

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

**Diseño de una red de sensores para telemetría y telecontrol usando redes
inalámbricas de área personal**

Nataly Peña Molina

Anyela Katherine Castro

Monica Gisela Rios

Ingeniería en Telecomunicaciones

Director del trabajo de grado

Germán David Góez Sánchez

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

3 de octubre de 2016

RESUMEN

Las tecnologías de información y comunicaciones constituyen una herramienta que facilita el acceso a la información a las personas en diferentes escenarios. Es así como dichas tecnologías permiten realizar, entre muchas aplicaciones, actividades tendientes a la consulta en bases de datos, al control de tareas de hardware y software, y a la monitorización de procesos. Justamente este último aspecto es el foco de este trabajo, en el cual se muestra el diseño de una aplicación para optimizar los procesos de medición de variables físicas propias del almacenamiento de productos alimenticios naturales.

El trabajo mostrado en el presente informe consiste en el diseño de un sistema de procesamiento digital, basado en un microcontrolador y una tarjeta SBC (Single Board Computer), para leer e interpretar los datos relativos a la humedad y a la temperatura del ambiente en el que se almacenan alimentos después de su etapa de producción. Las variables análogas son tomadas por un sensor, entregadas al microcontrolador y procesadas en formato digital, para luego ser enviadas simultáneamente hacia un display LCD y hacia la tarjeta SBC. El diseño también contempla una aplicación IDE para monitorizar remotamente la medición.

Como caso de estudio se presenta una implementación del diseño, que permite recoger muestras reales de temperatura y humedad en un ambiente de pruebas. Este desarrollo electrónico consta de hardware y software, que se ubican localmente en el sitio de medición y conectado a una red LAN para ser accedido remotamente por cualquier computadora utilizando tecnología Wi-Fi. Específicamente se emplea una aplicación de software que fue desarrollada como interfaz de usuario en el proceso de monitorización a distancia. El sistema diseñado puede así monitorear la temperatura y la humedad del lugar donde se encuentran los productos alimenticios, y enviar a la red LAN la información correspondiente

mediante una conexión Wi-Fi.

Con este desarrollo se espera ayudar en las actividades de conservación de productos alimenticios fabricados, aportando un sistema de monitoreo en tiempo real que soporta la toma de decisiones, proporcionando mayor eficiencia en la producción y en calidad de los productos.

Palabras clave: Microcontrolador, SBC, Raspberry Pi, Wi-Fi, Linux, SSH.

RECONOCIMIENTOS

Durante la preparación de la propuesta de este trabajo de grado y su posterior desarrollo agradecemos principalmente a nuestras familias por haber comprendido y aceptado las horas de ausencia de casa para cambiarlas por el trabajo en este proyecto. Agradecemos de igual forma a nuestro asesor y director, el profesor y magíster David Góez, quien tuvo la paciencia para mostrarnos siempre el mejor camino para llegar a los objetivos.

Queremos también dar las gracias especiales al ingeniero de telecomunicaciones Luis Javier Romero Anaya, que nos motivó a desarrollar esta solución necesaria en la industria alimenticia y además nos asesoró de manera desinteresada.

ACRÓNIMOS

GIT Grupo de investigación en integración de soluciones con tecnología de información y comunicación

SBC Single Board Computer

SOC System On a Chip

IDE Integrated Development Environment

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
1.1 Generalidades.....	7
1.2 Objetivos.....	7
1.3 Organización de la tesis.....	7
2. MARCO TEÓRICO.....	7 8
2.1 Sistema inalámbrico de medición de variables físicas.....	9
2.2 Tarjeta computadora Raspberry Pi.....	10
2.3 Microcontrolador PIC18F4550.....	10
2.4 Estándar IEEE 802.11.....	10
3. METODOLOGÍA.....	8
3.1 Elección de la red inalámbrica de área personal.....	10
3.1.1 Zig-Bee (Estándar IEEE 802.15.4).....	11
3.1.2 Bluetooth (Estándar IEEE 802.15.1).....	14
3.1.3 Wi-Fi (Estándar IEEE 802.11).....	14
3.1.4 Elección de la tecnología de red inalámbrica.....	15
3.2 Diseño de la red de sensores.....	18
3.2.1 Diseño físico.....	18
3.2.2 Diseño lógico.....	19
3.3 Caso de estudio.....	19
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	9 19
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	10 21
REFERENCIAS	11 22
APÉNDICE.....	13 22
APÉNDICE A: CÓDIGO DE PROGRAMA PARA EL PIC 18F4550.....	24
APÉNDICE B: PROCESO DE INSTALACIÓN DE RASPBIAN EN LA TARJETA RASPBERRY PI.....	24
APÉNDICE C: CONFIGURACIÓN BÁSICA DE RASPBERRY PI.....	24
APÉNDICE D: ACCESO DE LA TARJETA RASPBERRY PI MEDIANTE EL COMANDO SSH.....	26
APÉNDICE E: CONFIGURACIÓN DEL PUERTO USART DE LA TERJETA RSPBERRY.....	29 42

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

El presente trabajo presenta los resultados del diseño de un sistema digital centralizado para el sensado de las variables físicas temperatura y humedad. El diseño cuenta con una estación principal donde llega la información digital entregada por un sensor dual, que se comunica con el módulo principal mediante un protocolo serial. El sistema se conecta a una red LAN por medio de tecnología Wi-Fi, para lo cual se propone y se desarrolla una interfaz de usuario de computadora (IDE), y en ella se recibe la información sobre los valores de temperatura y humedad. Todo en tiempo real y conformando una red de sensado inalámbrico.

Mediante este desarrollo pueden generarse alertas correspondientes a los cambios límites permisibles de temperatura y humedad de productos alimenticios recién procesados. De esta manera el sistema puede controlar estas variables adecuadamente y se puede lograr una reducción de costos de producción y almacenamiento, sin invertir en infraestructura adicional a la red LAN debido a que no se requiere una red física independiente para realizar las mediciones.

Los módulos del sistema consisten en sensores de bajo costo y excelente precisión, además de un sistema de procesamiento y acondicionamiento de las señales basado en un microcontrolador. La conexión a la red WLAN se realiza a través de una tarjeta computadora del tipo SBC que se accesa remotamente mediante un PC de la misma red, utilizando el protocolo SSH. La computadora tiene un software propietario desarrollado en Java para que sirva de interfaz en la visualización y monitoreo de las variables sensadas.

Este desarrollo ayuda con la monitorización en tiempo real de las condiciones de temperatura y humedad de productos alimenticios fabricados, lo que permite mejorar dramáticamente la conservación de dichos productos de una determinada industria. Por lo

tanto la implementación de este proyecto hará más eficiente la producción, aumentando además la confiabilidad en el almacenamiento de productos y la calidad de los mismos.

El proyecto es de mucha importancia para la optimización de los procesos de almacenamiento y conservación del frío de productos comestibles, debido a que transmite la información que proviene directamente de la zona de bodegaje, disminuyendo errores eventuales por mediciones manuales en la zona local. De esta manera se busca obtener el máximo provecho de las tecnologías inalámbricas en el proceso de almacenamiento industrial, utilizando un sistema de monitoreo en tiempo real que ayuda con la toma oportuna de decisiones.

1.2 Objetivos

Los objetivos general y específicos planteados en el anteproyecto y desarrollados en este informe final son los siguientes:

Objetivo general

Caracterización y Diseño de un sistema de monitoreo inalámbrico de variables físicas usando redes de área personal orientado a la comunicación de sensores industriales.

Objetivos específicos

- Caracterizar las tecnologías inalámbricas de área personal con el fin de seleccionar la más adecuada para implementación en ambientes industriales.
- Diseñar la red de comunicaciones y sensores para ser implementada en un ambiente industrial.
- Construir un caso de estudio para validar la red propuesta.

1.3 Organización de la tesis

El presente trabajo de tesis se organiza en partes estructuradas para darle una adecuada coherencia y orden a las ideas presentadas en este informe final. Para ello desarrollamos los siguientes capítulos:

El capítulo 1 se refiere justamente a esta introducción en la que damos a los lectores una idea general de nuestro trabajo. Aquí se ha presentado una visión general del proyecto, mostrando la justificación, pertinencia y objetivos del trabajo. En el capítulo 2 se abordan los principales aspectos teóricos contenidos en este trabajo, lo que facilitará la comprensión de la base de conocimiento para comprender el proyecto.

Para el diseño del proyecto se ha procurado hacer una presentación clara y coherente de las diferentes fases. Ello ha permitido elaborar la metodología, presentada en el capítulo 3, en la cual se hace una descripción de las fases del diseño del proyecto, de la implementación de un caso de estudio y de las pruebas finales. Posteriormente, en el capítulo 4, se presentan los resultados y los respectivos análisis de las pruebas tomadas.

Finalmente abordamos el capítulo 5 en el cual presentamos unas conclusiones y hacemos unas recomendaciones para quien decida tomar este trabajo como una base para continuar desarrollando otras aplicaciones basadas en nuestro diseño.

2. MARCO TEÓRICO

Veremos en este capítulo los diferentes sistemas y protocolos de comunicación utilizados en el desarrollo de la propuesta. Por tal razón haremos un recorrido por cada uno de ellos, explicando los principales componentes.

2.1 Sistema inalámbrico de medición de variables físicas

El rápido desarrollo de la tecnología ha permitido realizar la integración de sistemas para la realización de medición de factores meteorológicos por medio de sensores con módulos de transmisión inalámbrica. De esta forma el envío de datos se puede llevar hasta una interfaz de usuario, con el adecuado software instalado para que permita el análisis y la visualización de la información en todo momento. Este desarrollo automatiza el proceso (antes manual) de toma de temperatura y humedad, por lo que ahorra una gran cantidad de tiempo y recursos físicos, aportando comodidad, precisión, confiabilidad y rapidez a la medición.

Un esquema típico de la medición de variables por métodos inalámbricos se presenta en la figura No.1. Allí se puede observar las principales etapas de este sistema.

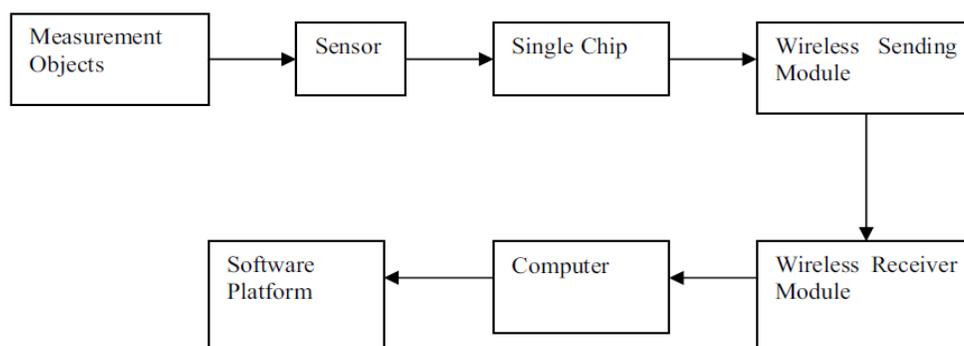


Figura No.1 – Sistema inalámbrico de medición de variables

2.2 Tarjeta computadora Raspberry Pi

Raspberry Pi es una placa microprocesada pequeña que posee unas dimensiones aproximadamente de 8.5 x 5.4 cms (apenas comparable con el tamaño de una tarjeta de crédito). Cuenta con una arquitectura completa de computador que se adapta fácilmente al sistema operativo Linux en diversas distribuciones (Debian, Ubuntu, Fedora o Arch Linux). Su diseño utiliza un SOC que incluye el procesador ARM, maneja una memoria RAM de 512 MB a 1 GB, cuenta con dos o cuatro puertos de USB (dependiendo de la versión de la placa), un conector de red Ethernet 10/100, salida de vídeo HDMI y otra salida analógica de audio y vídeo. Una fotografía de esta poderosa tarjeta de procesamiento es mostrada en la figura No.2.



Figura No.2 – Tarjeta de la Raspberry Pi

El uso de esta placa facilita hacer varios proyectos como los son las redes domóticas, la implementación de robots y la automatización. Aún así esta placa es muy utilizada en desarrollos sencillas y prácticos como las siguientes:

- Reproducir videos y audio en alta definición
- Guardar y compartir archivos dentro de una red local
- Tener un sistema de nube privada y personal utilizando el espacio necesario que el usuario desee
- Servidor web para obtener un sistema completo sin tener la necesidad de contratar un hosting

Algunas de las ventajas de esta tarjeta son permite estar conectada las 24 horas del día debido a su bajo consumo, no causa que la CPU se caliente y por esta razón no es necesario utilizar ventiladores y no trasmite ruido.

	CM	A+	B+	2B	Zero	3B
SoC (BCMxxxx)	2835	2835	2835	2836	2835	2837
Frecuencia	700MHz	700MHz	700MHz	900MHz	1GHz	1.2GHz
Arquitectura	ARM6	ARM6	ARM6	ARM7	ARM6	ARM8
Núcleos	1	1	1	4	1	4
Memoria RAM	512MB	256MB	512MB	1GB	512MB	1GB
Memoria Flash	4GB	microSD	microSD	microSD	microSD	microSD
GPIO pins	54	26	26	26	26	26
Puertos USB	1	1	4	4	1	4
Ethernet 10/100	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
WiFi	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
Bluetooth	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
HDMI	<input checked="" type="checkbox"/>					
DSI ports	2	1	1	1	0	1
Cam ports	2	1	1	1	0	1

Tabla No. 1 – Versiones y características de tarjetas Raspberry

En la tabla No. 1 se muestran las diferentes versiones de la tarjeta Raspberry existentes actualmente en el mercado.

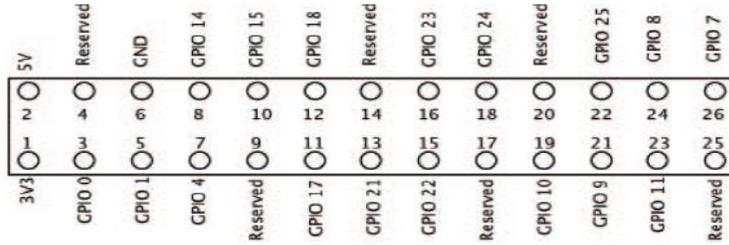


Figura No.3 – Puertos GPIO de la tarjeta Raspberry Pi

Con la importancia que tiene la información relacionada con el procesamiento de variables en aplicaciones industriales, surge la necesidad de desarrollar eficientes sistemas de registro de datos que sean compatibles con los dispositivos de medición, tales como monitores de LED y LCD. Para ello la tarjeta Raspberry cuenta con puertos físicos disponibles en formato analógico y digital (independientes de los USB) distribuidos en un completo bus de datos conformado por 40 pines (para la versión 1 PLUS y versiones superiores) que permite interfazar la placa con cualquier sistema compatible con la lógica TTL o CMOS. A este arreglo físico se le conoce con el nombre de GPIO, y se muestra en la figura No.3.

Aunque el sistema no lo requiere, las distintas variantes de GNU tienden a mantener una estructura común de carpetas. Por ejemplo, los siguientes suelen estar presentes en la totalidad de los sistemas GNU, incluyendo el sistema operativo Raspbian:

- /home/ Carpetas personales de los usuarios.
- /root/ Carpeta personal del administrador (usuario `root`).
- /etc/ Archivos de configuración del sistema.
- /boot/ Archivos necesarios para el arranque del sistema.
- /bin/ Órdenes básicas (ejecutables del sistema).
- /usr/bin/ Resto de órdenes del sistema (ejecutables).
- /lib/ Bibliotecas básicas del sistema (biblioteca en inglés es `library`).
- /usr/lib/ Resto de bibliotecas del sistema.
- /usr/local/ Software instalado de forma manual, no perteneciente al sistema.
- /tmp/ Carpeta temporal.
- /dev/ Dispositivos del sistema. En GNU todos los dispositivos se ven como archivos especiales.

2.3 Microcontrolador PIC18F4550

Este versátil microcontrolador de 40 pines es un dispositivo de alto desempeño, con tecnología de bajo consumo de potencia llamada Nanowatt, posee almacenamiento de los programas en memoria flash de 32 KB y frecuencia de operación por encima de los 40 MHz. Cuenta con una memoria de RAM de datos de 2048 bytes (distribuidos en 16 bancos). En la figura No. 4 se muestra la distribución de pines de este microcontrolador.

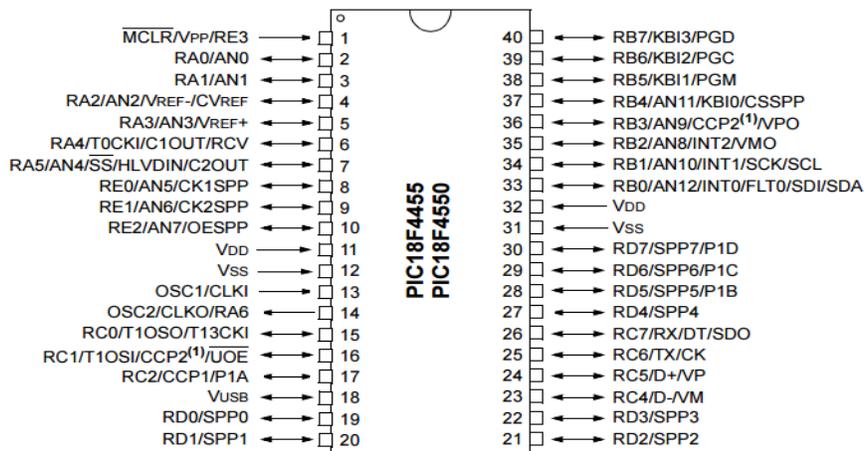


Figura No. 4 – Presentación de pines del PIC18F4550

Dentro de las Principales características del PIC18F4550 encontramos las siguientes:

- Microcontrolador con módulo USB 2.0. Soporta Low speed 1.5Mb/s y full speed 12Mb/s.
- 1kB de memoria de doble acceso vía USB
- 35 pines I/O disponibles
- Memoria de programa flash de 32 KB, RAM de 2048 Bytes y EEPROM de datos de 256 Bytes
- Oscilador externo de dos modos hasta 48 MHz y oscilador interno seleccionable entre 8 frecuencias desde 31kHz hasta 8MHz
- Oscilador secundario con Timer 1 de hasta 32kHz
- Opciones de oscilador dual permiten que la velocidad de la CPU y del módulo USB sean diferentes
- ADC de 10 bits y 13 canales
- Tecnología nanoWatt que brinda características y funciones de bajo consumo y ahorro de energía
- Voltaje de operación 4.2V a 5.5V
- 4 Timer(desde Timer0 a Timer3). Uno de 8 bits y 3 de 16 bits
- 2 módulos de captura/comparación/PWM
- Comunicación EUSART, SPP, SPI, I²C.
- 20 fuentes de interrupciones (3 externas)
- Resistencias de pull-ups en el puerto B programables

- Función del pin MCLR opcional
- Power-up Timer y Oscillator Start-up Timer
- Soporta 100,000 ciclos de borrado/escritura en memoria flash
- Soporta 1,000,000 ciclos de borrado/escritura en memoria EEPROM
- Retención de datos mayor a 40 años
- Protección de código y datos programable
- Encapsulado DIP de 40 pines

2.4 Estándar IEEE 802.11

Este estándar técnico, también conocido como Wi-Fi, es una tecnología de redes de datos inalámbricas utilizada para conectarse a Internet y a redes de área local (LAN) mediante un punto de acceso de red inalámbrica (conocido en inglés como access point), que puede proveer conexiones a diversos dispositivos dentro de la red, con distancia promedio de alrededor los 20 metros en interiores y algunos metros más en exteriores. De esta manera Wi-Fi es utilizada para intercambiar información entre dispositivos electrónicos, sin utilizar cables físicos y mediante protocolos de red estandarizados en IEEE 802.11. En la figura No. 5 se muestra un ejemplo de red Wi-Fi.

Wi-Fi es una tecnología de la marca Wi-Fi Alliance, entidad que se encarga de probar y certificar los equipos que cumplan con el estándar IEEE 802.11 de redes inalámbricas. El mecanismo de acceso al medio es capaz de soportar varias redes cercanas en el mismo canal utilizando colisiones y CSMA.

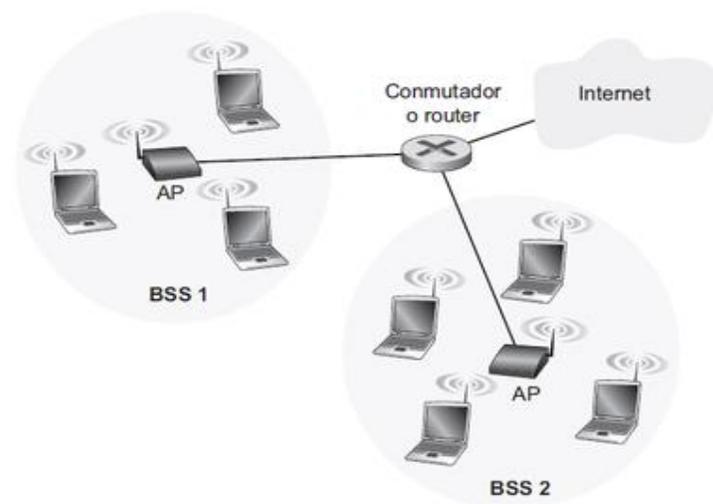


Figura No. 5 - Arquitectura de una red IEEE 802.11

La Wi-Fi Alliance certifica varios tipos de Wi-Fi, y todos en relación con el estándar 802.11 aprobado de IEEE. Los estándares más conocidos son los IEEE 802.11b, IEEE 802.11g y el IEEE 802.11n, que tienen una gran aceptación internacional debido a que la banda libre es de 2,4 GHz y con una tasa de transmisión de 11 Mbps, 54 Mbps y 300 Mbps respectivamente.

En la tabla No. 2 se puede apreciar la comparación entre los diferentes estándares de IEEE 802.11.

Protocol	Release Date	Op. Frequency	Data Rate (Typ)	Data Rate (Max)	Range (Indoor)
Legacy	1997	2.4 -2.5 GHz	1 Mbit/s	2 Mbit/s	?
802.11a	1999	5.15-5.35/5.47-5.725/5.725-5.875 GHz	25 Mbit/s	54 Mbit/s	~30 meters (~100 feet)
802.11b	1999	2.4-2.5 GHz	6.5 Mbit/s	11 Mbit/s	~30 meters (~100 feet)
802.11g	2003	2.4-2.5 GHz	25 Mbit/s	54 Mbit/s	~30 meters (~100 feet)
802.11n	2008 (projected)	2.4 GHz or 5 GHz bands	200 Mbit/s	540 Mbit/s	~50 meters (~160 ft)

Tabla No. 2 – Comparación entre principales estándares IEEE 802.11

Dentro de los más recientes estándares está el IEEE 802.11ac, conocido como WiFi 5, que opera en la banda de 5 GHz y que opera con canales relativamente “limpios” debido a que no existen otras tecnologías (como Bluetooth y ZigBee) que operan a 2,4 GHz. Debido a que la banda de 5 GHz no es muy utilizada por otras tecnologías tiene muy pocas interferencias, aunque su alcance es ligeramente menor que el de los estándares que trabajan a 2,4 GHz.

Uno de los problemas con los que se enfrenta actualmente la tecnología Wi-Fi es el aumento en el uso del espectro radioeléctrico, debido al rápido crecimiento de los usuarios. Por otro lado existe un elevado número de redes que se instalan sin tener en cuenta protocolos de seguridad, convirtiéndose en puntos vulnerables para terceras personas.

Por lo anterior existen varios protocolos de cifrado que brindan seguridad de las redes basadas en Wi-Fi. Las más comunes son WEP, WPA, WPA2 que codifican la información. Las principales características de estos protocolos de seguridad para Wi-Fi se presentan a continuación:

- WEP: codifica los datos mediante una “clave” de cifrado antes de enviarlo. Este tipo de cifrado no está recomendado debido a las grandes vulnerabilidades que presenta
- WPA: presenta mejoras como generación dinámica de la clave de acceso.
- IPSEC (túneles IP): Son el caso de las VPN o Redes Virtuales Privadas que permite la autenticación y autorización de usuarios.
- Filtrado MAC: solo se permite acceso a la red a aquellos dispositivos autorizados.
- WPA2: es una mejora del WPA, es el protocolo actualmente más seguro para Wi-Fi . Sin embargo requieren equipos y sistemas compatibles.

3. METODOLOGÍA

Este trabajo propone el diseño de una red de sensores inalámbricos para medir variables físicas con el fin de proveer una solución de monitoreo y telemetría de bajo costo utilizando redes inalámbricas de área personal. Algunos autores han trabajado en conseguir dichas redes, teniendo algunas conclusiones válidas para justificar su uso y expansión. Tal es el caso de Javanov (y otros autores) en su artículo “A wireless body area network of intelligent motion sensors for computer assisted physical rehabilitation” afirma que las redes de sensores inalámbricos tienen muchos beneficios en donde la recolección de datos y en el servicio de monitoreo son factibles (Jovanov, Milenkovic and others 2005).

En los últimos años se han desarrollado múltiples estudios en el campo de aplicación de redes de sensores inalámbricos, los cuales han sido exitosos en diferentes campos tales como la medicina, la electrónica, las telecomunicaciones y la zootecnia, dejando atrás el uso de tecnologías alambradas y dándole más fuerza a la implementación de las diversas aplicaciones, con alta disponibilidad llegando a un 98%. (Ballesteros, Melo, Maya Quintero 2010).

Por otra parte, la monitorización de variables físicas es una etapa esencial para la toma de decisiones en innumerables aplicaciones industriales, en diversos procesos productivos y de manufactura, en la telemetría y control de máquinas en tiempo real, en la domótica y en el monitoreo y cuidado de la salud de las personas. Además, los medios y las tecnologías inalámbricas han facilitado la monitorización de variables, al punto de permitir las mediciones en cualquier parte del planeta y poder transmitir las a un destino de análisis en cualquier otro punto. Todo ello es posible gracias a que hoy existen sensores, pero algo más importante quizás es las redes de sensores. Las redes de sensores pueden ser aplicadas a través de redes existentes, como las redes PAN o las redes LAN, pero es cada una de las aplicaciones la que debe proponer la mejor red para la transmisión de la información.

Para el desarrollo de este trabajo presentaremos la siguiente metodología de diseño del sistema, iniciando por la caracterización de las redes de datos de área personal, lo cual permitió la elección de la red más adecuada para aplicaciones industriales. Posteriormente se describirá cada una de

las etapas del sistema diseñado y, finalmente, se mostrará un caso de estudio que nos permitió conocer la respuesta al sistema propuesto.

3.1 Elección de la red inalámbrica de área personal

La implementación de un sistema de comunicaciones inalámbrico presenta varios retos para su diseño y puesta a punto. Las razones principales son las condiciones hostiles de operación que pueden presentarse en ciertos ambientes ruidosos, con estructuras físicas hechas de metal y concreto, así como las diferentes interferencias ocasionadas por otros sistemas que coexisten en el mismo espacio de operación, causando pérdidas de comunicación.

Debido a las anteriores razones haremos un corto recorrido por las tecnologías inalámbricas más reconocidas hoy y veremos cuál es la más adecuada para los requerimientos de desarrollo del proyecto.

3.1.1 Zig-Bee (Estándar IEEE 802.15.4)

El estándar 802.15.4 se caracteriza por mantener un alto nivel de simplicidad, lo que permite implementaciones seguras de bajo costo y baja potencia lo cual maximiza la vida útil de sus baterías. Su banda de frecuencia operativa incluye la banda industrial, científica y médica de 2,4 GHz que proporciona la disponibilidad de casi todo el mundo. Además, esta banda también es utilizada por otros estándares inalámbricos IEEE 802. La convivencia entre los diversos dispositivos de emplazamiento común en la banda de 2,4 GHz es un tema importante con el fin de asegurar que cada servicio inalámbrico mantiene sus requisitos de rendimiento deseados.

Las características más importantes del estándar son:

- Diversas bandas de trabajo: 2,4 GHz (16 canales), 915 MHz (10 canales) y 868 MHz (1 canal).
- Direccionamiento a nivel red de 16 bits y soporte para el encaminamiento de paquetes
- Gracias a la posibilidad de encaminamiento se permiten las topologías de red mallada
- Dos tipos de dispositivos: FDD (coordinador, encaminador, dispositivo final) y RFD (dispositivo final)
- Métodos de acceso al canal: CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)
- Soporta redes slotted (QoS) y non- slotted

- Bajo consumo energético
- Gran densidad de nodos por red
- Radio de cobertura hasta 500 m según el entorno.
- Escalabilidad y múltiples topologías (star, cluster tree, mesh y otras)

Además de estas características el estándar 802.15.4 tienen un gran impacto en el área de la domótica e industrial, permite controlar, innovar, prevenir desastres y promover la seguridad debido a que está diseñado para soportar diversos mercados de aplicaciones con una conectividad más sofisticada que otros sistemas inalámbricos según lo dice la Zigbee Alliance.

3.1.2 Bluetooth (Estándar IEEE 802.15.1)

Es estándar de las tecnologías inalámbricas de transferencia de datos, y constituye una especificación industrial para redes de área personal inalámbricas (WPAN por las siglas en inglés) que permite la transmisión de información entre dispositivos de red utilizando un enlace de radiofrecuencia en la banda de 2,4 GHz. La información del estándar Bluetooth comprende la transmisión de voz y datos, lo que lo hace interesante para aplicaciones con dispositivos móviles, para posibilitar la creación de pequeñas redes inalámbricas y para facilitar la sincronización de datos entre equipos personales, tales como equipos PDA, cámaras y teléfonos móviles.

La especificación de Bluetooth define un canal de comunicación a un máximo 720 Kbps con rango óptimo de 10 metros. Opera en la frecuencia de radio de 2,4 a 2,48 GHz con amplio espectro y saltos de frecuencia con posibilidad de transmitir en full duplex. La potencia de salida para transmitir a una distancia de 10 metros es de 0 dBm (1 mW), mientras que la versión de largo alcance transmite entre 20 y 30 dBm (entre 100 mW y 1 W).

El protocolo de Bluetooth está estandarizado como IEEE 802.15.1 y es especialmente utilizado por equipos de bajo consumo que requieren corto alcance de comunicación, haciendo que los dispositivos que aceptan el protocolo puedan comunicarse por radiofrecuencia entre ellos cuando se encuentran dentro del alcance de la red. Los dispositivos que “hablan” Bluetooth se clasifican en

Clase 1, Clase 2 y Clase 3, de acuerdo con la potencia de transmisión, siendo totalmente compatibles. Esto se muestra en la tabla No. 3.

Clase	Potencia máxima permitida	Potencia máxima permitida	Alcance (aproximado)
Clase 1	100 mW	20 dBm	~100 metros
Clase 2	2.5 mW	4 dBm	~5-10 metros
Clase 3	1 mW	0 dBm	~1 metro

Tabla No. 3 – Clases de dispositivos de Bluetooth

Los dispositivos con Bluetooth también pueden clasificarse según su capacidad de canal, como lo muestra la tabla No. 4:

Versión	Ancho de banda
Versión 1.2	1 Mbps
Versión 2.0 + EDR	3 Mbps
Versión 3.0 + HS	24 Mbps
Versión 4.0	32 Mbps

Tabla No. 4 - Versiones Bluetooth según ancho de banda

3.1.3 Wi-Fi (Estándar IEEE 802.11)

Ya hemos abordado el tema del estándar IEEE802.11 en la sección 2.4. Allí expusimos las principales características de esta tecnología.

3.1.4 Elección de la tecnología de red inalámbrica

Con el objetivo de aplicar mejoras en un sistema donde la temperatura y la humedad juegan un papel fundamental en diferentes procesos industriales, se hace necesario disponer de medios eficaces y confiables para medir estas variables con precisión, debido a que una medida imprecisa puede inducir a errores en la toma de decisiones.

Por lo tanto, y de acuerdo con el propósito de mantener un diseño versátil, económico, rápido y seguro, encontramos una facilidad especial en las redes Wi-Fi para el desarrollo del diseño propuesto en este trabajo.

Si bien Wi-Fi no hace de las redes que mayor distancia pueden proporcionar, y siendo superadas por 100 a 1 en tasa de transferencia en comparación con Li-Fi, hemos elegido esta tecnología por considerarla:

- De bajo costo, debido a que no requiere una implementación de red paralela a la existente en cualquier ambiente industrial.
- Segura, en la medida en que pueden implementarse protocolos de seguridad apropiados y compatibles con estándares de redes de datos.
- Compatible con los sistemas computacionales, lo que la hace adecuada al momento de integrar los datos con cualquier equipo de cómputo, como efectivamente lo requiere el proyecto y cuyo resultado es el desarrollo de la interfaz de usuario para el PC que dese leer la información de la temperatura y la humedad.
- Compatible con protocolos industriales y de control, tales como HART, Profibus y Fielbus. Esto puede ayudar con la adición de otras variables de control, en otros procesos industriales.
- Escalable, lo que permite el crecimiento modular del proyecto. Esto significa que pueden adaptarse otros datos totalmente compatibles con TCP/IP.
- Totalmente integrable a los conceptos de almacenamiento en la nube, permitiendo trabajo futuro de acceso remoto a través de redes sobre Internet.

Además de las anteriores razones hemos elaborado una tabla comparativa (en la tabla No. 5) donde existen otras consideraciones de por qué utilizar o no utilizar las tecnologías inalámbricas Wi-Fi, Bluetooth y Zigbee para la red de sensores de este proyecto.

Tecnología	Wi-fi	Bluetooth	Zigbee
<p>Por qué utilizar está tecnología</p>	<ul style="list-style-type: none"> *Conectividad inalámbrica compatible *Poder conectarse en cualquier lugar *Elección de entre varias señales libres o con seguridad * Facilidad en la conectividad * Economía en la implementación * Mayor ancho de banda 		
<p>Por qué no utilizar esta tecnología</p>		<ul style="list-style-type: none"> * Posible pérdida de información * Reducido alcance del protocolo (30 metros) debido a la baja potencia * Las velocidades son bajas (de 1MB/s y de 3MB/s) 	<ul style="list-style-type: none"> * La tasa de transferencia es muy baja * Solo manipula textos pequeños comparados con otras tecnologías * No puede ser compatible con Bluetooth porque no llegan a tener las mismas tasas de transferencia, ni la misma capacidad de soporte para nodos * Tiene menor cobertura porque pertenece a redes inalámbricas de tipo WPAN

Tabla No. 5 – Razones para utilizar Wi-Fi en la red de sensores

3.2 Diseño de la red de sensores

La red de sensores propuesta tiene un componente de diseño físico, consistente en la arquitectura hardware, y un componente lógico, que comprende los códigos de programación, tanto en lenguaje

de bajo nivel (código para microcontrolador) como en lenguaje de alto nivel (código para la interfaz gráfica de la computadora).

3.2.1 Diseño físico

El diseño de la red de sensores tiene las etapas descritas en la figura No. 6. Allí puede apreciarse un diagrama de bloques que detallaremos a continuación.

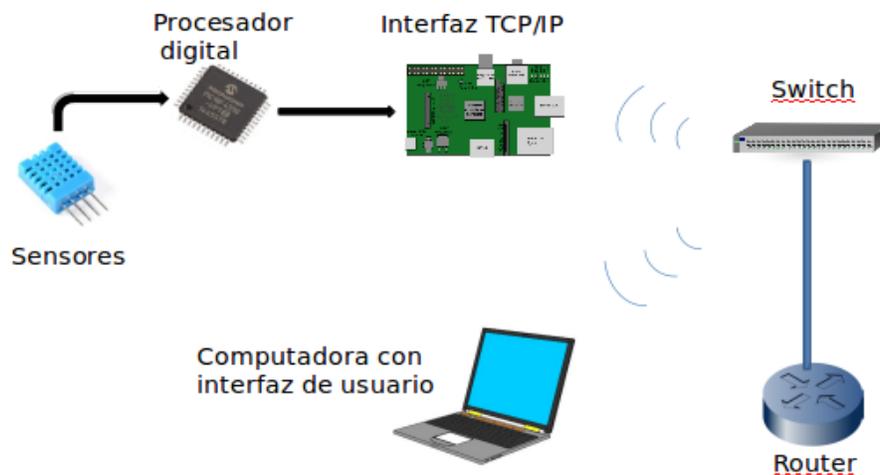


Figura No. 6 – Diagrama de bloques del diseño de la red de sensores

Los sensores de temperatura y humedad

Estos sensores son transductores de variables físicas (o químicas) en variables eléctricas, por lo tanto, es necesario conocer el formato (análogo o digital) en el que entregan la información correspondiente a la variable medida. Para cada sensor se requiere una relación de la conversión, ya sea en voltaje, corriente o en datos binarios directamente entregados por el sensor. En el mercado existen sensores de temperatura y humedad integrados en un solo módulo, como el DHT11 y el DHT22, que entregan los datos codificados en binario.

El sistema de acondicionamiento y procesamiento digital

La etapa de procesamiento digital se utiliza en este diseño con el fin de enviar y/o recibir desde el sensor la información suministrada de la temperatura y la humedad. En este diseño debe tenerse en

cuenta el formato y las condiciones en las que cada sensor entrega los datos. Esto quiere decir que será necesario que este sistema de procesamiento disponga de entradas análogas o digitales, dependiendo de la forma en que cada sensor entrega la información.

Por su diseño compacto, economía y versatilidad, es esta etapa recomendamos un microcontrolador de 8 bits. Por lo tanto, los datos de humedad y temperatura se deben llevar a la memoria de este microcontrolador, de manera que puedan ser procesados para enviarlos posteriormente a un display en el que se puede visualizar localmente el valor de las variables en todo momento.

Para enviar los datos de temperatura y humedad a la red WLAN, mediante protocolo Wi-Fi, se debe utilizar un interfaz de red Wi-Fi, que pueda por un lado gestionar protocolos de la pila TCP/IP, y por otro lado que se conecte al microcontrolador, desde el cual recibirá la información referente al sensado de las variables.

La interfaz TCP/IP y la conexión hacia Wi-Fi

Luego de acondicionar y procesar las señales provenientes de los sensores, el dispositivo de procesamiento digital (como por ejemplo un microcontrolador) debe entregar los datos digitales de las mediciones a la red Wi-Fi (y si se requiere también se podrán llevar a un display para medición local), con el fin de poder accederlos de manera remota.

Para esta tarea se requiere un dispositivo de gestión de las capas de enlace y de red, que permita acceder a la pila de protocolos del modelo TCP/IP, por lo que es conveniente utilizar un dispositivo con tarjeta de red cableada e inalámbrica, que incluya su propio sistema procesamiento y administración. El diseño propone una placa computadora del tipo SBC (por sus siglas en inglés: Single Board Computer), como puede ser Cube Board o Raspberry Pi.

3.2.2 Diseño lógico

El diseño lógico contempla los programas implementados en el microcontrolador, en el que se puede utilizar lenguaje C, y los programas desarrollados para la interfaz de usuario del PC remoto, que deben ser trabajados en lenguaje de alto nivel, como C++, Python o Java.

En primer lugar, veremos la lógica requerida para el programa del microcontrolador y posteriormente mostraremos la lógica necesaria para la interfaz de usuario.

El programa del microcontrolador

El microcontrolador debe iniciar con la configuración de puertos de entrada y puertos de salida, y seguidamente con la configuración del módulo de visualización con LCD, además de la inicialización del módulo de transmisión serial. Posteriormente se da inicio a la estimulación de los sensores, con lo cual cada uno responderá con la información relativa a la humedad y la temperatura.

Cuando la información se ha completado se deben acondicionar los datos con el formato requerido para ser despachados hacia la tarjeta de la placa computadora (SBC), y para la visualización local en display LCD. Al finalizar una transmisión se debe comenzar de nuevo con el estímulo a los sensores, los cuales responderán de nuevo con los datos de humedad y temperatura, y el ciclo se repite de manera indefinida. El diagrama de flujo de esta tarea se presenta en la figura No. 7.

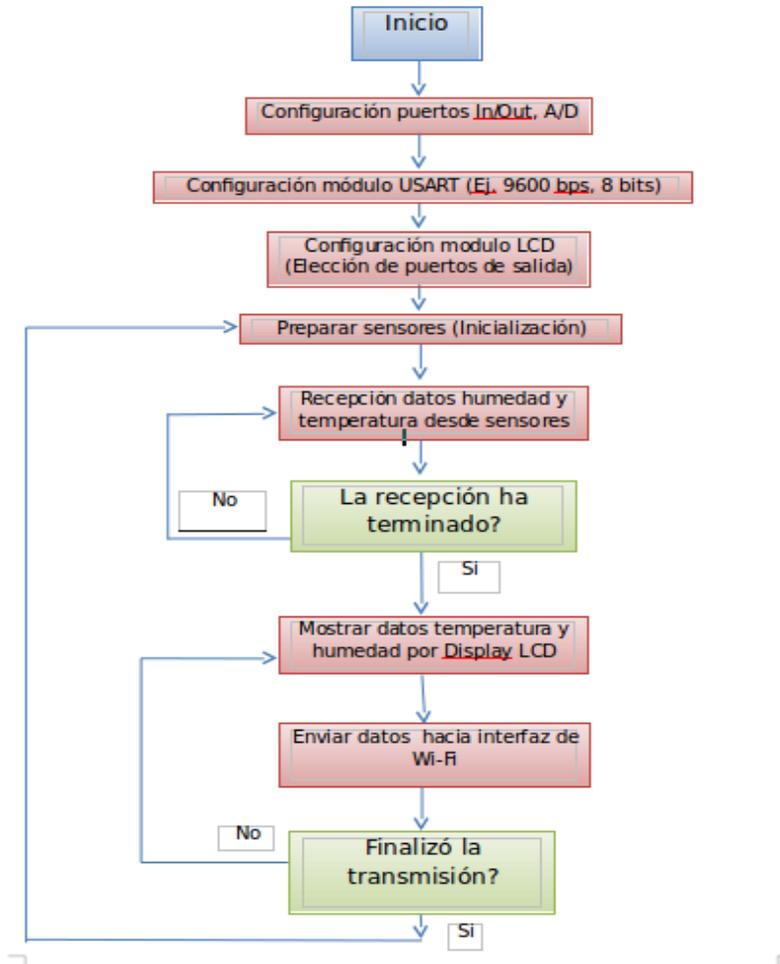


Figura No. 7 – Diagrama de flujo para el xxxxx

La aplicación IDE para el PC

Para lograr una lectura remota en cualquier computadora de la red de datos (luego de brindar los accesos a la red Wi-Fi) se debe desarrollar una interfaz de usuario utilizando programa estructurada de alto nivel.

3.3 Caso de estudio

Con el fin de poner a prueba el diseño de la red de sensores propuesto, hemos emprendido un montaje utilizando dispositivos comerciales, y hemos desarrollado los respectivos programas en lenguaje C para el microcontrolador y en lenguaje Java para la interfaz de usuario en una computadora.

La red de sensores tiene los siguientes elementos descritos en la figura No. 8, que describiremos con detalle a continuación.

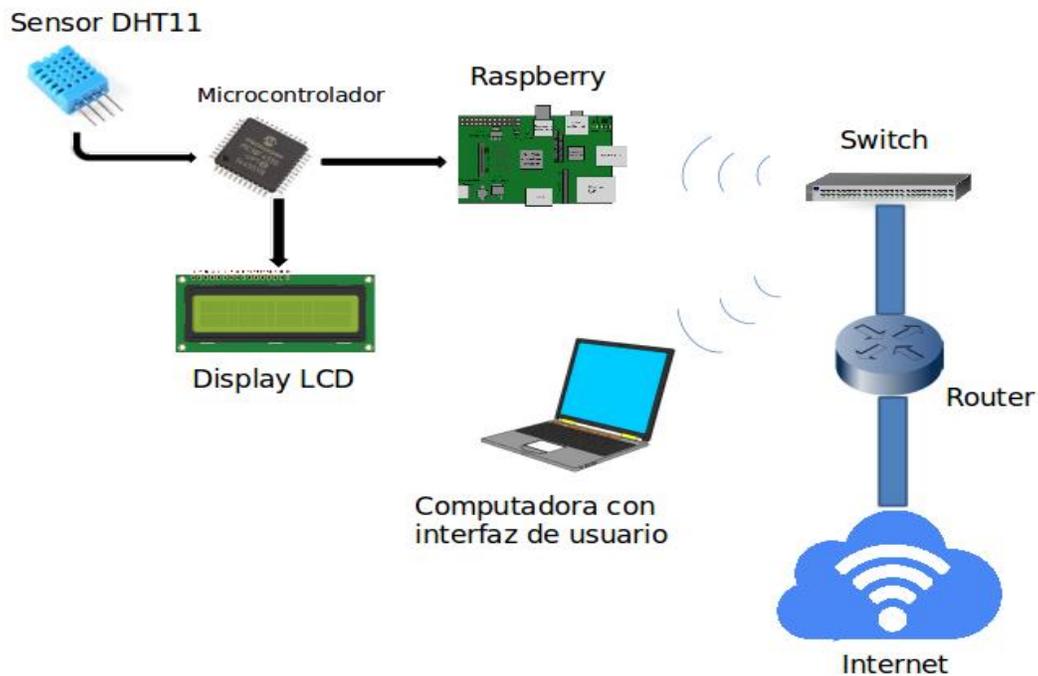


Figura No. 8 – Montaje de la red de sensores para un caso de estudio

Sensor DHT11

El sensor DHT11 permite realizar mediciones de temperatura y humedad, en un solo módulo y es bastante económico. Se adapta fácilmente a la familia microcontrolador de 8 bits, que es el tipo utilizado en este diseño para recibir la información, pudiendo entregarle éste los datos de medición, siempre en formato digital, lo que facilita el acondicionamiento de las señales y la visualización a través de una pantalla LDC. Además, la lectura digital facilita el desarrollo de programas para el microcontrolador. En la figura No. 9 puede apreciarse una fotografía del sensor DHT11 con su respectivo cable de interconexión al sistema digital de procesamiento.

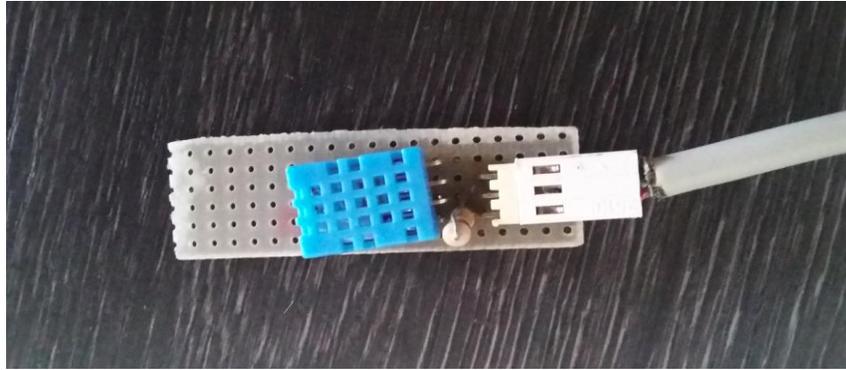


Figura No. 9 – Fotografía real del sensor DHT11 utilizado en este proyecto

El funcionamiento del DHT11 permite usar su propio protocolo para comunicarse a través de un solo hilo con conexión full-duplex, por lo que no es necesario utilizar una interfaz serial entre el microcontrolador y el sensor. El protocolo es fácil de implementar y permite utilizar pines de I/O en el PIC que procesa la información.

El microcontrolador PIC debe comunicarse con el DHT11 conservando una línea de datos alamburada, en un rango de 18 metros. El sensor envía hacia el microcontrolador una comunicación de pulsos con duración de 80 microsegundos; primero lo hace con un nivel “bajo” y luego con uno “alto”, después de lo cual viene la respuesta del sensor, que transmite los datos de humedad y temperatura. Pero antes de que esto ocurra, el sensor debe ser estimulado por el microcontrolador con una señal baja de 18 milisegundos o más. Este protocolo de comunicación se enseña en la figura No. 10 donde puede apreciarse en color rojo la comunicación requerida desde el microcontrolador, y en color azul la posterior respuesta del sensor.

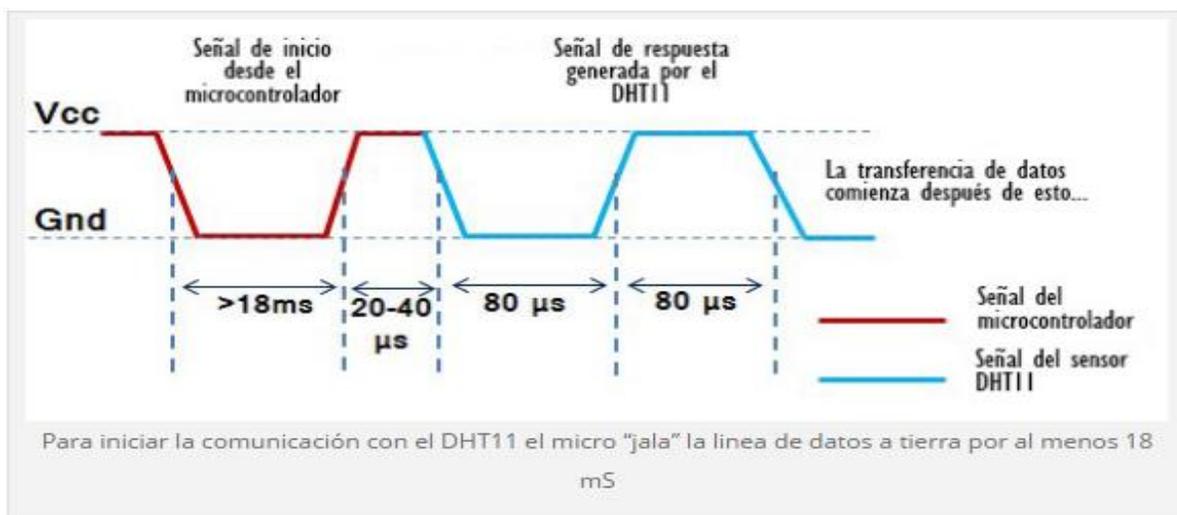


Figura No. 10 – Señales necesarias hacia el sensor DHT11

Para enviar los datos, el sensor utiliza el formato binario codificado en la duración de un pulso alto. Los bits transmitidos por el sensor empiezan con pulsos de 50 microsegundos, y seguidamente envía pulsaciones de diferente duración según el valor del bit que el DHT11 desea transmitir. Se utilizan pulsos cortos de 26 a 28 microsegundos para representar un "0" y pulsos largos de 70 microsegundos para representar un "1". Los pulsos se repiten hasta un total de 40 bits, para completar así la trama con toda la información de humedad y temperatura. Este proceso se muestra en la figura No. 11, que hace referencia a las tramas de información entregadas por el sensor.

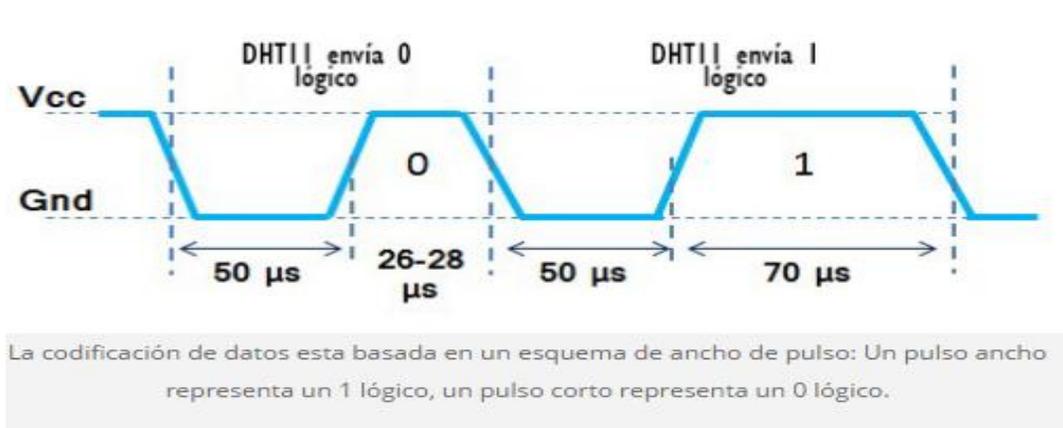


Figura No. 11 – Tramas del sensor DHT11

En cuanto a los datos que se transmiten, se presenta una explicación en diagrama de tiempos (figura No. 12) y su interpretación es como sigue:

- Se transmiten 40 bits (5 bytes) en total
- El primer byte que recibimos es la parte entera de la humedad relativa (RH)
- El segundo byte es la parte decimal de la humedad relativa (no se utiliza en el DHT11, es decir siempre es 0 en este módulo)
- El tercer byte es la parte entera de la temperatura
- El cuarto byte es la parte decimal de la temperatura (no se utiliza en el DHT11, es decir que siempre es 0)
- El ultimo byte es la suma de comprobación (checksum), resultante de sumar todos los bytes anteriores

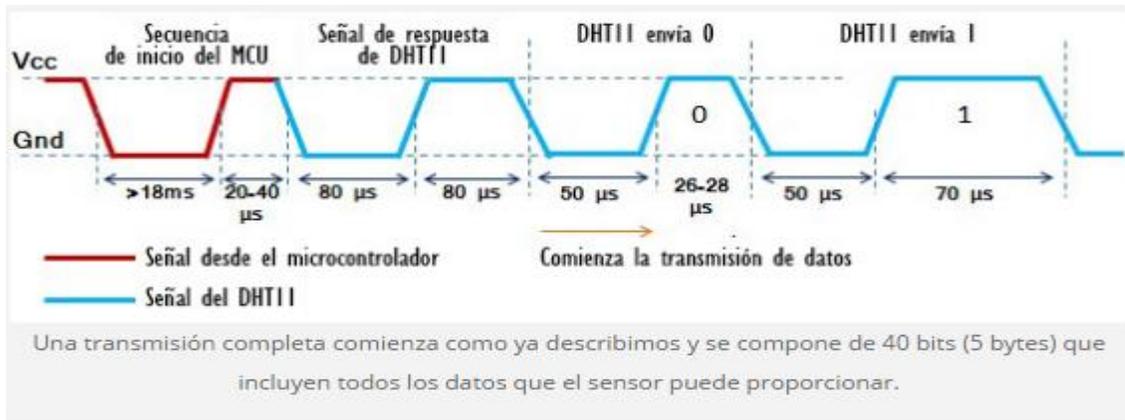


Figura No. 12 – Transmisión del sensor DHT11

El microcontrolador PIC18F4550

Un PIC se utiliza en este proyecto con el fin de enviar y recibir desde el sensor la línea de comandos explicada en la sección anterior (Sensor DHT11). Dado que el sensor entrega los datos en formato digital, éstos son recibidos por una única línea en el microcontrolador y almacenados en dos registros diferentes, uno para el dato de la humedad y otro para el de la temperatura.

Los datos de humedad y temperatura se deben llevar a la memoria del PIC, de manera que puedan ser procesados para enviarlos posteriormente a un display de LCD en el que se puede visualizar localmente el valor de las variables en todo momento. Esta visualización fue un desarrollo temporal, como parte de una de las etapas de verificación de los datos medidos y el ajuste de los sensores. Al final decidimos dejar este LCD en el proyecto con el fin de que, además del envío hacia una estación remota, se tuviera localizada la información de las variables medidas. En las figuras No. 13 y 14 se enseña una fotografía del microcontrolador y del módulo LCD del proyecto.

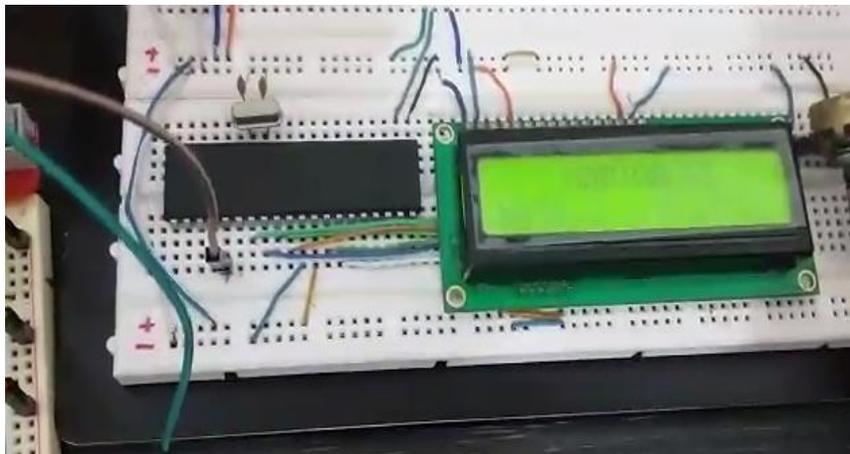


Figura No. 13 – Fotografía del montaje con el PIC18F4550 y el módulo LCD

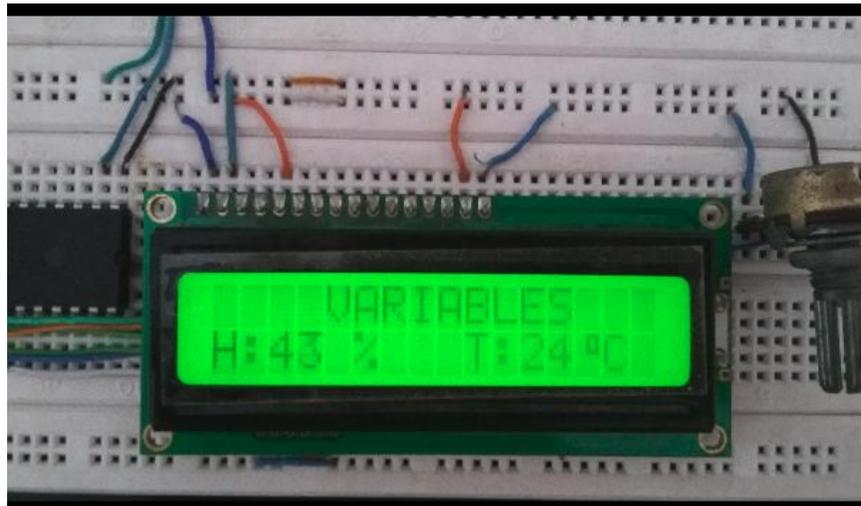


Figura No. 14 – Detalle de la medición en el módulo LCD

Para enviar los datos de temperatura y humedad a la red WLAN, mediante protocolo Wi-Fi, se utiliza una tarjeta Raspberry Pi, que se conecta al PIC mediante un enlace serial por USART.

La transmisión serial se activa en el PIC a una tasa de 9800 bps, 8 bits, 1 bit de parada y sin control de paridad. Cualquier emulador de terminal al que se conecte el microcontrolador recibirá los datos de manera continua, como se puede apreciar en la siguiente fotografía registrada en la figura No. 15. Para utilizar la red Wi-Fi, a la cual se le envía esta información, se utiliza la tarjeta Raspberry Pi, cuya función se explica en la siguiente sección.

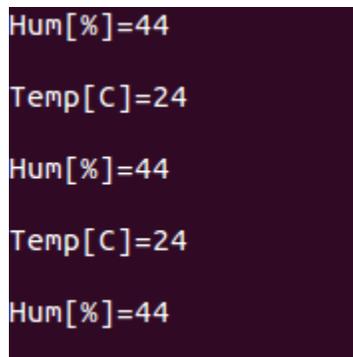


Figura No. 15 – Fotografía de una transmisión serial recibida en una terminal bruta

El código completo del programa desarrollado para el microcontrolador se muestra en el apéndice A. Este programa básicamente lo que hace es estimular el sensor con el protocolo explicado antes para el DHT11 y esperar la trama enviada por éste. De manera simultánea el PIC envía datos hacia el visor LCD, en 6 bits dedicados desde el PIC para esta función, y activa la transmisión serial del módulo USART.

La tarjeta Raspberry Pi

Este proyecto utiliza la tarjeta Raspberry Pi B+, con el fin de que reciba los datos seriales del microcontrolador y los almacene en archivo de su propio sistema operativo Raspbian, una distribución especial de Linux Debian para Raspberry.

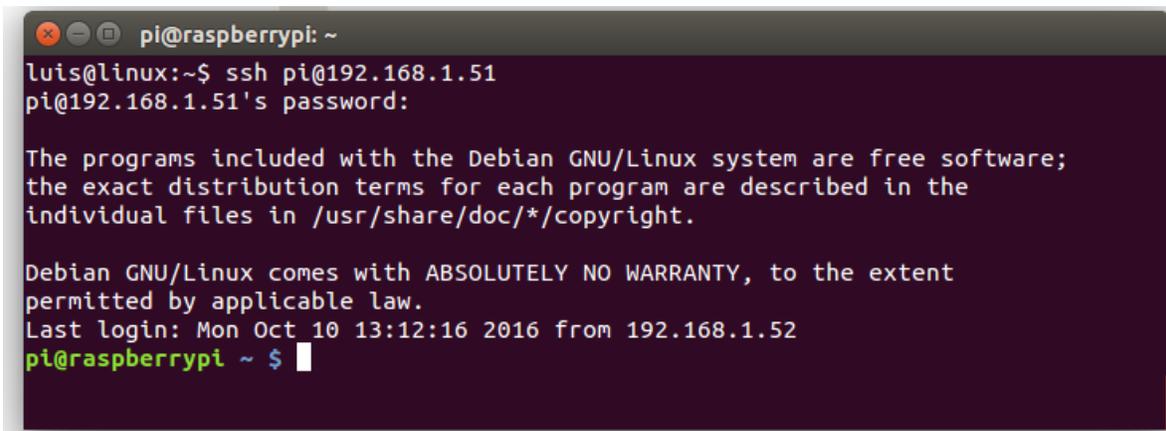
Dado que esta tarjeta no posee un puerto Wi-Fi, se adiciona esta funcionalidad a través de un dispositivo Wi-Fi de tipo USB que se conecta en uno de sus puertos libres. Con ello se obtiene conexión vía Wi-Fi a la red local, que es administrada por un router inalámbrico con funciones de switch, tal como se ha mostrado en el diagrama de bloques al inicio de este capítulo. Se incluye en la figura No. 16 una fotografía de la tarjeta Raspberry Pi.

Una descripción de la instalación del sistema operativo de la tarjeta Raspberry ha sido agregada en el apéndice B. Allí podrá verse la secuencia de pasos para la instalación del sistema operativo Raspbian, desde la aplicación NOOBS cargada en la tarjeta SD micro de la propia Raspberry. También se incluyen los apéndices C y D en los cuales se muestran respectivamente los pasos básicos de configuración de la RasPi y la conexión remota con el protocolo SSH.



Figura No. 16 – Fotografía de la tarjeta Raspberry utilizada en el diseño

Para mostrar la forma en que se conecta una computadora remota a la Raspberry, utilizando el sistema operativo Linux, se incluye la figura No. 17. Allí puede apreciarse la dirección IP de la Raspberry (192.168.1.51).



```
pi@raspberrypi: ~
luis@linux:~$ ssh pi@192.168.1.51
pi@192.168.1.51's password:

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Mon Oct 10 13:12:16 2016 from 192.168.1.52
pi@raspberrypi ~ $
```

Figura No. 17 – Ejemplo de una conexión remota con SSH

Esta conexión podría ser mediante SSH, con la cual se puede consultar los archivos en los cuales se aloja la transmisión serial proveniente desde el microcontrolador. De hecho, se puede utilizar el comando **head /dev/ttyAMA0** para editar dicho archivo. Sin embargo, y con el fin de realizar una mejor interfaz con el usuario, que no necesariamente conoce los comandos bash de la Raspberry, se ha desarrollado un software en lenguaje Java. Esta aplicación permite conectarse directamente con la Raspberry mediante SSH, y gestionar todos los comandos mediante una interfaz de usuario desarrollada específicamente para este fin.

El puerto serie de la Raspberry Pi

La comunicación con el PIC se realiza a través de un puerto serie (UART) a 9600 bps. Por lo tanto, el primer paso ha sido configurar el módulo UART de la Raspberry Pi. Para esto, hemos utilizado las librerías de manejo de archivos de Linux para controlar el archivo asociado a este módulo. Este archivo es **/dev/ttyAMA0**, y funciona como una cola FIFO tanto en transmisión como en recepción.

Antes de poder utilizar el módulo, es necesario desbloquearlo, ya que la Raspberry Pi lo utiliza por defecto para mostrar mensajes de control y diagnóstico. Adicionalmente es necesario configurar el archivo **/dev/ttyAMA0** e instalar en la Raspberry el paquete Minicom. Estos pasos se detallan en el apéndice E.

La aplicación IDE desarrollada para el PC

Para lograr una lectura en cualquier computadora de la red de datos (luego de brindar los accesos a la red Wi-Fi) se ha desarrollado una interfaz de usuario utilizando el programa Java. Esta IDE desarrollada utiliza la librería JSCH, que permite una conexión a otra máquina de la red utilizando el protocolo SSH.

El diagrama de flujo de la aplicación desarrollada en Java se describe en la figura No. 18. Allí encontramos un software básico para la visualización de la temperatura y la humedad, que son recibidas desde la tarjeta Raspberry, a través de una conexión remota y segura con SSH. Para conseguir esta información el software realiza consultas a través de comandos del sistema operativo Rasbian, como si estuviera directamente sobre la consola de la tarjeta Raspberry.

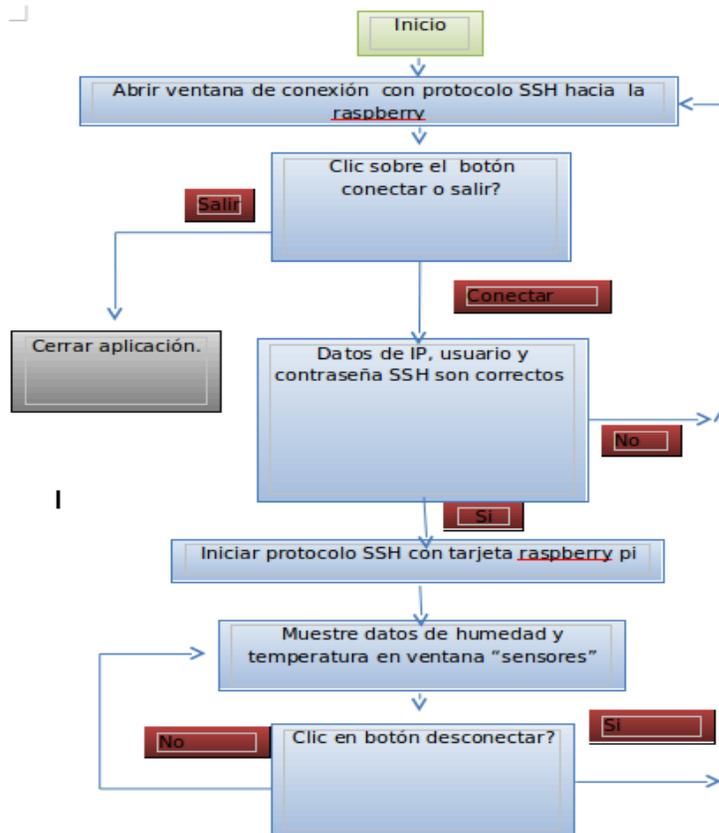


Figura No. 18 – Diagrama de flujo de la interfaz tipo IDE

En las siguientes figuras se muestra la interfaz de usuario desarrollada. Para empezar, se utiliza un formulario (Jform de Java) para que el usuario ingrese la información del host remoto al que desea conectarse, es decir de la Raspberry. Este formulario puede apreciarse en la figura No. 19



Figura No. 19 – Imagen de la aplicación Java desarrollada: interfaz de conexión remota con la Raspberry, utilizando SSH

Luego de ingresar la información relacionada con la dirección IP de la Raspberry, del nombre de usuario del sistema operativo y de la contraseña, el usuario debe dar clic al botón “Conectar” para iniciar una sesión remota de SSH contra la Raspberry. Allí inicia la validación de la información suministrada y solo si ésta es correcta se establece la conexión. La figura No. 20 muestra el Jform desarrollado para iniciar el proceso de visualización, en la cual se aprecian tres pestañas. Justamente la primera pestaña corresponde a una presentación del proyecto, donde aparece el nombre de las integrantes y de nuestro asesor.



Figura No. 20 – Imagen de la aplicación Java desarrollada: interfaz de conexión SSH con Raspberry

La segunda pestaña del Jform es realmente el visualizador, objeto principal de la interfaz de usuario. Allí se logra mantener continuamente la información de temperatura y humedad que se recibe desde la Raspberry y que fue transmitida en tiempo real por el microcontrolador. Esta información es el resultado de la consulta mediante un “bash” de comandos hacia la Raspberry. La figura No. 21 enseña una vista de esta pestaña.

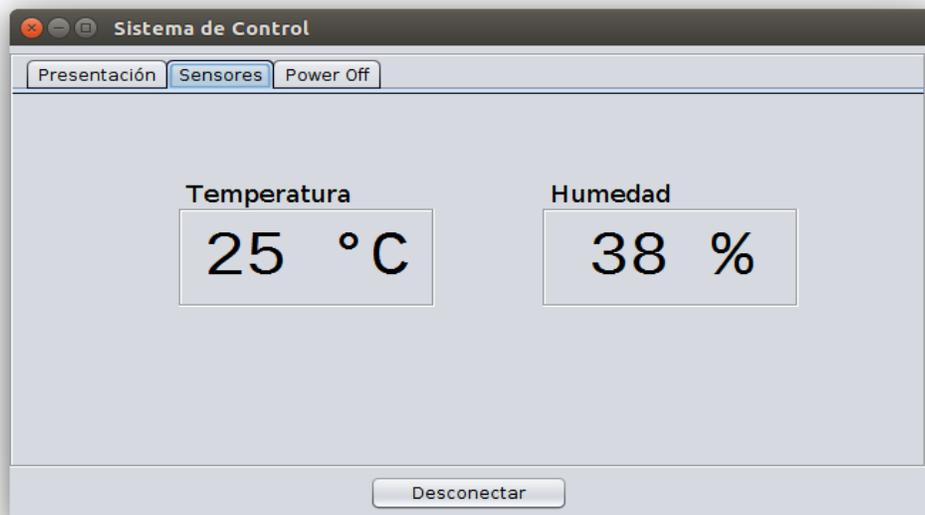


Figura No. 21 – Imagen de la aplicación Java desarrollada: medición de temperatura y humedad

Finalmente, y como parte de un ejemplo de control que puede ejercerse desde la interfaz Java hacia la tarjeta Raspberry (y por lo tanto al sistema completo de medición), se muestra en la figura No. 22 una pestaña dedicada al reset y apagado de la tarjeta.



Figura No. 22 – Imagen de la aplicación Java desarrollada: apagado remoto de Raspberry

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante la aplicación diseñada se pueden monitorizar las variables del proceso de refrigeración de los alimentos almacenados, después del proceso de producción en fábrica. Esto puede comprobarse a partir del desarrollo del prototipo para nuestro caso de estudio.

Para tomar una muestra de productos y sus valores reales de refrigeración (temperatura y humedad), presentamos la tabla No. 6 proporcionada por la industria FUNAT (Medellín, en agosto de 2016). Con base en esta tabla llevamos nuestra tarjeta desarrollada hasta estos valores de temperatura y humedad, utilizando un refrigerador doméstico. Los resultados de la respuesta de nuestro sistema nos permitieron validar que los rangos de humedad y temperatura requeridos pueden ser totalmente medidos para esta tabla.

Producto	Alcachofa	Cardo mariano	Cloruro Magnésio
Promedio refrigeración (Temperatura)	15-20 °C	15-20 °C	08-10 °C
Promedio refrigeración (Humedad)	04-5%	04-5%	-1

Tabla No. 6 – Ejemplo de valores temperatura y humedad de algunos productos (Datos suministrados por la empresa FUNAT, Medellín, agosto de 2016)

Esta tabla nos ayudó a verificar los rangos de refrigeración típicas para la mayoría de productos de esta empresa, y para comprobar la eficiencia de nuestro modelo desarrollado (el que ya se explicó en la metodología de este trabajo) hicimos mediciones en un refrigerador convencional, obteniendo las siguientes temperaturas y humedades mostradas en la figura No. 23.

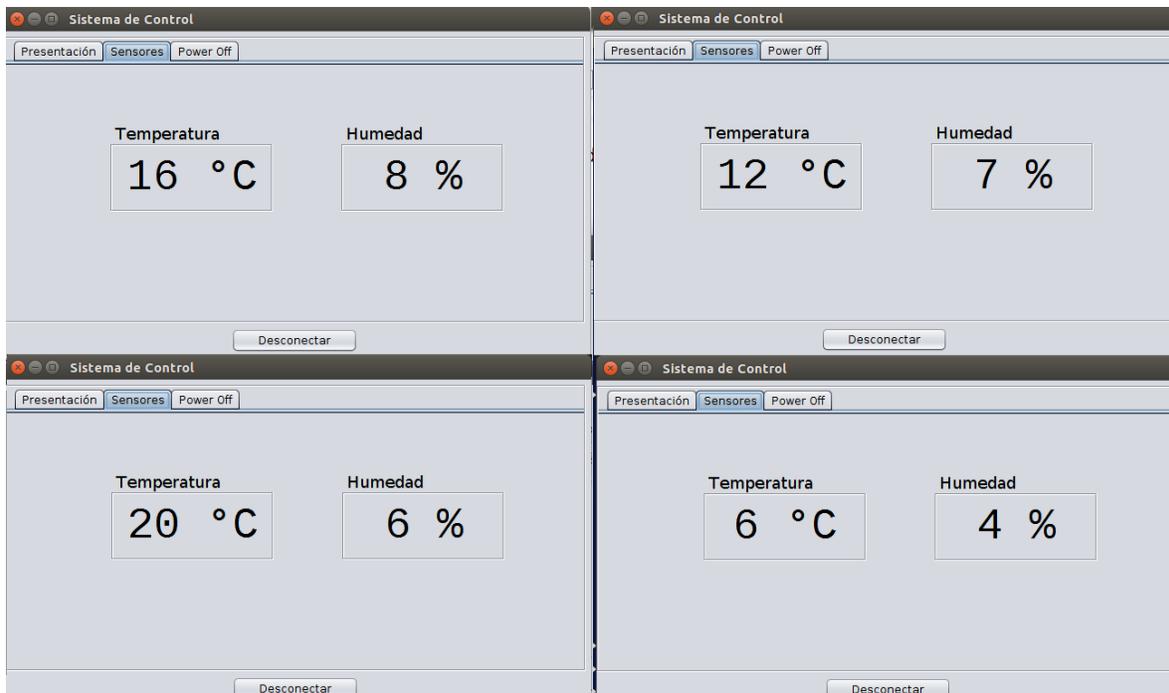


Figura No. 23 – Distintas mediciones realizadas con el prototipo

Como puede verse en la anterior figura No. 23 la red de sensores responde a condiciones de bajas temperaturas y humedades, que son las requeridas para la refrigeración de alimentos.

Es de anotar que nuestra discusión no debe centrarse en lograr las mismas temperaturas y humedades que se referencian en la tabla No. 7 de la empresa FUNAT, dado que no estamos controlando estas variables sino midiéndolas. Nuestros resultados se centran en lograr que la humedad y la temperatura tenga límites más allá de los requeridos por la industria de refrigeración, con una buena precisión.

Los anteriores resultados son una prueba de lo que afirma Ballesteros y otros (2010), y es justamente que se han desarrollado múltiples estudios en el campo de aplicación de Redes de Sensores Inalámbricos, lcon mucho exitoso en en diferentes campos de acción tales como la medicina; electrónica, telecomunicaciones, zootecnia y entre otras; dejando atrás el uso de tecnologías alámbricas y dándole más fuerza a la implementación de las diversas aplicaciones inalámbricas, lo que facilita la alta disponibilidad, llegando a un 98%. (Ballesteros, Melo, Maya Quintero 2010).

Algunos autores han trabajado en conseguir dichas redes, teniendo algunas conclusiones válidas para justificar su uso y expansión. Tal es el caso de Javanov (y otros autores) en su artículo “A wireless body area network of intelligent motion sensors for computer assisted physical rehabilitation” afirma que las redes de sensores inalámbricos tienen muchos beneficios en donde la recolección de datos y en el servicio de monitoreo son factibles (Jovanov, Milenkovic and others 2005).

Por otra parte, la temperatura es una de las variables con mayor necesidad de control en muchas aplicaciones. Es por ello que la medición de esta variable mediante la utilización de medios inalámbricos se ha convertido en una constante en diferentes proyectos y aplicaciones tecnológicas. Por ejemplo, en el 2008 se hicieron avances importantes en la medición de la temperatura corporal y el ritmo cardiaco constituyen ejemplos de sensores inalámbricos utilizados como dispositivos médicos Dobrescu et. Al, (2008). Para este autor los sensores requieren servicios de Internet, aumentando muchas más posibilidades de movilidad de estas redes de sensado.

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

La monitorización de variables físicas es una etapa esencial para la toma de decisiones en innumerables aplicaciones industriales, en diversos procesos productivos y de manufactura, en la telemetría y control de máquinas en tiempo real, en la domótica y, por supuesto, en el monitoreo y cuidado de la salud de las personas, tema que es bien ocupado hoy en día con “El internet de las cosas”. Además, los medios y las tecnologías inalámbricas han facilitado la monitorización de variables, al punto de permitir las mediciones en cualquier parte del planeta y poder transmitirlos a un destino de análisis en cualquier otro punto. Todo ello es posible gracias a que hoy existen sensores, y redes de sensores.

Planteamos por lo tanto las siguientes conclusiones de nuestro trabajo:

Con el desarrollo de este trabajo podemos decir que es perfectamente posible diseñar una red inalámbrica de sensores, mediante la utilización de redes Wi-Fi, sin requerimientos complejos de las redes existentes y con la capacidad de soportar incluso protocolos industriales. El diseño propuesto permite evidenciar estas consideraciones, y también obtener características para la red planteada.

Por otro lado, el caso de estudio permite hacer pruebas en condiciones simuladas para las variables temperatura y humedad

- Las redes de sensores pueden ser aplicadas a través de redes existentes, como las redes PAN o las redes LAN, pero es cada una de las aplicaciones la que debe sugerir la mejor red para la transmisión de la información. En la red de sensores propuesta en este trabajo descubrimos que las redes Wi-Fi tienen una gran fortaleza debido a aspectos como su gran ancho de banda, la seguridad aumentada con protocolos de red TCP/IP.
- El diseño del modelo también puede ser implementado, tal como lo evidenciamos en el caso de estudio en este trabajo. Ello supone las únicas dos variables planteadas en la medición,

pero no quiere decir que no pueda ampliarse a otras variables y a otras aplicaciones industriales.

Finalmente encontramos un trabajo adicional que puede reflejarse exactamente de la última condición y está en la dirección de aumentar el número de variables susceptibles de medir. Además de la implementación de un sistema de control que posibilite también el cambio de las condiciones de acuerdo a las necesidades de los procesos industriales.

REFERENCIAS

- Sensirion Company. Datasheet-humidity-sensor-SHT21. [M], 2010.
- Cypress Semiconductor Corporation, EZ_USB2 0 FX2 Technical Reference Manual, 2008, 12.
- Ian Grout, Digital Systems Design with FPGAs and CPLDs, 2009, pp.280-295.
- J. N. Al-Karaki and A. E. Kamal, "Routing techniques in wireless sensor networks: A survey," IEEE Wireless Communications, vol. 11, no. 6, pp. 6 – 28, December 2004.
- V. Potdar, A. Sharif, and E. Chang, "Wireless sensor networks: A survey," in 2009 International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, 2009, pp. 636 – 641.
- J. B. Silva, W. Rochadel, J. P. S. Simão and A. V. S. Fidalgo, "Uso de dispositivos móveis para acesso a Experimentos Remotos na Educacao Básica," VAEP-RITA, v. 1, p. 129-134, 2013.
- L. Gomes, S. Bogosyan, "Current Trends in Remote Laboratories," IEEE Transactions on Industrial Electronics, v. 56, n. 12, p. 4744-4756, 2009.
- <http://electronica-teoriaypractica.com/ventajas-y-desventajas-del-wifi/>
- <https://www.ecured.cu/ZigBee>
- <http://www.tutorial-reports.com/wireless/zigbee/zigbee-characterstics.php>
- <http://gigatecno.blogspot.com/2014/08/ventajas-y-desventajas-del-bluetooth.html>
- <http://www.rpi.uroboros.es/>
<http://www.geekfactory.mx/tutoriales/tutoriales-pic/dht11-con-pic/>

APÉNDICE

APÉNDICE A: CÓDIGO DE PROGRAMA PARA EL PIC 18F4550

Se presenta en este apéndice el código completo del programa en C, desarrollado con la IDE PROTON.

```
'      **Diseño de una red de sensores para telemetría y telecontrol**
'      **      usando redes inalámbricas de área personal **
'
Device 18F4550
Xtal 20

'*****CONFIGURACION LCD*****

Declare LCD_DTPin PORTD.4 'Transmisión PIC-LCD a 4 hilos, desde RB4 hasta
RB7
Declare LCD_ENPin PORTB.1 'Asigna el ENABLE de la LCD al pin RB1
Declare LCD_RSPin PORTB.0 'Asigna el RS de la LCD al pin RB0
Declare LCD_Lines 2      'LCD de 2 líneas
Print $FE,$40,$07,$05,$05,$07,$00,$00,$00,$00 'Carácter especial LCD °
'para determinar los grados
'*****

'*****CONFIGURACION USART*****

Hserial_Baud = 9600          'Velocidad De Transmisión en Baudios
Hserial_RCSTA = %10010000   'Configuración para recibir
Hserial_TXSTA = %00100000   'Configuración para transmitir
Hserial_Clear = On          'Borra el Buffer antes de recibir
'*****

'*****CONFIGURACION PUERTOS*****

TRISA = %00000001  'Configuración del puerto A (RA1-RA7) como salidas y
'RA0 = entrada
TRISB = %00000000  'Configuración del puerto B como salidas
TRISD = %00000000  'Configuración del puerto D como salidas
TRISE = %00000000  'Configuración del puerto E como salidas
All_Digital true   'Todos los puertos digital
'*****

'*****CONFIGURACION VARIABLES*****

Dim DataIn As Byte
Dim Temp As Word
Dim Hum As Word
Dim ChkSum As Byte
Dim Index As Byte
Dim Temp1 As Word
```

Dim Hum1 As Word

```
*****
'*****
'*****INICIO*****
'*****
Clear PORTC           'Limpia Puerto A
Clear PORTA           'Limpia Puerto A
Clear PORTB           'Limpia Puerto A
Clear PORTC           'Limpia Puerto A
Clear PORTD           'Limpia Puerto A

Inicio:

Temp=0:Hum = 0:ChkSum=0
DelayMS 100

TRISA.0 = 0           ' RA0 como salida
PORTA.0=1             ' Envio un 1 por el pin RA0
DelayMS 50
PORTA.0=0:DelayMS 18  ' Envio un 0 por el pin RA0
PORTA.0=1:DelayUS 30  ' Envio un 1 por el pin RA0
TRISA.0=1             ' RA0 como Entrada
DataIn = PulsIn PORTA.0,1 ' Cuenta El Tiempo De Duracion De
Un Pulso En RA0 En Estado Alto

For Index = 15 To 0 Step -1 ' Crea Una Vble (Index)De 16 Bits
DataIn = PulsIn PORTA.0,High ' Cuenta El Tiempo De Duracion De
Un Pulso En RA0 En Estado Alto
If DataIn > 18 Then SetBit Hum,Index ' Pone 1 en los bit de Hum
Next Index

For Index = 15 To 0 Step -1
DataIn = PulsIn PORTA.0,High
If DataIn > 18 Then SetBit Temp,Index
Next Index

For Index = 7 To 0 Step -1
DataIn = PulsIn PORTA.0,High
If DataIn > 18 Then SetBit ChkSum,Index
Next Index

Print At 1,1," VARIABLES " ' Escribo en la LCD
Print At 2,1,"H:",Dec Hum.HighByte," %" ' Escribo en la LCD
Print At 2,10,"T:",Dec Temp.HighByte,0,"C" ' Escribo en la LCD

Temp1 = Temp.HighByte
Hum1 = Hum.HighByte

HSerOut ["Temp[C]=",Dec Temp1,"\r\n"] ' Envia variable temperatura a
la raspberry
DelayMS 500
HSerOut ["Hum[%]=",Dec Hum1,"\r\n"] ' Envia variable humedad a la
raspberry
DelayMS 800

GoTo Inicio
```

APÉNDICE B: PROCESO DE INSTALACIÓN DE RASPBIAN EN LA TARJETA RASPBERRY PI

Para la Raspberry existe una gran variedad de sistemas operativos y la mayoría de estos sistemas son distribuciones de Linux. En la página web de la Fundación Raspberry Pi (<http://www.raspberrypi.org/downloads/>) hay varias de estas distribuciones disponibles. Por su carácter genérico, la más utilizada (y la recomendada por la Fundación) es Raspbian, que está basada en Debian.

Podemos descargar del sitio la última versión y la guardarla en una carpeta de en un PC. Para hacer la instalación desde Windows es necesario descargar la utilidad Win32 Disk Imager (<http://sourceforge.net/projects/win32diskimager/>), con la que crearemos la imagen del sistema Raspbian en la tarjeta SD. Su aspecto se muestra en la figura No. xx.

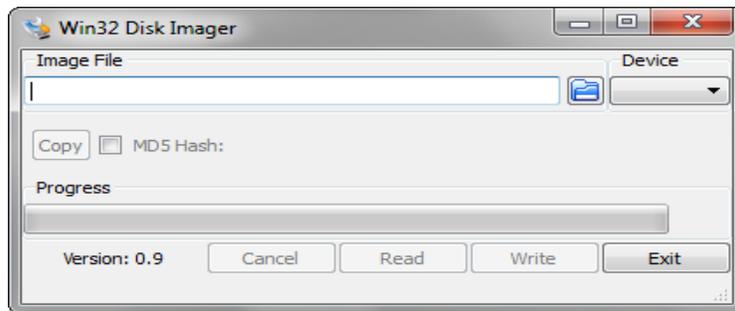


Figura No.x – Aplicación Win32 Disk Imager

El proceso completo, paso a paso, es el siguiente:

- 1) Descomprimos el archivo ZIP que contiene la imagen del sistema operativo Raspbian.
- 2) Insertamos la tarjeta SD (es recomendable que sea de 8 GB o más) en el lector de tarjetas de nuestro PC.
- 3) Instalamos el programa Win32 Disk Imager y lo arrancamos como administrador. Nos aparecerá la pequeña ventana de la aplicación, igual a la de la imagen de la figura No. xx.
- 4) En *Device* seleccionamos la letra de la unidad de la tarjeta SD. Es importante comprobar muy bien que se ha elegido correctamente la letra de la unidad o podrá formatearse por error el disco duro.
- 5) En *Image/File* seleccionamos la imagen del sistema Raspbian que hemos descomprimido antes
- 6) Pulsamos en el botón *Write* y empezará el proceso de copia de la imagen del sistema en la tarjeta SD
- 7) Terminado el proceso, pulsamos en *Exit* para salir del programa y desmontamos la tarjeta del lector

Ahora seguimos estos pasos para poner en marcha la Raspberry Pi:

- 1) Colocamos la SD en la ranura de inserción
- 2) Conectamos un extremo del cable de red en el conector Ethernet de la Raspberry y el otro extremo en el router
- 3) Conectamos el cable de alimentación

Si nuestro router tiene activado el servidor DHCP, este asignará automáticamente una dirección IP a la RasPi.

APÉNDICE C: CONFIGURACIÓN BÁSICA DE RASPBERRY PI

Lo primero que haremos después de instalar el sistema operativo Raspbian será configurarlo adecuadamente. Para ello escribimos en una ventana de comando la instrucción:

```
sudo raspi-config
```

Con ello aparecerá una ventana como la de la figura No.xx para configurar determinados aspectos del sistema.

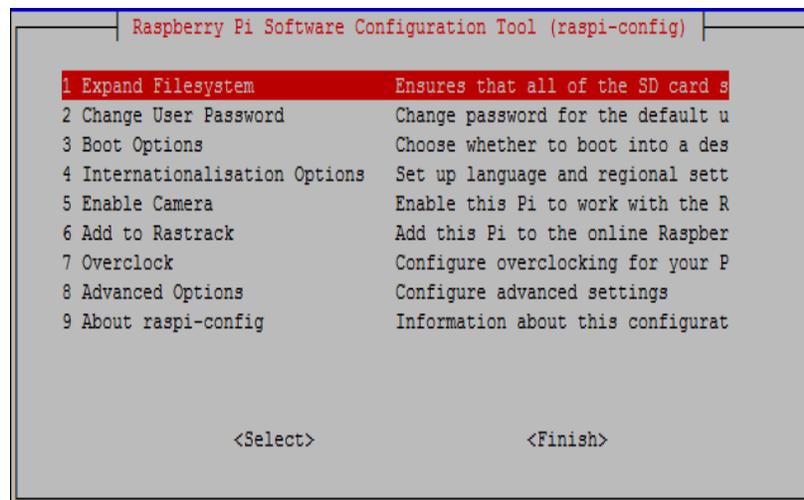


Figura No.x – Pantalla de configuración de Raspberry

Las primeras cuatro opciones son quizás las más importantes:

1) Expand Filesystem: expande el sistema de ficheros para que ocupe todo el espacio disponible en la tarjeta SD. Es necesario ejecutar esta primera opción del menú para poder usar todo el volumen libre de la tarjeta; de lo contrario, el sistema sólo reconocerá 4 GB en la misma, desperdiciándose el espacio restante.

2) Change User Password: sirve para cambiar la contraseña del usuario *pi*, que por defecto es *raspberry*. Es muy conveniente hacerlo, sobre todo si nos conectamos a la RasPi desde fuera, a través de Internet.

3) Boot Options: aquí podemos escoger el modo en que deseamos que arranque el sistema por defecto cuando nos conectemos a la RasPi mediante monitor, teclado y ratón: en modo consola (es decir, en modo texto o línea de comandos) o en modo escritorio (mostrando el sistema gráfico).

4) Internationalisation Options: nos permite cambiar la hora local o el idioma del teclado.

Para ejecutar la opción seleccionada, pulsamos la tecla del tabulador hasta que quede resaltada la palabra *Select* y luego pulsamos la tecla Intro.

Otras opciones nos permitirán activar la cámara web (si disponemos de ella), cambiar el nombre de la máquina (hostname), "overclockear" el sistema, activar/desactivar el servidor SSH (viene activado por defecto), etc. Una vez configuradas las opciones anteriores según las necesidades de cada usuario, es el momento de actualizar la lista de paquetes y la propia distribución Raspbian mediante estos dos comandos:

```
sudo apt-get update  
sudo apt-get upgrade -y
```

Ambos comandos deberemos lanzarlos con cierta frecuencia para tener siempre actualizada nuestra distribución, tanto en lo que se refiere a la lista de paquetes como a la corrección de posibles fallos en los mismos.

Otra cosa que podemos hacer es actualizar el firmware de la Raspberry Pi. Antes de hacerlo, conviene tener bien puesta la hora local. La actualización se guarda en la tarjeta SD, por lo que no hay peligro de dañar o romper el equipo. Si algo saliera mal, sólo habría que reinstalar Raspbian y volver a configurar de nuevo el sistema. Lo actualizaremos así:

```
sudo rpi-update
```

Una vez acabado el proceso de actualización, debemos reiniciar para que los cambios surtan efecto:

```
sudo reboot
```

Y ahora podremos comprobar que disponemos, además, de una nueva versión del kernel en nuestra máquina. Lo haremos con este comando:

uname -r

APÉNDICE D: ACCESO DE LA TARJETA RASPBERRY PI MEDIANTE EL COMANDO SSH

En lugar de dedicar un monitor y un teclado para conectarnos a la Raspberry, podemos acceder a ella de forma remota mediante el servidor SSH que lleva instalado y activado el sistema operativo Raspbian. Esto significa que la manejaremos desde nuestro PC o desde cualquier otra máquina de la red local.

La conexión a un servidor SSH se realiza además de forma segura, ya que el tráfico de datos que tiene lugar entre el servidor y el cliente va cifrado. Para realizar el acceso desde Windows podemos utilizar el programa cliente PuTTY (<http://www.chiark.greenend.org.uk/~sgtatham/putty/download.html>).

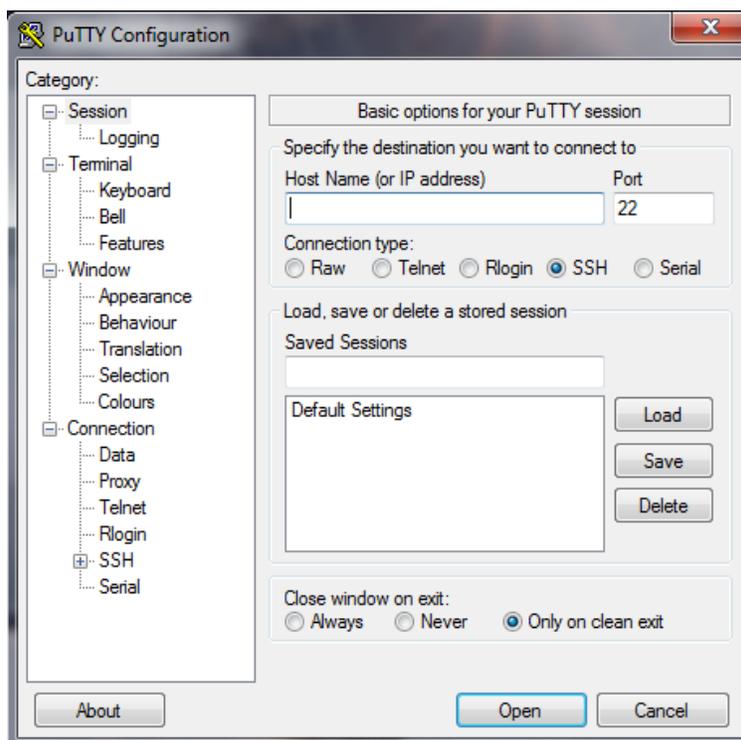


Figura No.x – Aspectos de la aplicación PuTTY

Lo ejecutamos y en "Host Name" escribimos la dirección IP interna de la RasPi, mientras que en "Port" dejaremos el 22. Si no conocemos aún su dirección IP, podemos usar una utilidad como Nmap (puede descargarse desde <http://www.softperfect.com/products/networkscanner/>) para averiguarla. Con ella escanaremos el rango de IPs de nuestra red local y veremos cuál de ellas le ha

asignado el router a la Raspberry. Otra forma de averiguar la IP es a través de comando en el bash de Linux, en donde no solo podremos averiguar la dirección IP de la raspberry, sino además asignar IP fija.

Luego se debe pulsar en el botón "Open" de PuTTY para realizar la conexión. Se nos pedirá el nombre de usuario, que por defecto es "pi", y la contraseña, que por defecto es "raspberrypi".

Si el acceso lo hacemos mediante Linux, sólo tendremos que escribir lo siguiente en una terminal:

```
ssh -p 22 pi@192.168.1.51
```

APÉNDICE E: CONFIGURACIÓN DEL PUERTO USART DE LA TERJETA RSPBERRY

Para la correcta utilización del puerto USART de la Raspberry Pi es necesario cambiar su configuración básica, que viene destinada para atender un puerto de administración por consola, con el fin de que puede enviar y recibir datos seriales desde el PIC.

Para esto, basta con modificar los siguientes dos archivos de configuración:

– /boot/cmdline.txt

Editar este archivo y eliminar o comentar las opciones referidas al puerto serie, que por defecto son las siguientes:

```
console=ttYAMA0,115200 kgdboc=ttYAMA0,115200
```

– /etc/inittab

Eliminar o comentar (con # antes de la línea) la línea referente al puerto serie:

```
T0:23:respawn:./sbin/getty -L ttYAMA0 115200 vt100
```

Finalmente es necesario dar permisos de lectura y escritura en el puerto serie para poder utilizarlo, de tal manera que escribimos el comando:

```
sudo chmod a+rw /dev/ttYAMA0
```

Para utilizar el puerto serie de la tarjeta Raspberry, es necesario disponer de la siguiente configuración adicional, que permite utilizar este puerto para recibir los datos desde el PIC con el formato 9600, 8, 1, N:

1) Se instala el programa Minicom, mediante el comando (Debe haber conexión de la RasPi a Internet)

```
pi@raspberrypi ~ $ sudo apt-get install minicom
```

2) Se ejecuta para la configuración de 9600 bits por segundo, con 8 bits de longitud, 1 bit de parada y sin bits de paridad

```
pi@raspberrypi ~ $ minicom -b 9600 -o -D /dev/ttYAMA0
```

De esta forma queda instalada y configurada la aplicación Minicom, que hace uso del puerto serial de la RasPi.

Mónica Ríos

Anyela Castro en

Notaly Peña Molina

FIRMA ESTUDIANTES _____

Guilherme

FIRMA ASESOR _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____