. Algunas están aquí conmigo, otras en mis recuerdos y algunas en mi corazón. Sin importar en donde estén o si alguna vez llegan a leer estos agradecimientos quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

A mi Madre, agradezco con todo mi corazón, que me hayas ayudado e impulsado a estudiar, que siempre hayas estado conmigo en mis alegrías y tristezas, tú siempre has sido para mí una súper mujer que me ha enseñado a luchar en la vida. Ahora que termino mis estudios te lo agradezco ya que es la culminación de tus esfuerzos combinados con los míos.

A mi Padre, agradezco de corazón todos tus esfuerzos y sacrificios, la ayuda que siempre me diste, la disponibilidad que siempre has mostrado para ayudarme, porque desde niño me has enseñado la honradez, la honestidad y la perseverancia, ahora que culmino el camino profesional es también tu culminación de ver tus esfuerzos en mí.

A mi hermana, hoy alcanzo este objetivo que veía inalcanzable, agradezco tus ánimos, motivaciones y en algunas ocasiones regaños para que haga las cosas. ¡No te rindas nunca! Las cosas que cuentan mucho trabajo son las que más se disfrutan en esta vida. Agradezco a Dios por haberme enviado a mi mejor amiga a ser mi hermana. Te quiero. A mis abuelos, que siempre estuvieron junto a mí en mi corazón, agradezco su infinito amor, cariño y enseñanzas.

A mi familia en general, porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir buenos y malos momentos.

A todos mis amigos y compañeros de la carrera, en cada uno de ustedes hay una persona muy especial. He aprendido y disfrutado con ustedes mis horas de estudio, gracias por la ayuda cuando en ocasiones me he sentido perdido y por esa amistad sincera. Los voy a extrañar.

A mis maestros y Director de tesis que en este andar por la vida, influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme como una persona de bien y preparada para los retos que pone la vida, a todos y cada uno de ellos les dedico cada una de estas páginas de mi tesis.

Resumen

El presente proyecto de tesis tiene la finalidad de brindar información y material indispensable para estudiantes y público en general que desee conocer sobre la Tecnología ZigBee y la relación que esta tiene con la domótica, por tal motivo se realizara el desarrollo e implementación de un interruptor inteligente basado en telemetría ZigBee el cual brinda la posibilidad de poder activar o desactivar cargas de forma remota dentro de una vivienda mediante relevadores electromecánicos o relevadores de estado solido.

Es importante mencionar que en este proyecto los modulos Xbee trabajaran en conjunto con microcontroladores Basic Stam 2, los cuales serán los encargados de realizar la comunicación final con el interruptor inteligente. Los modulos Xbee pueden trabajar de dos formas, Punto a Punto y Punto a Multipunto por tal motivo también se explicara la configuración y la creación de una red Xbee que le permita a estos modulos poder realizar la comunicación mediante Radio Frecuencia.

Referente a los microcontroladores antes mencionados se explicara brevemente el lenguaje de programación (Basic) y el funcionamiento interno de estos para poder programarlos y realizar las conexiones necesaria para su correcto funcionamiento y así lograr la comunicación serial con los Modulos Xbee para que se puedan comunicar, esta red puede ser implementada en multiples sitios como departamentos, casas habitación, escuelas, hoteles, etc.

Contenido

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 CONCEPTO DE DOMÓTICA.....	2
1.3 TECNOLOGÍAS EXISTENTES.....	3
1.3.1 CEBUS	3
1.3.2 X-10	4
1.3.3 LonWorks	4
1.3.4 EHS	6
1.3.5 BatiBus	6
1.3.6 EIB	7
1.3.7 HBS	8
1.3.8 Konnex	8
1.4 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN.....	9
1.4.1 Protocolos estándar	9
1.4.2 Protocolos propietarios	9
1.5 TIPOS DE SISTEMAS DE TRANSMISIÓN.	9
1.5.1 Sistemas cableados	9
1.5.2 Sistemas inalámbricos	10
1.5.3 Sistemas mixtos	10
1.6 MEDIOS DE TRASMISIÓN.....	10
1.6.1 Líneas de distribución de energía eléctrica (Corrientes portadoras)	10
1.6.2 Soportes metálicos	11
1.6.3 Fibra óptica	12
1.6.4 Infrarrojos	13
1.6.5 Radio frecuencias	13
1.7 ESTADO ACTUAL	14
1.7.1 Visión americana	14
1.7.2 Visión japonesa	15
1.7.3 Visión europea	15
1.8 SISTEMA A GESTIONAR	16

CAPÍTULO 2. SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA ZIGBEE.....	18
2.1 ZIGBEE	18
2.2 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE ZIGBEE.....	18
2.3 TIPOS DE DISPOSITIVOS ZIGBEE.....	19
2.4 DIRECCIONAMIENTO.....	20
2.5 SEGURIDAD.....	21
2.6 XBEE	22
CAPÍTULO 3. BASIC STAMP	24
3.1 ¿QUÉ ES UN MICROCONTROLADOR?	24
3.2 MICROCONTROLADOR BASIC STAMP 2 (BS2).....	25
3.3 FUNCIONAMIENTO INTERNO DEL BS2	26
3.4 VENTAJAS DEL BS2 CON OTROS MICROCONTROLADORES	27
3.4.1 Algunas aplicaciones de los BS2.....	28
3.5 FUENTE DE ALIMENTACIÓN	28
3.6 CONEXIÓN ENTRE LA PC Y EL BS2.	29
3.7 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN PBASIC	31
3.8 PBASIC EDITOR	31
3.9 ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA DEL BS2.....	32
3.9.1 Memoria RAM del BS2.....	33
3.10 CLASIFICACIÓN DE COMANDOS	33
3.11 HOLA MUNDO CON BASIC STAMP 2.....	34
3.12 HACER TITILAR UN LED	37
3.13 ENVIAR DATOS DEL BS2 A LA PC	39
CAPÍTULO 4. DISEÑO DEL INTERRUPTOR INTELIGENTE.....	41
4.1 CONEXIÓN SERIAL ENTRE MICROCONTROLADORES BASIC STAMP (BS2)	41
4.2 CONEXIÓN PUNTO A PUNTO ENTRE LOS MÓDULOS XBEE.	43
4.3 CONEXIÓN PUNTO A MULTIPUNTO ENTRE LOS MÓDULOS XBEE.	50
4.4 CIRCUITO DEL RELEVADOR ELECTROMECAÁNICO	53
4.5 CIRCUITO DEL RELEVADOR ELECTRÓNICO.	55
CAPÍTULO 5. PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	59
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES.....	64
BIBLIOGRAFÍA	65

Índie de Ilustraciones

Ilustración 1. Evolución en la domótica. Elaboración propia. Agosto 2014.....	1
Ilustración 2. Integración de elementos de una vivienda domótica. Elaboración Propia. Agosto 2014.....	3
Ilustración 3. Servicios a gestionar. Elaboración propia. Agosto 2014.....	16
Ilustración 4. Ejemplo de Topología de una Red ZigBee.Elaboración Propia. Septiembre 2014.....	20
Ilustración 5. Coexistencia de redes. Elaboración propia. Septiembre 2014.....	21
Ilustración 6. Modulo de radio XBee. Digi International Inc. 1996-2015.....	22
Ilustración 7. Diagrama de bloque de un Microcontrolador. Autor Diego M. Pulgar G. sin fecha de elaboración.....	24
Ilustración 8 .Diagrama Esquemático de BS2. Autor Diego M. Pulgar G. sin fecha de elaboración.....	25
Ilustración 9. Microcontrolador Basic Stamp 2. Autor Parallax Inc. 2015.....	25
Ilustración 10. Material para la programación del BS2. Elaboración propia. Octubre 2014.....	26
Ilustración 11. Diagrama de Bloque de BS2. Autor Diego M. Pulgar G. sin fecha de elaboración.....	27
Ilustración 12. Conector DB9 y cable UTP. Autor Eletrodex.2015.....	29
Ilustración 13. Conexión del conector DB9. Autor Diego M. Pulgar G. sin fecha de elaboración.....	29
Ilustración 14. Ubicación de Pines BS2. Autor Parallax. 2015.....	30
Ilustración 15. Conexión típica para su funcionamiento. Autor Diego M.....	31
Ilustración 16. Indica el módulo Basic Stamp que se ocupa. Elaboración Propia. Noviembre de 2014.....	34
Ilustración 17. Indica la versión del Lenguaje Basic que se utiliza. Elaboración Propia.Noviembre 2014.....	35
Ilustración 18. Código del Hola Mundo. Elaboración Propia. Noviembre 2014.....	35
Ilustración 19. Verifica la Sintaxis del Programa. Elaboración propia. Noviembre 2014.....	36
Ilustración 20. Carga Código al BS2. Elaboración Propia. Noviembre 2014.....	36

Ilustración 21. Pantalla de la terminal con el mensaje del Hola Mundo. Elaboración Propia. Noviembre 2014.....	37
Ilustración 22. Código de comunicación de PC a BS2. Elaboracion propia. Noviembre 2014....	38
Ilustración 23. Envío de datos mediante la terminal. Elaboración Propia. Noviembre 2014.	38
Ilustración 24. LED encendido al recibir el dato mediante la conexión serial.Elaboración Propia. Noviembre 2014.....	39
Ilustración 25. Código de comunicación de BS2 a PC. Elaboracion Propia. Noviembre 2014. ...	40
Ilustración 26. Envío y recepción de datos mediante la terminal. Elaboración propia. Noviembre 2014.....	40
Ilustración 27. Conexión serial entre los microcontroladores. Elaboración Propia. Diciembre 2014.....	41
Ilustración 28. Código Emisor. Elaboración Propia. Diciembre 2014.	42
Ilustración 29. Código Receptor. Elaboración Propia. Diciembre 2014.	43
Ilustración 30. Conexión física de BS2 Y XBee Emisores. Elaboración Propia. Enero 2015.....	44
Ilustración 31. Conexión física de BS2 y XBee Receptores. Elaboración Propia. Enero 2015. ...	45
Ilustración 32. Conexión final. Elaboración Propia. Enero 2015.....	45
Ilustración 33. Código Emisor. Elaboración Propia. Enero 2015.....	46
Ilustración 34. Código Receptor. Elaboración Propia. Enero 2015.	47
Ilustración 35. Datos únicos de Módulo XBee. Elaboración Propia. Enero 2015.....	48
Ilustración 36. Configuración XBee emisor. Elaboración Propia. Enero 2015.....	49
Ilustración 37. Configuración XBee Receptor. Elaboración Propia. Enero 2015.	50
Ilustración 38. Configuración XBee coordinador. Elaboración Propia. Enero 2015.....	51
Ilustración 39. Configuración XBee Router/Dispositivo Final. Elaboración Propia. Enero 2015. ...	52
Ilustración 40. Relevador electromecánico controlado. Autor Mtro. Jesús Alvarez Ruíz. 2013. ...	53
Ilustración 41. Esquema del interruptor. Autor Mtro. Jesús Alvarez Ruíz. 2013.	54
Ilustración 42. Conexiones del interruptor. Autor Mtro. Jesús Alvarez Ruíz. 2013.	54
Ilustración 43. Implementación del Circuito impreso. Autor Mtro. Jesús Alvarez Ruíz. 2013.	54
Ilustración 44. Circuito optocoplador como interruptor electrónico. Autor Mtro. Jesús Alvarez Ruíz. 2013.....	55
Ilustración 45. Triacs en estado inactivos. Autor Mtro. Jesús Alvarez Ruíz. 2013.....	55
Ilustración 46. Fototriac en estado de conducción. Autor Mtro. Jesús Alvarez Ruíz. 2013.....	56
Ilustración 47. Fototriac en estado de conducción. Autor Mtro. Jesús Alvarez Ruíz. 2013.....	56
Ilustración 48. Esquema del interruptor electrónico. Autor Mtro. Jesús Alvarez Ruíz. 2013.....	57
Ilustración 49. Conexiones del interruptor electrónico. Autor Mtro. Jesús Alvarez Ruíz. 2013. ...	57

Ilustración 50. . Implementación del circuito. Autor Mtro. Jesús Alvarez Ruíz. 2013.....	57
Ilustración 51. Interruptor electrónico operando. Autor Mtro. Jesús Alvarez Ruíz. 2013.	58
Ilustración 52. Señal de transmisión de módulo XBee. Elaboración Propia. Enero 2015.	59
Ilustración 53. Señal de trasmción entre XBee y BS2 hacia computadora. Elaboración Propia. Enero 2015.....	60
Ilustración 54. Trasmición del BS2. Elaboración Propia. Enero 2015.	61
Ilustración 55. Trasmición entre Xbee y Computadora. Elaboración Propia. Enero 2015.	61
Ilustración 56. Señal de XBee y BS2 emisores mediante Radio frecuencia.Elaboración Propia. Enero 2015.....	62
Ilustración 57. Señal de XBee y BS2 receptores mediante Radio frecuencia.Elaboración Propia. Enero 2015.....	63

Índie de Tablas

Tabla 1. Descripción de pines del Conector DB9. Elaboración propia. Octubre 2014.....	30
Tabla 2. Comandos Básicos de Pbasic Editor. Elaboración Propia. Octubre 2014.	32
Tabla 3. Comandos Básicos del lenguaje Pbasic. Elaboración Propia. Octubre 2014.	34

Capítulo 1. Introducción

1.1 Antecedentes

Los seres humanos necesitan el cobijo de cuatro paredes a las cuales llamar hogar, desde tiempos remotos el hombre viene modelando con gran esmero casas que lo resguarden de la intemperie, alberguen a sus seres queridos, protejan sus bienes y alojen sus sueños.

Este pequeño espacio denominado hogar ha tomado diferentes formas en función de la tecnología disponible en su época: cambian los materiales de construcción, cambia el ambiente que le rodea, cambia el concepto de confort... pero todos los cambios afectan de cierta manera a su ocupante, el hombre: la casa se adapta a las necesidades, gustos, solvencia, y ambiente que lo rodea.

Esta evolución ha marcado el ritmo de vida de la sociedad, y las viviendas que conforman a estos tampoco pueden escapar de ella. Desde sus inicios en las cuevas con fuego, para calentar e iluminar, a las antorchas, las velas, el candil hasta llegar hoy en día a la electricidad.

La historia como tal de la domótica comprende una serie de etapas, desde los primeros protocolos orientados al control remoto, hasta los grandes protocolos capaces de realizar funciones lógicas complejas, para satisfacer las necesidades más exigentes.

La domótica ha llegado y se encarga de la integración de los sistemas eléctricos y electrónicos, de tal manera que la “casa” se capaz de “sentir” (detectar la presencia de personas, cambios en la temperatura, niveles de luz,..) y que esta pueda reaccionar por si sola ante estas situaciones (regulando el clima, la iluminación...), estos cambios también han sido capaces de interactuar con nosotros mediante el telecontrol, que es más que nada la manera en la que hemos logrado controlar estos electrodomésticos mediante pantallas táctiles, PC, dispositivos móviles, etc.

A continuación en la ilustración 1, se muestra una línea del tiempo en la cual se puede observar la evolución de la domótica

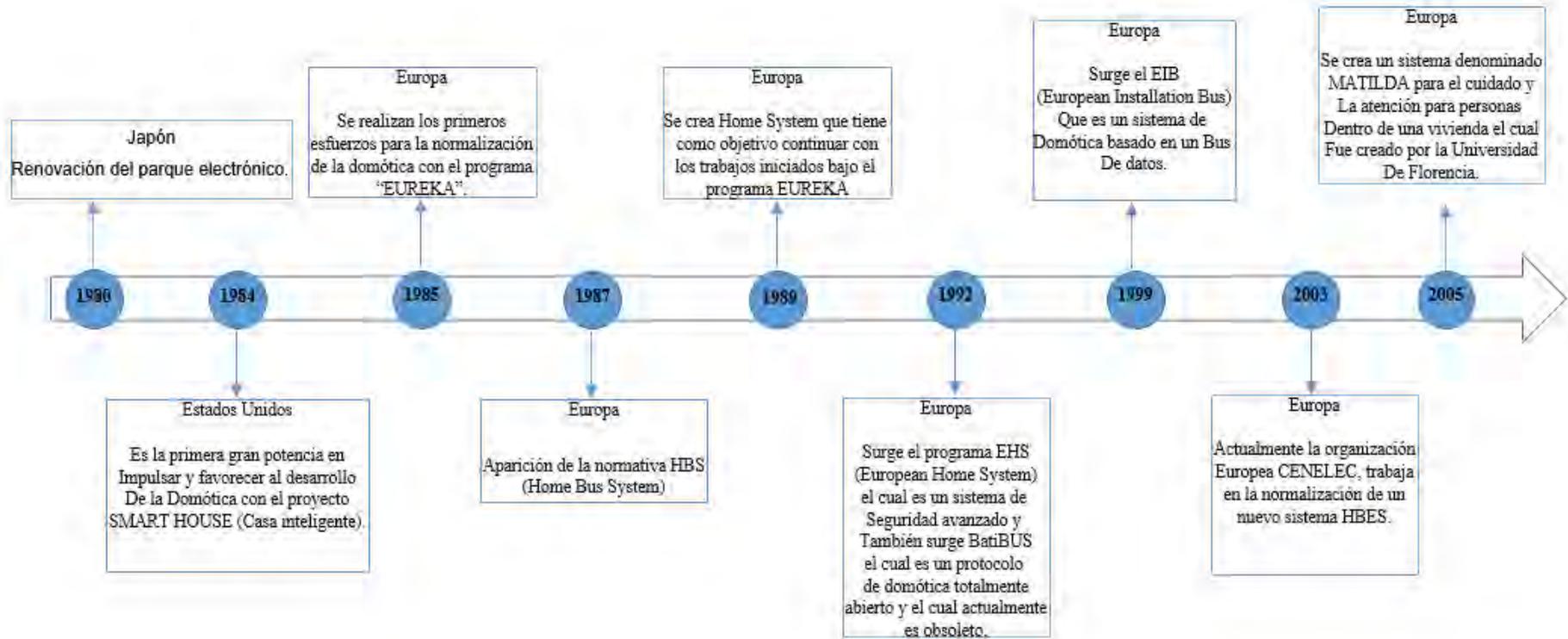


Ilustración 1. Evolución en la domótica. Elaboración propia. Agosto 2014.

1.2 Concepto de domótica

La domótica proviene del latín “**domus**” que significa casa, y de la palabra “informática”. La “casa informatizada” así es como la define el Diccionario de la Real Academia Española¹ como un “conjunto de sistemas que automatizan las diferentes instalaciones de una vivienda”.

Por otra parte también la podemos definir de dos maneras, desde el punto de vista tecnológico y desde el punto de vista funcional.

Desde el punto de vista tecnológico se puede decir que es un grupo de dispositivos, normalmente asociado por funciones que disponen de la capacidad de comunicarse entre sí para realizar una función específica dentro de un área.

El punto de vista funcional asocia a la calidad de vida que se puede obtener a través de la tecnología ofreciendo una reducción del trabajo doméstico, aumento de bienestar y la seguridad de los habitantes así como también una racionalización de los altos consumos.

Otro concepto muy relacionado a la domótica es el de “Hogar digital”, que es un lugar donde las necesidades de sus habitantes, en materia de control y seguridad, comunicaciones, ocio y confort, integración medioambiental y accesibilidad, son atendidas mediante la convergencia de servicios, infraestructuras y equipamientos. El principal objetivo del hogar digital es la necesidad de la convergencia de servicios: entretenimiento, comunicaciones, de gestión del hogar digital y de infraestructuras tal y como se puede ver a continuación en la ilustración 2.

¹ Real Academia Española [línea]. [Consultado 1 agosto de 2014]. Disponible: <http://lema.rae.es/drae/?val=dom%C3%B3tica>



Ilustración 2. Integración de elementos de una vivienda domótica. Elaboración Propia. Agosto 2014.

1.3 Tecnologías existentes

Actualmente existen numerosos sistemas domóticos comerciales y cada uno de ellos está orientado a un segmento concreto del mercado. Los tres sectores son: las casas ya construidas, las casas nuevas y los grandes edificios. A continuación veremos las principales tecnologías existentes en el mercado, protocolos y sistemas.

1.3.1 CEBUS

El protocolo de comunicación CEBus (Consumer Electronics Bus) es un estándar que actualmente utiliza Estados Unidos, el cual ha sido desarrollado por la Asociación de Industrias Electrónicas (EIA-Electronic Industries Association). Surge en 1984, con la propuesta de unificar los protocolos de señalización infrarroja para el control de remoto de electrodomésticos.

Los objetivos principales del estándar son:

- ✓ Facilitar el desarrollo de módulos de interfaz de bajo coste que puedan ser integrados fácilmente en electrodomésticos.
- ✓ Soportar la distribución de servicios de audio y vídeo tanto en formato analógico como digital.
- ✓ Evitar la necesidad de un controlador central, distribuyendo la inteligencia de la red entre todos los dispositivos.
- ✓ Permitir añadir y quitar componentes de la red sin que afecte al rendimiento del sistema ni que requiera un gran esfuerzo la configuración por parte del usuario.
- ✓ Proporcionar un método adecuado de acceso al medio.

Sus características más notables son:

- ✓ Permite ancho de banda suficiente para video y audio.
- ✓ Componentes Plug-And-Play (Home Plug And Play) que se autoconfiguran.
- ✓ Permite diferentes tipos de comunicación: línea eléctrica, par trenzado, cable coaxial, radio frecuencia, etc.
- ✓ Los mensajes son independientes del medio y lleva la dirección de destino.

Los medios físicos por donde puede usarse el protocolo son: Red eléctrica, cable trenzado, cable coaxial, infrarrojos, radio frecuencia, fibra óptica o bus audio-vídeo. La elección del medio está en función del ahorro energético, la comodidad, la facilidad de instalación de los productos Cebús, el coste o la sencillez del sistema. En una instalación pueden combinarse distintos medios.

1.3.2 X-10

Durante los años 1976 y 1978 se desarrolló la tecnología X-10 en Glenrothes, Escocia, por ingenieros de la empresa Pico Electronics Ltd.

Además de ser uno de los sistemas más antiguos que se utilizan en sistemas domóticos tiene la característica de utilizar un sistema descentralizado que utiliza como medio de transmisor de mensajes de la propia red eléctrica

Esta empresa desarrolló el proyecto con la idea de obtener un circuito que se pudiera implementar en un dispositivo para ser controlado remotamente.

1.3.3 LonWorks

Echelon presentó la tecnología LonWorks (Local Operating NetWork) en el año 1992, y es reconocido por la EIA² como el EIA-709 y desde entonces multitud de empresas viene usando esta tecnología para implementar redes de control distribuidas y automatización. Se basa en un conjunto de nodos independientes, interconectados entre si y cuya red está formada por nodos.

² Electronic Industries Association

Además ofrece una solución con arquitectura descentralizada, extremo-a-extremo (peer to peer), que permite distribuir la inteligencia entre los sensores y los actuadores instalados en la vivienda y que cubre desde el nivel físico al nivel de aplicación de la mayoría de los proyectos de redes de control.

Los componentes básicos de una red LonWorks son:

- ✓ **Neuronas:** Son unos circuitos integrados que contienen dispositivos de entrada/salida, tres microprocesadores y memoria en la que reside el sistema operativo.
- ✓ **Transceptores:** Son dispositivos emisores-receptores que se encargan de conectar las neuronas con el medio de transmisión.

Cualquier dispositivo Lonworks, o nodo, está basado en un microcontrolador llamado Neuron Chip. El diseño inicial del Neuron y el protocolo LonTalk fueron desarrollados por Echelon en el año 1990.

Un nodo LON se puede ver como un objeto que responde a varias entradas y que produce unas salidas. El funcionamiento completo de la red surge de las distintas interconexiones entre cada uno de los nodos. Mientras que la función desarrollada por uno de los nodos puede ser muy simple, la interacción entre todos puede dar lugar a implementar aplicaciones complejas. Uno de los beneficios inmediatos de LON es que un pequeño número de nodos pueden realizar un gran número de distintas funciones dependiendo de cómo estén interconectados.

LONWorks utiliza para el intercambio de información (ya sea de control o de estado) el protocolo LonTalk. Éste tiene que ser soportado por todos los nodos de la red. Toda la información del protocolo está disponible para cualquier fabricante.

La comunicación entre nodos se realiza mediante paquetes. Cada dispositivo dispone de una dirección y analiza todos los paquetes para determinar si corresponde con su dirección, además cada dispositivo de la red tiene un transceptor para conectarse físicamente a la red la cual es la interfaz de comunicación y se encuentra disponible para par trenzado.

1.3.4 EHS

El estándar EHS (European Home System) fue desarrollado en europea en el año 1984 para crear una tecnología que permitiera la implantación de la domótica en el mercado residencial de forma masiva. El resultado fue la especificación del EHS en el año 1992. Está basada en una topología de niveles OSI y se especifican los niveles: físico, de enlace, de red y de aplicación.

Este protocolo está totalmente abierto, esto significa que cualquier fabricante puede desarrollar sus propios productos y dispositivos que implementen el EHS. Cada dispositivo conectado a la red negocia automáticamente su dirección de red, se da a conocer y busca y busca otros dispositivos que puedan estar interesados en ella o pueden interesarle Después de la aparición de diversos productos y soluciones basadas en EHS, esta tecnología está convergiendo, junto con el EIB y el BatiBUS, en un único estándar europeo, llamado KNX. Esta impulsado por la asociación EHSA (European Home System Association) y avalado por la Comisión Europea.

1.3.5 BatiBus

BatiBUS fue desarrollado por la empresa francesa Merlin Gerin AIRELEC, EDF Y LANDIS & GYR, que formaron el BCI (Batibus Club International). Este protocolo de domótica está totalmente abierto.

A nivel de acceso, este protocolo usa la técnica CSMA-CA, (Carrier Sense Múltiple Access with Collision Avoidance) similar a Ethernet pero con resolución positiva de las colisiones. Esto es, si dos dispositivos intentan acceder al mismo tiempo al bus ambos detectan que se está produciendo una colisión, pero sólo el que tiene más prioridad continua transmitiendo el otro deja de poner señal en el bus. Esta técnica es muy similar a la usada en el bus europeo EIB y también en el bus del sector del automóvil llamado CAN (Controller Area Network).

La filosofía es que todos los dispositivos BatiBUS escuchen lo que han enviado cualquier otro, todos procesan la información recibida, pero sólo aquellos que hayan

sido programados para ello, filtrarán la trama y la subirán a la aplicación empotrada en cada dispositivo.

Al igual que los dispositivos X-10, todos los dispositivos BatiBUS disponen de una identificación unívoca para cada dispositivo conectado al bus. Se basa en la tecnología de par trenzado con velocidad binaria única de 4800 bps, la cual es más que suficiente para la mayoría de las aplicaciones de control distribuido. El sistema es centralizado, pudiendo controlar cada central hasta 500 puntos de control.

La instalación de cable se puede hacer en diversas topologías: bus, estrella, anillo, árbol o cualquier combinación de estas. Lo único que hay que respetar es no asignar direcciones idénticas a dos dispositivos de la misma instalación. BatiBUS ha conseguido la certificación como estándar europeo CENELEC. Existen una serie de procedimientos y especificaciones que sirven para homologar cualquier producto que use esta tecnología como compatible con el resto de productos que cumplen este estándar

Dentro de sus características más importantes destacan:

- ✓ Es un bus de una sola línea que permite la interconexión entre todos los módulos en sistemas de control como: calor, aire acondicionado, luces, aperturas y cierres.
- ✓ El medio físico es el par trenzado, sin embargo se puede ocupar también el cable telefónico o eléctrico.
- ✓ Utiliza el protocolo de comunicación CSMA-CA
- ✓ Permite cualquier topología de red: anillo, estrella, árbol, etc.
- ✓ El cable también proporciona energía a los sensores.
- ✓ La identificación de los módulos es identificada al instalarlos.

1.3.6 EIB

El EIB (European Installation Bus) es un sistema domótico desarrollado en la Unión Europea con el objetivo de contrarrestar las importaciones de productos similares que se estaban produciendo desde el mercado japonés y el norteamericano donde estas

tecnologías se han desarrollado antes que en Europa. Se encuentra distribuido en España principalmente por empresas como ABB-Niessen, Foresis, Guijarro entre otras. Se trata de un sistema basado mediante un bus de datos, considerado como un estándar europeo, es un sistema completamente descentralizado basado en el modelo OSI, además la programación de los elementos se realiza de forma individual y a través de una computadora.

Se trata, además, de un sistema abierto bajo las mismas premisas que otros sistemas de comunicación como los buses de campo abiertos: tanto las especificaciones del protocolo como los procedimientos de verificación y certificación están disponibles, así como los componentes críticos del sistema (microprocesadores específicos con la pila del protocolo y electrónica de acoplamiento al bus).

1.3.7 HBS

El HBS (Home Bus System) es un estándar creado por un grupo de empresas japonesas y el gobierno de nipón. Como medio de comunicación puede utilizar cualquiera de los existentes sin embargo es más común que ocupe el par trenzado o coaxial. Este sistema tiene como objetivo principal especificar un estándar de comunicación de dispositivos domóticos y asegurar la unión de pares trenzados y cables coaxiales con dispositivos telefónicos y audio-video.

1.3.8 Konnex

Surge gracias a la iniciativa de tres asociaciones europeas, EIBA (European Installation Bus Association), BCI (Batibus Club International) y EHSA (European Home System Association), con la finalidad de crear un único estándar europeo para la automatización de edificios y viviendas. Todo esto con la intención de competir en calidad, prestaciones y precios con otros sistemas norteamericanos como LonWorks o CEBus

1.4 Protocolos de comunicación.

Un sistema domótico se caracteriza por el protocolo de comunicaciones que utiliza, que no es otra cosa que el idioma o formato de los mensajes que los diferentes elementos de control del sistema deben utilizar para entenderse unos con otros y que puedan intercambiar su información de una manera coherente. Dentro de los protocolos existentes, se puede realizar una primera clasificación atendiendo a su estandarización:

1.4.1 Protocolos estándar.

Los protocolos estándar son los que de alguna manera son utilizados ampliamente por diferentes empresas y estas fabrican productos que son compatibles entre sí. Algunos ejemplos son: EIB, EHS, X-10, LonWorks, etc. Tienen la ventaja de que puede haber varios fabricantes del estándar lo cual permite ampliar y mantener la instalación con diferentes fabricantes.

1.4.2 Protocolos propietarios.

Son aquellos desarrollados por una empresa, y únicamente pueden comunicarse con productos de la misma empresa. Algunos ejemplos son: Simon Vis, Domaike, Amigo, etc. El único inconveniente que tienen estos protocolos es que si la empresa desaparece, también lo hace el soporte técnico.

1.5 Tipos de sistemas de transmisión.

Por otra parte, también se pueden clasificar los sistemas en tres tipos a nivel tecnológico:

1.5.1 Sistemas cableados.

Todos los sensores y actuadores están cableados a la central o entre ellos, la cual es el controlador principal de todo el sistema. Ésta tiene normalmente una batería de

respaldo, para en caso de fallo del suministro eléctrico, poder alimentar a todos sus sensores y actuadores y así seguir funcionando normalmente durante unas horas.

El cableado puede ser de cuatro tipos:

- ✓ Par trenzado, de 1 a 4 pares,
- ✓ Coaxial
- ✓ Fibra óptica
- ✓ Línea eléctrica o también conocido como "corrientes portadoras" (Power Line Carrier).

1.5.2 Sistemas inalámbricos.

En este caso usan sensores inalámbricos alimentados por pilas o baterías y transmiten vía radio la información de los eventos entre ellos o a la central, la cual está alimentada por red eléctrica y tiene sus baterías de respaldo.

1.5.3 Sistemas mixtos.

Combinan el cableado con el inalámbrico.

1.6 Medios de transmisión

En todo sistema domótico con arquitectura distribuida, los diferentes elementos de control deben intercambiar información unos con otros a través de un soporte físico (par trenzado, línea de potencia o red eléctrica, radio, infrarrojos, etc.).

A continuación enumeramos los siguientes tipos de medios:

1.6.1 Líneas de distribución de energía eléctrica (Corrientes portadoras)

Si bien no es el medio más adecuado para la transmisión de datos, si es una alternativa a tener en cuenta para las comunicaciones domesticas dado el bajo coste que implica

su uso, dado que se trata de una instalación existente por lo que es nulo el coste de la instalación, y además muy fácil al momento de realizar las conexiones.

Para aquellos casos en los que las necesidades del sistema no impongan requerimientos muy exigentes en cuanto a la velocidad de transmisión, la línea de distribución de energía eléctrica puede ser suficiente como soporte de dicha transmisión.

1.6.2 Soportes metálicos.

La infraestructura de las redes de comunicación actuales, tanto públicas como privadas, tiene en un porcentaje muy elevado, cables metálicos de cobre como soporte de transmisión de las señales eléctricas que procesa.

En general se pueden distinguir dos tipos de cables metálicos:

- ✓ **Par metálico:** Los cables formados por varios conductores de cobre pueden dar soporte a un amplio rango de aplicaciones en el entorno doméstico. Este tipo de cables pueden transportar voz, datos y alimentación de corriente continua. Los denominados cables de pares están formados por cualquier combinación de los tipos de conductores que a continuación se detallan:

1.- Cables formados por un solo conductor con un aislamiento exterior plástico, como los utilizados para la transmisión de las señales telefónicas.

2.- Par de cables, cada uno de los cables está formado por un arrollamiento helicoidal de varios hilos de cobre. (Por ejemplo, los utilizados para la distribución de señales de audio.).

3.- Par apantallado, formado por dos hilos recubiertos por un trenzado conductor en forma de malla cuya misión consiste en aislar las señales que circulan por los cables de las interferencias electromagnéticas exteriores. (Por ejemplo, los utilizados para la distribución de sonido alta fidelidad o datos).

4.- Par trenzado, está formado por dos hilos de cobre recubiertos cada uno por un trenzado en forma de malla. El trenzado es un medio para hacer frente a las interferencias electromagnéticas. (Por ejemplo, los utilizados para interconexión de ordenadores).

- ✓ **Coaxial:** Un par coaxial es un circuito físico asimétrico, constituido por un conductor filiforme que ocupa el eje longitudinal del otro conductor en forma de tubo, manteniéndose la separación entre ambos mediante un dieléctrico apropiado.

Este tipo de cables permite el transporte de las señales de video y señales de datos a alta velocidad. Dentro del ámbito de la vivienda, el cable coaxial puede ser utilizado como soporte de transmisión para:

- 1.- Señales de teledifusión que provienen de las antenas (red de distribución de las señales de TV y FM).
- 2.- Señales procedentes de las redes de TV por cable. - Señales de control y datos a media y baja velocidad.

1.6.3 Fibra óptica.

La fibra óptica es el resultado de combinar dos disciplinas no relacionadas, como son la tecnología de semiconductores (que proporciona los materiales necesarios para las fuentes y los detectores de luz), y la tecnología de guiado de ondas ópticas (que proporciona el medio de transmisión, el cable de fibra óptica).

La fibra óptica está constituida por un material dieléctrico transparente, conductor de luz, compuesto por un núcleo con un índice de refracción menor que el del revestimiento, que envuelve a dicho núcleo. Estos dos elementos forman una guía para que la luz se desplace por la fibra. La luz transportada es generalmente infrarroja, y por lo tanto no es visible por el ojo humano.

1.6.4 Infrarrojos.

El uso de mandos a distancia basados en transmisión por infrarrojos está ampliamente extendido en el mercado residencial para teleco mandar equipos de Audio y Vídeo. La comunicación se realiza entre un diodo emisor que emite una luz en la banda de IR, sobre la que se superpone una señal, convenientemente modulada con la información de control, y un fotodiodo receptor cuya misión consiste en extraer de la señal recibida la información de control.

Los controladores de equipos domésticos basados en la transmisión de ondas en la banda de los infrarrojos presentan gran comodidad y flexibilidad y admiten un gran número de aplicaciones. Al tratarse de un medio de transmisión óptico es inmune a las radiaciones electromagnéticas producidas por los equipos domésticos o por los demás medios de transmisión (coaxial, cables pares, red de distribución de energía eléctrica, etc.). Sin embargo, habrá que tomar precauciones en el caso de las interferencias electromagnéticas que pueden afectar a los extremos del medio.

1.6.5 Radio frecuencias.

La introducción de las radiofrecuencias como soporte de transmisión en la vivienda ha venido precedida por la proliferación de los teléfonos inalámbricos y sencillos telemandos. Este medio de transmisión puede parecer, en principio, idóneo para el control a distancia de los sistemas domóticos, dada la gran flexibilidad que supone su uso. Sin embargo, resulta particularmente sensible a las perturbaciones electromagnéticas producidas, tanto por los medios de transmisión, como por los equipos domésticos.

Las ventajas e inconvenientes de los sistemas basados en transmisión por radiofrecuencias, son:

- ✓ Alta sensibilidad a las interferencias.
- ✓ Fácil interceptación de las comunicaciones.
- ✓ Dificultades para la integración de las funciones de control y comunicación, en su modalidad de transmisión analógica.

1.7 Estado actual

Durante los años 70 hasta los 80 y gracias a trabajo interdisciplinario de diferentes tecnologías (electrónica, informática y telecomunicaciones) el desarrollo de la Domótica ha tenido avances muy notables durante su evolución, sin embargo gracias a estos avances ha surgido un concepto más amplio de los edificios inteligentes, el cual ha englobado a nuevas áreas como la arquitectura y el cuidado del medio ambiente.

Enfocando este concepto a lo que son las viviendas se obtiene que sea una evolución tradicional de los hogares, donde tras la llegada de la electricidad a las ciudades han abierto paso a múltiples electrodomésticos que en un principio podrían parecer artefactos muy complejos o que podrían ser muy difíciles de conseguir por las personas de ese tiempo. Pero con el paso de los años ya es más común ver dentro de los hogares artefactos como tostadoras, planchas y lavadoras que ahora son parte indispensables de nuestra vida diaria.

Hoy día las casas inteligentes parecen estar sólo al alcance de algunos bolsillos, anqué esta tendencia en los últimos años ha tendido a disminuir gracias a la disminución del precio de estas tecnologías.

Anqué esta disciplina tuvo sus orígenes en los años 70, gracias a la empresa Escocesa Pico Electronics Ltd. Desarrollaron el protocolo X-10, los países que adoptaron con mucho interés este protocolo fueron Estados Unidos y Japón. Como consecuencia de esto existen diferentes visiones del concepto o la idea de viviendas inteligentes, distinguiendo tres versiones principales: la americana, la japonesa y la europea.

1.7.1 Visión americana

Los americanos han apostado en estas tecnologías con la única finalidad de obtener ganancias económicas, y lo orientan hacia la creación de hogares interactivos (intercomunicados), permitiendo así a los usuarios un control a distancia, creando también trabajos denominados teletrabajo y en la educación con la tele



enseñanza, entre otras cosas. También es importante destacar que ha sido el primer país y promover y realizar un estándar para la gestión técnica de los edificios: el CEBus (Consumer Electronic Bus), al que se han sumado más de 17 fabricantes americanos como AT&T, Johnson, Panasonic y otros. Recordemos que en el año de 1984 se creó el proyecto Smart House con el principio de utilizar un cable unificado que sustituye a los distintos sistemas que pueden existir en una vivienda actual: electricidad, antenas, audio-video, teléfono, etc. Actualmente este país utiliza como base CEBus, X-10, LonWorks y algunos sistemas propietarios.

1.7.2 Visión japonesa

Japón por otra parte pretende utilizar los sistemas informáticos en todo lo que crean conveniente, actualmente la orientación japonesa ha tomado un camino completamente diferente al de los Estados Unidos ya que en vez de formar hogares interactivos pretende la creación de un hogar automatizado, tratando así de incorporar al máximo aparatos electrónicos de consumo (equipos de audio, TV, teléfonos, etc.). También cuenta con una asociación representativa denominada EIAJ (Electronic Industries Association of Japan).



1.7.3 Visión europea

Europa por otra parte ha optado por un enfoque técnico-económico el cual tiene como prioridad el concepto de ecología, salud y el bienestar de los ocupantes. Se dirige más que nada a la creación de un edificio completamente inteligente y hacia establecer un estándar único. Dentro del programa Eureka iniciado en 1984, seis empresas europeas iniciaron el proyecto IHS (Integrated Home System) que tomo gran intensidad en los años 1987-88 y el cual dio lugar al programa ESPIRIT (European Scientific Programme for Research & Development in Information Technology) con el objetivo de continuar los trabajos iniciados bajo Eureka. Dentro del continente los países que más han invertido



en esta área han sido Francia y Alemania con sistemas como Batibus y EIBus. Como se mencionó anteriormente se pretende establecer un estándar único, por tal motivo EIB, EHS Y Batibus se van a unir en un único estándar denominado Konnex.

1.8 Sistema a gestionar

Dentro de las viviendas o edificios inteligentes existe una gran variedad de sistemas a gestionar. Estos también son conocidos como servicios o aplicaciones y se pueden utilizar variados criterios para su clasificación.

La clasificación más común de los sistemas a gestionar es dependiendo del servicio que se brindara, dando lugar así a los siguientes sistemas: gestión de energía, gestión de seguridad, gestión de confort y gestión de las comunicaciones, como se muestra en la Ilustración 3.



Ilustración 3. Servicios a gestionar. Elaboración propia. Agosto 2014

Para nuestro caso es importante mencionar el sistema de Gestión de energía el cual como su nombre lo dice se encarga de gestionar el consumo de energía mediante temporizadores, relojes programadores, termostatos, etc.

Funciones de la Gestión de energía:

- ✓ Programación y zonificación de la climatización y equipos domésticos.
- ✓ Racionalización de cargas eléctricas: desconexión de equipos de uso no prioritario en función del consumo eléctrico en un momento dado.
- ✓ Gestión de tarifas eléctricas, derivando el funcionamiento de algunos aparatos a horas de tarifas reducidas o aprovechándolas mediante acumuladores de carga.
- ✓ Zonas de control de iluminación.

Capítulo 2. Sistema de comunicación inalámbrica ZigBee

2.1 ZigBee

Es un estándar abierto especializado para radiocomunicaciones de baja potencia el cual se basa en la especificación 802.15.4³ de redes inalámbricas de área personal. También incluye un protocolo de red que tiene como característica principal el bajo consumo y costo, cuanta de igual manera con servicios de seguridad y capa de aplicación la cual garantiza la interoperabilidad entre dispositivos. ZigBee trabaja a una velocidad de datos de 250 kbps (Digi, s.f.) sobre la banda libre de 2,4 GHz, pero también soporta las bandas de 868 y 900 MHz.

ZigBee Alliance⁴ es un grupo de empresas y fabricantes que se encargan de las publicaciones del estándar ZigBee por tal motivo es una marca registrada de este grupo de empresas. Una de las características más destacables de ZigBee es que puede soportar redes de malla o también conocida como “mesh networking”. En este tipo de red los nodos se interconectan entre sí de tal forma que se pueden crear múltiples rutas entre ellos, estas conexiones entre nodos se actualizan de manera dinámica y se optimizan mediante tablas de encaminamiento integradas. Estas redes son descentralizadas, es decir cada nodo tiene la capacidad e descubrir la red por sí mismo.

2.2 Principales características de ZigBee

- ✓ **Costos bajos:** al ser un estándar abierto no es necesario pagar por patentes.
- ✓ **Bajo consumo energético:** permite prolongar ampliamente la vida de las baterías.
- ✓ **Sencillez:** integra una pila de protocolos de tamaño reducido.

³ Estándar 802.15.4 [línea]. [Consultado 12 septiembre de 2014]. Disponible: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4-2011.pdf>

⁴ ZigBee Alliance [línea]. [Consultado 12 septiembre de 2014]. Disponible: <http://www.zigbee.org/>

- ✓ **Confiabilidad:** redes de malla con enlaces redundantes y canales que posibilitan el enrutamiento alternativo de manera automática.
- ✓ **Despliegue de red sencillo:** fácil de montar administrar gracias a las redes ad-hoc y el enrutamiento automático.
- ✓ **Seguridad:** proporciona integridad de datos y autenticación haciendo uso del algoritmo de cifrado AES-128.
- ✓ **Compatibilidad:** al tratarse de un estándar abierto se garantiza la interoperabilidad entre dispositivos de diferentes fabricantes.
- ✓ **Baja latencia:** los retardos producidos en la red son muy reducidos en milisegundos.
- ✓ **Capacidad:** una red puede soportar más de 65,000 nodos independientes.

2.3 Tipos de dispositivos ZigBee

Los nodos que forma parte de una red ZigBee se clasifican en 3 (ver ilustración 4):

- ✓ **Coordinador:** el coordinador es el nodo principal y el más importante de la red, debido a que es el encargado de crearla. Por tal motivo solo puede existir uno dentro de la red. Otra de las funciones que tiene que realizar es la asignación de las direcciones a los nodos que se van uniendo a la red, mantiene la seguridad, administra el sistema y actúa como un enlace con otras redes u dispositivos.
- ✓ **Router:** es un nodo ZigBee completamente operativo. Puede unirse a redes existentes, transmitir, recibir y enrutar información. Además actúa como intermediario entre nodos que no pueden comunicarse directamente entre sí, lo cual permite ampliar el alcance de la red. Es importante destacar que debido a todas las funciones que este realiza su consumo es mayor.
- ✓ **Terminal:** una terminal es un nodo provisto con la función de unirse a la red y enviar y recibir información, este no puede actuar como intermediario entre nodos. Además depende de un Router o coordinador que sea su nodo padre y le permita el acceso a la red.

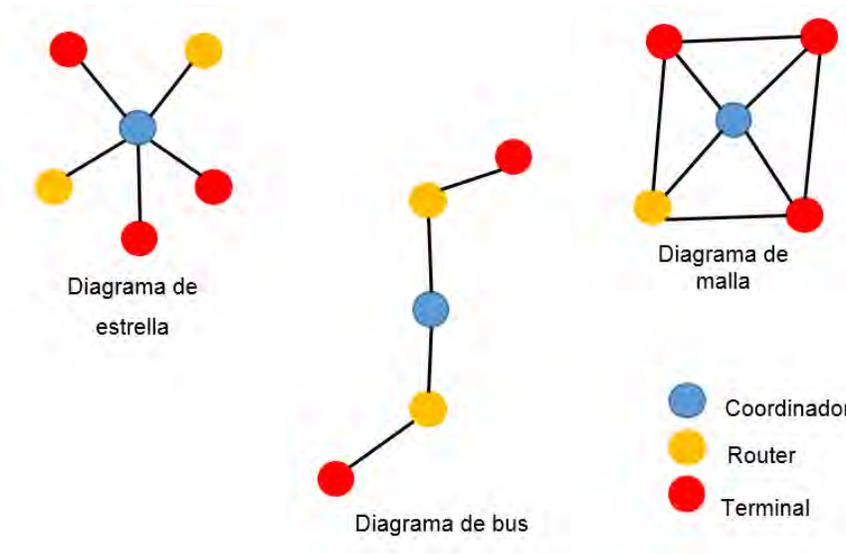


Ilustración 4. Ejemplo de Topología de una Red ZigBee.Elaboración Propia. Septiembre 2014.

2.4 Direcccionamiento

Cada dispositivo ZigBee posee una dirección única de 64 bits conocida como dirección MAC que lo hace diferencia de cualquier otro dispositivo en el mundo, también cuenta con una dirección de red de 16 bits la cual es asignada por el coordinador al unirse a la red.

Todas las redes ZigBee poseen dos identificadores que permiten distinguirla de cualquier otra en su entorno lo cual permite que ambas redes incluso puedan operar en el mismo canal. El primero de estos identificadores se conoce como PAN ID ⁵y es un valor de 16 bits que se establece al crearse la red, el segundo es el llamado Extended PAN ID⁶, el cual posee un valor de 64 bits asignado arbitrariamente por el administrador de la red el cual es añadido junto con el PAN ID, en los paquetes beacon de señalización para permitir que los nodos que deseen asociarse puedan identificar la red.

⁵ Personal Area Network identifier [línea]. [Consultado 13 septiembre de 2014]. Disponible: <http://www.jennic.com/elearning/zigbee/files/html/module6/module6-3.htm>

⁶ Extended PAN ID [línea]. [Consultado 13 septiembre de 2014]. Disponible: <http://community.silabs.com/t5/Silicon-Labs-Knowledge-Base/What-is-an-Extended-PAN-ID-and-how-is-it-used/ta-p/113403>

Además, dos redes ZigBee que comparten un mismo espacio pueden ser identificadas según la frecuencia del canal sobre el que operan. Cuando el nodo coordinador crea la red este sondea los canales abiertos o disponibles en la banda utiliza (2,4 GHz) y elige el más adecuado.

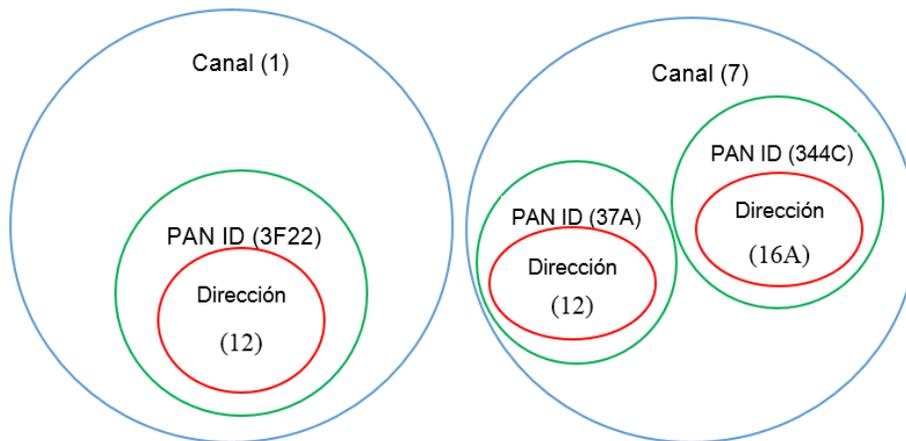


Ilustración 5. Coexistencia de redes. Elaboración propia. Septiembre 2014.

En la ilustración 5 se muestran tres redes ZigBee coexistiendo en un mismo espacio, debido a que pueden ser identificadas por el PAN ID y su canal de transmisión. También se puede observar que los nodos pueden tener la misma dirección de red pero que es un valor local al PAN.

2.5 Seguridad

Una de las cualidades de esta tecnología es que garantiza la seguridad de las comunicaciones mediante el algoritmo AES (Advanced Encryption Standard) debido a que es fiable, rápido y eficiente el cual utiliza claves de 128 bits y proporciona confidencialidad de datos.

ZigBee soporta dos modos de manejo de claves:

- ✓ Claves de red: las cuales proporcionan seguridad a la comunicación entre nodos, donde cada paquete es cifrado y enviado al siguiente nodo de la red donde es descifrado.

- ✓ Claves de enlace: proporciona seguridad de extremo a extremo. El origen del paquete lo cifra, y este permanece cifrado mientras se transmite por la red hasta llegar a su destino donde es descifrado

2.6 XBee

Es el hardware ZigBee utilizado en el proyecto. Se trata de una gama de módulos fabricados por Digi International ⁷con una gran variedad de modelos, componentes, antenas, etc. Trabajan con un voltaje de 3,3 V. Incorporan 20 pines para distintas operaciones, sin embargo pueden funcionar con solamente cuatro pines principales: alimentación, tierra, entrada y salida de datos.

Cuenta con un microchip que le permite ocuparse de tareas como la comunicación y también tiene la facultad de realizar operaciones lógicas muy básicas, como por ejemplo leer directamente datos de sensores y retransmitirlos sin tener que cortar con algún otro proceso.



Ilustración 6. Módulo de radio XBee. Digi International Inc. 1996-2015.

Los módulos XBee se clasifican en dos tipos principalmente (ver ilustración 6):

- ✓ **Serie 1:** esta serie de módulos XBee proporciona soporte para comunicarse punto a punto de una manera simple y se basa en el estándar 802.15.4.
- ✓ **Serie 2:** permiten implementar redes de malla utilizando el protocolo ZigBee. Además poseen un mayor alcance y menor consumo que los de la serie 1.

⁷ Digi International [línea]. [Consultado 14 septiembre de 2014]. Disponible: <http://www.digi.com/>

Es importante mencionar que los módulos XBee de la serie 1 y la serie 2 son incompatibles, es decir que los módulos pertenecientes a una serie sólo pueden comunicarse con otros de la misma serie.

Capítulo 3. Basic Stamp

3.1 ¿Qué es un microcontrolador?

El microcontrolador es un circuito integrado programable que acepta e interpreta una lista de instrucciones además de que contiene los componentes básicos de una computadora (ver ilustración 7). Suelen utilizarse para realizar tareas determinadas o controlar dispositivos.

El microcontrolador es un dispositivo dedicado, en su memoria solamente reside un programa destinado a realizar una tarea en específico, cuenta con líneas de entrada y salida (I/O) que permiten la conexión de sensores y relevadoras (Relay).

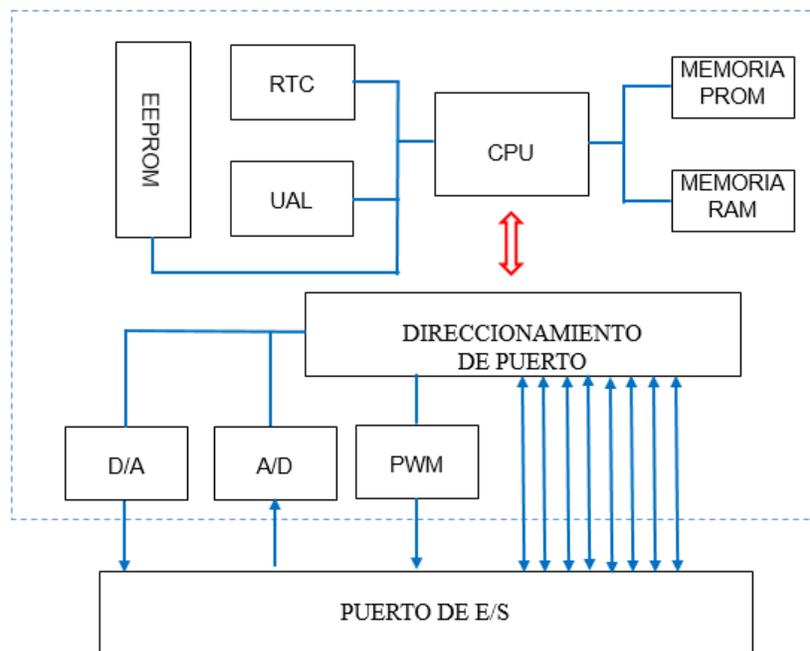


Ilustración 7. Diagrama de bloque de un Microcontrolador. Autor Diego M. Pulgar G. sin fecha de elaboración.

Un microcontrolador está formado por los siguientes componentes:

- ✓ Procesador o CPU (Unidad Central de Proceso).
- ✓ Memoria RAM para contener los datos.

- ✓ Memoria para el programa tipo ROM/PROM/EPROM/EEPROM y FLASH.
- ✓ Líneas de (Entrada/Salida) para comunicar con el exterior.
- ✓ Diversos módulos para el control de periféricos (temporizadores, puertos de serie y paralelos, A/D, D/A, etc.).
- ✓ Generador de impulsos de reloj que sincronizan el funcionamiento de todos los sistemas.

Ciertamente, el corazón del microcontrolador es un microprocesador, es importante recordar que el microcontrolador es para un aplicación concreta y no es universal como el microprocesador

3.2 Microcontrolador Basic Stamp 2 (BS2)

El Basic Stamp II es una pequeña computadora que ejecuta programas en lenguaje PBASIC (ver ilustraciones 8 y 9). El BS2-IC tiene 16 pines de (Entrada / Salida) los cuales pueden ser conectados directamente a dispositivos digitales o de niveles lógicos, tales como botones (push botton), LEDs, potenciómetros.

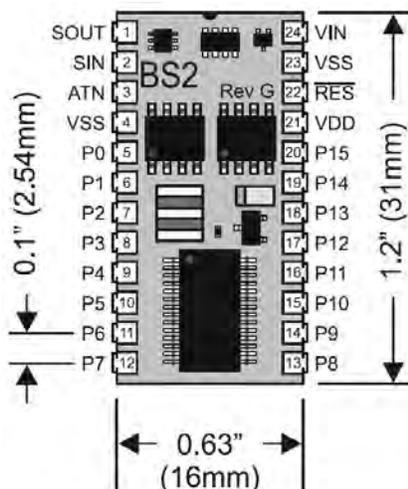


Ilustración 8 .Diagrama Esquemático de BS2. Autor Diego M. Pulgar G. sin fecha de elaboración.



Ilustración 9. Microcontrolador Basic Stamp 2. Autor Parallax Inc. 2015

3.2.1 Equipo necesario para trabajar con BS2

Dentro del material que se requiere para el funcionamiento del Basic Stamp 2 así como para su programación son necesarios, ver ilustración 10:

- ✓ Un microcontrolador Basic Stamp 2
- ✓ Un cable serial RS-232
- ✓ Un pulsador momentáneo
- ✓ Fuente de alimentación (+5V - +15V)
- ✓ Una computadora con S.O Windows (preferentemente XP)
- ✓ Programa Editor PBASIC⁸
- ✓ Una tablilla de experimentación ProtoBoard⁹.



**Ilustración 10. Material para la programación del BS2.
Elaboración propia. Octubre 2014.**

3.3 Funcionamiento interno del BS2

El diseño físico consiste en una fuente de alimentación de +5V, un oscilador de 20 MHz, una memoria EEPROM de 2K, un detector de bajo voltaje y un chip que interprete

⁸ PBASIC [línea]. [Consultado 28 septiembre de 2014]. Disponible: <http://www.parallax.com/>

⁹ Es un dispositivo para crear prototipos temporales sin soldadura con componentes electrónicos y probar diseños de circuitos. [Consultado 28 septiembre de 2014]. Disponible: <http://wiring.org.co/learning/tutorials/es/breadboard/>

PBASIC. El programa compilado en PBASIC es almacenado en la EEPROM¹⁰, desde donde es interpretado y ejecutado.

El chip intérprete ejecuta una instrucción cada vez, realizando la operación apropiada en los pines de I/O en la estructura interna del mismo. Debido a que el programa PBASIC es almacenado en una EEPROM, puede ser reprogramado una cantidad aproximada a 10 millones de veces (ver ilustración 11).

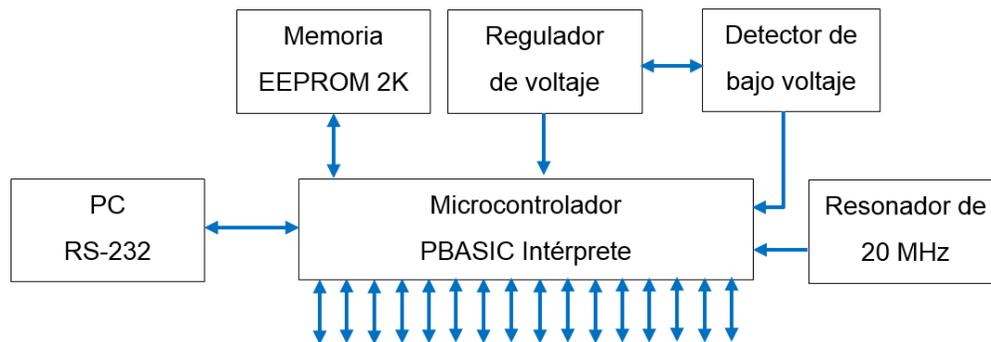


Ilustración 11. Diagrama de Bloque de BS2. Autor Diego M. Pulgar G. sin fecha de elaboración.

La programación del BS2 se realiza directamente desde la computadora, descargando los programas desde el software editor, el BS2 tiene la capacidad de almacenar alrededor de 500 a 600 instrucciones de alto nivel (PBASIC) y de ejecutar un promedio de 4000 instrucciones por segundo.

3.4 Ventajas del BS2 con otros microcontroladores

La principal ventaja de BS2 sobre sus competidores es sin duda que este incorpora un chip intérprete PBASIC, permitiendo ahorrar tiempo en el desarrollo de las aplicaciones. El PBASIC es un lenguaje de programación basado en BASIC. El uso de instrucciones sencillas de alto nivel, permite programar los Basic Stamp para controlar cualquier aplicación llevada a cabo por un microcontrolador.

¹⁰ Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (Memoria programable borrable de solo lectura)

Estas instrucciones permiten el control de las líneas (Entrada / Salida), realizar transmisiones serie asíncronas, utilizar el protocolo SPI¹¹, programar pantallas LCD, captura de señales analógicas, etc. Y todo en un sencillo entorno de programación que facilita la creación de estructuras condicionales y repetitivas como:

- ✓ IF...THEN.
- ✓ FOR...NEXT.
- ✓ Etiquetas de referencia,

3.4.1 Algunas aplicaciones de los BS2.

El único limitante para estos microcontroladores es la imaginación, gracias a la gran cantidad de puertos de I/O es posible controlar gran cantidad de dispositivos externos y ser así el cerebro de estos, algunas de las aplicaciones de estos controladores se enlistan a continuación:

- ✓ Electrónica industrial (Automatizaciones).
- ✓ Comunicaciones e interfaz con otros dispositivos.
- ✓ Comunicación con otros microcontroladores.
- ✓ Equipos de medición.
- ✓ Equipos de diagnóstico.
- ✓ Adquisición de datos.
- ✓ Robótica (Servo mecanismos).
- ✓ Proyectos musicales
- ✓ Proyectos de física

3.5 Fuente de alimentación

El BS2 cuenta con dos formas de trabajo, la primera consiste en un voltaje de alimentación no regulado el cual puede variar de +5V a +15 v. La segunda consiste en polarizarlo directamente a través de VDD.

¹¹ Protocolo SPI [línea]. [Consultado 29 septiembre de 2014]. Disponible: <http://www.i-micro.com/pdf/articulos/spi.pdf>

3.6 Conexión entre la PC y el BS2.

Recordemos que para lograr la comunicación entre el microcontrolador y la PC es necesario un cable serial RS-232 (ver tabla 1), en caso de no contar con uno, se puede fabricar con un conector DB9 y cable UTP como se muestra continuación (ver ilustraciones 12 y 13):



Ilustración 12. Conector DB9 y cable UTP. Autor Eletrodex.2015.

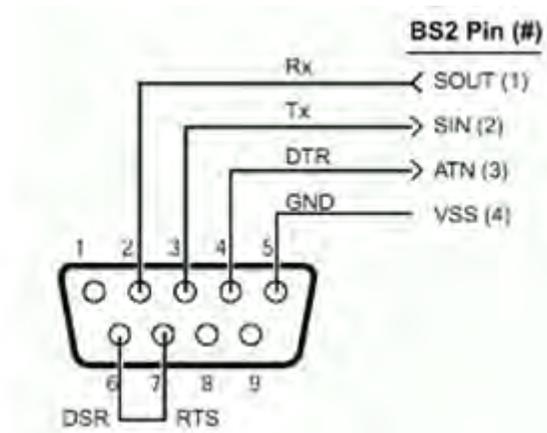


Ilustración 13. Conexión del conector DB9. Autor Diego M. Pulgar G. sin fecha de elaboración.

Preparando la el conector DB9 como se muestra anteriormente se puede iniciar a programar el BS2 con el programa Basic Stamp Editor (ver ilustraciones 14 y 15).

Pin	Nombre	Descripción
1	SOUT	Serial Out: Conectar al puerto serial RX (DB9 Pin 2)
2	SIN	Serial In: Conectar al puerto serial Tx (DB9 Pin 3)
3	ATN	Atención: conectar al puerto serial DTR (DB9 Pin 4)
4	GND	Tierra entre el puerto serial y el BS2
5-20	P0 - P15	Puertos de propósitos generales, cada uno puede entregar 25 mA, sin embargo, el total de la corriente no puede exceder los 75 mA utilizando el regulador interno de 100 mA a +5V.
21	VDD	Voltaje regulado a +5V
22	RES	Reset, sirve para reiniciar el BS2
23	GND	Tierra del BS2
24	PWR	Voltaje no regulado entre +5V a +15V VDC

Tabla 1. Descripción de pines del Conector DB9. Elaboración propia. Octubre 2014.

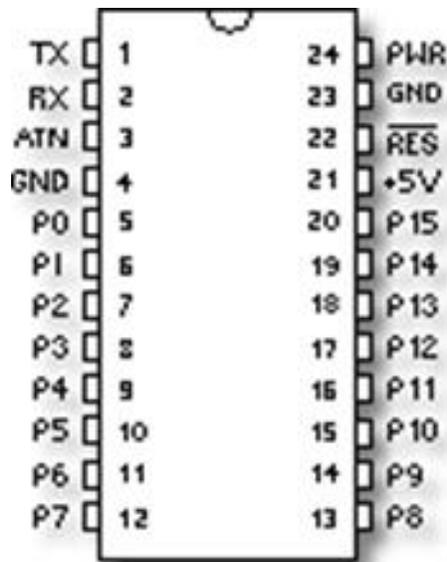


Ilustración 14. Ubicación de Pines BS2. Autor Parallax. 2015.

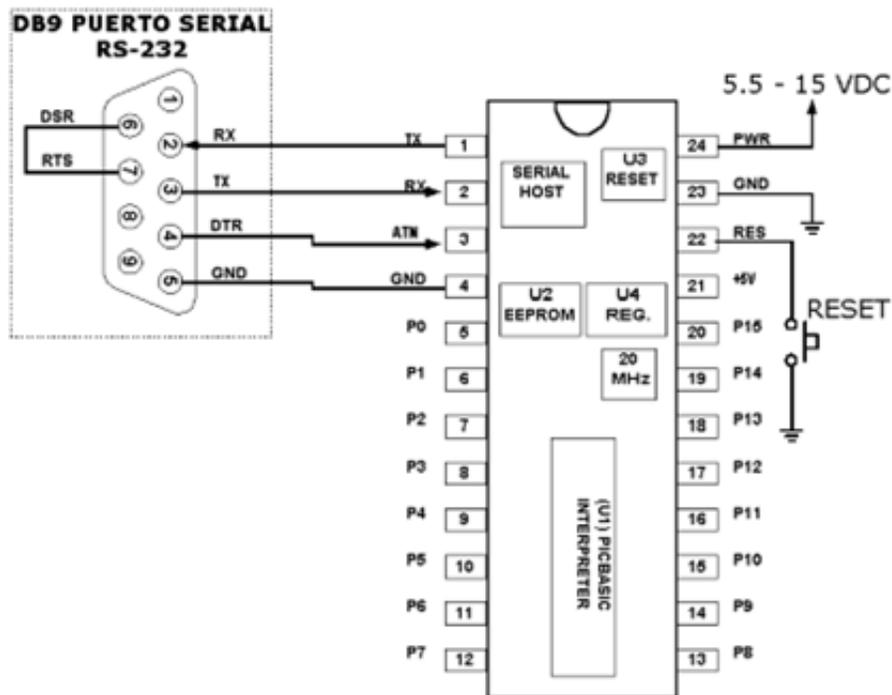


Ilustración 15. Conexión típica para su funcionamiento. Autor Diego M. Pulgar G. sin fecha de elaboración.

3.7 Lenguaje de programación PBASIC

El lenguaje de programación PBASIC fue creado específicamente para programar los BS2, es muy similar al lenguaje de programación BASIC, la ventaja que ofrece PBASIC sobre otros lenguajes es su facilidad de aprendizaje.

3.8 PBASIC Editor

Es un programa donde se escribe el conjunto de instrucciones para el Basic Stamp. A primera vista es similar a cualquier editor de textos del S.O. de Windows. Este editor cuenta con una serie de herramientas como el identificador del Basic Stamp, corrector ortográfico de sintaxis, mapa de memoria y ventana del depurador,

Cuenta también con la posibilidad de abrir 16 ventanas simultáneamente, en las cuales podemos cortar, pegar y copiar líneas de comando.

Sus comandos más importantes son (ver tabla 2):

F1	Muestra la ayuda en la pantalla
Ctrl-O	Abre un archivo
Ctrl-S	Guarda un archivo
F9 o Ctrl-R	Carga el programa en el BS2
F7 o Ctrl-T	Corrector de sintaxis
F8 o Ctrl-M	Muestra el mapa de memoria
F6 o Ctrl-I	Muestra el número de versión de PBASIC
ESC	Cierra la ventana actual

Tabla 2. Comandos Básicos de Pbasic Editor. Elaboración Propia. Octubre 2014.

3.9 Organización de la memoria del BS2

El BS2 cuenta con dos tipos de memoria; RAM para las variables de su programa, y el EEPROM que en si sirve para almacenar los programas. La memoria EEPROM también puede ser utilizada para almacenar datos de la misma forma que lo hace una computadora.

La diferencia entre la memoria RAM y la EEPROM:

- ✓ La RAM pierde el contenido cuando el BS2 no tiene energía, cuando retorna la energía o cuando se reinicia el BS2, el contenido se inicializa en 0.
- ✓ La EEPROM retiene el contenido sin energía o con energía, mientras no se sobre escriba con otro programa o con la sentencia WRITE.

3.9.1 Memoria RAM del BS2

EL BS2 cuenta con 32 BYTES de memoria RAM, 6 BYTES están reservados para los registros de entrada, salidas y direccionamientos del puerto para el control de (Entradas / Salidas). Los 26 BYTES restantes están destinados para uso de variables generales.

3.10 Clasificación de comandos

El lenguaje PBASIC está formado por 37 comandos, 24 funciones matemáticas, instrucciones de variables, constantes y etiquetas de referencia. La combinación de estos comandos y las etiquetas, conformaran un programa en PBASIC. La complejidad de dicho programa dependerá de lo que se quiera realizar.

La mayoría de instrucciones de PBASIC están orientadas al procesamiento de señales de entrada y salida de uso industrial, y el resto están destinadas a la evaluación de datos y cálculos matemáticos.

A continuación se muestran los comandos más comunes en PBASIC (ver tabla 3):

IF...THEN	Evaluación para tomar una decisión según la condición (Falso / Verdadero)
BRANCH	GOTO computado (equivalente a ON...GOTO)
GOTO	Salta a una posición específica dentro del programa mediante una dirección de etiqueta.
GOSUB	Llama a una subrutina PBASIC en la dirección de etiqueta.
FOR...NEXT	Bucle controlado, ejecuta declaraciones en forma repetitiva.
DATA	Almacena datos en la memoria EEPROM del BS2.
READ	Lee un BYTE de la EEPROM del BS2.
WRITE	Graba un BYTE de la EEPROM del BS2.
LOOKUP	Obtiene datos de la EEPROM del BS2.
LOOKDOWN	Busca un valor en la tabla de constantes.
RANDOM	Genera números aleatorios (0-65535).
INPUT	Convierte un pin en entrada.
OUTPUT	Convierte un pin en salida.

REVERSE	Convierte un pin de entrada en salida y viceversa.
LOW	Hace baja la salida de un pin.
HIGH	Hace alta la salida de un pin
SERIN	Entrada serial asincrónica (RS-232)
SEROUT	Salida serial asincrónica (RS-232)
PAUSE	Hace una pausa de (0-65535) milisegundos.
END	Detiene la ejecución e ingresa en modo de baja potencia.
DEBUG	Salida de datos por el puerto de programación.

Tabla 3. Comandos Básicos del lenguaje Pbasic. Elaboración Propia. Octubre 2014.

3.11 Hola mundo con Basic Stamp 2

Como primer programa se realizara un Hola Mundo en Basic Stamp

Al abrir el Editor de Basic Stamp algunas líneas se crearan de manera automática al dar clic en algunos botones de la barra de herramientas, el primer botón se llama Stamp Mode: BS2, ver ilustración 16.

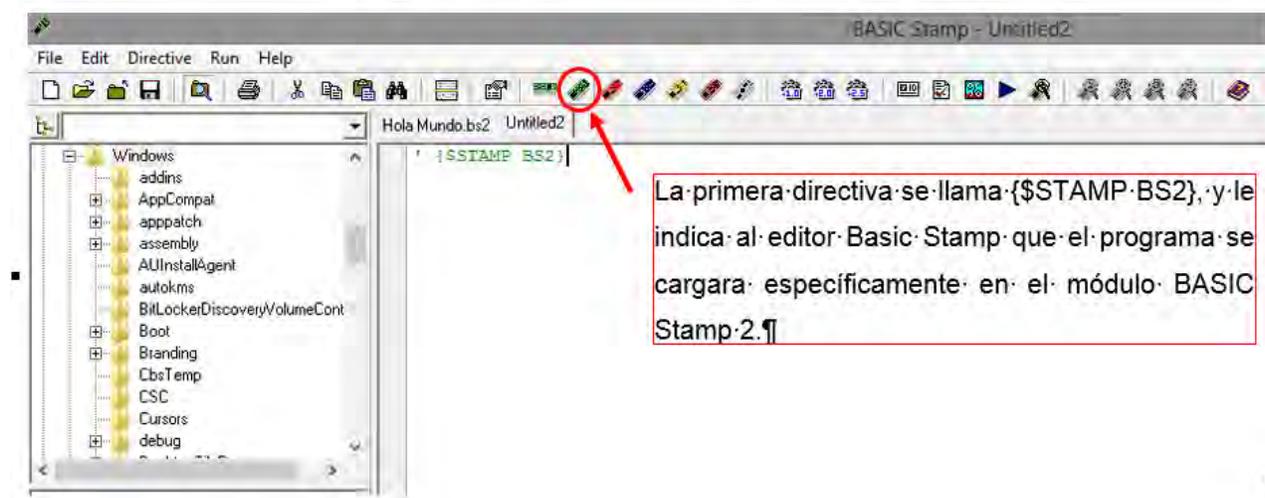


Ilustración 16. Indica el módulo Basic Stamp que se ocupa. Elaboración Propia. Noviembre de 2014.

El segundo botón es PBASIC Language: 2.5 el cual también se encuentra en la barra de herramientas, ver figura 17.

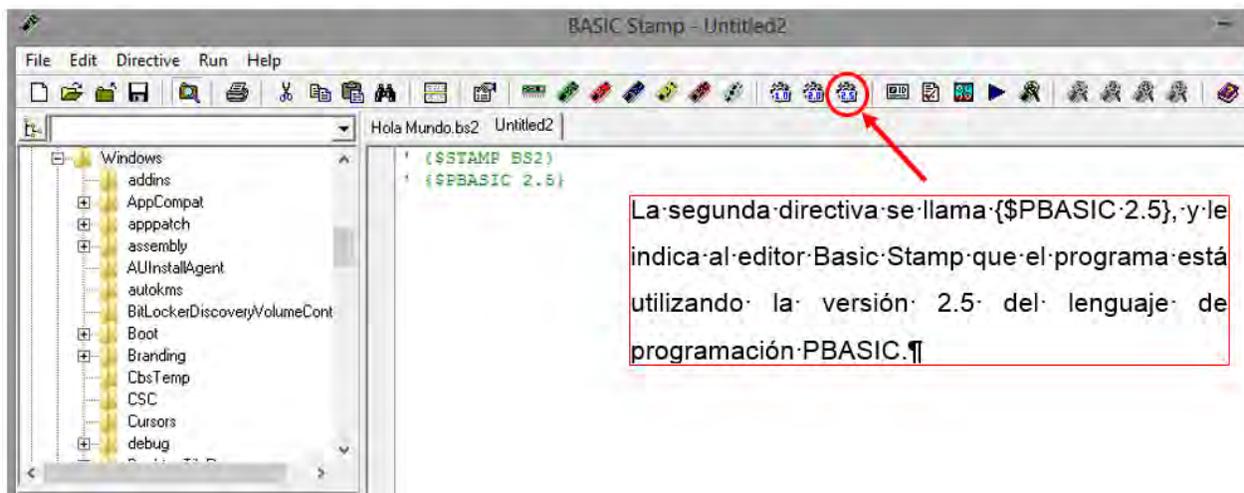


Ilustración 17. Indica la versión del Lenguaje Basic que se utiliza. Elaboración Propia. Noviembre 2014.

Posteriormente se escriben las líneas restantes del programa como se muestra a continuación, ver ilustración 18:

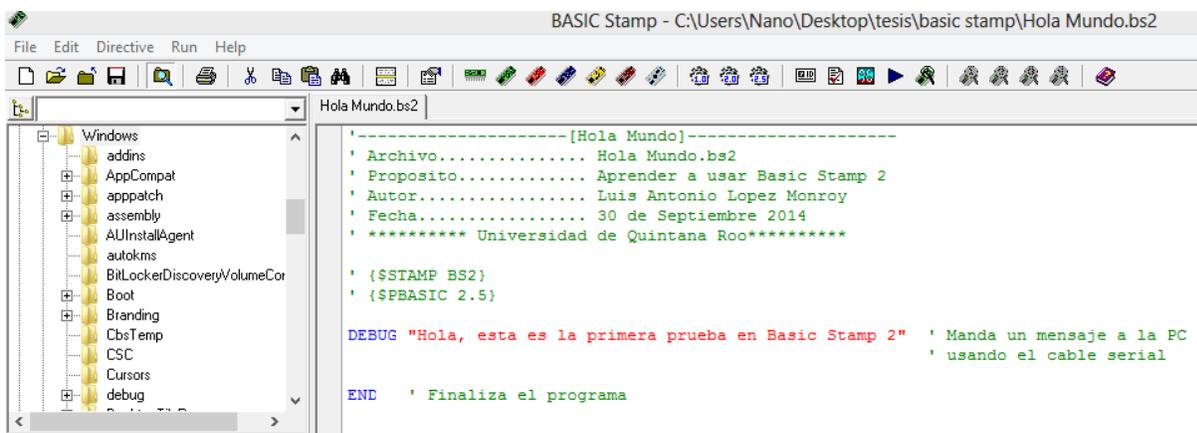


Ilustración 18. Código del Hola Mundo. Elaboración Propia. Noviembre 2014.

Una vez terminado el código del programa podemos verificar que no tenga errores de sintaxis con el botón Syntax Check, ver ilustración 19.

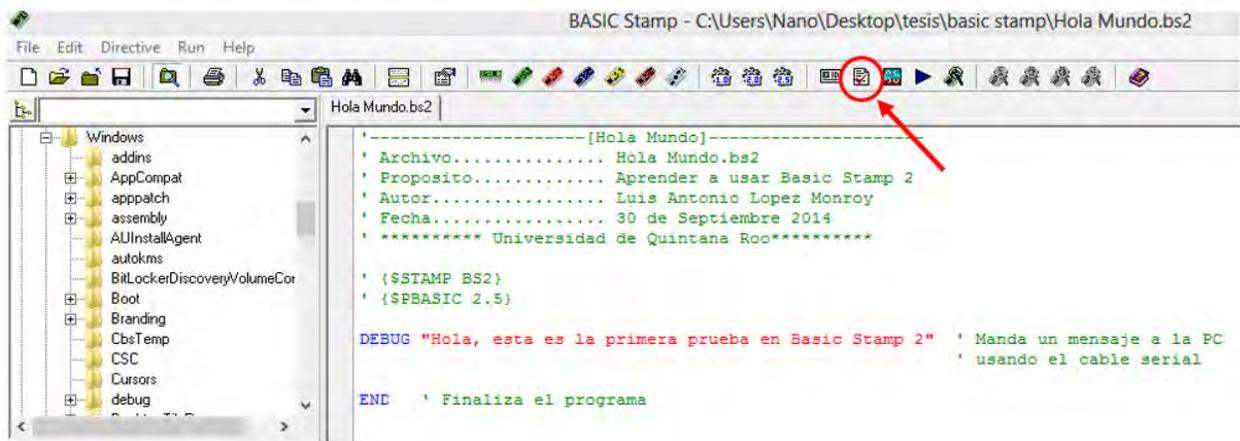


Ilustración 19. Verifica la Sintaxis del Programa. Elaboración propia. Noviembre 2014.

Finalmente cargaremos el programa al Basic Stamp el cual se encuentra conectado a la PC mediante el botón de Run, como se muestra en la ilustración 20.

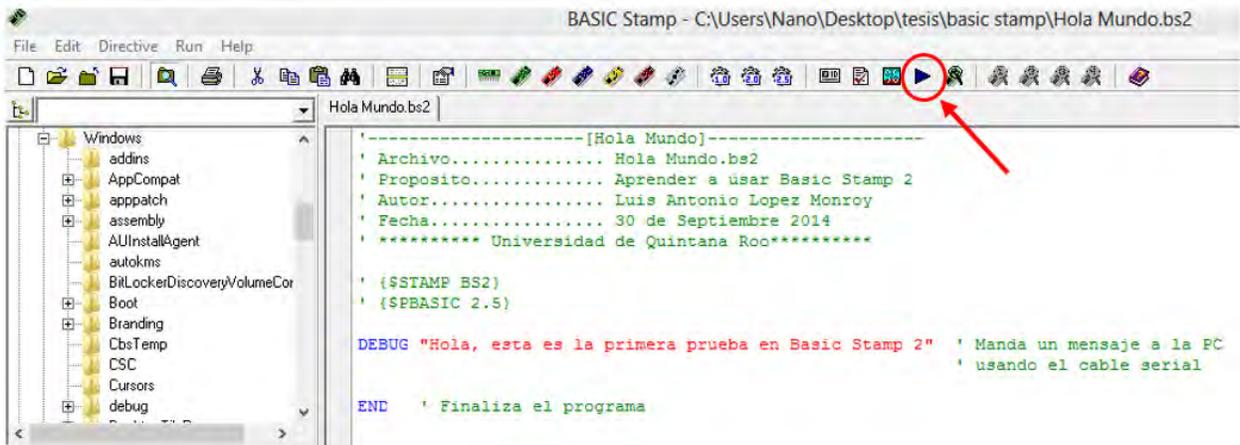


Ilustración 20. Carga Código al BS2. Elaboración Propia. Noviembre 2014.

En la siguiente Ilustración se muestra el resultado después de cargar el programas en el BS2, como se puede ver al momento de cargar el programa automáticamente aparece la ventana Debug Terminal en donde indica que el BS2 está conectado mediante el puerto COM1, nos indica la velocidad de transmisión, la paridad, etc.

También muestra el mensaje “Hola, esta es la primera prueba en Basic Stamp 2” (ver ilustración 21).

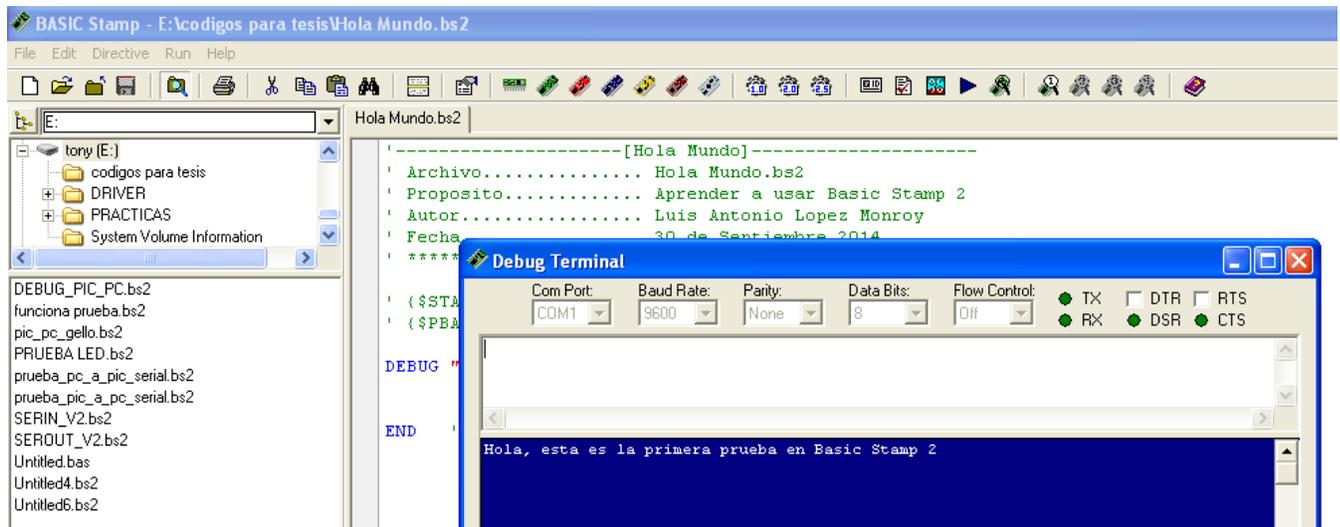


Ilustración 21. Pantalla de la terminal con el mensaje del Hola Mundo. Elaboración Propia. Noviembre 2014.

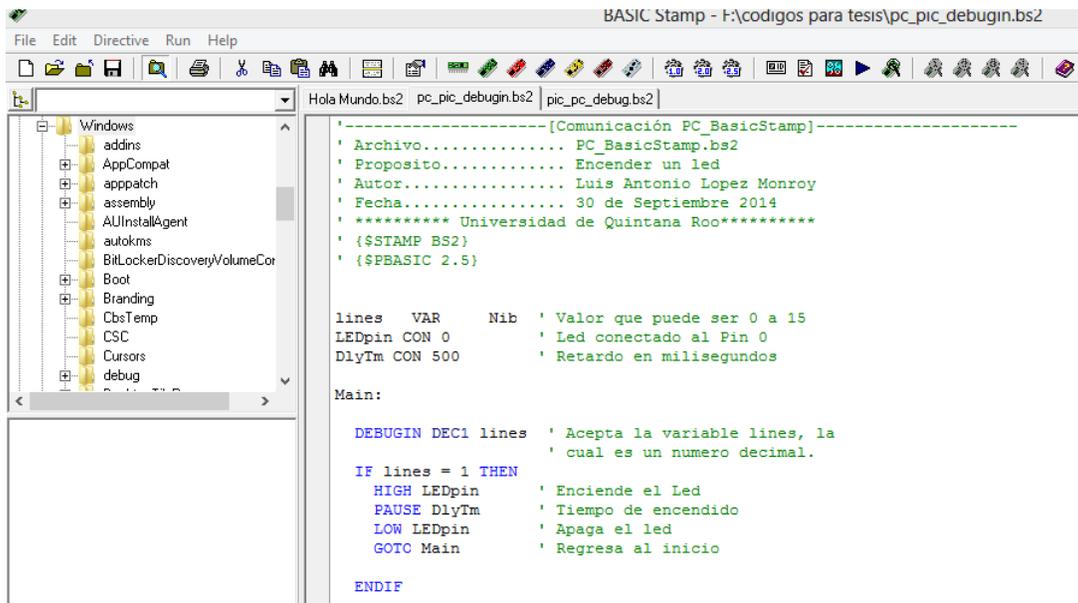
3.12 Hacer titilar un led

El propósito es hacer titilar un LED con Basic Stamp al teclear el número 1 en el teclado de la PC el cual hará que se encienda el led conectado al Pin 0 del microcontrolador.

Comandos y elementos a utilizar:

- ✓ DEBUGING es un casi especial de la instrucción SERIN
- ✓ VAR
- ✓ CON
- ✓ HIGH
- ✓ LOW
- ✓ PAUSE
- ✓ GOTO

Código, ver ilustración 22:



```

-----[Comunicación PC_BasicStamp]-----
' Archivo..... PC_BasicStamp.bs2
' Proposito..... Encender un led
' Autor..... Luis Antonio Lopez Monroy
' Fecha..... 30 de Septiembre 2014
' ***** Universidad de Quintana Roo*****
' {$STAMP BS2}
' {$PBASIC 2.5}

lines VAR Nib ' Valor que puede ser 0 a 15
LEDpin CON 0 ' Led conectado al Pin 0
DlyTm CON 500 ' Retardo en milisegundos

Main:

DEBUGIN DEC1 lines ' Acepta la variable lines, la
                  ' cual es un numero decimal.

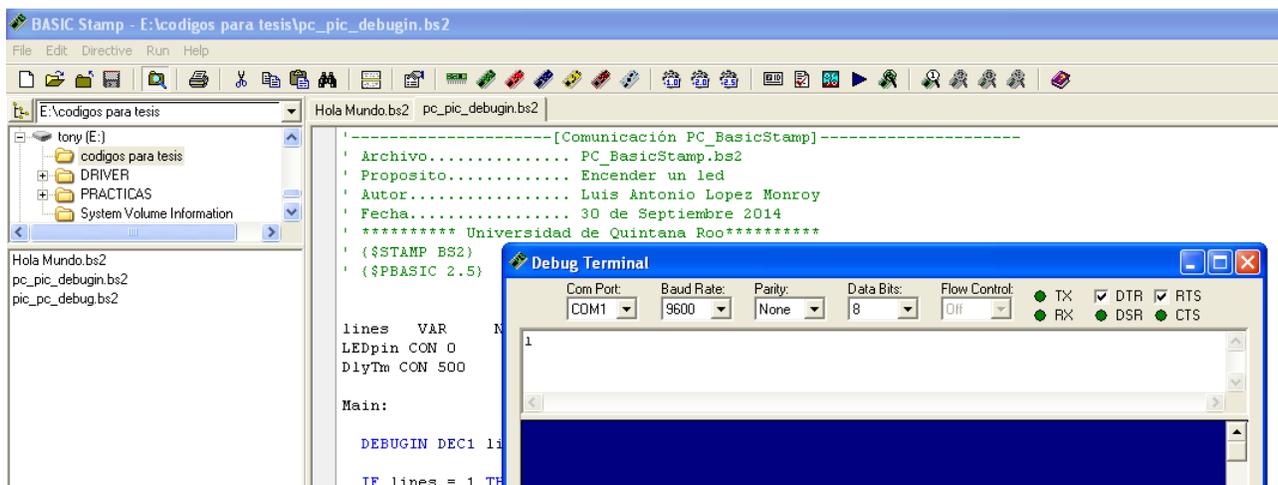
IF lines = 1 THEN
HIGH LEDpin ' Enciende el Led
PAUSE DlyTm ' Tiempo de encendido
LOW LEDpin ' Apaga el led
GOTO Main ' Regresa al inicio

ENDIF

```

Ilustración 22. Código de comunicación de PC a BS2. Elaboracion propia. Noviembre 2014.

Una vez que se ha cargado el programa en el BS2, se abrirá la pantalla de la terminal en donde se procederá a ingresar el número “1”, al momento de ingresarlo de manera automática se le está indicando el BS2 que encienda el LED conectado al Pin 0, ver ilustración 23.



```

-----[Comunicación PC_BasicStamp]-----
' Archivo..... PC_BasicStamp.bs2
' Proposito..... Encender un led
' Autor..... Luis Antonio Lopez Monroy
' Fecha..... 30 de Septiembre 2014
' ***** Universidad de Quintana Roo*****
' {$STAMP BS2}
' {$PBASIC 2.5}

lines VAR Nib ' Valor que puede ser 0 a 15
LEDpin CON 0 ' Led conectado al Pin 0
DlyTm CON 500 ' Retardo en milisegundos

Main:

DEBUGIN DEC1 lines ' Acepta la variable lines, la
                  ' cual es un numero decimal.

IF lines = 1 THEN
HIGH LEDpin ' Enciende el Led
PAUSE DlyTm ' Tiempo de encendido
LOW LEDpin ' Apaga el led
GOTO Main ' Regresa al inicio

ENDIF

```

Ilustración 23 Envío de datos mediante la terminal. Elaboración Propia. Noviembre 2014.

Como se puede observar en la ilustración 24, se enciende el LED indicando que hay comunicación entre la PC y BS2.

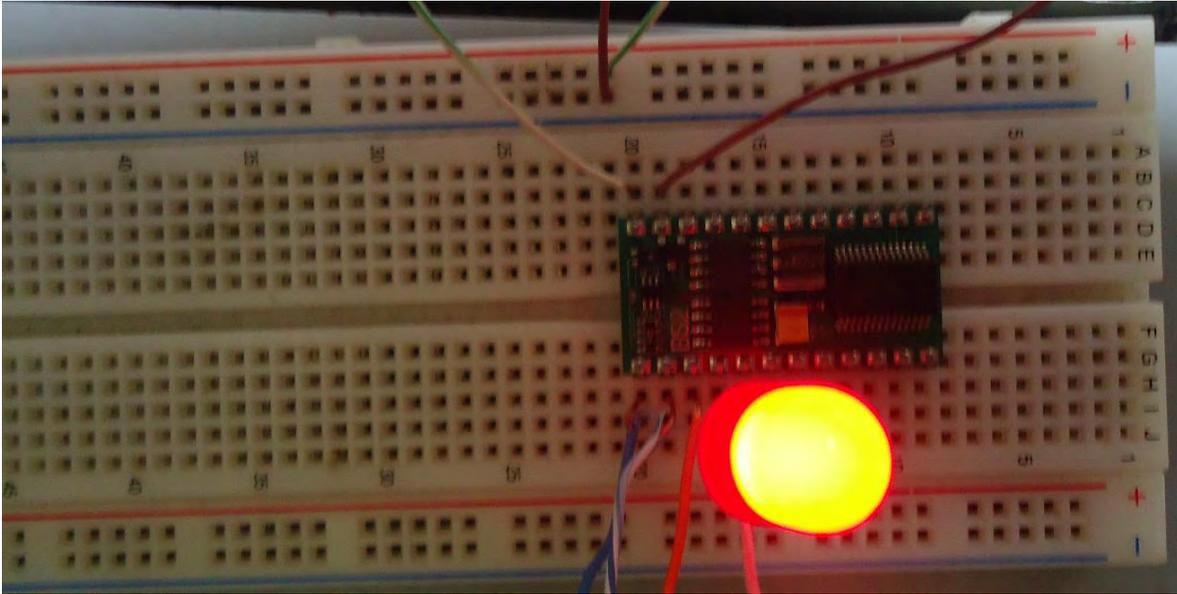


Ilustración 24. LED encendido al recibir el dato mediante la conexión serial. Elaboración Propia. Noviembre 2014.

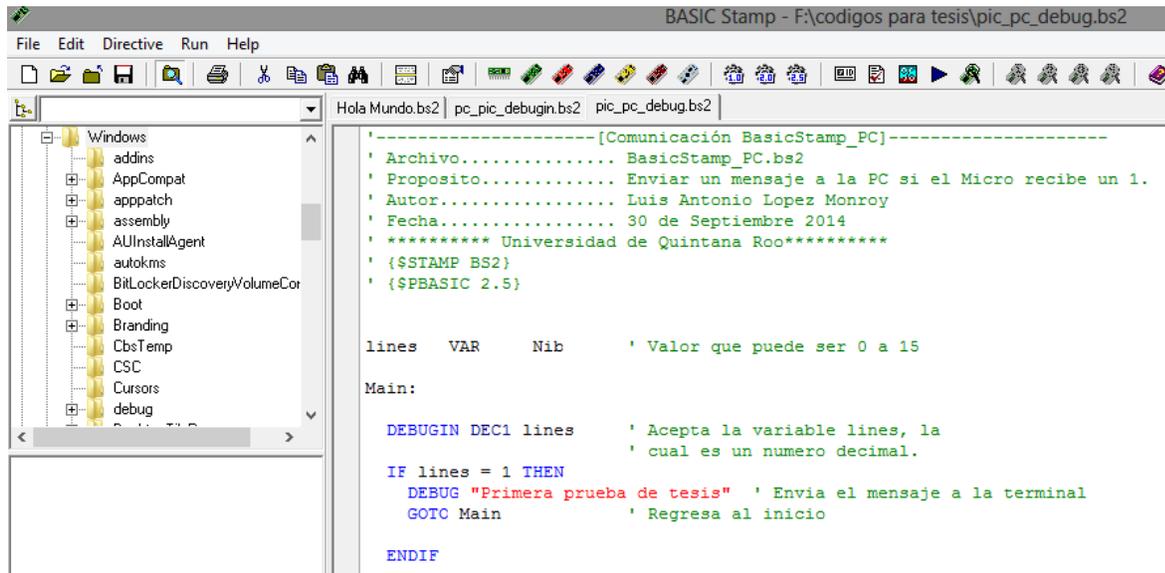
3.13 Enviar datos del BS2 a la Pc

El propósito es que el BS2 envíe un mensaje al recibir un dato (número 1) de la PC.

Comandos y elementos a utilizar:

- ✓ DEBUGING es un casi especial de la instrucción SERIN
- ✓ VAR
- ✓ GOTO
- ✓ DEC1

Código, ver ilustración 25:



```

BASIC Stamp - F:\codigos para tesis\pic_pc_debug.bs2
File Edit Directive Run Help
Windows
  addins
  AppCompat
  apppatch
  assembly
  AUIInstallAgent
  autokms
  BitLockerDiscoveryVolumeCor
  Boot
  Branding
  CbsTemp
  CSC
  Cursors
  debug
  ...

'-----[Comunicación BasicStamp_PC]-----
' Archivo..... BasicStamp_PC.bs2
' Proposito..... Enviar un mensaje a la PC si el Micro recibe un 1.
' Autor..... Luis Antonio Lopez Monroy
' Fecha..... 30 de Septiembre 2014
' ***** Universidad de Quintana Roo*****
' {$STAMP BS2}
' {$PBASIC 2.5}

lines VAR Nib ' Valor que puede ser 0 a 15

Main:

DEBUGIN DEC1 lines ' Acepta la variable lines, la
                  ' cual es un numero decimal.

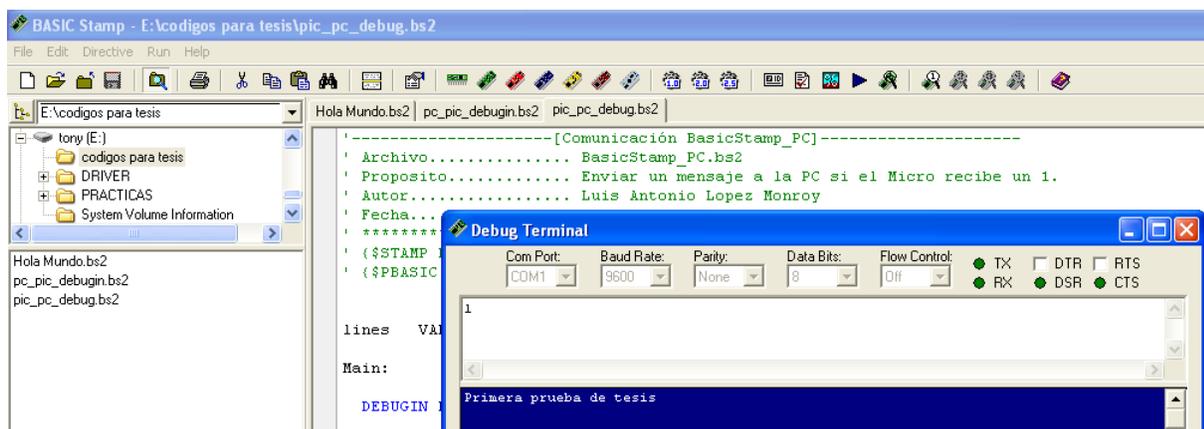
IF lines = 1 THEN
  DEBUG "Primera prueba de tesis" ' Envia el mensaje a la terminal
  GOTC Main ' Regresa al inicio

ENDIF

```

Ilustración 25 Código de comunicación de BS2 a PC. Elaboracion Propia. Noviembre 2014.

Después de cargar el programa en el BS2 solamente él se tiene que teclear el número "1" para indicarle al BS2 que hay comunicación y pueda enviar el mensaje de prueba de manera serial.



```

BASIC Stamp - E:\codigos para tesis\pic_pc_debug.bs2
File Edit Directive Run Help
E:\codigos para tesis
  tony (E:)
  codigos para tesis
  DRIVER
  PRACTICAS
  System Volume Information

Hola Mundo.bs2
pc_pic_debugin.bs2
pic_pc_debug.bs2

'-----[Comunicación BasicStamp_PC]-----
' Archivo..... BasicStamp_PC.bs2
' Proposito..... Enviar un mensaje a la PC si el Micro recibe un 1.
' Autor..... Luis Antonio Lopez Monroy
' Fecha...
' *****
' {$STAMP
' {$PBASIC

lines VAR
Main:

DEBUGIN

```

Debug Terminal

Com Port: COM1 Baud Rate: 9600 Parity: None Data Bits: 8 Flow Control: Dfif

TX [x] DTR [x] RTS [x]
RX [x] DSR [x] CTS [x]

1

Primera prueba de tesis

Ilustración 26. Envío y recepción de datos mediante la terminal. Elaboración propia. Noviembre 2014.

Capítulo 4. Diseño del interruptor inteligente

4.1 Conexión serial entre microcontroladores Basic Stamp (BS2)

Después de haber realizado con éxito la comunicación serial entre la Pc y los microcontroladores se procederá a realizar una conexión serial (cableada) entre dos microcontroladores BS2 (ver ilustración 27), con la finalidad de enviar un comando que active un led. Esta primera parte es de suma importancia ya que una vez que se pueda tener comunicación entre ambos microcontroladores podremos agregar a este diseño los módulos inalámbricos XBee los cuales lograrán la misma función de los microcontroladores pero de forma inalámbrica.

Material:

- ✓ 2 Basic Stamp 2
- ✓ Resistencia de 10 k Ω
- ✓ Cables de conexión
- ✓ 1 led
- ✓ Protoboard

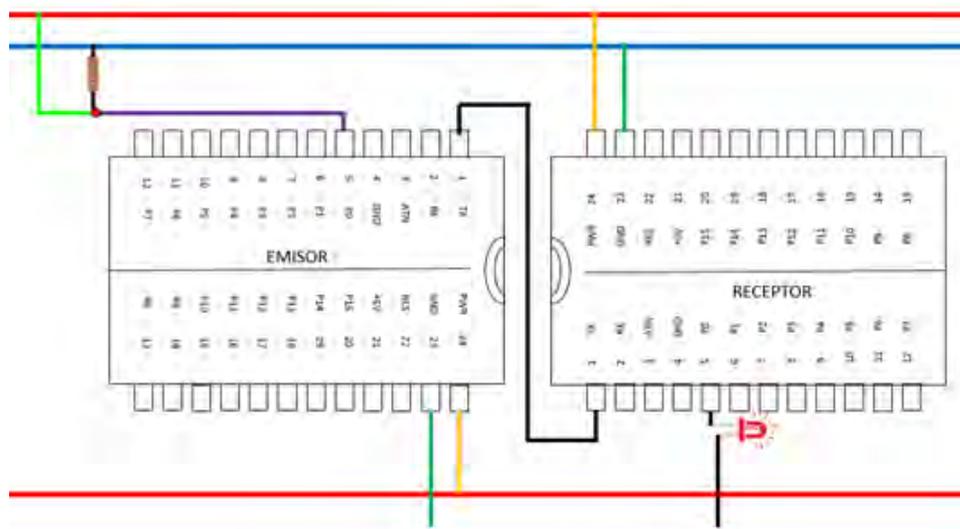


Ilustración 27. Conexión serial entre los microcontroladores. Elaboración Propia. Diciembre 2014

Código del BS2 Emisor, ver ilustración 28:

```
' Archivo..... BS2 Emisor.bs2
' Proposito..... Enviar un dato mediante conexión serial
' Autor..... Luis Antonio Lopez Monroy
' Fecha..... 30 de Septiembre 2014
' ***** Universidad de Quintana Roo*****
' {$STAMP BS2}
' {$PBASIC 2.5}

*****Constantes y pines*****
#SELECT $STAMP
#CASE BS2
    T9600 CON 84
#ENDSELECT

N VAR Byte           'Variable que se enviara
boton VAR Byte       '
pin0 CON 0           'Pin donde estara conectado el botón
downstate CON 1     'Estado logico del boton
delay CON 255       'Tiempo para que el botón realice su función
rate CON 250        'Númerode ciclos entre auto-repeticiones
targetstate CON 0   'Estado que tomara el boton para realizar una acción

Main:

BUTTON pin0,downstate, delay, rate, boton 'Información que se tomara en cuenta para
    ,targetstate , no_press              'la acción del botón
N="A"                                     'Variable que se enviara
SEROUT 16, $4054, 1000, [STR N]         'salida de la variable
no_press:                                'no realiza ninguna acción
GOTC Main                                'Regresa al menú
```

Ilustración 28. Código Emisor. Elaboración Propia. Diciembre 2014.

Código del BS2 Receptor, ver ilustración 29:

```
' Archivo..... BS2 Receptor.bs2
' Proposito..... Recibir un dato mediante conexión serial
'                  y encender un Led
' Autor..... Luis Antonio Lopez Monroy
' Fecha..... 30 de Septiembre 2014
' ***** Universidad de Quintana Roo*****
' {$STAMP BS2}
' {$PBASIC 2.5}

*****Constantes y pines*****
#SELECT $STAMP
  #CASE BS2
    T9600 CON 84
#ENDSELECT

dato VAR Byte      'Variable donde se almacenara
                   'el dato a recibir
LED CON 0          'Pin donde estara conectadoel Led
DELAY CON 1000    'Retardo del Led

Main:

SERIN 16, $4054, [STR dato\1] 'Entrada del dato

IF dato="A" THEN      'Condición para verificar que el dato
                     'entrante sea la letra "A"
  HIGH LED           'Enciende Led
  PAUSE DELAY        'Pausa
  LOW LED            'Apaga Led
  GOTC Main          'Regresa al menú
ENDIF                'fin del condicional
```

Ilustración 29. Código Receptor. Elaboración Propia. Diciembre 2014.

4.2 Conexión Punto a Punto entre los módulos XBee.

A continuación se mostrara la conexión física entre los módulos BS2 y XBee (ver ilustraciones 30,31 y 32) así como también los códigos que se requieren cargar en los microcontroladores y la configuración Punto a Punto de los módulos XBee de tal manera que permitan encender el led pero ahora por radiofrecuencia, el importante

destacar que para lograr esto se requiere dos **placas de alimentación regulada Xbee**, estas serán de utilidad pues es importante recordar que tanto los microcontroladores como los Xbee trabajan con voltajes diferentes, así mismo esta placas tienen la capacidad de poder homogenizar las tensiones de operación entre las tecnologías Xbee y Basic Stamp.

Materiales:

- ✓ 2 adaptadores Xbee regulado a 5V.
- ✓ 2 módulos de comunicación XBee
- ✓ 2 Microcontroladores BS2
- ✓ 4 Cables M-F
- ✓ Cables de conexión
- ✓ 2 Resistencias de 220Ω
- ✓ 1 Resistencia $10 \text{ k}\Omega$
- ✓ 1 Led

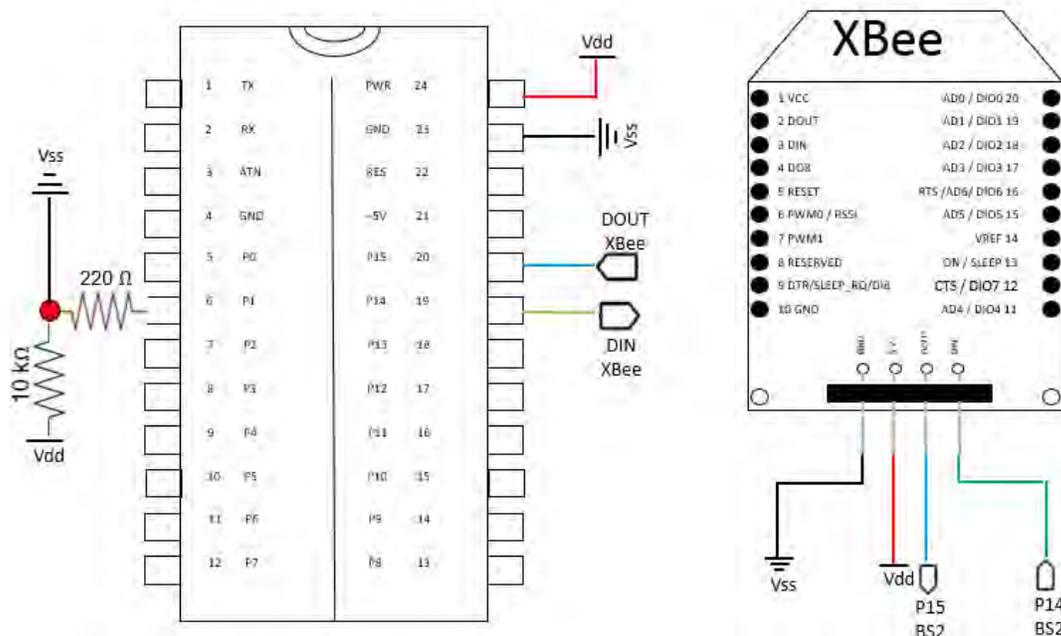


Ilustración 30. Conexión física de BS2 Y XBee Emisores. Elaboración Propia. Enero 2015.

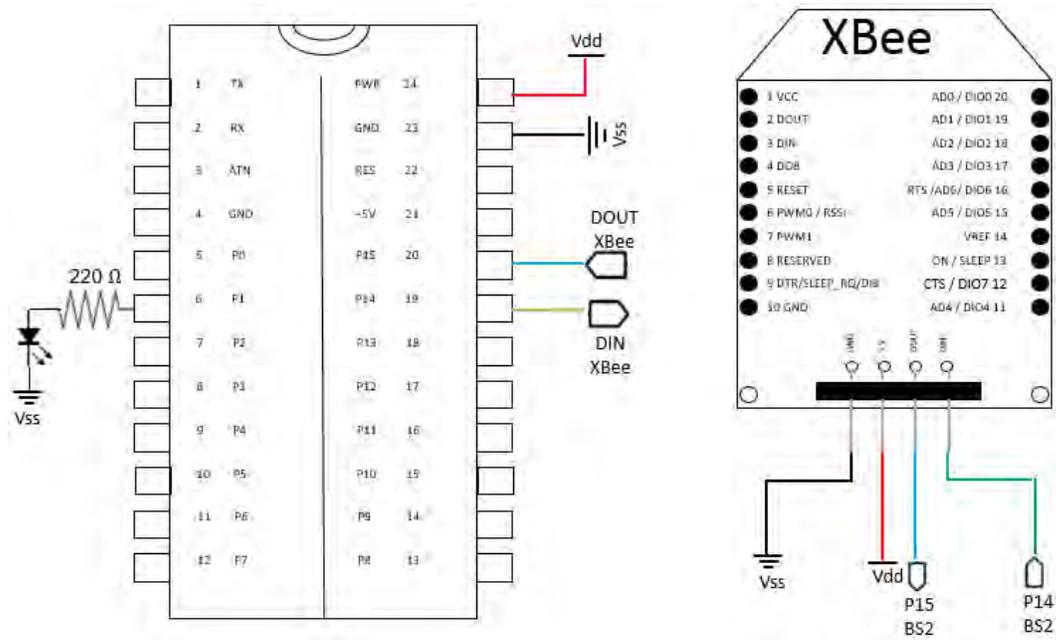


Ilustración 31. Conexión física de BS2 y Xbee Receptores. Elaboración Propia. Enero 2015.

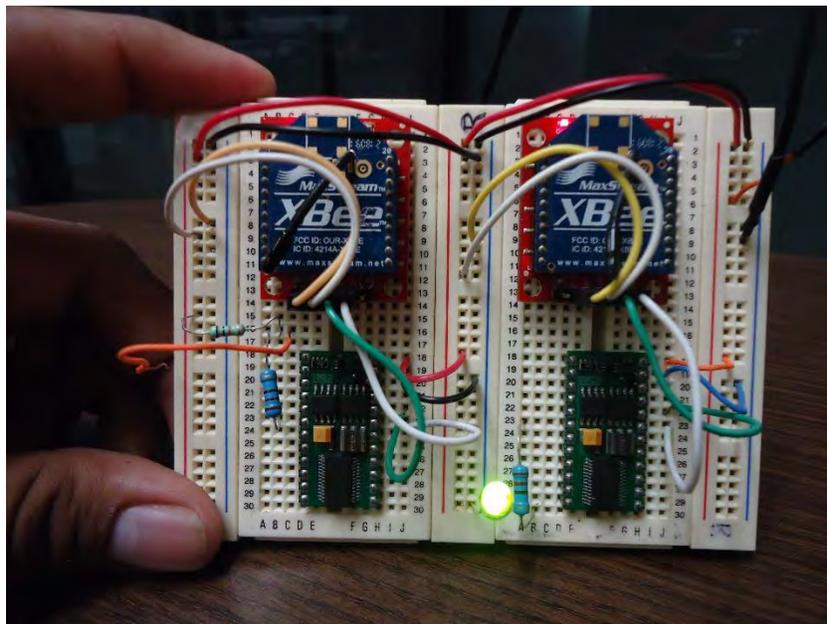


Ilustración 32. Conexión final. Elaboración Propia. Enero 2015.

Código del BS2 Emisor, ver ilustración 33:

```
' ($$STAMP BS2)
' {$PBASIC 2.5}

*****
' El siguiente codigo envia el estado del push, este codigo
' a sido cargado en el BS2 que tengo como emisor
*****

#SELECT $$STAMP
#CASE BS2
  T9600 CON 84
#ENDSELECT

***** Variables y constantes *****
Baud  CON T9600      'Velocidad de transmisión
Rx    CON 15         'XBee out
Tx    CON 14         'Xbee in
PB    PIN 1          'Push_button
State VAR Bit
*****
DO
  State = PB          'Lee el estado del push
  SEROUT Tx, Baud, [State]'Envia el valor del push como dato byte
  PAUSE 2500         'Envia datos cada 250 ms
LOOP
```

Ilustración 33. Código Emisor. Elaboración Propia. Enero 2015.

Código del BS2 Receptor, ver ilustración 34:

```
' {$STAMP BS2}
' {$PBASIC 2.5)
#SELECT $STAMP
  #CASE BS2
    T9600 CON 84
#ENDSELECT
*****
' El siguiente codigo recibe el estado del push, el cual
' controla el Led. Este codigo a sido cargado en el BS2
' que tengo como receptor
*****
***** Variables y constantes *****
Baud CON T9600
Rx CON 15 'XBee out
Tx CON 14 'Xbee in
State VAR Bit
Led PIN 1 'Led conectado al pin 0

*****

DO
  SERIN Rx, Baud, [State] 'Acepta el Byte
  IF State = 1 THEN      'Si el valor recibido es 1
    HIGH Led            'Enciende led
  ELSE
    LOW Led             'Si es 0 apaga el led
  ENDIF
LOOP
```

Ilustración 34. Código Receptor. Elaboración Propia. Enero 2015.

Configuración de Modulo XBee Emisor:

En la presente configuración se muestran en color azul los parámetros que han sido modificados para poder establecer la comunicación “Punto a Punto” entre los módulos

XBee, a continuación se brinda una breve descripción de los parámetros para una mejor comprensión.

PAN ID: Es el identificador de la red en la que se va a trabajar el cual puede ser un número entre 0 y 65535, es decir todos los módulos que se configuren bajo el ID 3332 estarán bajo la misma red.

Destination Address (DH & DL): Para el caso de la conexión Punto a Punto cada módulo viene con una dirección única de fábrica, esta dirección la podemos obtener del mismo módulo como se muestra a continuación, ver ilustración 35.



Ilustración 35. Datos únicos de Módulo XBee. Elaboración Propia. Enero 2015.

MY 16-bit source address: Es un valor único para cada Xbee de la red, la dirección debe ser cualquier valor entre 0x0000 y 0xFFFF, en este caso el Programa XCTU asignó un valor aleatorio, sin embargo al módulo Emisor podemos asignarle el valor de 0 y al receptor un valor de 1

Node Identifier: Es una atiqueta que nos permite Nombrar al módulo para una fácil identificación.

Conilustración de Modulo Emisor, ver ilustración 36:

Firmware information

Product family: XB24
Function set: XBEE 802.15.4
Firmware version: 10CD

Written and default
Written and not default
Changed but not written
Error in setting

Networking & Security
Modify networking settings

CH Channel	C	Written and default
ID PAN ID	3332	Written and default
DH Destination Address High	13A200	Written and not default
DL Destination Address Low	404AD9E6	Written and not default
MY 16-bit Source Address	10	Written and not default
SH Serial Number High	13A200	Written and default
SL Serial Number Low	404AD9F8	Written and default
RR XBee Retries	0	Written and not default
RN Random Delay Slots	0	Written and not default
MM MAC Mode	802.15.4 + MaxStream header w/ACKS [0]	Written and not default
NT Node Discover Time	19 x 100 ms	Written and not default
NO Node Discover Options	0	Written and not default
CE Coordinator Enable	End Device [0]	Written and not default
SC Scan Channels	1FFE Bitfield	Written and not default
SD Scan Duration	4 exponent	Written and not default
A1 End Device Association	0000b [0]	Written and not default
A2 Coordinator Association	000b [0]	Written and not default
AI Association Indication	0	Written and default
EE AES Encryption Enable	Disable [0]	Written and not default
KY AES Encryption Key		Error in setting
NI Node Identifier	EMISOR	Written and not default

Ilustración 36. Configuración XBee emisor. Elaboración Propia. Enero 2015.

Conilustración de Modulo XBee Receptor, ver ilustración 37:

Firmware information

Product family: XB24
Function set: XBEE 802.15.4
Firmware version: 10CD

Networking & Security
Modify networking settings

Parameter	Value	Status
CH Channel	C	Written and default
ID PAN ID	3332	Written and not default
DH Destination Address High	13A200	Written and not default
DL Destination Address Low	404AD9F8	Written and not default
MY 16-bit Source Address	11	Written and not default
SH Serial Number High	13A200	Written and not default
SL Serial Number Low	404AD9E6	Written and not default
RR XBee Retries	0	Written and not default
RN Random Delay Slots	0	Written and not default
MM MAC Mode	802.15.4 + MaxStream header w/ACKS [0]	Written and not default
NT Node Discover Time	19 x 100 ms	Written and not default
NO Node Discover Options	0	Written and not default
CE Coordinator Enable	End Device [0]	Written and not default
SC Scan Channels	1FFE Bitfield	Written and not default
SD Scan Duration	4 exponent	Written and not default
A1 End Device Association	0000b [0]	Written and not default
A2 Coordinator Association	0000b [0]	Written and not default
AI Association Indication	0	Written and not default
EE AES Encryption Enable	Disable [0]	Written and not default
KY AES Encryption Key		Changed but not written
NI Node Identifier	RECEPTOR	Written and not default

Ilustración 37. Configuración XBee Receptor. Elaboración Propia. Enero 2015.

4.3 Conexión Punto a Multipunto entre los módulos XBee.

Para la conexión “Punto a Multipunto” no son muchos cambios por hacer, para el presente trabajo la modificación se hará en los mismos parámetros que se mencionaron en la conexión “Punto a Punto” sin embargo se hará mención de cómo se aplican los cambios.

Es importante recordar que para poder crea una red con múltiples Módulos XBee se requiere que en la red exista un Módulo con la función de Coordinador el cual se encargara de formar la red, el manejo de direcciones y de la seguridad.

Posteriormente dependiendo cual sea el alcance del proyecto debemos definir si se utilizaran también Ruteadores y dispositivos finales, para el presente proyecto se ha establecido que se utilizaran 3 dispositivos finales directamente conectados al Modulo Coordinador.

Configuración del Módulo Coordinador, ver ilustración 38:

Product family: XB24
Function set: XBEE 802.15.4
Firmware version: 10CD

Written and not default
Changed but not written
Error in setting

Networking & Security
Modify networking settings

CH Channel	C	Written and not default	Changed but not written
ID PAN ID	2222	Written and not default	Changed but not written
DH Destination Address High	0	Written and not default	Changed but not written
DL Destination Address Low	FFFF	Written and not default	Changed but not written
MY 16-bit Source Address	0	Written and not default	Changed but not written
SH Serial Number High	13A200	Written and not default	Changed but not written
SL Serial Number Low	404AD9E6	Written and not default	Changed but not written
RR XBee Retries	0	Written and not default	Changed but not written
RN Random Delay Slots	0	Written and not default	Changed but not written
MM MAC Mode	802.15.4 + MaxStream header w/ACKS [0]	Written and not default	Changed but not written
NT Node Discover Time	19 x 100 ms	Written and not default	Changed but not written
NO Node Discover Options	0	Written and not default	Changed but not written
CE Coordinator Enable	End Device [0]	Written and not default	Changed but not written
SC Scan Channels	1FFE Bitfield	Written and not default	Changed but not written
SD Scan Duration	4 exponent	Written and not default	Changed but not written
A1 End Device Association	0000b [0]	Written and not default	Changed but not written
A2 Coordinator Association	000b [0]	Written and not default	Changed but not written
AI Association Indication	0	Written and not default	Changed but not written
EE AES Encryption Enable	Disable [0]	Written and not default	Changed but not written
KY AES Encryption Key		Error in setting	Changed but not written
NI Node Identifier	Coordinador	Written and not default	Changed but not written

Ilustración 38. Configuración XBee coordinador. Elaboración Propia. Enero 2015.

Como se puede observar en la configuración anterior, el Modulo Coordinador ha creado la red 2222 que es en la que se conectaran todos los dispositivos finales, en Destination Address High (DH) tiene el valor de “0” y el Destination Low “FFFF” lo cual significa que

cuando el coordinador envíe un mensaje lo hará a todos los dispositivos que se encuentren en la red, sin embargo se puede enviar un mensaje a un dispositivo específico modificando directamente estos dos parámetros y poniendo la dirección única de cada módulo como ya se había mencionado anteriormente.

Configuración del Router o Dispositivo final, ver ilustración 39:

Product family: XB24
Function set: XBEE 802.15.4
Firmware version: 10CD

Written and not default
Changed but not written
Error in setting

Networking & Security
Modify networking settings

CH Channel	C	Written and not default
ID PAN ID	2222	Written and not default
DH Destination Address High	13A200	Written and not default
DL Destination Address Low	404AD9E6	Written and not default
MY 16-bit Source Address	1	Written and not default
SH Serial Number High	13A200	Written and not default
SL Serial Number Low	404AD9E6	Written and not default
RR XBee Retries	0	Written and not default
RN Random Delay Slots	0	Written and not default
MM MAC Mode	802.15.4 + MaxStream header w/ACKS [0]	Written and not default
NT Node Discover Time	19 x 100 ms	Written and not default
NO Node Discover Options	0	Written and not default
CE Coordinator Enable	End Device [0]	Written and not default
SC Scan Channels	1FFE Bitfield	Written and not default
SD Scan Duration	4 exponent	Written and not default
A1 End Device Association	0000b [0]	Written and not default
A2 Coordinator Association	000b [0]	Written and not default
AI Association Indication	0	Written and not default
EE AES Encryption Enable	Disable [0]	Written and not default
KY AES Encryption Key		Error in setting
NI Node Identifier	End_Device/Router	Written and not default

Ilustración 39. Configuración XBee Router/Dispositivo Final. Elaboración Propia. Enero 2015.

Como se puede observar el PAN ID corresponde al establecido en la configuración del Módulo Coordinador, sin embargo los valores correspondientes a Destination Address High (DH) y Destination Address Low (DL) de todos los módulos finales y Routers

La salida del módulo Xbee se conecta a la terminal V2. La ultima entrada del block de terminales es la de “tierra” que servirá de referencia para los demás voltajes del circuito.

El siguiente es un diseño del circuito, fue elaborado en ULTIBOARD 11. En la ilustración 41 puede observarse el esquema del interruptor y en la ilustración 42 se observan las conexiones tal y como se verán en el circuito impreso.

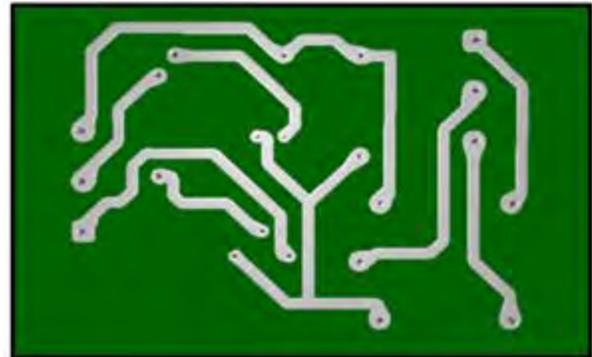
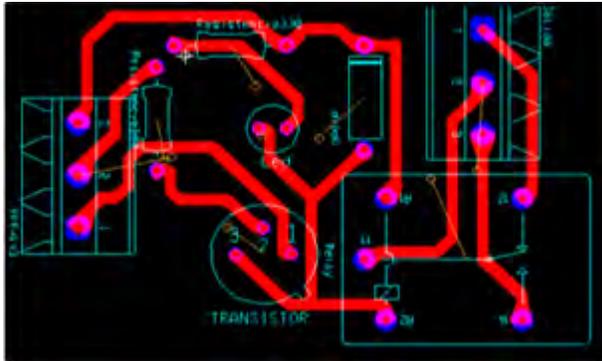


Ilustración 41. Esquema del interruptor. Autor Mtro. Jesús Álvarez Ruíz. 2013.

Ilustración 42. Conexiones del interruptor. Autor Mtro. Jesús Álvarez Ruíz. 2013.

Una vez implementado el circuito es similar al de la Ilustración 43

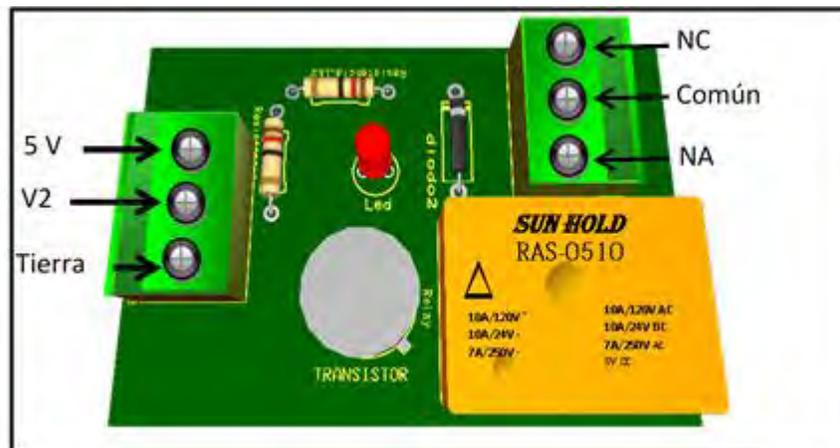


Ilustración 43. Implementación del Circuito impreso. Autor Mtro. Jesús Álvarez Ruíz. 2013.

4.5 Circuito del Relevador Electrónico.

En esta sección se describe el diseño de un relevador de estado sólido (Ilustración 44).

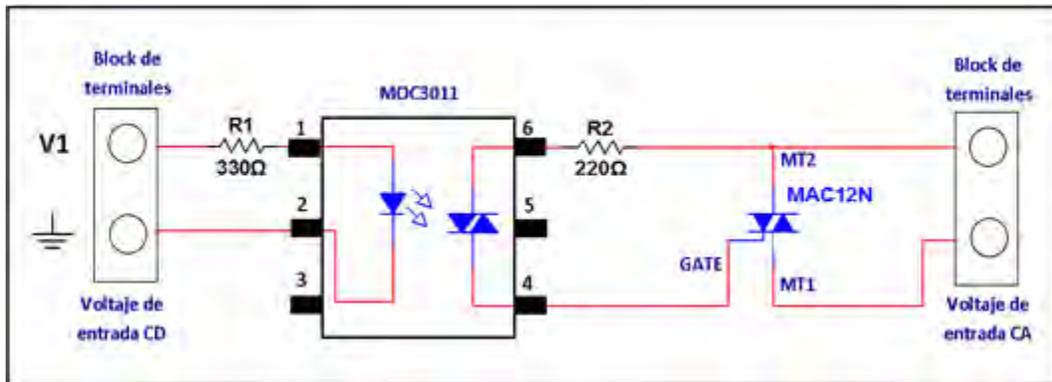


Ilustración 44. Circuito optocoplador como interruptor electrónico. Autor Mtro. Jesús Alvarez Ruíz. 2013.

El funcionamiento del circuito se describe a continuación:

Sin voltaje de entrada (V_1), el LED infrarrojo no emite ninguna señal, por lo tanto el Fototriac dentro del encapsulado y el TRIAC (MAC12N) se encuentran como circuitos abiertos, como puede observarse en la Ilustración 45, además la carga (foco) conectado a la fuente de 120V de CA no encenderá.

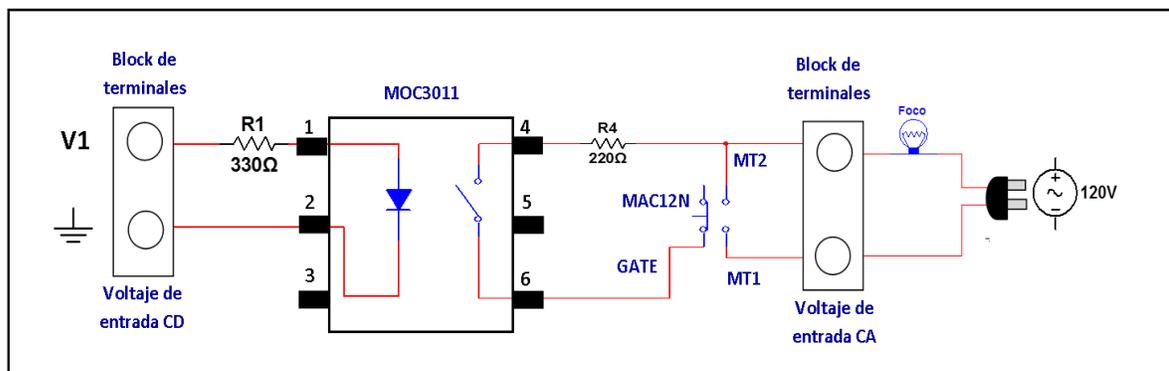


Ilustración 45. Triacs en estado inactivos. Autor Mtro. Jesús Alvarez Ruíz. 2013.

Para que el circuito entre en funcionamiento se conecta a la salida del Xbee/BS2 para proporcionar una fuente de 5V. Cuando el voltaje de 5V pase a través de la carga de

330Ω conectada al pin 1 del MOC3011, generará una corriente que pondrá en funcionamiento el LED infrarrojo que se encuentra dentro del encapsulado. Al polarizarse el LED infrarrojo emite una señal hacia el Fototriac igualmente ubicado dentro del mismo. Cuando el Fototriac reciba la señal entrará en estado de conducción, permitiendo el paso de la corriente a través de él, es decir se comportará como un circuito cerrado como se observa en la Ilustración 46.

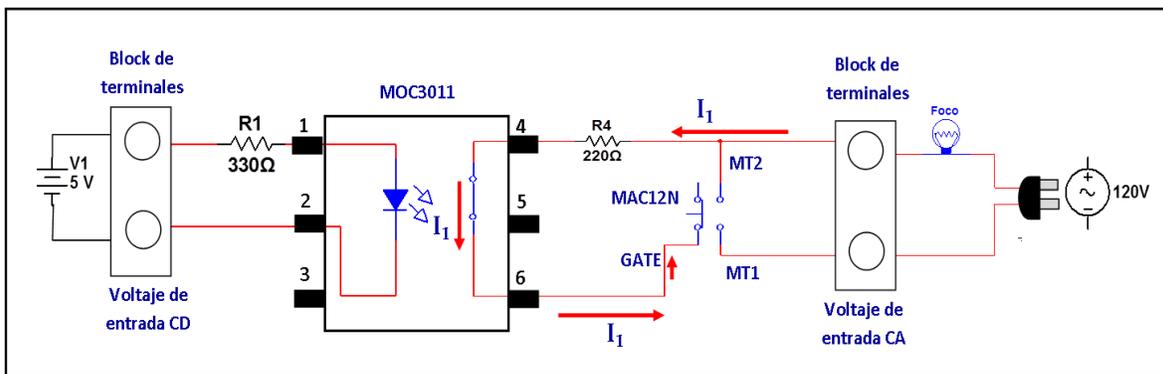


Ilustración 46. Fototriac en estado de conducción. Autor Mtro. Jesús Alvarez Ruíz. 2013.

La resistencia de 220Ω tiene la función de regular la corriente que pasará a través del Fototriac, ya que este es de baja potencia. Una vez que la corriente I_1 llegue a la terminal “GATE”, pondrá en estado de conducción al MAC12N cerrando el circuito como se observa en la *ilustración 47*. Ahora MT1 y MT2 tienen continuidad entre sí, de esta manera hay flujo de corriente a través de la carga permitiendo que se encienda. El MAC12N a diferencia del Fototriac es de más potencia y es capaz de soportar voltajes elevados.

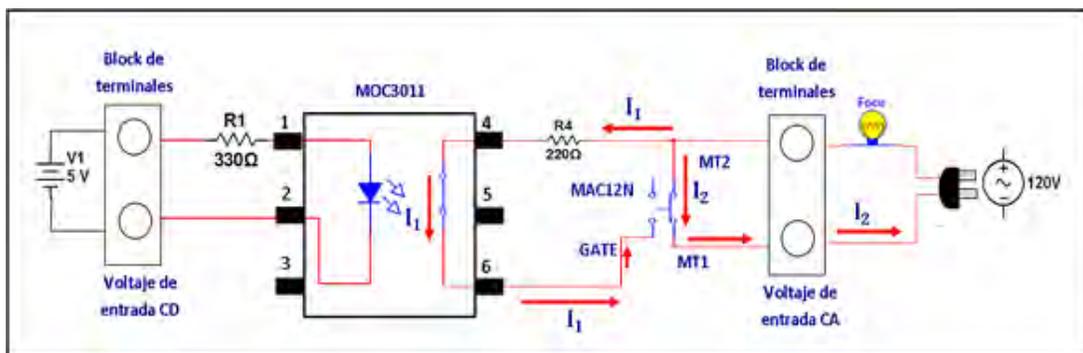


Ilustración 47. Fototriac en estado de conducción. Autor Mtro. Jesús Alvarez Ruíz. 2013.

El siguiente es un diseño del circuito, fue elaborado en ULTIBOARD 11. En la Ilustración 48 puede observarse el esquema del circuito y en la Ilustración 49 se observan las conexiones tal y como se verán en el circuito impreso.

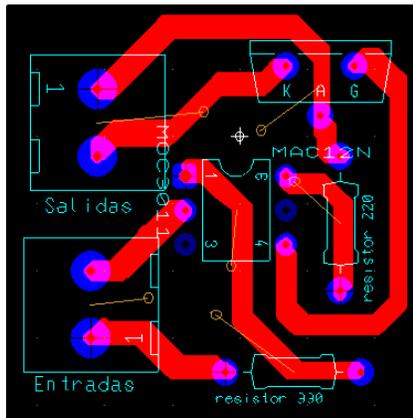


Ilustración 48. Esquema del interruptor electrónico. Autor Mtro. Jesús Álvarez Ruíz. 2013.

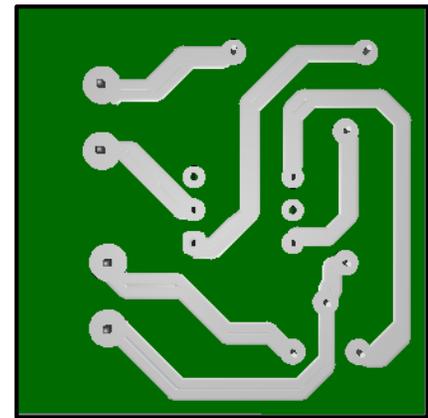


Ilustración 49 Conexiones del interruptor electrónico. Autor Mtro. Jesús Álvarez Ruíz. 2013.

Una vez implementado el circuito es similar al de la Ilustración 50.

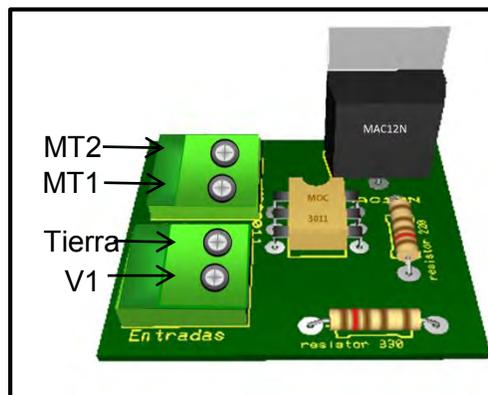


Ilustración 50. . Implementación del circuito. Autor Mtro. Jesús Álvarez Ruíz. 2013.

Para probar el funcionamiento de la etapa de potencia, conecte el circuito a una carga a la terminal MT2 y MT1, como se observa en la Ilustración 51. Después conecte el

circuito a una fuente de 5V. Puede observar que la carga se enciende al conectarlo a la fuente.

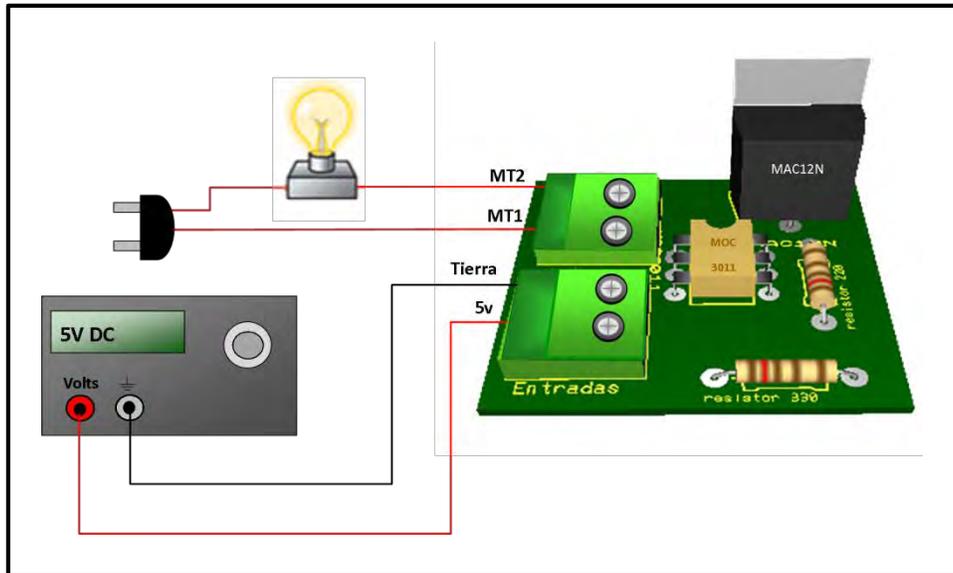


Ilustración 51. Interruptor electrónico operando. Autor Mtro. Jesús Álvarez Ruíz. 2013.

Capítulo 5. Pruebas experimentales

A continuación se presentan las señales de transmisión y recepción obtenidas de la comunicación entre los Módulos XBee, los microcontroladores Basic Stamp 2 y la computadora de forma serial.

En la Ilustración 52 se muestra la señal obtenida de transmisión de un módulo xbee en color azul, en este caso el modulo envía una serie de datos a la computadora y como se puede apreciar estos datos tienen una salida de 3.3 V.

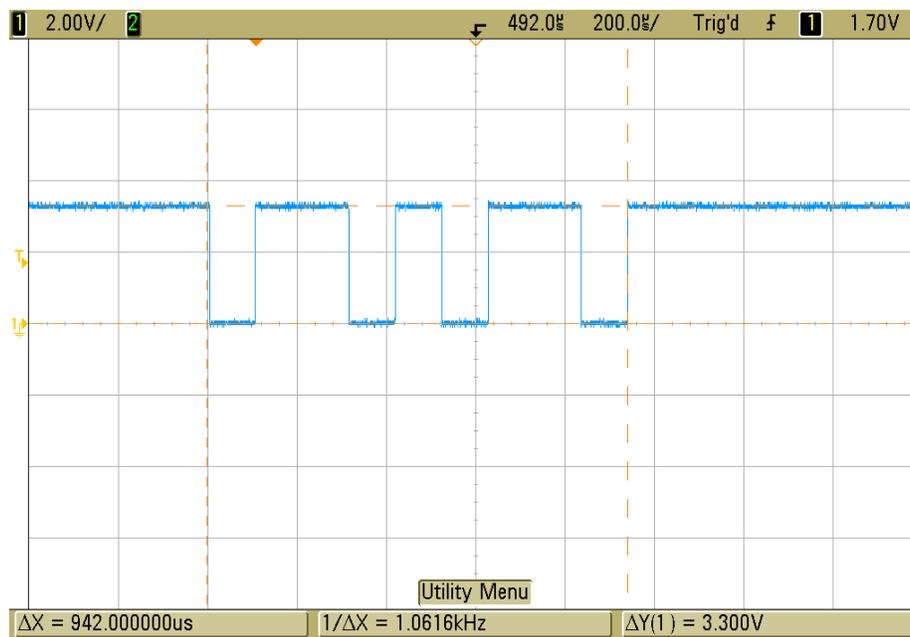


Ilustración 52. Señal de transmisión de módulo XBee. Elaboración Propia. Enero 2015.

En la siguiente ilustración 53 se presenta las señales de transmisión del Módulo XBee y el BS2 hacia la computadora de tal manera que se puede apreciar la señal emitida por el BS2 en color café y la del XBee en color verde.

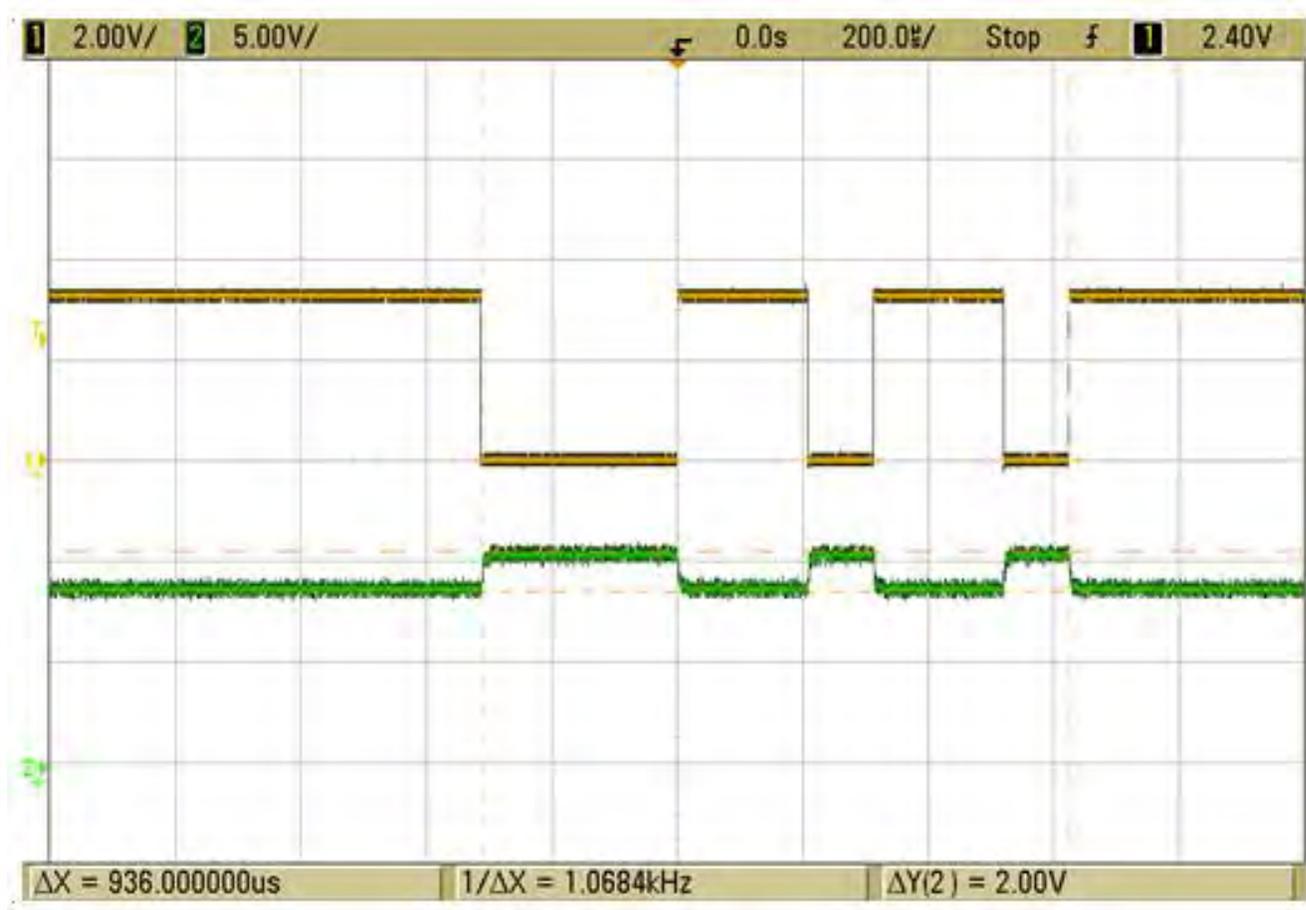


Ilustración 53. Señal de transmisión entre XBee y BS2 hacia computadora. Elaboración Propia. Enero 2015.

En la ilustración 54, se presenta la transmisión del Microcontrolador hacia el módulo XBee en donde se puede observar que se transmite información cada 2 segundos con una salida de 5v, en este caso el Microcontrolador envía una secuencia de números los cuales serán transmitidos a un módulo Xbee que se encuentra conectado de forma serial a una computadora en donde se puede visualizar la secuencia de números.

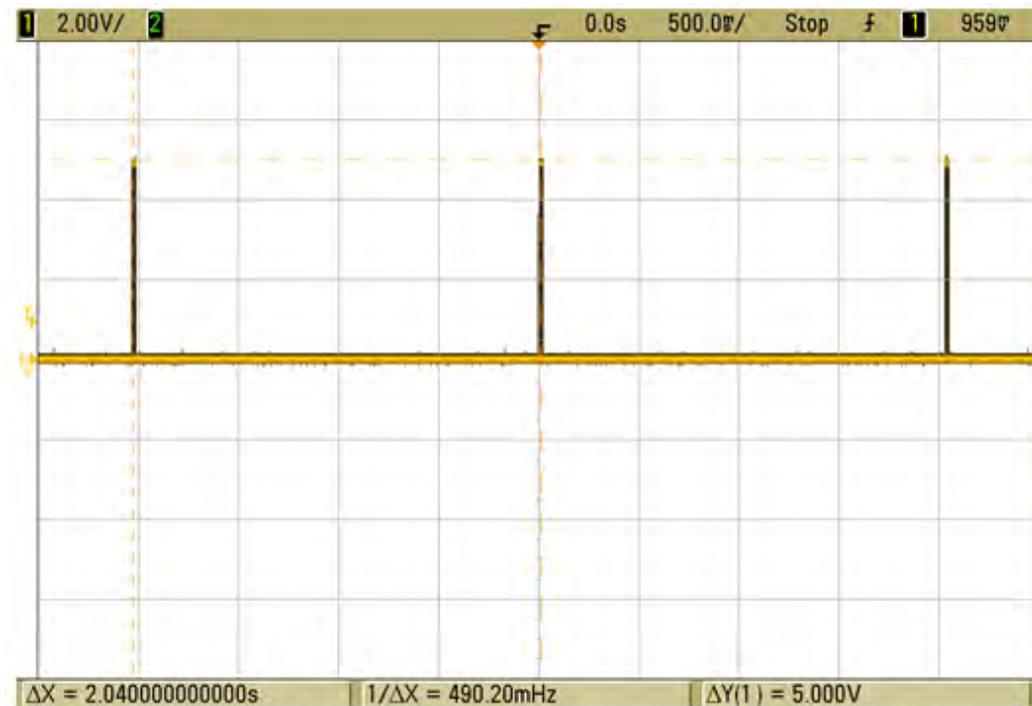


Ilustración 54. Trasmisión del BS2. Elaboración Propia. Enero 2015.

En la ilustración 55 se muestra la señal obtenida entre dos Módulos XBee conectados a sus respectivas computadoras, en el cual se enviaban caracteres alfanuméricos los cuales son recepcionados y enviados por ambos módulos de manera simultánea.

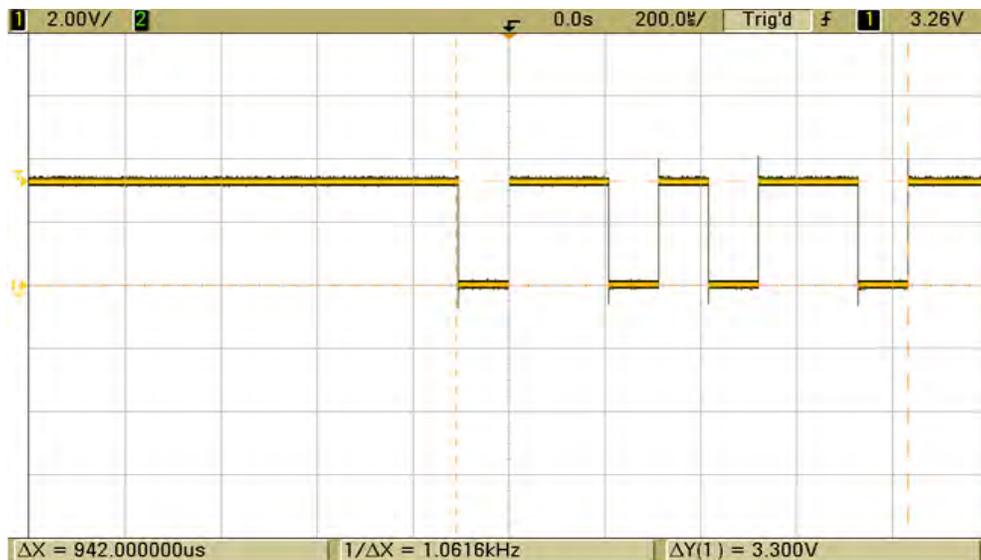


Ilustración 55. Trasmisión entre Xbee y Computadora. Elaboración Propia. Enero 2015.

En la ilustración 56 se muestran las señales del BS2 y XBee emisores, en este punto los datos se envían por radio frecuencia hacia otro módulo XBee receptor al cual pasara los datos al BS2, la señal de color azul corresponde al pulso emitido por el push button el cual se encuentra conectado al Pin 0 del BS2 y en color amarillo es la salida serial del BS2 la cual se envía el XBee emisor.



Ilustración 56. Señal de XBee y BS2 emisores mediante Radio frecuencia. Elaboración Propia. Enero 2015.

En la ilustración 57 se muestra la señal del el XBEE y BS2 receptor, en color azul tenemos la salida del Pin 0 en donde se encuentra conectado el Led, en este caso la salida es de 2.4 V debido a que el Led cuenta con una resistencia de 220Ω , en color amarillo esta la entrada (SERIN) del BS2 la cual podemos ver que es constante a 5V.



Ilustración 57. Señal de XBee y BS2 receptores mediante Radio frecuencia.Elaboración Propia. Enero 2015.

Capítulo 6. Conclusiones

La domótica es un área de ingeniería con mucho potencial de aplicación y en tiempos actuales con mucha demanda. El automatizar un hogar con la menor invasión posible a las instalaciones es un área de oportunidad para desarrollar soluciones.

Este trabajo se enfoca en el diseño de un sistema de control de cargas empleando telemetría. Se seleccionó la tecnología Zig bee dado que es una tecnología accesible y de bajo costo, configurable para conexiones “punto a punto” y “multipunto”. La activación de cargas puede ser con relevadores electromecánicos o relevadores de estado solido.

Sin duda este proyecto ha sido todo un reto en mi formación, desde conocer, comprender y aplicar nuevas tecnologías a soluciones de problemas, hasta el manejo y comprensión de instrumentos de medición y localización de fallas.

Despues de haber terminado el trabajo y tomando en cuenta todas las pruebas realizadas durante el desarrollo, se puede decir que los resultados obtenidos han sido satisfactorios cumpliendo asi los objetivos del trabajo. Además se documentó la forma en la que los módulos y los microcontroladores se deben configurar para asi poder realizar sus funciones correspondientes.

Este trabajo servirá de guía para los interesados en la domótica, ya que es una de las primeras tesis en la Universidad en abordar esta temática.

Bibliografía

Balibrea, R. H. (2012). *Tecnología domótica para el control de una vivienda*. Cartagena: Universidad Pólitecnica de Cartagena.

casadomo. (6 de febrero de 2011). Obtenido de <http://www.casadomo.com/noticias/lonworks-lontalk-2192>

Cebus. (14 de agosto de 2014). *Odisea*. Obtenido de <http://odisea.ii.uam.es/esp/recursos/Cebus.htm>

Claus kuhnel, K. Z. (2000). *Basic Stamp*.

Cristóbal Romero Morales, F. V. (2007). *Domótica e Inmótica Viviendas y Edificios Inteligentes*. Mexico: Alfaomega.

Digi. (s.f.). Obtenido de <http://www.digi.com/technology/rf-articles/wireless-zigbee>

Digi. (s.f.). Obtenido de <http://www.digi.com/xbee/>

IEEE Standards Association. (s.f.). Obtenido de <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4-2011.pdf>

LonMark. (s.f.). *LonMark España*. Obtenido de <http://www.lonmark.es/www/sistemas/queeslon.php?mn=21>

Parallax. (s.f.). Obtenido de <http://www.parallaxinc.com/product/bs2-ic>

ZigBee Alliance. (s.f.). Obtenido de <http://www.zigbee.org/>

