



PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA
DE VALPARAISO



Jorge Ignacio Contreras Figueroa

Integración de placa Raspberry Pi con Shield Xbee

Informe Proyecto de Título de Ingeniero Electrónico



Escuela de Ingeniería Eléctrica



PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA
DE VALPARAISO

Integración de placa Raspberry Pi con shield Xbee

Jorge Ignacio Contreras Figueroa

Informe final para optar al título Ingeniero Electrónico,

aprobada por la comisión de la

Escuela de Ingeniería Eléctrica de la

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

conformada por

Sr. Francisco Javier Alonso Villalobos

Profesor Guía

Sr. David Alberto Velasco Lopez

Segundo Revisor

Sr. Sebastián Fingerhuth Massmann

Secretario Académico

Valparaíso, 06 de Julio de 2017

Resumen

En el presente documento, se hace entrega correspondiente al informe final de proyecto de título, el cual representa el trabajo realizado por el alumno durante los ramos de Proyecto I y II. El objetivo de este trabajo tiene como propósito principal, la integración de módulos de radio frecuencia (XBee) con el mini ordenador, Raspberry Pi. Además de esto, a través de sensores, el estudiante le dará una aplicación a estas dos tecnologías, la cual será el monitoreo de la temperatura del laboratorio de redes de la Escuela de Ingeniería Eléctrica.

En primer lugar, se realizará un análisis del estado del arte de los distintos tipos de dispositivos que se pueden encontrar en el mercado, estudiando sus distintas características y propiedades que poseen. Por una parte, como se dijo anteriormente Raspberry Pi es un pequeño computador, este cumple con todas las funciones que posee un PC de escritorio, y además posee una regleta de pines para distintas funciones. Por su parte, XBee son pequeños chips azules compuestos por un micro controlador, un emisor y un receptor de radio frecuencia. Su función principal es otorgar un medio inalámbrico para la interconexión y comunicación entre dispositivos.

Si a estos dos dispositivos se le comienzan a agregar “cosas” con sensores, se estará dando vida a una nueva tecnología llamada Internet de las Cosas. Esta hace referencia a un mundo conectado, donde objetos y seres físicos interactúan con entornos virtuales de datos en el mismo espacio y tiempo. El propósito principal del Internet de las Cosas es poder medir y controlar por completo nuestro entorno y esto se hará posible usando la información extraída a través de millones de sensores y que podrán estar integrados en cualquier objeto de la vida cotidiana.

Luego, se exhibirán los dispositivos utilizados por el alumno y además se explicarán todas las configuraciones y programas que fueron manejados durante el proyecto, con el fin de lograr el objetivo principal que se propuso el estudiante.

Finalmente, se dará a conocer una pequeña evaluación económica, simulando la instalación y programación de un sistema de monitoreo de temperatura.

Palabras claves: Raspberry Pi, XBee, Radio Frecuencia, Estado del arte, Internet de las cosas.

Abstract

The next document, represent the development related to the student's work at project's subjects I&II. The purpose of this research is first, the integration of radio's frequency modules (XBee) with the mini-computer, the Raspberry Pi. As well, by means of the usage of sensors, the student makes use of this technology's association in the form of a temperature monitor.

By doing an analysis around the state of art from the assortment of devices in the market, will be determined the characteristics and attributes that they own. On one side, as mentioned earlier, Raspberry Pi is a small computer that performs all the functions that a desktop Pc may process, besides has pin headers for various tasks. For his part, XBee are small blue chips formed by a microcontroller, a transmitter and a radio frequency receiver. Its main function falls on granting a way for interconnection and communication between devices.

Adding sensors or shields expand the primaries functionality in the mini-computer, generating a new means on technology called "internet of things". This makes reference about a connected world, where objects and human beings interact in virtual data's environment, in the same space and time. The main purposes coming from the internet of things is measure and controls completely our surrounding, through the information extracted from the millions of sensors integrated in our daily life.

Thereupon, will be exhibited the mechanism used by the pupil, with an explanation about setup and programs utilized during the project, in order to fulfil the student's main objective.

Finally, will be highlighted a small economics evaluation, simulating the setting-up and programming of a temperature monitoring system.

Key words: Raspberry PI, Xbee, Radio Frequency, State of Art, Internet of Things.

Índice general

Índice general.....	1
Introducción.....	1
1 Presentación del proyecto	3
1.1 Contexto del proyecto	3
1.2 Problemática del proyecto	4
1.3 Solución propuesta	4
1.4 Objetivos del proyecto.....	4
1.4.1 Objetivos generales	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
1.5 Estado del arte	5
1.6 Raspberry Pi.....	5
1.6.1 Historia de Raspberry Pi	6
1.6.2 Lenguaje de programación.....	6
1.6.3 Hardware.....	7
1.7 Módulos Xbee.....	8
1.7.1 Dispositivos disponibles	9
1.8 Protocolo ZigBee	12
1.8.1 Tipos de dispositivos y redes.....	12
1.8.2 Capa.....	13
1.9 Modos de comunicación y operación XBee	14
1.9.1 Modos de comunicación	15
1.9.2 Modos de Operación.....	18
2 Internet de las Cosas (IoT)	21
2.1 Qué se entiende por “cosas” en el Internet de las Cosas	21
2.2 Las tecnologías claves para el IoT.....	22
2.2.1 Nuevos Procesadores	22
2.2.2 Los sensores	23
2.2.3 Comunicación de bajo consumo	23

3 Trabajos Previos.....	25
3.1 Red Xbee	25
3.1.1 Configuración de los módulos	25
3.1.2 Software X-CTU	25
3.2 Primera conexión entre Raspberry Pi y Xbee	29
3.3 Virtual Networking Computing	31
4 Realización Proyecto	32
4.1 Reconfiguración Red XBee	32
4.2 Sensores	34
4.2.1 LM35DZ.....	34
4.3 Arduino Uno.....	35
4.3.1 Programa de Reconocimiento y lectura	36
4.4 Monitorización Web de la temperatura.....	39
5 Evaluación Económica.....	42
5.1 Contexto.....	42
5.1.1 Temperatura	42
5.1.2 Humedad	43
5.2 Componentes Electrónicos.....	44
5.3 Mercado de Proveedores.....	44
5.4 Mercado de Competidores y Consumidores.....	45
5.5 Programación de Componentes.....	45
5.6 Beneficios	45
5.7 Estudio de viabilidad del proyecto	46
5.7.1 Flujo de Caja	46
5.7.2 Financiamiento Externo	48
Discusión y conclusiones.....	51
Referencias	53

Introducción

El avance tecnológico crece cada día de manera exponencial. Desde el punto de vista de hardware, éstos cada vez se hacen más pequeños, pero sin dejar de lado su potencia y capacidad. Se ha podido ir apreciando a medida que se avanza en el proyecto, la gran cantidad de aplicaciones que se pueden lograr con estas tecnologías. Además de la gran cantidad de información que existe en la red. Poco a poco, se han ido creando comunidades y foros de ayuda. Todo esto, con el fin de acercar a los usuarios y promover en estos a que continúen con la evolución y la creación de nuevas aplicaciones y tecnologías.

Por su parte Raspberry Pi, a medida que han pasado los años, esta pequeña placa, ha ido mejorando y progresando constantemente. Un factor determinante de esto se debe a la gran recepción que ha tenido en la comunidad, debido a la accesibilidad que ésta posee ya que su precio es bastante bajo, además que todos sus programas y sus sistemas operativos son gratuitos. Esta y otras características han hecho que Raspberry Pi sea mundialmente utilizada.

En los últimos años se ha buscado el desarrollo de tecnologías que permitan la gestión y el control de distintos elementos. Gracias a que la tecnología de redes inalámbricas se ha ido desarrollando rápidamente, se pueden controlar los procesos de una manera más sencilla y rápida. Los módulos Xbee permiten crear redes inalámbricas de forma sencilla y agregándole sensores se podrá controlar lo que se estime conveniente.

Hoy en día existen muchos dispositivos que cumplen la función de comunicarse unos con otros, siendo útiles y cumpliendo diferentes objetivos específicos. Sin embargo, los módulos Xbee han ido tomando fuerza debido a sus grandes cualidades; bajo costo y consumo de energía, fácil de programar y configurar, además de su gran compatibilidad en las redes inalámbricas.

Internet de las Cosas, (IoT) hace referencia a un mundo conectado, donde objetos y seres físicos interactúan con entornos virtuales de datos en el mismo espacio y tiempo. Se sueña con poder medir y controlar por completo el entorno y esto se hará posible usando la información extraída a través de millones de sensores y que podrán estar integrados en cualquier objeto de la vida cotidiana.

La introducción de redes de sensores inteligentes ya ha comenzado para las mismas “cosas” que ya se estaban midiendo con menos “inteligencia”: energía, transporte, procesos industriales, etc.

Pero probablemente las aplicaciones más profundas, innovadoras y exitosas del IoT no existan todavía, ya que la plataforma tecnológica necesaria para que estas se desarrollen no está terminada por completo.

Técnicamente hablando, lo que da lugar a IoT es la integración de sensores y dispositivos en objetos cotidianos que quedan de esta manera conectados a Internet a través de redes fijas e inalámbricas. El hecho de que Internet esté presente al mismo tiempo en todas partes permite que sea más factible la adopción masiva de esta tecnología. Dado su tamaño y costo, los sensores son fácilmente integrables en hogares, entornos de trabajo y lugares públicos. De esta manera, cualquier objeto es capaz de ser conectado a la Red constituyendo un mercado de miles de millones de dólares.

1 Presentación del proyecto

La función de este proyecto es principalmente, la integración de módulos Xbee con la placa Raspberry Pi, esto quiere decir, lograr una aplicación en conjunto con estas dos nuevas tecnologías.

Sin embargo, para poder concretar este objetivo es necesario tener conocimiento sobre las tecnologías mencionadas anteriormente. Aprender de sus funciones, características y facultades que se pueden lograr en conjunto.

Por una parte, la Raspberry Pi es un microordenador de placa reducida de bajo costo desarrollada en el Reino Unido, con el propósito de acercar a los alumnos en áreas de la programación y computación. A pesar de su tamaño reducido, posee funciones y características similares a las de un PC.

Por su parte, los módulos Xbee, son pequeños chips de un color azul que están compuestos por un microcontrolador, un emisor y receptor de radio frecuencia. De acuerdo a Digi [1], la empresa fabricante, estos módulos son soluciones integradas que brindan un medio inalámbrico para la interconexión y comunicación entre diferentes dispositivos.

1.1 Contexto del proyecto

Este proyecto tiene como función principal acercar al estudiante a las nuevas tecnologías que ofrece el área de la electrónica y programación, con el propósito de que pueda aprender sobre las nuevas formas de comunicación entre dispositivos, comprender su programación y la variedad de funciones que se logran a partir de éstas.

Cabe mencionar que hoy en día, gracias a todas sus virtudes y capacidades que poseen estos instrumentos, su uso ha ido creciendo de manera exponencial. Lo que ha generado un gran interés tanto en el área industrial como para uso personal. Debido a la importancia que han ido tomando estas tecnologías, es determinante para el alumno lograr conocimiento sobre el tema.

1.2 Problemática del proyecto

La problemática principal del proyecto es lograr la unión entre la placa Raspberry pi con los módulos Xbee y generar alguna aplicación con estos dispositivos; averiguar sobre la compatibilidad entre estas y lograr una manera de comunicación entre ellas.

1.3 Solución propuesta

La solución que el alumno presentó para la problemática mencionada fue utilizar una placa Arduino Uno, la cual servirá de “puente” entre la comunicación de la Raspberry Pi y los módulos Xbee. Los datos enviados por los Xbees serán recibidos por el Xbee Coordinador, el cual estará conectado al Arduino, luego estos datos serán leídos y procesados por la placa Arduino para posteriormente ser enviados de manera serial hacia la Raspberry Pi. Esto queda representado en la Figura 1.1

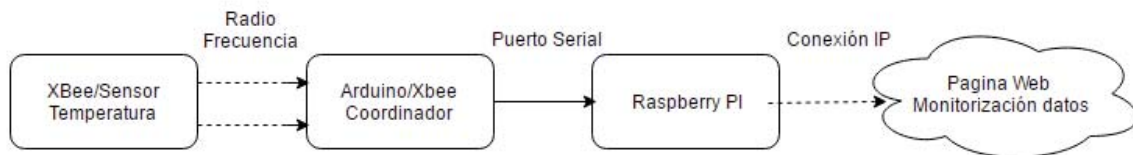


Figura 1-1: Diagrama de la solución propuesta (fuente: propia).

Sin embargo, para enviar información, es necesario obtener datos de alguna manera. Para este proyecto, los datos serán capturados desde unos sensores de temperatura, los que estarán conectados a los módulos de radiofrecuencia. En este trabajo se utilizarán dos sensores de temperaturas para el monitoreo.

1.4 Objetivos del proyecto

A continuación, se detallarán los objetivos generales y específicos de este proyecto.

1.4.1 Objetivos generales

Generar una aplicación, implementando la placa de desarrollo Raspberry Pi con los módulos de radio frecuencia XBee. El objeto de estudio corresponderá a la monitorización de temperatura de la sala de redes de la Escuela de Ingeniería Eléctrica.

1.4.2 Objetivos específicos

- Investigar el estado del arte sobre Raspberry Pi, Xbee y Arduino Uno.
- Comprender el sistema operativo Raspbian.
- Estudiar sobre el tipo de comunicación de los módulos de radio frecuencia.
- Manejar distintos tipos de programación (C++, Python)
- Análisis de resultados y conclusiones.

1.5 Estado del arte

En el apartado siguiente, se detallará sobre el estado del arte de los respectivos tópicos que serán estudiados para el desarrollo del proyecto.

1.6 Raspberry Pi

Raspberry Pi es un micro computador de placa reducida o de placa única (SBC), de bajo costo desarrollada en el Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi, con el propósito de fomentar la enseñanza de la computación y la programación en las escuelas, y de esta manera colocarla al alcance de todos.

En esencia, a pesar de su pequeño tamaño, este micro ordenador puede cumplir las mismas e incluso hasta más funciones que las de un PC, debido a que posee hasta 1 [GB] de RAM en los modelos más nuevos, una tarjeta de video "Videocore IV", además de todo lo necesario para poder ejecutar programas básicos, navegar por internet y por supuesto programar.

La placa, tiene varios puertos y entradas, dos USB, uno de Ethernet y salida HDMI. Estos puertos, permiten conectar el mini ordenador a otros dispositivos. Las placas más modernas cuentan con hasta 4 puertos USB para conectar teclado y mouse, un conector HDMI con capacidad de reproducir vídeos en 1080p.

El diseño no incluye un disco duro ni unidad de estado sólido, ya que usa una tarjeta SD para el almacenamiento permanente; tampoco incluye fuente de alimentación ni carcasa.

Entre los sistemas operativos disponibles para Raspberry Pi se encuentran: Raspbian, Arch Linux, RaspBMC, Pidora u OpenELEC e incluso, se dispone de Windows 10.

Hoy en día existen una variedad de modelos de esta placa, unas con más potencia que otras o más pequeñas, pero a pesar de estas diferencias su función principal siempre se mantendrá. Para este proyecto se trabajó con la Raspberry Pi 2 modelo B, la cual se observa en la Figura 1.2.

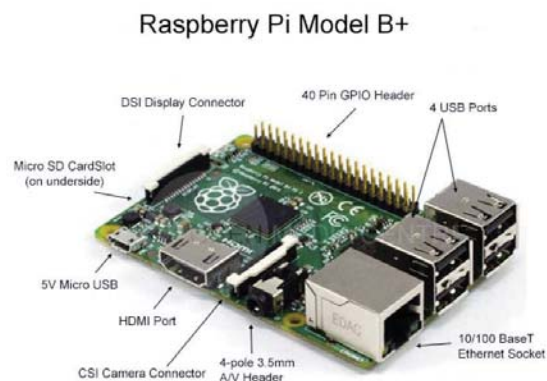


Figura 1-2: Raspberry Pi 2 modelo B (fuente: www.openmediacentre.com.au).

1.6.1 Historia de Raspberry Pi

Este proyecto fue ideado en 2006 pero no fue lanzado al mercado hasta febrero de 2012. Ha sido desarrollado por un grupo de la Universidad de Cambridge y su misión es fomentar a los niños la enseñanza de la electrónica y programación [2]. Los primeros diseños de Raspberry Pi se basaban en el microcontrolador Atmel ATmega644.

En mayo de 2009, la Fundación Raspberry Pi fue fundada en Caldecote, South Cambridgeshire, Reino Unido como una asociación caritativa. Esta surge con un objetivo en mente, desarrollar el uso y entendimiento de los computadores en los niños. La idea es conseguir ordenadores portables muy baratos que permitan a los niños usarlos sin miedo, abriendo su mentalidad y educándolos en la ética del “ábrelo y mira cómo funciona”.

El primer prototipo basado en ARM fue montado en un paquete del mismo tamaño que una memoria USB. Tenía un puerto USB en un extremo y un puerto HDMI en el otro. En agosto de 2011, se fabricaron cincuenta placas Alpha del modelo inicial, el Modelo A. En diciembre de 2011, 25 placas Beta del modelo B fueron ensambladas y probadas de un total de 100 placas vacías.

El primer lote de 10.000 placas se fabricó en Taiwán y China, en vez de Reino Unido, con esto se conseguía un abaratamiento en los costos de producción y acortar el plazo de entrega del producto. Con este ahorro conseguido, la fundación podía invertir más dinero en investigación y desarrollo.

Las primeras ventas comenzaron el 29 de febrero de 2012 (Modelo B). Las dos tiendas que vendían las placas, Premier Farnell y RS Components, tuvieron una gran carga en sus servidores inmediatamente después del lanzamiento. En los seis meses siguientes llegarían a vender 500.000 unidades.

El 4 de febrero de 2013, se lanzó el modelo A, que venía con sólo 256Mb de RAM y sin puerto Ethernet a un precio más asequible que el modelo B.

1.6.2 Lenguaje de programación

Python es el lenguaje de programación recomendado por los fundadores de Raspberry Pi, ya que, al ser un lenguaje de programación de alto nivel, lo que quiere decir es que, se caracteriza por expresar el algoritmo de una manera adecuada a la capacidad cognitiva humana en lugar de la capacidad ejecutora de las máquinas, esto beneficia a las personas que recién se están adentrando en el mundo de la programación.

Es un lenguaje interpretado o de script, fuertemente tipado y dinámico, es multiplataforma y es orientado a objetos. Además, es un lenguaje bastante potente y con muchas librerías que ayudan a realizar casi cualquier cosa.

Python viene instalado en la distribución Raspbian, al igual que IDLE, un entorno de desarrollo integrado para programar en lenguaje Python, el cual se observa en la Figura 1.3

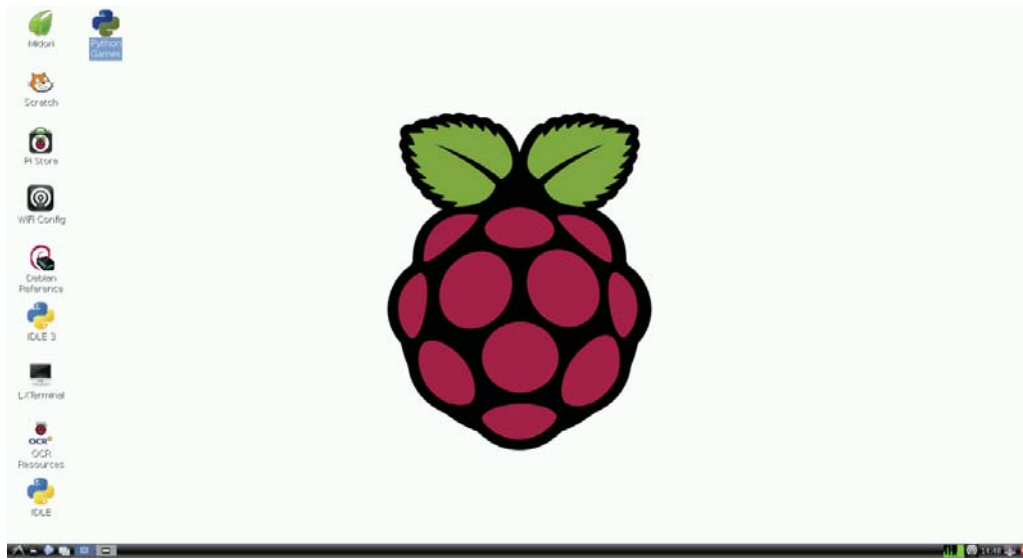


Figura 1-3: Entorno gráfico Raspbian (fuente: www.domoticx.com).

1.6.3 Hardware

Como se mencionó anteriormente, para este proyecto se utilizó la segunda versión y el modelo B de la Raspberry Pi, ésta posee un gran aumento de rendimiento con respecto a sus antecesores basados en un núcleo, hasta seis veces más rápido. Además, utiliza el nuevo procesador Cortex-A7 de cuatro núcleos, además de ofrecer 1 GB de memoria RAM. El núcleo del sistema operativo se ha actualizado para aprovechar al máximo la última tecnología ARM Cortex-A7 y está disponible con la nueva versión 1.4 del software NOOBS (sistema de instalación). Se ha mantenido la compatibilidad con versiones anteriores de hardware y software con la Raspberry Pi 1 modelo A+/B+.

Algunas de las características principales que posee esta placa son las siguientes [3]:

- Procesador Broadcom BCM2836 de 900 [MHz] ARM Cortex-A7 de cuatro núcleos con GPU VideoCore IV de doble núcleo.
- GPU proporciona una tecnología Open GL ES 2.0, hardware acelerado OpenVG y admite imágenes de alta resolución 1080p
- GPU tiene una capacidad de 1 [Gpixel/s] con filtrado e infraestructura DMA.
- SDRAM LPDDR2 de 1 [GB].
- Salida de vídeo HD 1080p.
- Salida de vídeo compuesto (PAL/NTSC).
- Salida de audio estéreo.
- Conector hembra Ethernet RJ45 10/100 BaseT.
- Conector hembra de vídeo/audio HDMI 1.3 y 1.4.
- Conector hembra de salida de vídeo compuesto/audio de 3,5 mm 4 polos.
- 4 conectores hembra USB 2.0.
- Conector MPI CSI-2 de 15 vías para cámara de vídeo HD Raspberry Pi.

- Conector de interfaz serie de display de 15 vías.
- Conector para tarjeta MicroSD.
- Dimensiones: 86 x 56 x 20 [mm].
- Arranca desde tarjeta MicroSD, ejecutando una nueva versión del sistema operativo Linux.
- Conector macho de 40 pines para buses serie y GPIO el cual es compatible con el conector macho de 26 pines de los modelos anteriores. Esto se puede observar en la Figura 1.4
- Fuente de alimentación: +5 [V] a 2 [A] a través de conector hembra micro USB.

Raspberry Pi Model B Rev 1 P1 GPIO Header			Raspberry Pi Model A/B Rev 2 P1 GPIO Header			Raspberry Pi Model A+/B+/Pi 2 B+ J8 GPIO Header					
Pin No.			Pin No.			Pin No.					
3.3V	1	2	5V	3.3V	1	2	5V	3.3V	1	2	5V
GPIO0	3	4	5V	GPIO2	3	4	5V	GPIO2	3	4	5V
GPIO1	5	6	GND	GPIO3	5	6	GND	GPIO3	5	6	GND
GPIO4	7	8	GPIO14	GPIO4	7	8	GPIO14	GPIO4	7	8	GPIO14
GND	9	10	GPIO15	GND	9	10	GPIO15	GND	9	10	GPIO15
GPIO17	11	12	GPIO18	GPIO17	11	12	GPIO18	GPIO17	11	12	GPIO18
GPIO21	13	14	GND	GPIO27	13	14	GND	GPIO27	13	14	GND
GPIO22	15	16	GPIO23	GPIO22	15	16	GPIO23	GPIO22	15	16	GPIO23
3.3V	17	18	GPIO24	3.3V	17	18	GPIO24	3.3V	17	18	GPIO24
GPIO10	19	20	GND	GPIO10	19	20	GND	GPIO10	19	20	GND
GPIO9	21	22	GPIO25	GPIO9	21	22	GPIO25	GPIO9	21	22	GPIO25
GPIO11	23	24	GPIO8	GPIO11	23	24	GPIO8	GPIO11	23	24	GPIO8
GND	25	26	GPIO7	GND	25	26	GPIO7	GND	25	26	GPIO7
								DNC	27	28	DNC
								GPIO5	29	30	GND
								GPIO6	31	32	GPIO12
								GPIO13	33	34	GND
								GPIO19	35	36	GPIO16
								GPIO26	37	38	GPIO20
								GND	39	40	GPIO21

Key	
Power +	UART
GND	SPI
PC	GPIO

Figura 1-4: GPIO distintos modelos (fuente: www.raspi.tv).

1.7 Módulos Xbee

Los módulos Xbee son unos pequeños chips azules que están compuestos por un microcontrolador, un emisor y un receptor de radio frecuencia. Estos módulos utilizan el protocolo de red llamado IEEE 802.15.4 para crear redes fast point-to-multipoint (punto a multipunto); o para redes peer-to-peer (punto a punto). Este protocolo se detallará en profundidad dentro del apartado 1.8.

Fueron diseñados para aplicaciones que requieren de un alto tráfico de datos, baja latencia y una sincronización de comunicación predecible. Por lo que básicamente Xbee es propiedad de Digi basado en el protocolo ZigBee, del cual se tratará en detalle en el apartado 1.8.

Una de las principales características de estos módulos es que pueden usarse para transmitir datos de un puerto serie inalámbricamente sin tener que configurar nada. Simplemente conectando el pin RX y TX. De este modo es posible conectar un microcontrolador directamente al módulo Xbee mediante dos cables, lo cual otorgará comunicación inalámbrica a las aplicaciones generadas por el microcontrolador.

Existen distintos tipos de modelos, los cuales varían dependiendo de la utilidad que se les quiera dar. Unos poseen mejores características que otros, pero todos cumplen la misma función.



Figura 1-5: GPIO Xbee (fuente: <http://microspec.cl>).

1.7.1 Dispositivos disponibles

Existe una gran cantidad de módulos XBee diferentes, aunque básicamente se pueden agrupar en dos tipos, los de la Serie 1 y la Serie 2. Ambos son muy similares en cuanto a hardware y la mayoría de los pines desempeñan las mismas tareas. Sin embargo, no es posible el uso de ambas series en una misma red ya que no son compatibles entre sí. La elección de una u otra serie dependerá de las aplicaciones que se les vayan a asignar.

Los módulos de la Serie 1, basados en el chipset de Freescale, están pensados para ser utilizados en redes con topología punto a punto o en estrella. Traen instalado el firmware 802.15.4, aunque pueden ser actualizados para soportar otros protocolos. Los módulos de la Serie 2, por su parte, están basados en el chipset de Ember Networks y fueron diseñados principalmente para ser utilizados en aplicaciones que requieren de redes con topología de malla. Dentro de esta serie existen los módulos originales ZB y los módulos 2B, que permiten reducir el consumo de potencia y pueden incorporar un microprocesador programable.

De cada tipo de módulo XBee existen dos versiones (PRO y Regular) que se diferencian en la potencia de transmisión. Los módulos PRO (Serie 1 y 2) tienen mayor capacidad de alcance, permitiendo incluso doblar la distancia de transmisión. Los módulos PRO tienen sin embargo un mayor consumo.

Con independencia de su serie, cada módulo XBee permite emplear diferentes tipos de antenas para transmitir y recibir las señales (ver Figura 1-6.) Entre las opciones de antenas actualmente disponibles, destacan [4]:

- **Chip antena:** Es un pequeño y robusto chip cerámico que permite una radiación unidireccional. Este tipo de antena irradia o capta desde la parte frontal, teniendo mínima sensibilidad en su parte posterior donde se produce la atenuación.

- **Wire antena:** Es un sencillo cable que sobresale del módulo y que permite una radiación omnidireccional. Por lo tanto, cuando el cable se encuentra recto y perpendicular al módulo la distancia cubierta es prácticamente la misma en todas las direcciones. Su inconveniente es la fragilidad de la antena.
- **Conector U.FL:** El U.FL es un tipo de conector miniatura para radio frecuencias, que alcanzan hasta los 6 [GHz]. Es el conector más pequeño y frágil de las dos opciones posibles para introducir una antena externa. El uso de estas antenas es recomendable para aplicaciones especiales en las que se requiere un diagrama de radiación específico, o cuando el módulo Xbee va a ser introducido en una caja metálica y es necesario que la antena sobresalga para evitar atenuaciones. Su inconveniente es que requiere de un pequeño cable entre el conector y la antena.
- **Conector RPSMA:** Es una variante más grande y voluminosa del conector U.FL, que permite montar la antena directamente sobre el módulo Xbee sin necesidad de usar un cable de conexión.

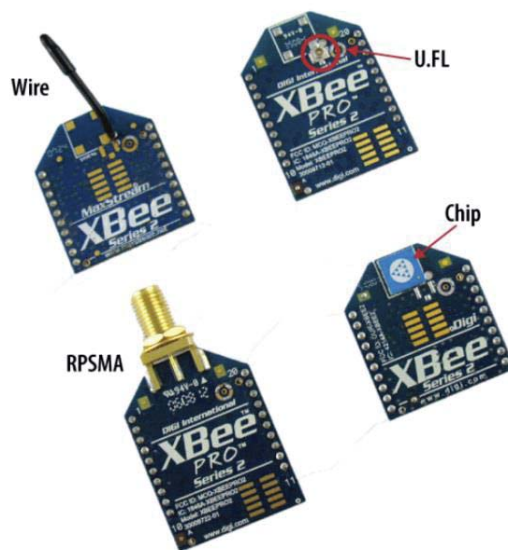


Figura 1-6: Tipos de antenas módulos Xbee (fuente: <http://compututorials.blogspot.cl>).

A continuación, en la Figura 1.7, se muestra un cuadro comparativo entre los módulos normales y los PRO.

Specification	XBee	XBee-PRO
Performance		
Indoor/Urban Range	Up to 100 ft (30 m)	Up to 300 ft. (90 m), up to 200 ft (60 m) International variant
Outdoor RF line-of-sight Range	Up to 300 ft (90 m)	Up to 1 mile (1600 m), up to 2500 ft (750 m) international variant
Transmit Power Output (software selectable)	1mW (0 dBm)	63mW (18dBm)* 10mW (10 dBm) for International variant
RF Data Rate	250,000 bps	250,000 bps
Serial Interface Data Rate (software selectable)	1200 bps - 250 kbps (non-standard baud rates also supported)	1200 bps - 250 kbps (non-standard baud rates also supported)
Receiver Sensitivity	-92 dBm (1% packet error rate)	-100 dBm (1% packet error rate)
Power Requirements		
Supply Voltage	2.8 – 3.4 V	2.8 – 3.4 V
Transmit Current (typical)	45mA (@ 3.3 V)	250mA (@3.3 V) (150mA for international variant) RPSMA module only: 340mA (@3.3 V) (180mA for international variant)
Idle / Receive Current (typical)	50mA (@ 3.3 V)	55mA (@ 3.3 V)
Power-down Current	< 10 μ A	< 10 μ A
General		
Operating Frequency	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz
Dimensions	0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)	0.960" x 1.297" (2.438cm x 3.294cm)
Operating Temperature	-40 to 85° C (industrial)	-40 to 85° C (industrial)
Antenna Options	Integrated Whip, Chip or U.FL Connector, RPSMA Connector	Integrated Whip, Chip or U.FL Connector, RPSMA Connector

Figura 1-7: Especificaciones Xbee y Xbee Pro (fuente: Xbee Datasheet).

Para este proyecto, se trabajó con el Xbee ZigBee Mesh Kit (ver Figura 1.8), este kit incluye:

- 3 Placas de desarrollo XBee Grove.
 - 3 Módulos XBee Zigbee con antena integrada (1 antena en PCB, 2 Through-Hole)
- Características:
- Indoor/Rango urbano 200 ft (60 m).
 - Outdoor/Línea vista entre equipos RF XBee 4000 ft (1200 m).
 - 3 cables Micro USB.
 - 2 Stickers Xbee.



Figura 1-8: Xbee ZigBee Mesh Kit (Fuente: www.olimex.cl).

1.8 Protocolo ZigBee

ZigBee surge de la necesidad de desarrollar una tecnología inalámbrica de no muy alta transferencia de datos. Así, en 1998, un conjunto de empresas, conocidas como la ZigBee Alliance se juntaron para crear un estándar de comunicaciones que complementará a Wi-fi y Bluetooth. Surge así ZigBee, publicado por el IEEE en mayo de 2003 [5].

Este estándar define un conjunto de protocolos para el armado de redes inalámbricas a corta distancia y baja velocidad de datos. Opera en las bandas de 2.4 [GHz], 868 [MHz] y 915 [MHz] y puede transferir datos hasta 250 [Kbps]. La primera es usada en todo el mundo, mientras que las otras se utilizan en Europa y Norteamérica de forma ocasional.

Este protocolo fue diseñado con las siguientes especificaciones:

- Ultra bajo consumo que permita usar equipos a batería.
- Bajo costo de dispositivos y de instalación y mantenimiento de ellos.
- Alcance corto (menor a 50 metros).
- Optimizado para ciclo efectivo de transmisión menor a 0.1 %
- Velocidad de transmisión menor que 250 [kbps]. Típica: menor que 20 [kbps].

1.8.1 Tipos de dispositivos y redes

Existen 3 tipos de dispositivos según ZigBee, los cuales son los siguientes:

- **Coordinador:** Controla el ruteado y administra la red. Existe solamente uno por cada red.
- **Router:** Interconecta diferentes nodos mediante direccionamiento

- **Dispositivo final (End Device):** Elemento pasivo que responde ante peticiones de otros dispositivos. Se pasa el mayor tiempo en Sleep Mode.

ZigBee está diseñado para ser una solución que permita crear redes e interconectar dispositivos remotos. De esta forma existen diversas topologías de red (ver Figura 1.8) que se pueden formar con los dispositivos previamente mencionados:

- **Punto a punto:**
 - Topología más sencilla.
 - Uno de los dispositivos es el coordinador y el otro puede ser un Router o dispositivo final.
- **Estrella:**
 - Todos los dispositivos de la red pueden comunicar con el coordinador, pero no entre sí.
- **Malla:**
 - Se trata de una comunicación punto a punto, pero existiendo restricciones en la intercomunicación de los dispositivos.
 - Cualquier dispositivo puede comunicarse con otro.
 - El coordinador se encarga de la gestión de caminos.
- **Árbol:**
 - El coordinador establece la red inicial.
 - Los Router forman ramas y retransmiten los mensajes.
 - Los dispositivos finales son hojas del árbol.

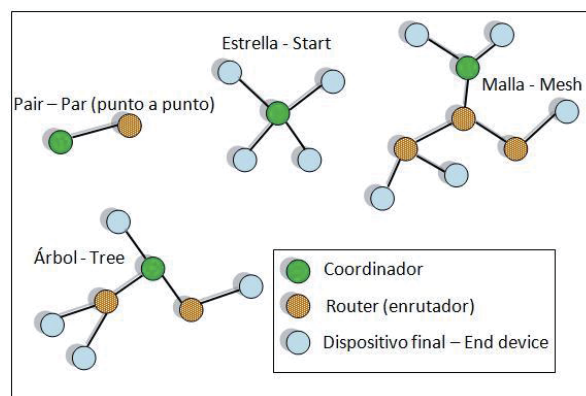


Figura 1-9: Topología de redes ZigBee (fuente: <http://plataformaszigbee.blogspot.cl>).

1.8.2 Capa

En su concepción ZigBee se ideó para que tuviese una estructura por capas, lo que simplifica el problema y permite dividir el problema en otros más pequeños. Además, una estructura por capas es más flexible ante cambios. ZigBee sigue el modelo OSI (Interconexión de Sistemas Abiertos) pero reduce las 7 capas de la pila de protocolos a únicamente 4. El estándar 802.15.4 define las dos primeras capas, física y de enlace de datos, mientras que ZigBee define la capa de red y la capa de aplicación, como se observa en la Figura 1.10.

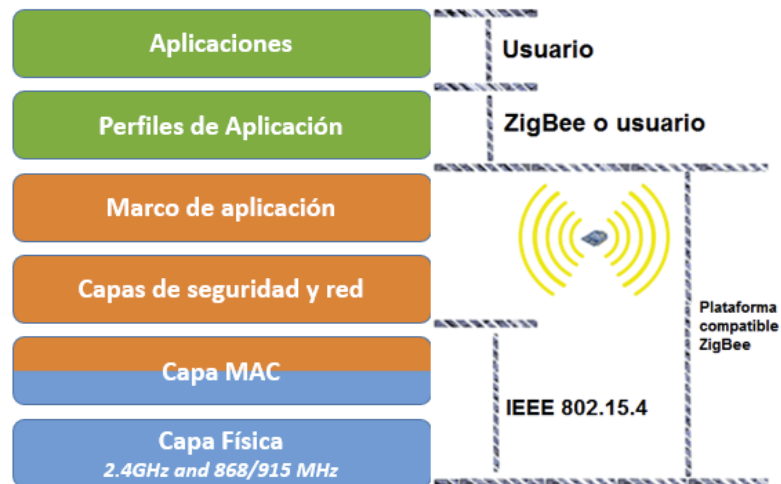


Figura 1-10: Capas protocolo ZigBee y 802.15.4 (fuente: www.certs.es).

Capa Física

Al ser la capa más cercana al hardware, es la responsable de la recepción y transmisión de los paquetes. Opera bajo el estándar IEEE 802.15.4 y proporciona una interfaz a la capa superior de la pila de protocolos (MAC). La capa física tiene como funciones principales: definir aspectos como la sensibilidad del receptor o la potencia del transmisor, indicar la calidad del enlace (Link Quality Indicator), detectar la energía del canal de comunicaciones y evaluar el canal libre (Clear Channel Assesement).

Capa de enlace de datos (MAC)

Provee la interfaz entre la capa física y la capa de red. Maneja los servicios y los datos. Sus funciones son: operación de la red usando balizas, espaciado entre tramas, CSMA-CA, nodo oculto y nodo expuesto, formato de la trama.

Capa de aplicación

Nivel más alto de la especificación. Es la interfaz efectiva entre el nodo y el usuario. En él se ubican la mayor parte de los componentes definidos por la especificación como la funcionalidad requerida para los dispositivos. El estándar ZigBee ofrece la opción de emplear perfiles en el desarrollo de aplicaciones. Un perfil de aplicación permite la interoperabilidad entre productos de diferentes fabricantes como si fuesen del mismo. La ZigBee Alliance define varios identificadores de perfil, un número de 16 bits de la capa de aplicación que define el perfil.

1.9 Modos de comunicación y operación XBee

En el apartado siguiente, se detallará los distintos modos de comunicación que poseen estos módulos y sus distintas maneras que tiene para operar.

1.9.1 Modos de comunicación

Los módulos Xbee disponen de dos modos de trabajo para realizar las comunicaciones inalámbricas. Con estos dos modos, que se seleccionan por medio de los parámetros de configuración, se consigue adaptar a un gran número de aplicaciones diferentes. A continuación, se detallará cada uno de los modos de comunicación, con sus ventajas, desventajas y sus aplicaciones ideales.

Modo Transparente

Es el tipo de conexión que viene cargada por defecto en los módulos Xbee. Resulta la manera más sencilla de comunicarse y es la más fácil de configurar. Su funcionamiento es sencillo, todos los caracteres que son recibidos a través del terminal DIN (pin 3) pasan a la cola de transmisión de RF para que sean enviados al destino deseado. De manera inversa, todos los datos que llegan al módulo a través de RF son enviados por el terminal DOUT (pin2). Los datos recibidos por el terminal DIN se guardan en el buffer de entrada. Dependiendo de cómo esté configurado el parámetro RO, se esperará a que llegue una cantidad mínima de caracteres, o bien, se esperará un cierto período de tiempo antes de que los caracteres sean integrados en paquetes RF y transmitidos.

Este modo de comunicación está destinado principalmente a la comunicación punto a punto y se utiliza frecuentemente para remplazar la comunicación serie por cable. Se emplea también para comunicaciones punto a multipunto y para los denominados cables virtuales.

Punto a Punto

Trabajar en modo transparente es una buena opción cuando se desea comunicar entre sí únicamente dos módulos. La configuración requerida es muy sencilla, basta con fijar las direcciones de destino de los módulos y unos pocos parámetros más:

- Se define arbitrariamente una dirección para el módulo A, que debe coincidir con la dirección destino del módulo B. Y lo mismo a la inversa.
- Los parámetros de Identificador de la Red (ID) y de Canal de Comunicaciones (CH) deben ser los mismos en los dos módulos.

Un caso en el que tendría sentido emplear este modo de operación, sería para realizar el control de un Robot o de un dron. Estos dispositivos móviles llevan uno o varios microcontroladores que se encargan del funcionamiento del autómatas y únicamente utilizan los módulos XBee para recibir instrucciones del controlador. Los microcontroladores se encargan de organizar la comunicación, creando los mensajes que serán enviados al terminal DIN para que éste los transmita inalámbricamente. En el sentido contrario sucede lo mismo, el módulo Xbee únicamente envía por el terminal DOUT el mensaje recibido por RF, y será el microcontrolador el encargado de interpretarlo. Los microcontroladores son programados para crear mensajes de comunicación siguiendo una estructura de bytes definida por el usuario. Estos mensajes permiten el control de los dispositivos móviles, por ejemplo, la transmisión de las coordenadas espaciales que debe seguir un robot o la altitud y velocidad a la que debe volar un dron.

Punto a Multipunto

Varios Xbee operando en Modo Transparente también permiten realizar comunicaciones punto a multipunto. Una vez que todos los módulos estén configurados con el mismo canal de comunicación y el mismo identificador de red, se puede proceder de dos maneras.

La primera sería entrar en el Modo Comando antes de cada transmisión para fijar la dirección de destino y la dirección del módulo al que se desea transmitir en cada ocasión.

La segunda manera es la denominada Broadcast, que consiste en el envío de la información desde un nodo al resto de los nodos que estén en la misma red.

Modo API

El objetivo del modo de comunicación API (Application Programming Interface) es transmitir los datos de una manera segura y estructurada, como alternativa al modo Transparente. Es más complejo, pero ofrece mayores posibilidades en cuanto al control de la red y al aprovechamiento de las capacidades de los XBee. Además, permite la configuración de los módulos y el ruteo de la información.

En el modo API, la información que entra y sale del XBee tiene que seguir una estructura específica y debe de estar empaquetada en tramas (frames), que definen operaciones y eventos dentro del módulo. Si el módulo se encuentra en modo API, todos los datos recibidos y enviados por la UART deben ser tramas de comando API. En el caso de que los datos que entran al XBee no cumplan las especificaciones de las posibles tramas API o que el checksum de la trama no sea correcto, los datos son descartados y no son enviados.

Hay cinco tipos de tramas, dos para la transmisión y tres para la recepción de datos y comandos:

1. Frame de datos para transferir por RF.
2. Frame de comando, donde va contenido alguno de los comandos AT.
3. Frame de recepción de los datos.
4. Frame de respuesta de un comando.
5. Frame de notificación de eventos.

Cada trama contiene un campo con la dirección de destino, lo que permite que los datos puedan ser enviados a diferentes dispositivos sin tener que cambiar la dirección de destino mediante la configuración del módulo. En cuanto a la recepción de paquetes, es posible identificar al Xbee emisor, ya que la trama también incluye un campo con la dirección de éste. Estas dos características convierten al modo API en la opción ideal para aplicaciones informáticas que controlan una red de nodos con topología en estrella.

Por otro lado, el modo API es el único que permite controlar remotamente los dispositivos que forman los nodos de la red, lo que posibilita realizar lecturas y escrituras de los pines I/O de dichos dispositivos. Por ejemplo, es posible activar los pines de salidas digitales y también realizar

lecturas de los sensores conectados a los ADC del módulo remoto. Los resultados de estas lecturas son enviados al otro módulo a través de tramas API.

A modo de resumen, se podría decir que algunas de las ventajas de trabajar en modo API son:

- Permite identificar el origen y destino de las tramas.
- Sencillez para transmitir a diferentes destinos.
- Los datos pueden contener comandos AT.
- Permite configurar los módulos de manera remota.
- Permite recibir confirmación de cada paquete transmitido (ACK).
- Aviso de error en caso de fallo en la transmisión.
- Facilita información de la comunicación (potencia de la señal de recepción).

Por el contrario, podríamos decir que sus inconvenientes son:

- Mayor complejidad, ya que para transferir los datos es necesario estructurarlos en tramas.

Es necesario emplear más bits para enviar la información.

Trama API

Las tramas API que se envían a través de la UART deben cumplir con una secuencia específica de bytes que indicarán al Xbee el tipo de operación a realizar. De igual manera, los módulos responderán enviando por el pin DOUT de la UART secuencias específicas que pueden ser desde datos recibidos de un dispositivo remoto hasta información acerca del estado del Xbee o del estado de la comunicación. En cualquier caso, todas las tramas deben cumplir una serie de especificaciones y tener la estructura que se indica en la Figura 1.11.

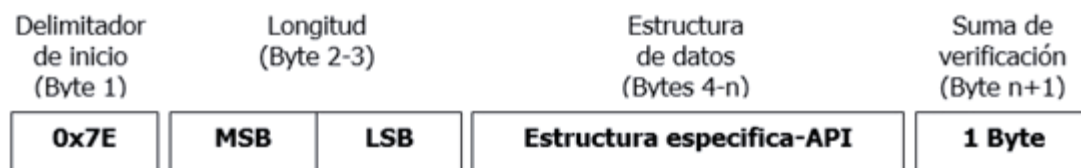


Figura 1-11: Estructura trama API (fuente: docs.digi.com).

Start Delimiter

Cada trama API comienza con un byte de inicio, denominado “start delimiter”. Este es un único número que indica que se está al comienzo de una trama de datos y su valor es siempre 0x7E (en formato hexadecimal). Cuando se reciben datos desde el puerto serie de Xbee, lo primero que hay que hacer es buscar el citado byte de inicio. Una vez recibido, se sabe que a continuación se encuentra el paquete de datos y el resto de la información.

Length Bytes

Los siguientes dos números después del byte de comienzo indican el tamaño en bytes del campo Frame Data. Esto permite conocer la longitud que se debe de leer para obtener la información.

Para la mayoría de las tramas, que no suelen tener un tamaño muy grande, es habitual que el segundo byte, denominado MSB (Most Significant Byte) sea cero.

Frame Data Bytes

Esta trama de datos es específica de cada tipo de mensaje recibido o enviado desde un módulo Xbee y es donde se encuentra contenida la información, así como los distintos tipos de estructuras de los comandos del modo API. Algunas tramas tendrán una gran cantidad de datos mientras que las más pequeñas pueden llegar a contener sólo 2 bytes.

Checksum

El último byte de la trama es siempre el “checksum” y sirve para comprobar la integridad de la información recibida o enviada. Se calcula sumando todos los bytes de la trama (sin incluir los delimitadores ni la longitud) y quedándose únicamente con los 8 bits menos significativos del resultado de esa suma, que serán restados a 0xFF. Para verificar el resultado, se suman todos los bytes (incluyendo checksum, pero excluyendo los delimitadores y la longitud) y el byte menos significativo del resultado debe ser igual a 0xFF. Este cálculo aritmético está diseñado para ser muy eficiente en los procesos de cómputo.

1.9.2 Modos de Operación

Los módulos XBee funcionan en cinco modos de operación según la tarea que estén realizando en cada momento. Los cinco estados posibles son Transmitiendo, Recibiendo, Modo Sleep, entrada de comandos y modo de reposo (Idle Mode). Éste último es el modo principal al que siempre se vuelve después de acabar las tareas propias de los otros estados (ver Figura 1.12).

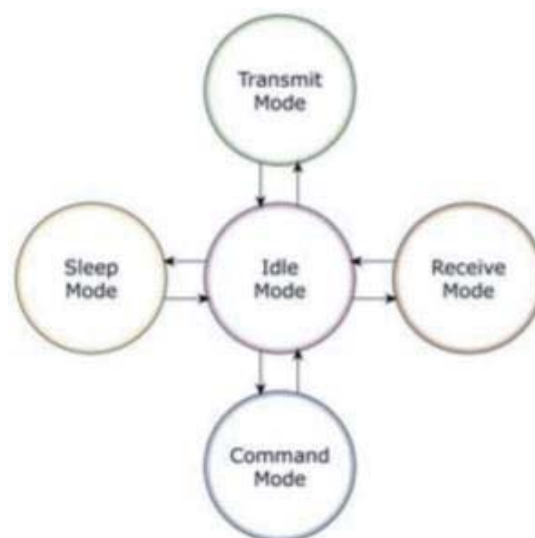


Figura 1.12: Modos de Operación Xbee (fuente: docs.digi.com).

Modo Recibir (Receive Mode)

Se encuentra en este estado cuando le llega algún paquete de Radiofrecuencia a través de la antena. El consumo en los módulos Serie1 PRO, es de alrededor de 55mA.

Modo Transmitir (Transmit Mode)

Se encuentra en este modo cuando se manda información serial al buffer del pin 3 (DIN) para que sea transmitida. El consumo en los módulos PRO es de unos 215 mA (según especificaciones). La información se puede transmitir de manera Directa o Indirecta. Con el primer método la información es enviada inmediatamente a la dirección destino. En la manera Indirecta la información es retenida durante un intervalo de tiempo y no es enviada hasta que el dispositivo destino la solicita. Esta manera de transmisión se emplea habitualmente cuando se necesita asegurar la recepción de los datos por parte de dispositivos finales que pasan gran parte de su tiempo en modo Sleep.

Modo de Comando (Command Mode)

Se encuentra en este estado cuando se está procediendo a leer o escribir los parámetros de configuración del módulo. Todos los Xbee soportan dos tipos de modo comando diferente, el modo AT y el modo API. Aunque ambos son posibles, AT es exclusivo de este estado por lo que se hablará de él a continuación.

EL modo API permite no sólo la configuración de parámetros, sino también la transmisión o recepción de información. En el modo AT es necesario grabar (o leer) los comandos de configuración mediante algún dispositivo conectado al puerto serien UART del Xbee, es decir, se puede usar cualquier microcontrolador que maneje UART o bien, interfaces seriales USB que se conecten al ordenador. En este modo AT, cuando los caracteres son recibidos a través del puerto serial serán interpretados como comandos (AT) y no serán transmitidos por la antena.

Modo de Bajo Consumo (Sleep Mode)

El Modo Sleep permite que el XBee se encuentre en un estado de muy bajo consumo cuando no está siendo utilizado. Mientras permanecen en este estado, los módulos seleccionados de la Serie 1 tienen un consumo de corriente inferior a 310 μ A]. El módulo puede entrar en este estado al recibir una señal en el pin 9 (SLEEP_RQ) o porque ha sido configurado así a través del software. Dispone de tres modos de suspensión diferentes que se configuran mediante el parámetro SM.

- Hibernación (SM=1). Es el modo que tiene un menor consumo y que requiere de más tiempo para entrar o salir del estado de Sueño. Se controla mediante el pin 9; al subir su estado lógico, el módulo Xbee entrará en el Modo Sueño, mientras que al bajar su estado lógico saldrá del Modo Sueño y estará listo para recibir o enviar datos.
- PinDoze (SM=2). Funciona de la misma manera que el anterior, pero presenta un tiempo de respuesta menor y un consumo mayor.

- Sueño cíclico (SM=4,5). El módulo está configurado para efectuar ciclos de sueño, despertando una vez por ciclo para revisar si existen datos destinados a él en el coordinador. Los parámetros ST (Time before Sleep) y SP (Cyclic Sleep Period) definen cuándo y cómo entrar en este modo.

La posibilidad de poner los módulos XBee en **Modo Sleep** permite una larga vida (incluso de años) a las baterías que alimentan a los dispositivos finales de la red.

Modo Reposo (Idle Mode)

Se encuentra en este estado siempre que el módulo esté activo, pero no se encuentre en ninguno de los otros modos. Es decir, si no está ni transmitiendo, ni recibiendo, ni en modo comando. El consumo de corriente es de unos 55 [mA] en los módulos Serie1 PRO.

2 Internet de las Cosas (IoT)

Internet de las cosas, algunas veces denominado "Internet de los objetos", ha llegado para cambiar todo, incluso a las personas. Hay que tener en cuenta el impacto que Internet ha tenido sobre la educación, la comunicación, las empresas, la ciencia, el gobierno y la humanidad. Claramente Internet es una de las creaciones más importantes y poderosas de toda la historia de la humanidad. Ahora se debe tener en cuenta que IoT representa la próxima evolución de Internet, que será un enorme salto en su capacidad para reunir, analizar y distribuir datos que se pueden convertir en información, conocimiento y en última instancia, sabiduría.

2.1 Qué se entiende por “cosas” en el Internet de las Cosas

Casi 2.000 millones de personas se conectan a Internet [6], comparten información y se comunican a través de blogs, redes sociales y muchos otros medios más. Ahora, con el “Internet de las cosas” los objetos se unen a esta “conversación”, es decir, tanto personas como objetos podrán conectarse a Internet en cualquier lugar y momento.

Millones de dispositivos están siendo conectados entre sí a través de distintas redes de comunicación. Pequeños sensores permiten medir desde la temperatura de una habitación hasta el tráfico de taxis en una ciudad. El mundo se está convirtiendo en un campo de información global y la cantidad de datos que circulan por las redes está creciendo exponencialmente. Se están construyendo entornos “inteligentes” capaces de analizar, diagnosticar y ejecutar funciones.

Es decir, el Internet de las Cosas (IoT) consiste en que las cosas tengan conexión a Internet en cualquier momento y lugar. En un sentido más técnico, consiste en la integración de sensores y dispositivos en objetos cotidianos que quedan conectados a Internet a través de redes fijas e inalámbricas. De esta manera, cualquier objeto puede conectarse a la Red. Además, el IoT implica que todo objeto puede ser una fuente de datos, ver Figura 2-1.

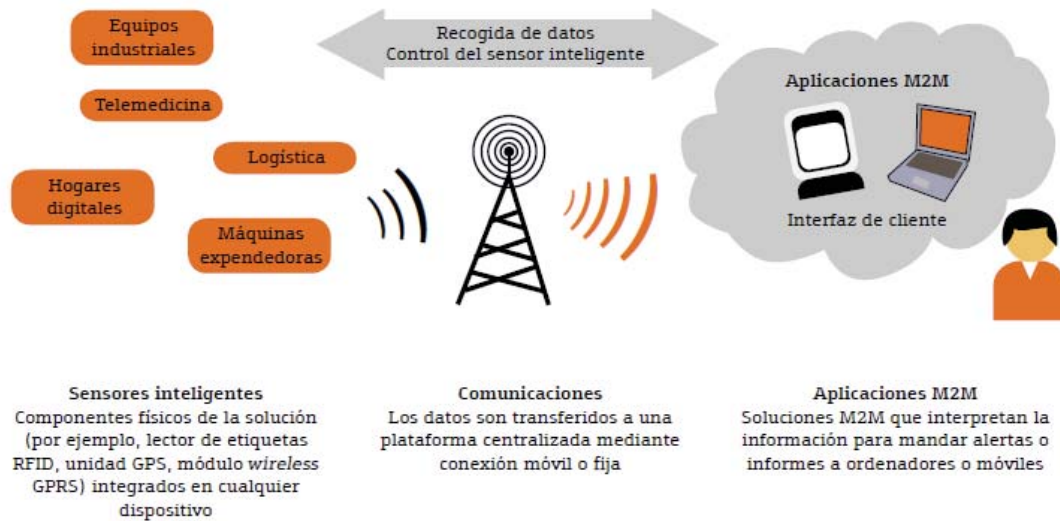


Figura 2-1: Cuando los objetos se transforman en “inteligentes” (fuente: Accenture 2009).

2.2 Las tecnologías claves para el IoT

El fenómeno del Internet de las Cosas ha irrumpido en el alrededor, dando vida a objetos cotidianos que se interconectan gracias a la Red y que constituyen fuentes inagotables de información. Para ello, ha sido necesaria la unión de tres fenómenos que posibilitan el empleo del IoT por los usuarios. Primero, la miniaturización por la cual los componentes de los ordenadores son cada vez más pequeños, lo que facilita que se pueda conectar prácticamente cualquier cosa, desde cualquier sitio y en cualquier momento. Segundo, los sensores. Y, tercero, la comunicación de bajo consumo

2.2.1 Nuevos Procesadores

Uno de los requisitos de IoT es que los dispositivos deben ser pequeños y de bajo costo. Los procesadores de Smartphones y su evolución en los últimos años, con el formato System on a Chip (SoC) ya establecido, han sido de gran ayuda para esta nueva tecnología. Las soluciones de ARM cumplen con las expectativas: son pequeños y, aunque son menos potentes en comparación con otros chips del mercado, cubren con los requisitos planteados.

ARM tiene en el mercado un enorme catálogo de SoCs, en el que el producto más conocido son sus SoC de smartphome. Pero los Cortex-A no son los únicos y junto a ellos los Cortex-R y Cortex-M son ideales para dispositivos IoT. En ambos casos se habla de procesadores RISC de 32 bits.

Mientras que los Cortex-R se integran en dispositivos como discos duros o en industrias como la automoción, los Cortex-M son más conocidos debido a su utilidad en aparatos finales más cercanos al usuario. Por ejemplo, termostatos, altavoces, hornos o cuantificadores personales se aprovechan de los actuales modelos.

2.2.2 Los sensores

El procesador y la plataforma se encargan de 'gestionar' la información, pero ésta debe venir de otro tipo de dispositivos: los sensores. Es el elemento hardware que interactúa entre la tecnología y el entorno, capturando los datos que se deseen. Hoy en día se pueden encontrar sensores táctiles, acelerómetros, de inclinación, potenciómetros, de humedad y temperatura, altitud, presión. En gran medida, estos sensores tienen tres grandes aplicaciones.

Primero, permiten capturar información tanto del entorno como del objeto en el que se encuentran integrado, para un análisis posterior. Por ejemplo, las compañías de seguros pueden utilizar sistemas de sensores para recuperar información de las pautas de conducción de sus asegurados.

Segundo, los sensores pueden actuar como desencadenantes de una acción, permitiendo la automatización de determinadas funciones. Este puede ser el caso de la activación de una alarma por la detección de una persona no autorizada o el frenado automático de un coche ante la inminente colisión con otro vehículo.

Por último, los sensores también tenderán a ser localizables en todo momento, con lo que se expande el rango de aplicaciones. Por ejemplo, la localización de los paquetes en los sistemas de gestión de logística permite la determinación de su posición exacta a lo largo de un trayecto y la comunicación con las cintas transportadoras para establecer el destino de las mercancías. Pero las aplicaciones no acaban ahí, sino que el IoT añadiría la posibilidad de integrar el comportamiento del consumidor o las decisiones de la empresa contratante durante el proceso, pudiendo hacer cambios sobre la marcha para minimizar costos, evitar retrasos o, simplemente, adaptarse a las fluctuaciones en la oferta y la demanda de productos.

Los sensores consumen energía y, a medida que su tamaño disminuye, este consumo se convierte en un factor más limitador. De forma acorde con el tamaño del sensor, el tamaño de las fuentes de alimentación también disminuye y con ello el tiempo de funcionamiento del sensor. Por este motivo, se espera que los componentes sean capaces de generar su propia energía. De esta manera, los sensores podrán permanecer conectados a la Red de forma autónoma durante más tiempo.

2.2.3 Comunicación de bajo consumo

Se decía antes que los avances en tecnología han permitido que el tamaño de los componentes se reduzca sin que la velocidad se vea perjudicada. No obstante, la baja velocidad de la conexión a Internet no tiene por qué ser necesariamente una desventaja. Para explicar esto, es necesario acudir al concepto de "Internet Cero" [3].

Internet a baja velocidad, pero a un precio exageradamente más barato. La idea inicial era el uso de Internet Cero para interconectar edificios, mejorando su eficiencia y recopilando información a través de los sistemas de calefacción aire acondicionado y ventilación. Un servidor de Internet

barato y de baja potencia puede ser integrado en muchos dispositivos para permitir la recuperación de datos y el control sobre ellos a través de Internet.

3 Trabajos Previos

En el capítulo siguiente, se mostrarán y explicarán las primeras configuraciones que se efectuaron para lograr el propósito final del proyecto. La primera tarea realizada, fue configurar dos módulos Xbee y establecer una comunicación entre ellos. Luego, habiendo configurado estos, se procedió a configurar la placa Raspberry PI, con el propósito de lograr un vínculo entre ambos dispositivos. Otro punto secundario, pero no menos importante, fue establecer una conexión de escritorio remoto entre el computador del estudiante con la Raspberry PI. A pesar de que esta herramienta no representa un objetivo principal, ésta fue de gran ayuda para la realización del proyecto.

3.1 Red Xbee

Hoy en día existen muchos dispositivos que cumplen la función de comunicar y enviar información inalámbrica desde un lugar a otro. Sin embargo, los módulos Xbee han ido tomando fuerza debido a sus grandes cualidades; bajo costo y poco consumo de energía, fáciles en su programación y configuración, además de su gran compatibilidad en las redes inalámbricas.

Por estas cualidades mencionadas anteriormente, es que se utilizarán estos módulos para el proyecto. En los capítulos anteriores, se habló en detalle sobre las especificaciones técnicas, sus características, tipos y modos de comunicación que estos poseen. Dentro de esta sección, se explicará cómo se configuran estos módulos y las distintas formas que tienen estos de operar.

3.1.1 Configuración de los módulos

Los Xbee que forman la red deben ser adecuadamente configurados para que desempeñen la función que el usuario les desea asignar. Para configurarlos, es necesario hacer uso de un conjunto de comandos. La configuración de los módulos Xbee se puede realizar de diversas maneras, introduciendo directamente comandos AT o a partir de tramas API.

A continuación, se profundizará en el programa de configuración X-CTU y finalmente se detallarán los parámetros con los que han sido configurados los XBee.

3.1.2 Software X-CTU

La configuración inicial de los dispositivos de Digi International se puede realizar de manera sencilla con el software X-CTU que la propia compañía distribuye. En el sitio de este software [1]

se pueden encontrar las versiones para Windows, Mac OS y GNU/Linux. Éste permitirá configurar una multitud de parámetros de los dispositivos, entre los que cabe destacar la configuración propia de los pines (definirlos como entradas analógicas, como entradas o salidas digitales, etc.), definir el modelo de Xbee utilizado, el modo de operación del módulo y la actualización del firmware entre otros. Además, este software permitirá establecer comunicación entre los módulos mediante el envío de comandos AT o de tramas API.

Para la configuración, el estudiante se basó en la guía entregada por DIGI [7]. Primero, se deben conectar los módulos al computador para que el software los encuentre (ver Figura 3.1). Se ejecuta la opción Discover radio modules de la pestaña XCTU. Tras seleccionar el puerto al que corresponde, se tendrá la posibilidad de modificar determinadas opciones como la paridad, los bits de datos o la velocidad a la que se establece la conexión “Baud Rate”. Por lo general, es suficiente con revisar la velocidad y dejar el resto de parámetros con el valor que vienen por defecto.

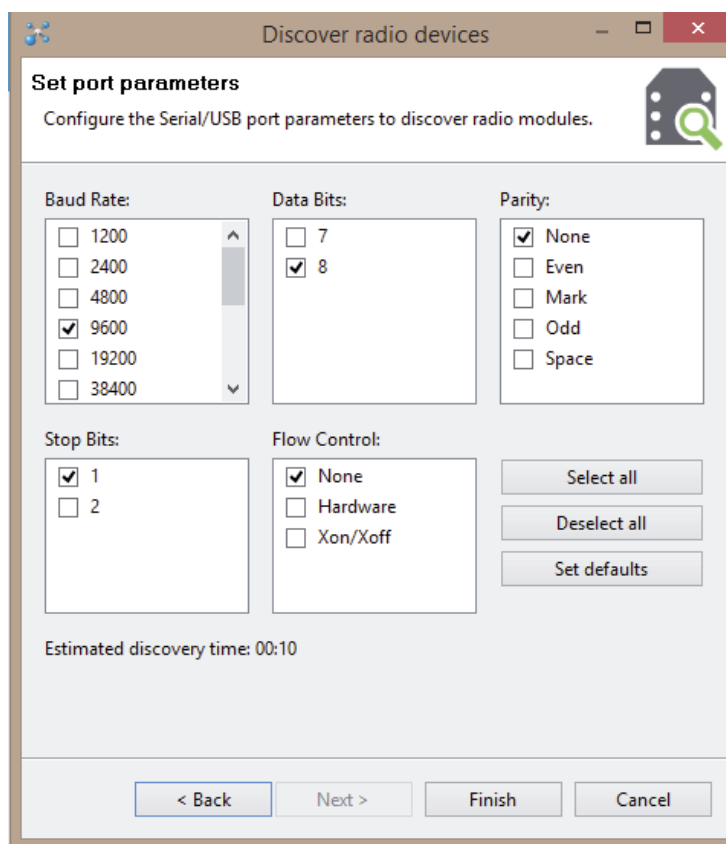


Figura 3-1: Parámetros de detección del puerto USB (fuente: propia).

Luego de que el programa reconozca los módulos conectados, se procederá a su configuración. Es necesario configurar los parámetros que se muestran en la Figura 3.1 para lograr la óptima comunicación de los módulos. Para este ejemplo, se utilizaron solamente dos Xbee y se configuraron en modo transparente.

En la Figura 3.2 se muestra el panel de configuración, donde se programará cada módulo con sus respectivos parámetros. Como se puede apreciar, el software presenta un interfaz visual bastante amigable para el usuario, lo cual facilita la óptima configuración de los Xbee.

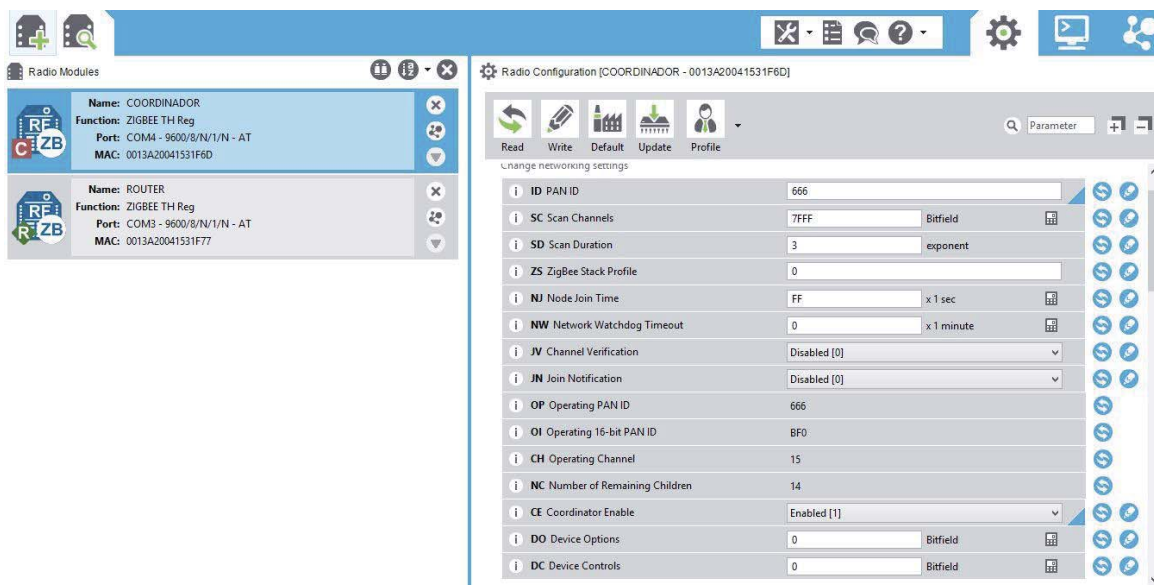


Figura 3-2: Panel de configuración de los dispositivos (X-CTU) (fuente: propia).

Los parámetros necesarios para lograr la comunicación son los que se observan en la Tabla 3.1. A continuación se detalla, el significado de cada sigla configurada en cada módulo para la óptima comunicación entre ellos.

- SH: Número de serie alta, es el número estándar de todos los módulos, por lo general corresponde a 13A200 (ver figura 3.3).
- SL: Número de serie baja, es el número de serie único del módulo (ver Figura 3.3).
- DH: Dirección Alta, aquí se introduce SH del módulo que se quiere leer.
- DL: Dirección Baja, aquí se introduce el SL del módulo Xbee a leer.
- PAN ID: Se le asigna un número a la red de trabajo, para este caso se usó 1234.
- CE: Aquí se selecciona la opción para saber cuál será el coordinador de la red.
- NI: Esta opción es para darle un nombre a nuestro módulo, para poder reconocerlo más fácilmente.

Tabla 3-1: Parámetros configurados para la conexión (fuente: propia).

COORDINADOR		ROUTER	
SH	13A200	SH	13A200
SL	41531F6D	SL	41531F77
DH	13A200	DH	13A200
DL	41531F77	DL	13A200
PAN ID	1234	PAN ID	1234
CE	ENABLE [1]	CE	-
NI	COORDINADOR	NI	ROUTER

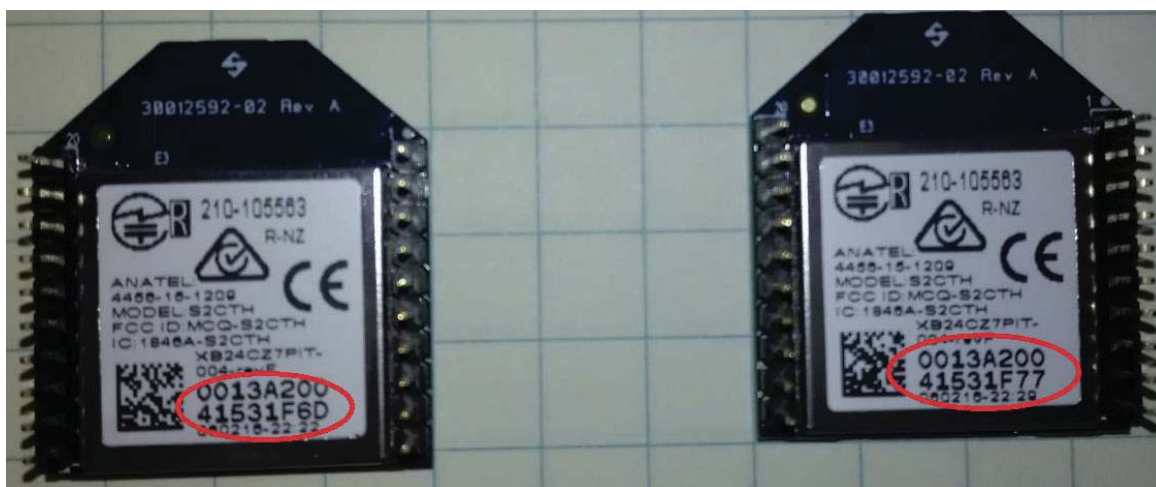


Figura 3-3: Coordinador y Router con sus números de serie respectivamente (fuente: propia).

Finalmente, se comprobará si ambos módulos logran comunicarse. A través del mismo software se puede saber si la configuración fue realizada correctamente, a continuación, en la Figura 3.4, se mostrará el Log de consola del programa.

Como se puede observar en la Figura 3-4, la configuración se logró correctamente. Por un lado, se tiene al Coordinador que envía datos al Router y por el otro se tiene al Router que envía datos al Coordinador. Los mensajes enviados son de color azul y los recibidos son de color rojo. Además, el programa muestra los valores hexadecimales, de la información que se está enviando y recibiendo, estos valores se pueden ocultar si el usuario lo desea.

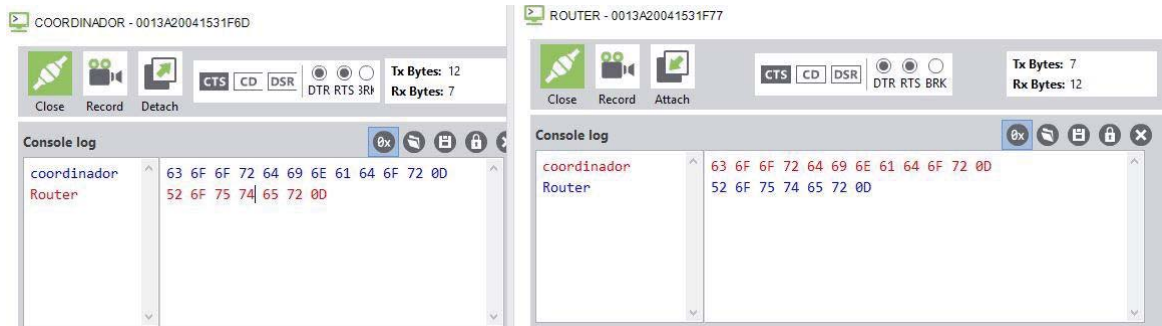


Figura 3-4 : Log de consola entre Coordinador y Router (fuente: propia).

3.2 Primera conexión entre Raspberry Pi y Xbee

Este ejemplo fue representado desde una página en internet [8], y se utilizarán los dos Xbee configurados anteriormente, mediante el software X-CTU. El coordinador irá conectado al PC y por su parte el Router irá a la Raspberry. El esquema y las etapas de esta conexión se muestran en la Figura 3.5. Como se logra apreciar en esta figura, la comunicación será bidireccional, esto quiere decir que se podrá enviar información desde la PC hacia la Raspberry y viceversa. Por parte del PC, esta información se podrá visualizar en el software X-CTU, y mediante consola se logrará ver la información recibida por la Raspberry.

Ambos módulos estarán conectados mediante puerto USB a sus respectivos equipos, a través de la placa XBEE GROVE, la cual se muestra en la Figura 3-6, como se puede apreciar posee bastantes características para la comodidad del usuario. Sin embargo, para este ejemplo, solamente se utilizará el puerto Micro USB de esta para poder conectar ambos Xbee a sus respectivos equipos.



Figura 3-5: Esquema de la conexión (fuente: blog.hunabsys.com).



Figura 3-6: Xbee Grove (fuente: DIGI).

Luego de tener todo conectado, es momento de configurar la Raspberry. Para lograr la conexión, y visualización de la información enviada y recibida, es necesario instalar un programa. Este programa, llamado minicom, se encargará de habilitar el puerto serie de la placa. Se instalará el programa en cuestión, mediante el comando `sudo apt-get install minicom`. Posteriormente, se procederá a ejecutar el programa con el siguiente comando, `sudo minicom -b 57600 -o -D/dev/ttyUSB0`. Ejecutando correctamente, aparecerá la ventana que se muestra en la Figura 3-7.

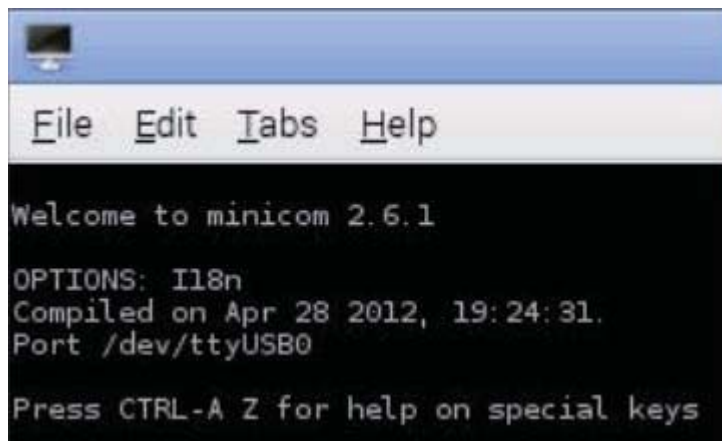


Figura 3-7: Programa Minicom (fuente: <http://blog.hunabsys.com>).

Finalmente, al ingresar en esta pantalla se podrá comprobar si la conexión se logró correctamente. Para esto, primero se irá al software X-CTU e igual que anteriormente se abrirá la consola de éste y se comenzará a enviar la información mediante ésta. A su vez, para enviar información desde la Raspberry, ésta se digitalizará en la pantalla del programa minicom, y se podrá visualizar los datos recibidos en el software instalado en el PC. A continuación, se muestra en la Figura 3.8, lo dicho anteriormente, cabe mencionar que los datos en color azul son los enviados y los de color rojo son los datos recibidos, otro punto a mencionar es que la información tecleada en el programa de la Raspberry no se muestra, sino que se envía directamente y ésta solo se logra ver en la computadora.

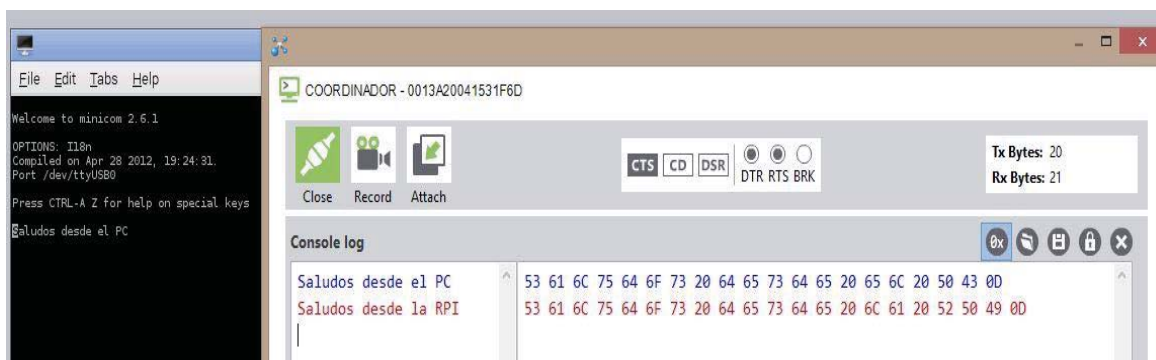


Figura 3-8: Visualización de los datos enviados y recibidos entre la Raspberry y el Xbee (fuente: propia).

3.3 Virtual Networking Computing

Otra característica importante que se logró configurar fue el escritorio remoto. Con esta función se podrá tener acceso a la Raspberry Pi desde cualquier ordenador que tenga una conexión a la red. Con esto se podrá programar o reconfigurar lo que se estime conveniente sin necesidad de estar físicamente cerca de la placa.

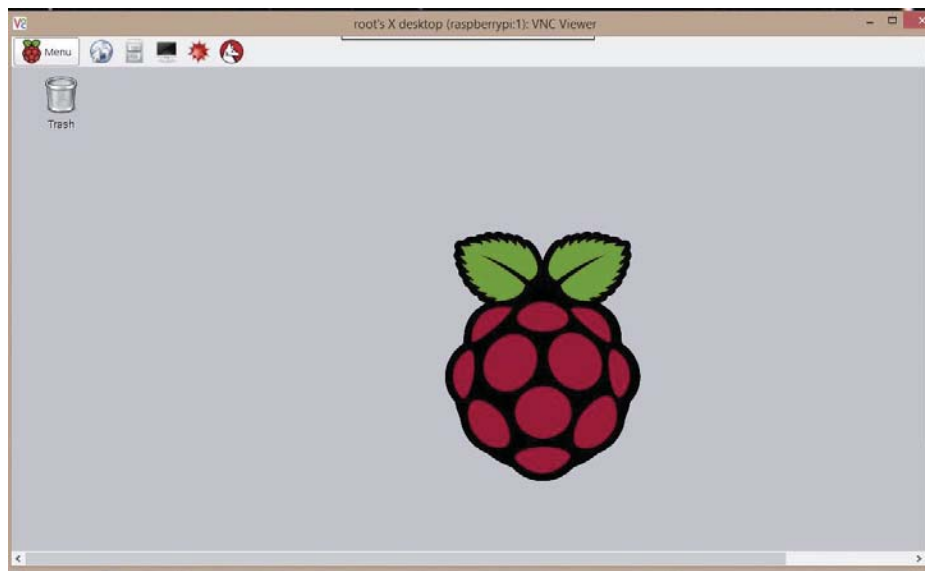


Figura 3-9: Escritorio remoto, utilizando VNC viewer (fuente: propia).

VNC no impone restricciones en el sistema operativo del ordenador servidor con respecto al del cliente: es posible compartir la pantalla de una máquina con cualquier sistema operativo que admita VNC conectándose desde otro ordenador o dispositivo que disponga de un cliente VNC.

VNC es independiente de la plataforma, un cliente VNC de un sistema operativo pueden conectarse a un servidor VNC del mismo sistema operativo o de cualquier otro. Hay clientes y servidores tanto para muchos sistemas operativos basados en GUI como para java. Varios clientes pueden conectarse a un servidor VNC al mismo tiempo. Los usos populares de esta tecnología incluyen ayuda técnica remota y acceso a los archivos presentes en el ordenador del trabajo desde la computadora de la casa o viceversa.

A pesar de no ser algo primario dentro del proyecto, esta característica ayudó bastante al estudiante debido a que, éste poseía control de la Raspberry desde su ordenador, sin necesidad de tener que conectar todos los accesorios a esta para trabajar. Otro beneficio de trabajar con esta modalidad es que al usuario le otorga autonomía, debido a que puede controlar la Raspberry de una localidad distinta de donde se encuentra ésta.

4 Realización Proyecto

En el capítulo anterior, se mostraron los primeros acercamientos que el estudiante tuvo con los distintos dispositivos. Este realizó sus primeras configuraciones y logró establecer una comunicación entre ellos, el cuál era uno de los objetivos principales. Sin embargo, para continuar con este proyecto, se pensó en la idea de generar una aplicación entre estas dos tecnologías. Esta sería, el monitoreo de la temperatura del laboratorio de redes de la Escuela de Ingeniería Eléctrica.

Para esto el alumno ideó un sistema donde se tendrán dos XBee, cada uno con un sensor de temperatura, uno dentro de la sala de redes y otro afuera de ella. Estos transmitirán la información hacia el XBee Coordinador, el cual estará conectado a una placa Arduino. Esta placa leerá la información recibida y posteriormente convertirá el valor analógico del sensor de temperatura a un valor en grados Celsius. Esta información será enviada mediante el puerto serial desde Arduino hacia la Raspberry PI, luego para poder visualizar la información en una página web, se creará una aplicación en Python. Todo esto será explicado de forma detallada en los siguientes apartados.

En la Figura 4.1 se muestra el diagrama representativo del proyecto final. El que será descrito y explicado de forma más detallada dentro de este capítulo.

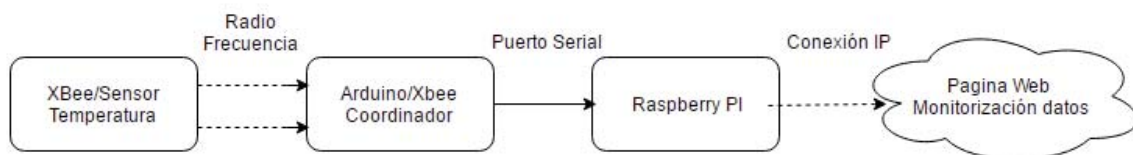


Figura 4-1: Diagrama representativo del proyecto (fuente: propia)

4.1 Reconfiguración Red XBee

Anteriormente, se consiguió establecer la comunicación entre dos XBee. Para el proyecto final fue necesario configurar tres de estos módulos, por lo tanto, se tuvo que reconfigurar toda la red. Al igual que en el caso anterior, el alumno hizo uso del software proporcionado por DIGI (X-CTU).

Sin embargo, una diferencia importante de la red anterior es que, para este caso el XBee Coordinador estará configurado en modo API. Este modo principalmente provee una interfaz estructurada en donde los datos se comunican de forma serial y a través de paquetes (tramas) de determinado tamaño. Alguno de los beneficios de utilizar este modo de comunicación son los siguientes:

- Configurar módulos Xbee locales y remotos de la red.
- Gestiona la transmisión de datos inalámbricos de uno o más destinos.
- Identifica la dirección de origen de cada paquete recibido
- Recibe el estado de éxito o fallo de los paquetes enviados.

Estas y otras características, son explicadas de forma más detallada en el apartado 1.9



Figura 4-2: Ejemplo de transmisión en modo API (fuente: Xbee guía del usuario).

Luego de establecer el módulo Coordinador de manera correcta, se configuraron los dos XBee restantes que conformarán los Router. En este caso, ambos estarán en modo Transparente y a cada uno de ellos se les activará el pin analógico/digital necesario para recibir la información de los sensores de temperatura.

Hecho todo lo anterior, a través del programa X-CTU se comprobará que la red se ha configurado de manera correcta. En la Figura 4.3 se observa dicha red.

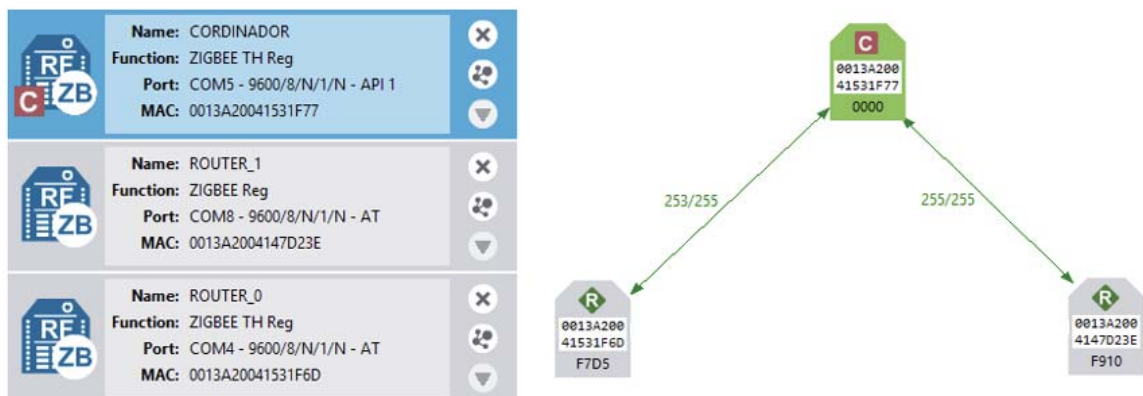


Figura 4-3: Red conformada por un Coordinador y dos Router (fuente: propia).

4.2 Sensores

Los sensores de temperatura serán los encargados de obtener la información captada en el ambiente, para que posteriormente esta sea enviada por la red de XBee y pueda ser monitorizada en el pc.

Cada sensor estará conectado respectivamente a su XBee. La unión de ambos es bastante sencilla, solo hace falta conectar el sensor al pin de tierra, de voltaje y de entrada análoga en el Xbee. A su vez, el Xbee estará montado en su placa de desarrollo, XBee Grove. Ésta le permitirá obtener energía vía puerto USB. La conexión queda mostrada en la Figura 4.4.

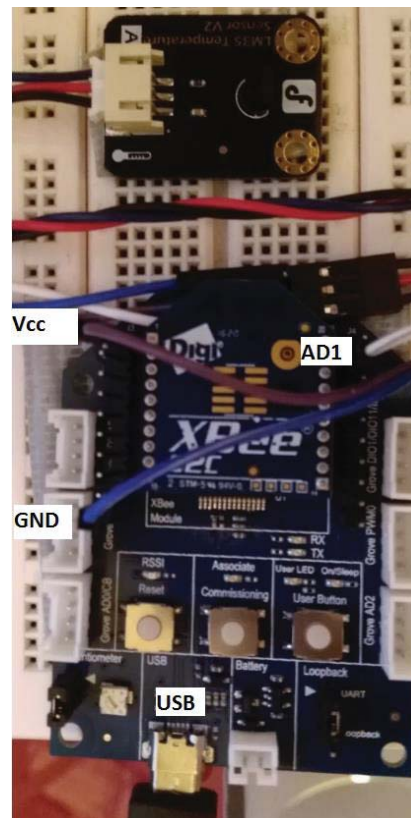


Figura 4-4: Sensor de temperatura conectado a XBee (fuente: propia).

4.2.1 LM35DZ

El sensor utilizado para este proyecto fue el sensor de temperatura LM35DZ. Este sensor posee una precisión calibrada de 1° [Celsius]. Presenta la forma típica de un transistor de tres conexiones, dos de ellas para la alimentación y la tercera entrega el valor de tensión proporcional a la temperatura medida por el dispositivo. La salida de este sensor es lineal y equivale a $10[\text{mv}]/^{\circ}[\text{C}]$. Otras características importantes son las siguientes [9]:

- Temperatura de Operación: - 55 a $155^{\circ}[\text{C}]$
- Voltaje de Operación: 4 a $30[\text{V}]$

La conexión del Xbee Coordinador con el Arduino no presenta gran complejidad, ya que basta solamente conectar cuatro cables como se muestra en la Figura 4.7. Uno necesario para energizar el módulo, otro para la tierra y finalmente dos cables (RX y TX) que será por donde la señal se envíe al Arduino.

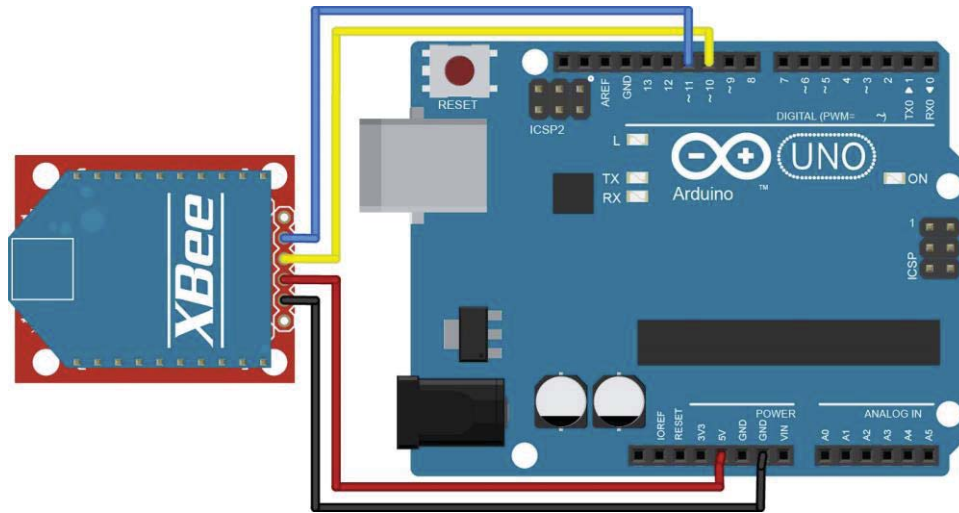


Figura 4-7: Conexión Xbee Coordinador /Arduino Uno (fuente: wallfloweropen.com).

4.3.1 Programa de Reconocimiento y lectura

Luego que la información ha sido recibida por el Arduino, es necesaria que esta sea procesada para que posteriormente sea enviada hacia la Raspberry PI. La función principal que tendrá la placa Arduino será leer los datos enviados por los módulos XBee, reconocer que dato pertenece a cada módulo y luego convertir el dato análogo, captado por los sensores, a grados Celsius.

Para que el Arduino pueda reconocer, desde donde se está enviando la información, si se está transmitiendo desde el Router_0 o el Router_1 fue necesario ejecutar el programa que se muestra en la Figura 4.8.

Para poder comprender este programa, es necesario conocer la forma en cómo se transmite la información desde un módulo a otro. Es sabido que los datos están siendo enviados en forma de tramas y que cada byte de ésta tiene un significado especial. En la figura 4.9 se muestra un ejemplo de trama con el significado de cada uno de sus bytes.

Otro punto importante necesario que recalcar, como se mencionó previamente, es que cada XBee posee un único número de serie el cual coincide con su número MAC. En la Figura 4.10 se remarca cada una de las direcciones MAC que poseen estos módulos.

```

void loop () {
  if (Serial_xbee.available () >= 21) {
    if (Serial_xbee.read() == 0x7E) {
      for (int i = 1; i < 9; i++) {
        byte discardByte = Serial_xbee.read ();
      }
      int analogMSB = Serial_xbee.read();
      if ( analogMSB == 0x53){
        for (int i = 10; i < 19; i++) {
          byte discardByte = Serial_xbee.read ();
        }
        int analogMSB = Serial_xbee.read();
        int analogLSB = Serial_xbee.read();
        int analogReading = analogLSB + (analogMSB * 256);
        temp = analogReading / 9.31 ;

        Serial.print("A:");Serial.print(temp);
      }
      else if(analogMSB == 0x47){
        for (int i = 10; i < 19; i++) {
          byte discardByte = Serial_xbee.read ();
        }
        int analogMSB = Serial_xbee.read();
        int analogLSB = Serial_xbee.read();
        int analogReading = analogLSB + (analogMSB * 256);
        value = analogReading / 9.31 ;

        Serial.print("B:");Serial.println(value);
      }
    }
  }
}

```

Figura 4-8: Programa de lectura, reconocimiento y conversión (fuente: propia).

Byte	Example	Description
0	0x7e	Start byte – Indicates beginning of data frame
1	0x00	Length – Number of bytes (ChecksumByte# – 1 – 2)
2	0x14	
3	0x92	Frame type - 0x92 indicates this will be a data sample
4	0x00	64-bit Source Address (Serial Number) MSB is byte 4, LSB is byte 11
5	0x13	
6	0xA2	
7	0x00	
8	0x40	
9	0x77	
10	0x9C	
11	0x49	
12	0x36	Source Network Address – 16 Bit
13	0x6A	
14	0x01	Receive Opts. 01=Packet Acknowledged. 02=Broadcast packet
15	0x01	Number of sample sets. Always set to 1 due to XBEE limitations
16	0x00	Digital Channel Mask – Indicates which pins are set to DIO
17	0x20	
18	0x01	Analog Channel Mask – Indicates which pins are set to ADC
19	0x00	Digital Sample Data (if any) – Reads the same as Digital Mask
20	0x14	
21	0x04	Analog Sample data (if any)
22	0x25	There will be two bytes here for every pin set for ADC
23	0xF5	
		Checksum(0xFF - the 8 bit sum of the bytes from byte 3 to this byte)

Figura 4-9: Ejemplo trama API y significado de cada uno de sus Bytes (fuente: www.tunnelsup.com).

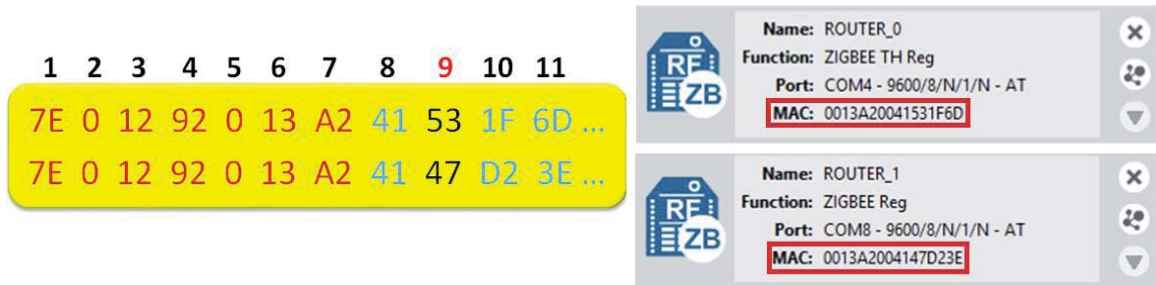


Figura 4.10: Trama API y dirección MAC de ambos módulos (fuente: propia).

Con la ayuda de las Figuras 4.9 y 4.10, se logra observar que, desde el quinto byte, de la trama, comienza el número MAC de cada uno de los XBEE. Además, desde ese byte hasta el octavo cada módulo presenta el mismo número de serie y desde el noveno byte ocurre el cambio.

Por lo tanto, para lograr reconocer desde donde se está enviando la información es necesario tener presente el valor del noveno byte, ya que con este valor será el encargado de hacer la diferencia entre un XBee y otro. Para este caso el valor del Router_0 es 53 y para el Router_1 es 47, ambos en valor hexadecimal.

Un punto que es importante recalcar, es que nunca dos XBee presentarán el mismo número de serie. En estos módulos, la diferencia ocurrió en el noveno byte, sin embargo, en otros módulos esta diferencia podría ocurrir en cualquier otro byte.

Pasando al programa en sí, la primera tarea que este realizará será leer la trama desde el primer al noveno byte. Inmediatamente, este irá descartando todos los bytes donde el valor no corresponda al que se desea, para este caso será 0x53 y 0x47 respectivamente de cada módulo. Luego, este entrará en la función **For**, el objetivo de esta función será la de leer el valor que posee el byte número 19, ya que este, observando la Figura 4.9, es donde viene la información digital obtenida desde el sensor, enviada por el Router. Al haber obtenido este valor, se hace la conversión para obtener el valor en grados Celsius. Finalmente, este dato es mostrado por pantalla como se observa en la Figura 4.11.

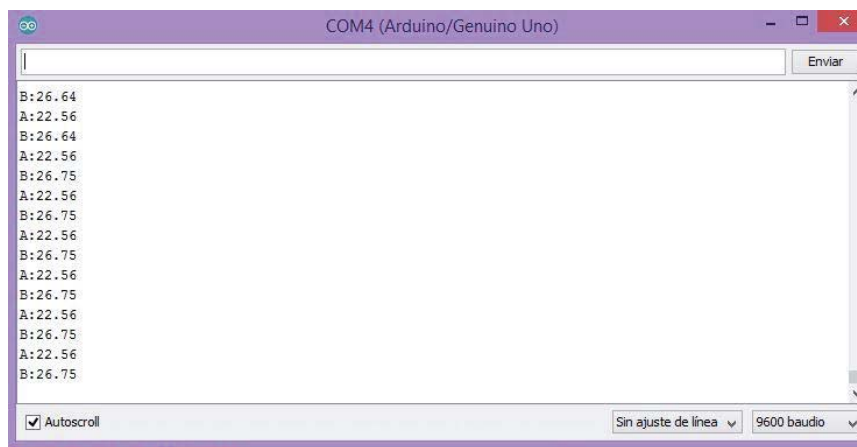


Figura 4.11: Datos mostrados por el monitor serial del Arduino (fuente: propia)

4.4 Monitorización Web de la temperatura

Continuando con el proyecto, ahora es momento de realizar la aplicación donde se podrá visualizar los datos recibidos desde una página web. La ventaja de esta página es que permitirá al usuario poder monitorizar la temperatura desde cualquier computador o dispositivo que esté conectado a la misma red que la Raspberry Pi.

Para la realización de esta página, se utilizó un programa en la Raspberry Pi, programado en Python el cual utiliza *Tornado-Serial* y *WebSocket*. Por su parte Tornado-Serial, es un Framework que fue creado para manejar comunicaciones que son recibidas por el puerto serial de la Raspberry Pi [10]. Por esta razón, la placa Arduino fue conectada de manera serial a la Raspberry Pi, mediante un cable USB, como se muestra en la Figura 4.12. A su vez, la aplicación WebSocket será la encargada de subir toda la información que está llegando por el puerto serial a una dirección web.



Figura 4.12: Conexión entre Xbee y Arduino (fuente: propia).

En la Figura 4.13, se muestra el diagrama del programa, los datos son obtenidos desde el comando `SerialWorker`, éste es el encargado de leer todos los datos que están siendo recibidos por el puerto serial. Luego, el programa `MAIN` se encargará de enviar estos datos al `WebSocket`, para que éste a su vez, los envíe a la página web. La dirección de ésta será, la dirección IP que la red otorgará a la placa Raspberry Pi.

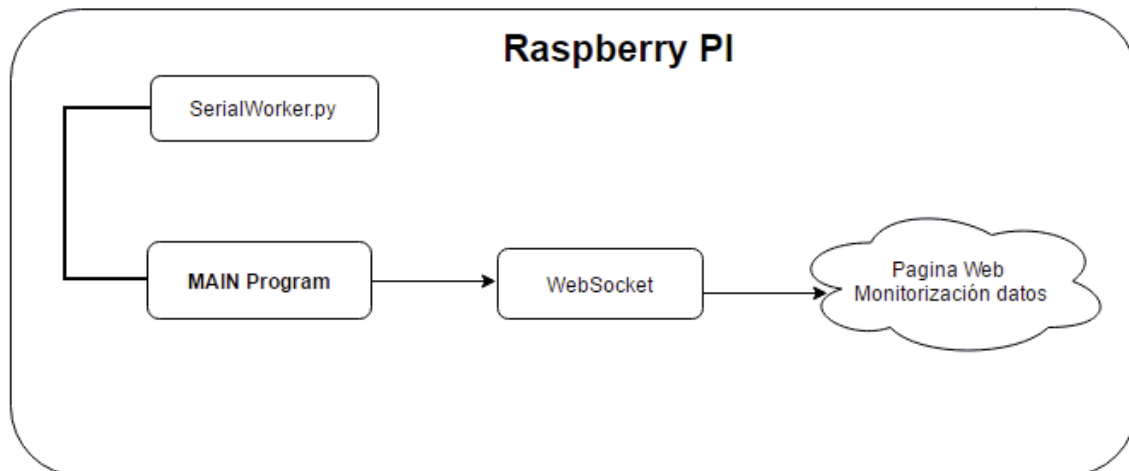


Figura 4.13: Diagrama programa de monitorización de datos.

En la Figura 4.14, se muestra el programa “SerialWorker”, el encargado de leer los valores recibidos por la Raspberry Pi para luego enviarlos al programa principal, y a su derecha, se aprecia el WebSocket, en éste se insertará la dirección IP donde se creará la página y se mostrarán todos los datos recogidos por los sensores.

```

import serial
import time
from multiprocessing import Process

class SerialProcess(Process):

    def __init__(self, output_queue):
        Process.__init__(self)
        self.output_queue = output_queue
        self.sp = serial.Serial('/dev/ttyACM0', 9600)

    def close(self):
        self.sp.close()

    def writeSerial(self, data):
        self.sp.write(data)
        # time.sleep(1)

    def readSerial(self):
        return self.sp.readline().replace("\n", "")

    def run(self):
        self.sp.flushInput()

        while True:
            # look for incoming serial data
            if (self.sp.inWaiting() > 0):
                data = self.readSerial()
                print "reading from serial: " + data
                # send it back to tornado
                self.output_queue.put(data)
  
```

```

//CREACION DE WEBSOCKET
pagina_web = new WebSocket('ws://192.168.1.144/ws');

var buff_a = [];
var buff_b = [];

//RECEPCION DE DATA
pagina_web.onmessage = function(msg){
    $('#out').html('Último mensaje recibido: <b>' + msg.data + '</b>');

    if (msg.data.indexOf("A") == 0){
        buff_a.push({a: msg.data.substring(2), y: (new Date).getTime(),});
    }

    if (msg.data.indexOf("B") == 0){
        buff_b.push({a: msg.data.substring(2), y: (new Date).getTime(),});
    }
}
  
```

Figura 4.14: Serial Worker y WebSocket (fuente: propia).

Finalmente, en la Figura 4.15, se muestran los datos en la página Web. Los datos mostrados, en el gráfico 1 representan, los valores obtenidos por el sensor dentro de la sala de redes, y el gráfico 2 los valores medidos afuera de esta sala. Como se puede apreciar, los valores dentro de la sala donde se encuentran los equipos, es mucho menor a los valores medidos fuera de ésta. Esto se debe a que donde se encuentran los equipos, existe un aire acondicionado que está regulando la temperatura para que ésta se mantenga a un valor constante, generalmente este valor bordea los 20 grados aproximadamente.

Otro punto importante que muestra la página web es el último mensaje recibido, que en este caso será la última lectura de la temperatura medida por el sensor. En este caso, la toma de la captura fue en el momento cuando se recibió un valor del sensor que está dentro de la sala de redes. En este caso el valor medido fue de 20.41 grados Celsius, un valor bastante aproximado en comparación del termómetro digital que se encuentra allí.



Figura 4.15: Página web mostrando los valores obtenidos por los sensores (fuente: propia).

5 Evaluación Económica

Los beneficios económicos que se obtengan al finalizar un determinado proyecto son directamente proporcionales con la planificación y programación que se haga desde un principio. De estas dependerán si al final del proyecto, se obtendrán pérdidas o beneficios. Para este proyecto se evaluará, la instalación de un sistema de monitoreo de temperatura y humedad, dentro de un invernadero.

En este capítulo se presentará la evaluación económica, que incluye el detalle de los costos asociados a la fabricación e implementación del proyecto junto con los beneficios que genera su utilización.

5.1 Contexto

Los invernaderos centran su atención en proporcionar las condiciones óptimas para el cultivo. Esto significa monitorear las condiciones ambientales óptimas para el cultivo seleccionado y sembrado en el interior de estos sistemas.

5.1.1 Temperatura

El manejo de la temperatura se basa en la estructura y diseño del invernadero, así como el grado técnico que éste posea. Haciendo referencia al grado de tecnificación, los invernaderos industriales o de gran tamaño son en los cuales, por lo general, se instalan sensores para el monitoreo de las condiciones ambientales internas, ya que, al ser grandes extensiones de cultivo, el monitoreo por parte de personas no es preciso ni económicamente viable.

Asimismo, el grado de tecnificación hace referencia a la cantidad de equipo industrial instalado en el invernadero (sensores, actuadores y controladores), ya que no todos los invernaderos industriales utilizan actuadores para cambiar las condiciones ambientales monitoreadas.

Por otra parte, la estructura y diseño del invernadero, junto con el lugar de instalación, proveen de la ventilación y temperatura necesaria para mantener el invernadero bajo condiciones ambientales óptimas para el cultivo, permitiendo que el flujo de aire caliente y frío dentro del invernadero sea controlado de forma mecánica sin necesidad de utilizar dispositivos extra para mantener bajo control el ambiente al interior del invernadero.

La temperatura es la variable principal por controlar dentro de un invernadero. Esta variable es la que requiere de mayores sistemas mecánicos de actuación para su control, debido a que los sistemas de ventilación son diseñados para el control de esta variable, asimismo los sistemas mecánicos de calefacción y enfriamiento son utilizados para el mismo fin de control.

5.1.2 Humedad

La humedad es una característica ambiental vital para las plantas, ya que un nivel adecuado de esta variable propicia de forma extensiva el desarrollo del cultivo. El exceso o falta de humedad en el cultivo propicia la degradación o suspensión de la fotosíntesis — la conversión de materia inorgánica en materia orgánica mediante la energía que aporta la luz solar. Como es el principal sistema de alimentación de las plantas, si este sistema se ve afectado la planta deja de desarrollarse y comienza a morir. Para mantener los niveles adecuados de humedad se utilizan sensores de humedad y sistemas de humidificación (humidificadores).

Los humidificadores son dispositivos diseñados para aumentar la humedad del lugar donde son instalados. Éstos son utilizados especialmente en lugares donde el calor producido por el sol genera estaciones de sequías. En los invernaderos es útil debido a que las condiciones externas de clima también afectan a las condiciones ambientales del invernadero.

La humidificación es importante en los invernaderos debido a que niveles bajos de humedad detienen o disminuyen el proceso de fotosíntesis. En las condiciones de baja o nula humedad las plantas sufren estrés y se les impide el intercambio de oxígeno, CO₂ y nutrientes. Como consecuencia, el radio de crecimiento de las plantas decrece dramáticamente si no existe la humidificación apropiada.

Las plantas saludables pueden transpirar grandes cantidades de agua, dando como resultado un incremento en la humedad relativa del aire en un invernadero. El aumento de la humedad relativa en el invernadero, alcanzando niveles entre el 80 y 85%, debe ser evitado debido a que este nivel de humedad puede causar enfermedades en las plantas y reduce su transpiración, así también pueden generar precipitaciones que no son deseadas en el invernadero causando que éste se puede inundar.

Una ventilación suficiente o sucesivos calentamientos y ventilación pueden prevenir la condensación en la superficie de los cultivos y en la estructura del invernadero. El uso de sistemas de enfriamiento en temporadas de verano incrementa la humedad del aire en el invernadero.

La humedad es controlada con sistemas mecánicos tales como sistemas de riego, humidificadores y con la ayuda de las aireaciones del sistema. Esta variable ambiental no debe ser controlada de forma directa por el ser humano ya que la percepción ante variables ambientales no es la óptima para mantener a las plantas con el mayor rendimiento ambiental. Para el control de esta variable, como para el de la temperatura, es necesario utilizar sistemas autónomos de control.

5.2 Componentes Electrónicos

Uno de los puntos a considerar en la planificación es la elección de los componentes electrónicos. Los componentes utilizados para este proyecto son los mencionados anteriormente en el informe, Raspberry Pi, Arduino, Xbee y el sensor de temperatura y humedad (DHT11) descrito a continuación.

Sensor de temperatura y humedad DHT11

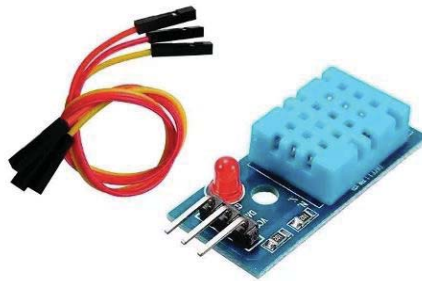


Figura 5-1: Sensor de temperatura y humedad (fuente: olimex.cl).

El DHT11 (Figura 5.1) es un sensor de temperatura y humedad digital de bajo costo, utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos.

- **Características:**

- Alimentación: $3 \text{ [Vdc]} \leq [Vcc] \leq 5 \text{ [Vdc]}$
- Rango de medición de temperatura: 0 a 50 °C
- Precisión de medición de temperatura: $\pm 2.0 \text{ °C}$
- Resolución Temperatura: 0.1°C
- Rango de medición de humedad: 20% a 90% RH.
- Precisión de medición de humedad: 4% RH.
- Resolución Humedad: 1% RH
- Tiempo entre cada medición: 1 [segundo]

5.3 Mercado de Proveedores

Hoy en día, existe una variedad enorme de proveedores en el ámbito de componentes electrónicos. En este apartado, se analizarán los distintos distribuidores existentes en Chile y se compararán los precios de cada producto.

Los precios mostrados en la Tabla 5.1 corresponden a una unidad del producto y su precio está en dólares. Todos los proveedores, dan la facilidad de compra con tarjeta de crédito y despacho a domicilio, además de entregar una garantía por el producto. Algunos de los proveedores, otorgan la oportunidad de poder comprar los componentes en grandes cantidades (a partir de 5 unidades) con el beneficio de obtener un costo menor. Este es el caso de RS Componentes, Olimex y Victronics, ya que estos proveedores poseen una capacidad de comprar superior a la del resto, por lo cual pueden ofrecer esta modalidad de venta a los compradores.

Tabla 5-1: Comparación precios de componentes.

Pesos Chilenos	Raspberry Pi	Arduino Uno	Sensor	Carcasa RPI/Arduino	XBee
RS Componentes	\$16.280	\$16.738	\$5.720	\$14.800	\$17.219
Tectronix	\$39.260	12060		\$8.800	
Victronics	\$16.950	\$11.930	\$3.250		\$20.228
Olimex	\$34.500	\$16.300	\$4.800	\$14.100	\$22.800
Max Electrónica	\$37.250	\$10.100	\$3.300	\$13.400	

5.4 Mercado de Competidores y Consumidores

Claramente el mercado de competidores en este ámbito es bastante grande, existen varias empresas que se dedican a la venta e instalación de instrumentos para el monitoreo y control de estas variables.

Estas empresas principalmente se centran en sectores de grandes plantaciones o donde haya invernaderos de gran tamaño. Poseen equipos bastante sofisticados y de última tecnología, sin embargo, la instalación y la compra de éstos poseen costos bastante elevados.

Este proyecto que se está presentando, principalmente quiere llegar a sectores más pequeños. Para consumidores que quieran monitorear y controlar de mejor manera su siembra, pero sin la necesidad de invertir demasiado en ella.

Como se dijo anteriormente, este conjunto de dispositivos está enfocado para pequeños y medianos empresarios que estén comenzando en el rubro de la siembra.

5.5 Programación de Componentes

La programación de los componentes descritos anteriormente tiene un costo aproximado de \$220.000 (CLP) que asegura el correcto funcionamiento del sistema en su conjunto. Este monto, equivale a \$160.000 por mano de obra, este monto equivale al doble del valor de los materiales, más 5 horas de trabajo, la cual cada una equivale a \$12.000.

Por lo tanto, el costo total del proyecto corresponde a \$300.000 (CLP), lo que implica la compra de los componentes que equivalen a \$80.000 más el costo de la programación de éstos.

5.6 Beneficios

El principal beneficio que genera la implementación del proyecto corresponde a la automatización de los sistemas, ya que permite el control certero de la temperatura ambiente y de las condiciones de humedad en todo momento, junto con la autonomía de la persona a cargo, que puede manejar el sistema a distancia sin requerir su presencia en el lugar. Lo anterior, genera una disminución tanto de los costos como de las pérdidas ocasionadas por errores manuales, que puede variar dependiendo de cada empresa, pero que sin duda a largo plazo se convierte en un

sistema rentable, debido a las ventajas competitivas que trae consigo el proyecto en los procesos operacionales.

5.7 Estudio de viabilidad del proyecto

Este estudio tiene una duración de 10 años, en el cual se analizarán distintos aspectos económicos para saber si este proyecto es rentable o no, algunos estudios que se realizarán serán el análisis del VAN, TIR e IVAN, entre otros. Además, dentro de este apartado, se detallarán los gastos e ingresos anuales de la empresa en una tabla de flujo de caja. Por último, se efectuarán 3 financiamientos externos, de 25%, 50% y 75% de la inversión inicial, con el fin de comparar la rentabilidad del proyecto con o sin financiamiento.

5.7.1 Flujo de Caja

Para este proyecto, se estimará realizar 120 instalaciones entre los primeros 5 años y posteriormente éstas aumentarían en un 40% con lo que se obtiene 168 instalaciones en los siguientes años. Además, los 2 primeros años cada trabajo realizado tendrá un costo de \$300.000 (CLP), y para el tercer año este costo aumentará a \$400.000.

En la Tabla 5.2 se puede observar la inversión inicial realizada y los gastos realizados en el año 5. En ésta, se tienen los gastos de arriendo de un año de corrido, la compra de una camioneta para el transporte, las herramientas y los componentes necesarios para la instalación del sistema de monitoreo. Además del gasto de puesta en marcha de la empresa.

Tabla 5-2: Gastos inversión Inicial y posteriormente al año 5.

	Año 0	Año 5
Arriendo	3.000.000	4.800.000
Camioneta	5.000.000	5.000.000
Herramientas	100.000	100.000
Componentes	1.00.0000	2.000.000
Inversión	9.100.000	7.100.000
Gasto Puesta en Marcha	1.000.000	

Tabla 5-3: Gasto Mano de obra.

Costo Adicional MO	\$25.000
Mano de Obra	\$160.000
Componentes	\$81.000
Costos Indirecto	\$10.000

En la Tabla 5.3 se muestran los gastos de mano de obra y costos de los componentes, para realizar una instalación.

A continuación, en la Tabla 5.4 se muestra el flujo de caja de la empresa para los 10 años de estimación del estudio.

Tabla 5-4: Flujo de Caja en 10 años

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Instalaciones		120	120	120	120	120	168	168	168	168	168
Ingreso		36 M	36 M	48 M	48 M	48 M	67.2 M	67.2 M	67.2 M	67.2 M	67.2 M
M.Obra		-18 M	-18.M	-18.M	-18.M	-18.M	-18 M	-18 M	-18 M	-18 M	-18 M
Material		-9.720 K	-9.720 K	-9.720 K	-9.720 K	-9.720 K	-13.608 K	-13.608 K	-13.608 K	-13.608 K	-13.608 K
C.Indirec.		-1.200 K	-1.2 M	-1.2 M	-1.2 M	-1.2 M	-1.680 K	-1.680 K	-1.680 K	-1.680 K	-1.680 K
C.Adicio.		0	0	0	0	0	-1.2 M	-1.2 M	-1.2 M	-1.2 M	-1.2 M
C. Fijos		-800 K	-800 K	-800 K	-800 K	-800 K	-800 K	-800 K	-800 K	-800 K	-800 K
G. Adm		-800 K	-800 K	-800 K	-800 K	-800 K	-800 K	-800 K	-800 K	-800 K	-800 K
G.Instala.		-7.2 M	-7.2 M	-7.2 M	-9.6 M	-9.6 M	-13.440 K	-13.440 K	-13.440 K	-13.440 K	-13.440 K
Dep.Camioneta		-625 K	-625 K	-625 K	-625 K	-625 K	-1.250 K	-1.250 K	-1.250 K	-1.250 K	-1.250 K
Dep.Herramientas		-10 K	-10 K	-10 K	-10 K	-10 K	-210 K	-210 K	-210 K	-210 K	-210 K
Ing. no Operacionales											1.875 K
U Bruta		-2.355 K	-2.355 K	7.245 K	7.245 K	7.245 K	16.212 K	16.212 K	16.212 K	16.212 K	18.087 K
Impuesto 22%		518 K	518 K	-1.593 K	-1.593 K	-1.593 K	-3.567 K	-3.567 K	-3.567 K	-3.567 K	-3.567 K
U Neta		-1.837 K	-1.837 K	5.651 K	5.651K	5.651K	12.646 K	12.646 K	12.646 K	12.646 K	14.108 K
Depre.		635 K	635 K	635 K	635 K	635 K	1.460 K	1.460 K	1.460 K	1.460 K	1.460 K
Inversión	-9.1M					-7.1 M					
Valor Libro											4.675 K
GPM	-1.0 M										
Capital Trabajo	-18.860K	0	-1.2 M	0	0	-4.704 K	0	0	0	0	24.764 K
Amortización		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flujo de Caja	-28.960K	-1.201 K	-2.401K	6.286 K	6.286 K	-5.518 K	14.105 K	14.105 K	14.105 K	14.105 K	45 M

Para este proyecto, se estimará una tasa de descuento de un 18%, la cual se recomienda para proyectos. Con esta tasa, y sin financiamiento externo el proyecto no es rentable, como se puede apreciar en la Tabla 5.5 ya que el VAN obtenido es negativo.

Tabla 5-5: Resultado del proyecto sin financiamiento externo.

VAN	-1.862.266
r	18%
TIR	17,0%
IVAN	-0,064

5.7.2 Financiamiento Externo

Para este apartado, se analizará el proyecto pidiendo 3 tipos de financiamiento (25%, 50% y 75% de la inversión inicial) lo cuales se muestran en las Tablas 5.6, 5.8., 5.12 respectivamente. Para estos financiamientos, el préstamo será cancelado en 7 cuotas iguales, con una tasa de 7%.

Tabla 5-6: Tabla de Amortizaciones con cuota constante.

Año	0	1	2	3	4	5	6	7
Cuota		1.343.405	1.343.405	1.343.405	1.343.405	1.343.405	1.343.405	1.343.405
Interés		506.800	448.238	385.576	318.528	246.786	170.023	87.886
Amortización		836.605	895.168	957.829	1.024.877	1.096.619	1.173.382	1.255.519
Saldo Insoluto	7.240.000	6.403.395	5.508.227	4.550.398	3.525.520	2.428.901	1.255.519	0

Como se puede apreciar en la Tabla 5.7, con un préstamo del 25% de la inversión inicial, el proyecto se hace rentable, ya que el VAN es mayor que cero.

Tabla 5-7: Resultado del proyecto con un 25% de financiamiento

VAN	554.048
r	18%
TIR	18,3%
IVAN	0,026

Al pedir un 50% del financiamiento, se puede observar en la Tabla 5.9 que el Van del proyecto aumenta de manera significativa y que su TIR aumento un 2% del caso anterior.

Tabla 5-8: Tabla de Amortizaciones con cuota constante

Año	0	1	2	3	4	5	6	7
Cuota		2.686.811	2.686.811	2.686.811	2.686.811	2.686.811	2.686.811	2.686.811
Interés		1.013.600	896.475	771.152	637.056	493.573	340.046	175.773
Amortización		1.673.211	1.790.335	1.915.659	2.049.755	2.193.238	2.346.764	2.511.038
Saldo Insoluto	14.480.000	12.806.789	11.016.454	9.100.795	7.051.040	4.857.802	2.511.038	0

Tabla 5-9: Resultado del proyecto con un 50% del financiamiento.

VAN	2.970.362
r	18%
TIR	20,1%
IVAN	0,205

Finalmente, se mostrará el flujo de caja al solicitar un 75% de la inversión inicial (Figura 5.10) y sus respectivos resultados en la Figura 5.11.

Tabla 5-10: Flujo de Caja aplicando amortizaciones respecto a un 75% de la inversión inicial.

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Instalaciones (u)		120	120	120	120	120	168	168	168	168	168
Ingreso		36 M	36 M	48 M	48 M	48 M	67.2 M	67.2 M	67.2 M	67.2 M	67.2 M
M. Obra		-18 M	-18 M	-18 M	-18 M	-18 M	-18 M	-18 M	-18 M	-18 M	-18 M
Material		-9.720 K	-9.720 K	-9.720 K	-9.720 K	-9.720 K	-13.608 K	-13.608 K	-13.608 K	-13.608 K	-13.608 K
C.Indirec		-1.2 M	-1.2 M	-1.2 M	-1.2 M	-1.2 M	-1.680 K	-1.680 K	-1.680 K	-1.680 K	-1.680 K
C.Adicion		0	0	0	0	0	-1.2 M	-1.2 M	-1.2 M	-1.2 M	-1.2 M
C.Fijos		-800 K	-800 K	-800 K	-800 K	-800 K	-800 K	-800 K	-800 K	-800 K	-800 K
Gastos Adm		-800 K	-800 K	-800 K	-800 K	-800 K	-800 K	-800 K	-800 K	-800 K	-800 K
Gastos de Ventas		-7.2 M	-7.2 M	-9.6 M	-9.6 M	-9.6 M	-13.440 K	-13.440 K	-13.440 K	-13.440 K	-13.440 K
Dep.Camioneta		-625 K	-625 K	-625 K	-625 K	-625 K	-1.250 K	-1.250 K	-1.250 K	-1.250 K	-1.250 K
Dep. Herramie		-10 K	-10 K	-10 K	-10 K	-10 K	-210 K	-210 K	-210 K	-210 K	-210 K
G.Finan		-1.520 K	-1.345 K	-1.157 K	-956 K	-740 K	-510.069	-263.659			
Ingresos. No Operacio											1.875 K
U Bruta		-3.875 K	-3.670 K	6.089 K	6.290 K	6.505 K	15.702 K	15.949 K	16.212 K	16.212 K	18.087 K
Impuesto		852 K	814 K	-1.340 K	-1.384 K	-1.431 K	-3.455 K	-3.509 K	-3.567 K	-3.567 K	-3.979 K
U Neta		-3.023 K	-2.886 K	4.749 K	4.906 K	5.074 K	12.248 K	12.440 K	12.645 K	12.645 K	14.107 K
Deprecia		635 K	635 K	635 K	635 K	635 K	1.460 K	1.460 K	1.460 K	1.460 K	1.460 K
Inversión (Act Fijo)	-9.1 M					-7.1 M					
Valor Libro											4.675 K
GPM	-1.M										
Capital de Trabajo	-18.860	0	-1.2M	0	0	-4.704 K	0	0	0	0	24.764 K
Crédito LP	21.720 K										
Amortiz		-2.510 K	-2.686 K	-2.875K	-3.075K	-3.290 K	-3.520 K	-3.767K			
Flujo de Caja	-7.240 K	-4.898 K	-6.136 K	2.510 K	2.466 K	-9.385 K	10.187 K	10.133 K	14.105 K	14.105 K	45 M

Como se puede notar en la Tabla 5.11 el VAN del proyecto aumentó en un 80% en comparación con el caso anterior, además el TIR aumento en un 13%.

Tabla 5.11: Resultado del proyecto con un 75% del financiamiento.

VAN	5.386.676
r	18%
TIR	22,7%
IVAN	0,744

Tabla 5.12.: Tabla de Amortizaciones con cuota constante.

Año	0	1	2	3	4	5	6	7
Cuota		4.030.216	4.030.216	4.030.216	4.030.216	4.030.216	4.030.216	4.030.216
Interés		1.520.400	1.344.713	1.156.728	955.583	740.359	510.069	263.659
Amortización		2.509.816	2.685.503	2.873.488	3.074.632	3.289.857	3.520.147	3.766.557
Saldo Insoluto	21.720.000	19.210.184	16.524.681	13.651.193	10.576.560	7.286.704	3.766.557	0

Por lo tanto, para que este proyecto sea lo más rentable posible, se optará por la opción de financiar un 75% de la inversión inicial, esto se debe a que siempre es recomendable endeudarse al principio de un proyecto.

Para concluir, dentro de este estudio, se analizaron distintas materias para determinar si el proyecto era viable o no. Lo primero que se estudió fue el contexto del proyecto, conocer la problemática y otorgar una solución para ésta. Para este caso las dos variables a monitorear son la temperatura y la humedad. Estas variables son de suma importancia en el mundo agrícola, por lo tanto, poder monitorearlas en tiempo real es de gran ayuda para la persona a cargo de la plantación.

Luego se realizó la cotización de los distintos componentes necesarios para la instalación del sistema de monitoreo, se cotizó en distintos proveedores y se llegó a un valor determinado mencionado anteriormente.

Otro punto importante, fue conocer el mundo de los competidores y consumidores. En este punto, se observó que existe una gran competencia debido a la gran demanda que existe por el lado de los consumidores, debido a que cada día más personas están integrando sistemas de monitoreos y control automático a sus cosechas. Sin embargo, para lograr competir con estas grandes empresas, el factor principal de este proyecto será el costo rebajado de las instalaciones. Con este punto se podrá abarcar a pequeños agricultores que deseen implementar estos sistemas de monitoreo a un costo más accesible para ellos.

Finalmente, se realizó el flujo de caja durante 10 años de proyecto y se demostró que, sin un préstamo bancario inicial, éste no sería rentable. Luego se realizaron 3 simulaciones de préstamos (25%, 50% y 75% de la inversión inicial), y se obtuvo que mientras más grande era el valor de éste, la rentabilidad del proyecto aumentaba de manera directa. Por lo tanto, se optó por pedir el 75%, ya que, con esta opción, se obtendrá mayor devolución de la inversión inicial, lo que quiere decir, mayores ganancias.

Discusión y conclusiones

El objetivo principal de este proyecto fue lograr la óptima comunicación entre los distintos dispositivos y generar una aplicación entre ellos. Sin embargo, otro punto importante que se consiguió fue la aproximación a esta nueva era de la electrónica que hoy en día cada vez se hace más fuerte. Se habla de esta “nueva era” debido a que su función principal, es lograr que personas con poco conocimiento en electrónica y programación se adentren en conocer todos los beneficios y aplicaciones que se pueden lograr con ella.

Sin embargo, estas nuevas tecnologías que en un principio fueron pensadas para realizar funciones y aplicaciones no tan complejas, hoy día pueden verse que poco a poco, éstas se han ido consolidando en el área industrial, generando nuevas y sencillas aplicaciones para resolver problemas de mayor envergadura.

Respecto a la Raspberry Pi, el empleo que se le otorgo a ésta fue el de la creación de una página web, gracias el lenguaje de programación que posee. Dentro de esta página, se podrán observar los gráficos de los distintos valores obtenidos por los sensores de temperatura. Para la creación de ésta, se utilizó Tornado-Serial, Websocket y el programa principal programado en Python. Básicamente lo que hace éste, es enviar la información que llega desde el puerto USB y que es leída por el Tornado-Serial, para luego enviar estos datos al WebSocket, éste a su vez creará la interfaz web donde se podrán ver los dos gráficos de temperatura correspondiente.

Por su parte, para lograr que la información se envíe de manera correcta, se utilizó una placa Arduino Uno, la función de ésta será de leer estos datos, reconocer desde que módulo de radio frecuencia se está enviando y luego transformar estos valores a grados Celsius. Para esto se creó el programa que se mencionó anteriormente. Luego de que los datos estas siendo reconocidos y convertidos a grados correctamente, éstos serán enviados a la placa Raspberry Pi de manera serial, desde el puerto de salida del Arduino hasta el USB de la otra.

Respecto a los resultados obtenidos y observados, la red conformada es bastante estable y la distancia de comunicación de los módulos fue la óptima para este trabajo. Los sensores de temperatura elegidos se comportan de buena forma, son bastante susceptible a los cambios y presentan una buena precisión. La elección de añadir la placa Arduino Uno fue una buena decisión, ya que ésta solucionó varios problemas presentes en el proyecto y facilitó el trabajo del alumno.

Un punto bastante importante dentro de este proyecto es la compatibilidad que poseen todos los dispositivos empleados. Hoy en día la mayoría de los microcontroladores, tarjetas de desarrollo y minicomputadores, están siendo desarrollados para que todos éstos puedan trabajar y realizar aplicaciones entre ellas. Todos, trabajan y operan en un rango de voltaje similares, entre 3[v] hasta 5[v], por lo tanto, no es necesario utilizar etapas intermedias para poder conectarlas entre sí. Sólo basta realizar las conexiones necesarias y ya se podrá trabajar con estos dispositivos.

Pasando a otro punto, un tema importante que se abordó, pero de manera secundaria, fue el nuevo termino que se está empleando en la actualidad, el Internet de las Cosas. Este es un avance con un gran impacto sobre la sociedad y los negocios. A medida que la información y las personas están cada vez más conectadas, la tecnología sirve como herramienta de colaboración y toma las decisiones en un mundo en el que se reúne lo físico con lo digital.

Tal y como se vio en el presente informe, ha sido necesaria la unión de tres fenómenos para posibilitar el uso del IoT a nivel de consumidor: la miniaturización de componentes sin pérdida de la velocidad a la que operan, el uso de sensores, y la aparición de aplicaciones y servicios que creen valor a partir de la información generada por el IoT.

La popularidad en la actualidad sobre la implementación de medidores inteligentes que monitoreen una variable deseada ha motivado la idea de implementar el proyecto estudiado, generando beneficios económicos en un futuro. Es por esto, que se realizó una evaluación económica y estudio de viabilidad, los cuales demostraron la posibilidad de realizar con éxito el sistema de monitoreo de temperatura y humedad como un servicio privado.

Para finalizar, como se mencionó anteriormente, esta tecnología ha ido evolucionando principalmente gracias a las personas, que cada día son más los que se atreven a utilizar estos nuevos métodos para crear aplicaciones. Los usuarios han logrado crear una nueva “comunidad” basada en esta electrónica moderna. En la red se puede encontrar un sinnúmero de información y aplicaciones que las personas comparten, además existen foros en donde los usuarios resuelven las dudas o problemas de otros. Con la ayuda de toda esta información, este proyecto se realizó de manera correcta y se pudo concretar el objetivo principal.

Referencias

- [1] Digi, «DIGI,» [En línea]. Available: www.digi.com.
- [2] «BlogHistoriaInformatica,» [En línea]. Available: <http://histinf.blogs.upv.es/2013/12/18/raspberry-pi/>.
- [3] «Electrónica:teoría y práctica,» [En línea]. Available: <http://electronica-teoriaypractica.com>.
- [4] «XBee.cl,» [En línea]. Available: <http://xbee.cl/>.
- [5] J. ADAMS, «RTCMagazine,» [En línea]. Available: <http://www.rtcmagazine.com>.
- [6] «Internet World Stats,» [En línea]. Available: <http://www.internetworldstats.com/stats.htm>.
- [7] DIGI,«www.digi.com,» [En línea]. Available: <http://www.digi.com/resources/documentation/Digidocs/90001458-13>.
- [8] «ELECTROENSAIMADA,» [En línea]. Available: <http://www.electroensaimada.com/xbee.html>.
- [9] «Electronicos Caldas,» [En línea]. Available: <http://www.electronicoscaldas.com>.
- [10] T.Web,«Tornado,» [En línea]. Available: <http://www.tornadoweb.org/en/stable/websocket.html>.
- [11] «Xbee Datasheet,» [En línea].
- [12] «XBee Guia de Usuario,» [En línea].

[13] Digi, «XBee ZigBee Mesh Kit Guide,» [En línea].

[14] C. Bell, Beginning Sensor Networks with Arduino and Raspberry Pi.

[15] S. Monk, Raspberry Pi Cookbook.