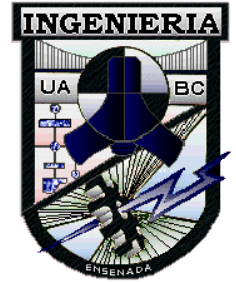


Universidad Autónoma de Baja California

Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño



Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería

Título de la tesis

TESIS

Integración de una red inalámbrica de sensores para el monitoreo de variables agrícolas en un invernadero de tomate.

Para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de

MAESTRO EN INGENIERÍA

Presenta

Jesús Alejandro Ayala Bonilla.

Ensenada, Baja California, Enero del 2013.

Universidad Autónoma de Baja California

Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño

Integración de una red inalámbrica de sensores para el monitoreo de variables agrícolas en un invernadero de tomate.

TESIS

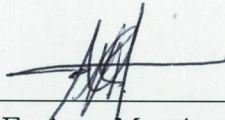
que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de

MAESTRO EN INGENIERÍA

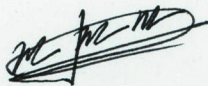
Presenta

Jesús Alejandro Ayala Bonilla.

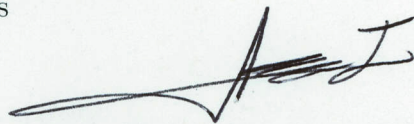
Aprobada por:



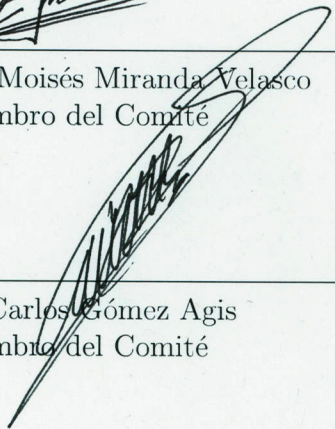
Dr. Miguel Enrique Martínez Rosas
Director de Tesis



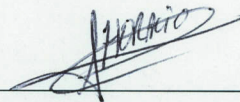
Dr. Manuel Moisés Miranda Velasco
Miembro del Comité



Dr. Juan Iván Nieto Hipólito
Miembro del Comité



M.C. Carlos Gómez Agis
Miembro del Comité



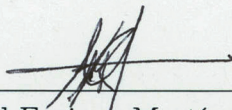
Dr. Horacio Luis Martínez Reyes
Miembro del Comité

Ensenada, Baja California, Enero del 2013.

Resumen de la tesis de **Jesús Alejandro Ayala Bonilla**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN INGENIERÍA del programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería (MYDCI) de la UABC. Ensenada Baja California, México, Enero del 2013.

Integración de una red inalámbrica de sensores para el monitoreo de variables agrícolas en un invernadero de tomate.

Resumen Aprobado por:



Dr. Miguel Enrique Martínez Rosas
Director de Tesis

En este trabajo se describe la metodología para la integración de una red de sensores inalámbricos, la cual es utilizada para la monitorización de variables agrícolas en un invernadero de tomate. El sistema desarrollado proporciona información indispensable para que el agricultor tome decisiones (principalmente en cuanto a riego) que impactan directamente en la calidad y cantidad de los frutos producidos. El sistema básico de monitorización incluye mediciones de temperatura y humedad tanto ambientales como del suelo, así como la intensidad luminosa. La necesidad de monitorización de las variables agrícolas para el cultivo de tomate, así como las razones para la utilización de la tecnología de redes inalámbricas de sensores dentro de un invernadero se describen en forma detallada a lo largo de éste trabajo. Para evitar el rechazo de la utilización del equipo por parte del usuario final (agricultor) se implementó una interfaz gráfica que presenta de forma amigable las gráficas de valores medidos, es importante mencionar que el control de los sensores y el manejo de datos se realiza con ayuda de un sistema embebido que contiene además un servidor web que permite la consulta remota de los valores medidos dentro del invernadero. El sistema está diseñado para trabajar en ambientes hostiles, la evaluación del prototipo operando en condiciones reales ha proporcionado resultados muy prometedores.

Palabras Clave: *Redes inalámbricas de sensores, Invernaderos, Monitorización de variables ambientales*

Dedicatoria

A mis padres que gracias a su apoyo y amor durante todas las etapas de mi vida hicieron posible la culminación de esta importante etapa profesional de mi vida. Agradezco a ellos por alentarme a siempre seguir adelante y el aliento que siempre me han brindado.

A mi familia inmediata que siempre han sido un gran apoyo, mi hermano y su familia que siempre han estado al pendiente de mí, a mi primo Rafael que es como un hermano para mí, mi tía Argelia la cual considero una segunda madre, gracias a ella también por las oraciones que siempre sé que dedica a mí.

A todas las personas cercanas que con su apoyo me han alentado por concluir este trabajo.

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento:

A mi director de tesis, Dr. Miguel Enrique Martínez Rosas, le agradezco la guía, consejos ya apoyo brindado durante la realización de este trabajo, pero también la amistad que siempre me ha brindado.

Los miembros del comité de tesis Dr. Manuel Moisés Miranda Velasco, Dr. Juan Iván Nieto Hipólito, M.C. Carlos Gómez Agis y Dr. Martínez Reyes Luis Horacio, por su amistad brindada, así como los consejos y observaciones que dieron la guía para el cumplimiento de este trabajo.

A todos mis amigos que siempre me han apoyado incondicionalmente, saben que su amistad y solidaridad a sido de gran importancia para la realización de esta etapa de mi vida profesional.

A mis compañeros de maestría gracias por contribuir con este trabajo, así como también, a compañeros de otros cuerpos académicos que siempre me tendieron su ayuda.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico brindado para poder realizar mis estudios de posgrado, a la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño (FIAD), a el Rancho Viva Orgánica por las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo, y a la empresa Ubilogix por facilitarme el uso de su analizador de redes Ubiqua el cual fue una herramienta que facilito el desarrollo de este trabajo.

Índice general

1. Introducción.	1
1.1. Motivación.	2
1.2. Planteamiento del Problema.	2
1.2.1. Justificación.	3
1.3. Objetivos.	4
1.3.1. Objetivos específicos.	4
1.4. Metodología	4
1.5. Contenido de los capítulos.	5
1.5.1. Capítulo I.	5
1.5.2. Capítulo II.	5
1.5.3. Capítulo III.	5
1.5.4. Capítulo IV.	5
1.5.5. Capítulo V.	5
2. Antecedentes.	6
2.1. El Invernadero.	6
2.1.1. Siembra de tomate en invernadero.	7
2.2. Principales Variables Agrícolas.	8
2.3. Medición de las variables agrícolas.	10
2.3.1. “Data Loggers”.	11
2.4. El estandar IEEE 802.15.4	11
2.4.1. Redes Inálambricas de Area Personal.	11
2.4.2. Grupo de trabajo IEEE 802.15	12
2.4.3. Especificaciones del estándar 802.15.4	12
2.4.4. Estandar 802.11	14
2.5. Protocolo ZigBee.	15
2.5.1. Arquitectura.	16
2.5.2. Capa de Red (Network Layer).	16
2.5.3. Enrutamiento.	17
2.5.4. Capa de aplicación.	18
2.5.5. Subcapa de Soporte APS.	18
2.5.6. Componentes para la comunicación de la capa de aplicación. . .	18
2.5.7. Seguridad.	18

2.5.8. Sensores.	19
3. Metodología.	21
3.1. Sistema de medición de variables ambientales dentro de un invernadero utilizando una red inalámbrica de sensores.	21
3.1.1. Servicio Local:	21
3.1.2. Servicio Público.	23
3.2. Módulo controlador de la red basado en la tarjeta Rabbit RCM5600W .	23
3.2.1. Dynamic C.	24
3.3. Modulo Xbee	26
3.3.1. Características de los módulos Xbee.	26
3.3.2. Programación.	27
3.3.3. Modo Recibir/Transmitir.	27
3.3.4. Modo de bajo consumo.	27
3.3.5. Modo Comando.	27
3.3.6. Modo transparente.	28
3.3.7. Modo API.	28
3.3.8. Configuración.	28
3.4. Interacción entre el la tarjeta RCM5600W y los módulos Xbee.	29
3.4.1. Desarrollo.	30
3.4.2. Configuración final de los módulos Xbee.	34
3.4.3. Programa Servidor UDP en lenguaje Java.	35
3.4.4. Resultados.	36
3.5. La plataforma Pandaboard.	37
3.5.1. Instalación y configuración Linux en Pandaboard.	39
3.5.2. Paqueteria Necesaria Pandaboard.	41
3.5.3. MySQL.	43
3.5.4. Funcionamiento de la tarjeta Pandaboard como “Gateway”. . .	43
3.5.5. Servidor seguro para comandos (SSH).	47
3.6. Presentación de la información de forma amigable al usuario.	48
3.7. Modulo Xbee S2B.	51
3.8. Sensores utilizados.	52
3.8.1. Sensor de temperatura.	52
3.8.2. Sensor de humedad HUMIREL HM 1500	53
3.8.3. Humedad del suelo	55
3.8.4. Temperatura del suelo.	56
3.9. Conversión de señales medidas a los valores de variables físicas correspondientes.	57
3.9.1. Ecuación para el sensor de Humedad Humirel.	57
3.9.2. Ecuación para el sensor de Temperatura del Suelo	58
3.9.3. Ecuación para el sensor de Humedad del Suelo.	58
3.9.4. Ecuación para el sensor de Temperatura LM35.	58
3.10. Exportación de tablas directamente a Excel.	59

3.10.1. Alimentación autónoma de energía.	59
3.11. Diseño de los nodos de la red en base al módulo Xbee.	60
3.12. Configuraciones de nodo utilizadas para evaluar el desempeño del sistema.	62
4. Pruebas y Resultados.	65
4.1. Pruebas de señal de los radios Xbee Serie 1.	65
4.2. Pruebas realizadas a los radios Xbee S2B Pro.	67
4.3. Pruebas de red con los modulos Xbee S2B Pro.	69
4.4. Pruebas de captura de datos con el sistema y visualización de la información.	72
4.4.1. Monitoreo en Agrobaja.	72
4.4.2. Monitoreo en el laboratorio	73
5. Conclusiones.	76
5.1. Conclusiones.	76
5.1.1. Contribuciones.	78
5.1.2. Trabajo a Futuro.	78
A. Código en C para el manejo de la información proveniente de la red de sensores por el Gateway.	79
A.1. Descripción de App.c	79
A.2. Descripción panda.c	80
A.3. Descripción serial.c.	80
A.4. Descripción Archivar.c.	81
A.5. Script para actualizar los datos en la base de datos.	81
B. Codificación para el monitoreo de los datos por el usuario.	83
B.1. Codificación para consultar datos históricos.	84
C. Codificación en Dynamic C para Rabbit 5000	86
C.1. Lectura y escritura puerto serial.	86
C.2. Asignación a una red con encriptación WEP.	86
C.3. Multitareas con Dynamic C.	87
C.4. Pagina HTML en Rabbit.	87
C.5. Envío de datos por el protocolo UDP.	89
D. Esquemático de los nodos diseñados en base al módulo Xbee.	90

Índice de figuras

1.1. Dispositivo autónomo de una red de sensores inalámbricos.	1
2.1. Vista interna de un invernadero de tomate.	7
2.2. Tomate de Invernadero.	9
2.3. Topologías de red permitidas por el estándar 802.15.4.	14
2.4. Arquitectura del estándar 802.15.4.	15
2.5. Comparación entre modelo ISO-OSI y modelo IEEE 802.	16
2.6. Arquitectura de la pila ZigBee.	17
2.7. Topologías ZigBee.	17
3.1. Diagrama del general del Sistema de medición y manejo de datos corres- pondientes a variables ambientales dentro de un invernadero.	22
3.2. Módulo Rabbit RCM5600W.	25
3.3. Módulo Xbee.	26
3.4. Sintaxis del Comando AT.	28
3.5. Diagrama del Sistema Rabbit - WSN.	29
3.6. Diagrama de flujo del Sistema Rabbit - WSN.	31
3.7. Trama Api mostrada en el XCTU	33
3.8. Conexión para prueba de envío de datos del adc.	33
3.9. Trama Api mostrada en el XCTU.	34
3.10. Netbeans compilador Java usado en la aplicación.	35
3.11. Asignación con cifrado WEP.	36
3.12. Ventana stdio Dynamic C.	37
3.13. Pagina web de visualización de datos.	38
3.14. Recepción de cadenas mediante UDP.	38
3.15. Uso de la aplicación Java para manejar el puerto UDP.	39
3.16. Plataforma Pandaboard con descripción de los componentes.	39
3.17. Diagrama de funcionamiento Pandaboard.	40
3.18. Procesamiento de datos en Pandaboard.	44
3.19. Creación de datagramas y almacenamiento en la base de datos.	46
3.20. Script php para guardar los datagramas en la base de datos.	47
3.21. Cliente SSH corriendo desde un servidor con plataforma Android.	48
3.22. Procedimiento para desplegar datos actuales.	50

3.23. Procedimiento para mostrar los datos consultados por fecha, nodo y sensor.	51
3.24. Modulo Xbee S2B.	52
3.25. Sensor de temperatura LM35.	53
3.26. Sensor de temperatura básico LM35.	53
3.27. Sensor de humedad HM 1500.	54
3.28. Comportamiento del voltaje con respecto a la humedad.	54
3.29. Tabla de referencia de voltajes.	55
3.30. Ejemplo de circuito de aplicación típica.	55
3.31. Sensor de Humedad del Suelo 200SS-V.	56
3.32. Sensor de Temperatura del suelo.	57
3.33. Exportación de datos a un documento de Excel.	59
3.34. Paneles solares.	61
3.35. Baterías recargables empleadas en el módulo autónomo.	62
3.36. Arquitectura del Nodo Utilizado en Agrobaja.	63
3.37. Arquitectura del Nodo Utilizado para el monitoreo en laboratorio.	63
4.1. Distribucion geográfica de los puntos en donde se coloco el módulo remoto.	66
4.2. Mapa del Invernadero de 3 hectáreas.	68
4.3. Analizador de 802.15.4 para ver los paquetes en el aire.	69
4.4. Vista del enrutamiento durante la asociación a la red.	70
4.5. Direcciones dentro de la red.	71
4.6. Paquetes enviados para crear las rutas de información.	71
4.7. Paquetes de los canales ADC de los nodos enviados mediante la ruta creada.	72
4.8. Primer día Agrobaja Gráfica de Humedad Relativa.	72
4.9. Segundo día Agrobaja Gráfica de Humedad Relativa.	72
4.10. Tercer día Agrobaja Gráfica de Humedad Relativa.	73
4.11. Primer día Agrobaja Gráfica de Temperatura del Suelo.	73
4.12. Segundo día Agrobaja Gráfica de Temperatura del Suelo.	73
4.13. Tercer día Agrobaja Gráfica de Temperatura del Suelo.	73
4.14. Temperatura Nodo 1.	74
4.15. Temperatura Nodo 2.	74
4.16. Temperatura Nodo 3.	74
4.17. Luminosidad Nodo 1.	74
4.18. Luminosidad Nodo 2.	74
4.19. Luminosidad Nodo 3.	74
4.20. Temperatura Nodo 1.	75
4.21. Temperatura Nodo 2.	75
4.22. Temperatura Nodo 3.	75
D.1. Esquemático de los nodos.	90
D.2. Impresión de la tarjeta de los nodos.	91

Índice de tablas

3.1. Tabla de especificaciones Pandaboard	40
4.1. Resultado de mediciones en Invernadero 2.	67
4.2. Resultado de mediciones en Invernadero 3 hectáreas.	69

Capítulo 1

Introducción.

Las Redes Inalámbricas de Área Personal WPAN por sus siglas en Ingles (Wireless Personal Area Network), han crecido en uso asi como en la diversidad de sus aplicaciones. Existen estándares y protocolos que hacen a estas comunicaciones ágiles, fáciles de usar y de bajo consumo energético.

Las redes inalámbricas de sensores, son redes que contienen numerosos dispositivos distribuidos espacialmente, que utilizan sensores para poder medir y asi controlar diversas variables, entre ellas: temperatura, sonido, vibración, presión, movimiento o contaminantes. Los dispositivos son unidades autónomas que constan de un microcontrolador, una fuente de energía (Casi siempre una batería), un radio transceptor y un elemento sensor [Aakvaag and Frey,] ver figura 1.1.



Figura 1.1: Dispositivo autónomo de una red de sensores inalámbricos.

Las redes de sensores tienen como finalidad el monitorear las variaciones físicas de un entorno, teniendo un amplio uso en sectores como la Industria, Militar, Monitoreo de Estructuras Civiles, Agrícola. Se puede considerar la eficiencia de energía una de las característica más importantes del estándar 802.15.4 base de las redes de sensores inalámbricos ante otros estándares de comunicación inalámbrica, lo cual es un factor

sumamente importante en dispositivos que funcionan a base de baterías [Xuemin, 2008].

En cuanto al sector Agrícola la introducción de sistemas de monitorización de variables basados en Redes Inalámbricas de Sensores, permiten la medición continua de características, tales como: humedad, temperatura, pH e intensidad luminosa, entre otras, proporcionan una herramienta para hacer más eficiente el ahorro de agua, aplicar la calidad adecuada de nutrientes a los productos agrícolas y reducir la dependencia de la mano de obra entre otros. Hay fenómenos que no pueden ser medidos directamente por sensores pero que pueden ser previstos mediante una conjugación de la información obtenida por estos, por ejemplo, una plaga, una baja producción, baja calidad de productos, etc [Valdiviezo, 2009].

Actualmente el uso de Invernaderos orientados a optimizar la producción y los recursos han sido una forma de satisfacer las demandas de hortalizas, así como, la solución a la escases de agua.

El valle de Maneadero al sur de Ensenada, es una localidad dedicada principalmente a el cultivo de hortalizas, en donde el tomate ocupa los primeros lugares de producción. Como dato importante se puede mencionar que en la ciudad de Ensenada el tomate rojo generó una derrama económica acumulada superior a los 4 mil 200 millones de pesos entre los años 2009 y 2010 [el Mexicano., 2011].

1.1. Motivación.

La motivación para el desarrollo de éste trabajo, surge al considerar todas las ventajas que puede proporcionar la utilización de las redes de sensores en sistemas de cultivo intensivo, debido a su versatilidad, y el impacto económico que produciría la mejora en calidad y cantidad de frutos con un manejo eficiente de recursos.

Por otro lado, al comparar la productividad agrícola nacional con países en donde es ampliamente aplicada la tecnología a la agricultura, ha puesto de manifiesto la necesidad de impulsar la tecnificación del sector agrícola, el cual es fundamental para el desarrollo económico de una región.

1.2. Planteamiento del Problema.

Actualmente, en la mayoría de los cultivos agrícolas la medición de los parámetros requeridos para estimar el riego y el control de la temperatura se realizan por medio de operación manual, con instrumentos poco precisos, lo que genera un gran margen de

error y lecturas e interpretaciones de los datos no fiables.

Por otro lado, debido a que un invernadero es un lugar cerrado, en donde las condiciones climáticas difieren en cada zona dentro de el, la medición de las variables de forma arbitraria no es confiable. Por lo tanto, la toma de decisiones sobre el riego y el control de la temperatura que es generada en base a los parámetros medidos en las condiciones anteriormente mencionadas, inhibe el máximo aprovechamiento del riego.

El problema principal radica en la ausencia de un sistema que realice las mediciones de los parámetros requeridos para ajustar en forma adecuada el control del riego y la temperatura dentro del invernadero, de forma automática y confiable. Por lo tanto, es necesario implementar un sistema en el cual la lectura de variables (temperatura, humedad, etc.) en varios puntos estratégicos del invernadero sea precisa, en tiempo real y simultanea.

1.2.1. Justificación.

Existen sistemas comerciales que realizan las mediciones de las variables requeridas y la comunicación inalámbrica deseada, sin embargo, al ser sistemas ideados para satisfacer una gran cantidad de necesidades de agricultores en diversos lugares del planeta, la versatilidad da lugar que dichos sistemas tengan un costo elevado. En este proyecto se propone diseñar una red inalámbrica de sensores que permita medir de forma adecuada las variables requeridas, que tome en cuenta todas las condiciones físicas del lugar en donde será aplicado y que su costo sea accesible para los agricultores locales. Los beneficiados directamente serán los productores de tomate en invernadero del Valle de Maneadero.

El sistema propuesto permitirá obtener mediciones confiables de las variables agrícolas. Se obtendrá y transmitirá la información inalámbricamente, por lo que, además de mostrar los datos en una pantalla amigable al usuario final, quien contará con un sistema recolector de datos de variables agrícolas desarrollado específicamente para la zona del Valle de Maneadero en Ensenada, lo que a su vez le proporcionará el historial de parámetros relacionados con la producción de tomate en el valle de Maneadero y eventualmente le permitirá tomar decisiones para el control de riego en cosechas futuras. Cabe mencionar que un gran porcentaje de la bibliografía referente a los cultivos de tomate, ha sido obtenidos de investigaciones y recopilación de datos en lugares geográficos con características propias a otros ecosistemas, si se realizara una medición de variables dentro del Valle de Maneadero con un sistema específicamente diseñado para el lugar; se podrá tener una fuerte base para el estudio de una zona agrícola en específico.

Por otro lado, se integrará una red inalámbrica de sensores que podrá ser en el futuro referencia para la evolución de estas tecnologías dentro de esta zona agrícola.

1.3. Objetivos.

Objetivo general.

Implementar una red de sensores para el monitoreo de variables dentro de un invernadero en el rancho Viva Orgánica en el Valle de Maneadero en la ciudad de Ensenada.

1.3.1. Objetivos específicos.

- Implementar los sensores para la medición de variables requeridas en un invernadero con cultivo de tomate.
- Implementar una topología de red inalámbrica de sensores dentro de un invernadero.
- Desarrollar un programa para recibir los datos de la red inalámbrica de sensores.
- Procesar y mostrar los datos de forma amigable al usuario final.

1.4. Metodología

- Recopilación de fuentes de información.
- Visualización de las necesidades estructurales del invernadero
- Búsqueda del hardware requerido en base a las necesidades del sistema.
- Diseño de la arquitectura de red que cumpla las necesidades del invernadero.
- Programación de los módulos.
- Elección de los sensores dado los requerimientos del agricultor.
- Diseño del entorno gráfico para el usuario.
- Pruebas del sistema en laboratorio.
- Instalación del sistema en el invernadero.
- Prueba de funcionamiento del sistema instalado en el invernadero.
- Solución a problemas propios del entorno del invernadero.

1.5. Contenido de los capitulos.

1.5.1. Capitulo I.

Se da un introducción acerca de las redes inalámbricas de sensores así como su importancia. También se aborda brevemente la utilización de invernaderos dentro del sector agrícola.

Se definen los Objetivos tanto general como específicos.

1.5.2. Capitulo II.

Se presenta el marco teórico abordando la necesidad de medición de variables agrícolas, las condiciones características de los invernaderos, así como también se hace referencia a la teoría de Redes Inalámbrica de Sensores.

1.5.3. Capitulo III.

En éste capítulo se presentan las consideraciones y pruebas preeliminares para el diseño de la Red Inalámbrica de Sensores, la interfaz gráfica para el usuario y la circuitería asociada a los sensores utilizados.

1.5.4. Capitulo IV.

En éste capítulo se describe la implementación de Sistema completo, las pruebas realizadas y los resultados obtenidos. la implementación del Sistema completo y sus resultados.

1.5.5. Capitulo V.

Finalmente, en el capítulo 5 se describen las conclusiones y aportaciones del trabajo, además de las actividades propuestas para la continuación del trabajo.

Capítulo 2

Antecedentes.

2.1. El Invernadero.

Un Invernadero es una estructura que por las características de sus materiales protegen a los cultivos, aprovechan mas la luz solar y evitan el daño por el frio. En el trabajo de tesis [Rodríguez Pérez, 2010] se muestran algunas de las ventajas y desventajas de los invernaderos:

Ventajas

- Precocidad de los frutos.
- Aumento de la calidad y del rendimiento.
- Producción fuera de época.
- Ahorro de agua y fertilizantes.
- Mejora del control de insectos y enfermedades.
- Posibilidad de obtener más de un ciclo de cultivo al año.

Desventajas

- Alta inversión inicial.
- Alto costo de operación.
- Requiere personal especializado, de experiencia práctica y conocimientos teóricos.

Un invernadero es un micro clima creado para tener un mejor entorno para la producción de las hortalizas, esto al tener condiciones de temperatura, humedad y luminosidad, entre otros. Si estas condiciones las podemos medir, podremos obtener información sumamente importante para tomar decisiones que beneficies directamente en la calidad

del producto así como en el ahorro de recursos.

La tendencia en la construcción de invernaderos a crecido con el paso de los años, esto para aumentar la producción, tener producción fuera de estación, proteger los cultivos, etc. En el libro Invernaderos de Plástico Tecnología y Manejo [Prensa, 2007] el autor señala el cultivo protegido como un sistema agrícola especializado en el cual se lleva a cabo un cierto control del medio edafoclimático alterando sus condiciones (suelo, temperatura, radiación solar, viento, humedad, y composición atmosférica). Mediante estas técnicas de protección se cultivan plantas modificando su entorno natural para prolongar el periodo de recolección, alterar los ciclos convencionales, aumentar los rendimientos y mejorar su calidad, estabilizar las producciones y disponer de productos cuando la producción al aire libre se encuentra limitado.

Los materiales más utilizados en la construcción de invernaderos son la madera, plástico, tela, hierro, aluminio, alambre galvanizado y hormigón armado.

En el Valle de Maneadero, los materiales más usados para la estructura son el aluminio, acero y alambre galvanizado para la sujeción del plástico. En la figura 2.1 se puede ver el interior de un invernadero con las características mencionadas.



Figura 2.1: Vista interna de un invernadero de tomate.

2.1.1. Siembra de tomate en invernadero.

El tomate es una de las hortalizas más consumidas a nivel mundial y para los mexicanos es una hortaliza básica dentro de la dieta. En pocas palabras, es una hortaliza con importancia económica a nivel mundial.

El tomate es adaptable a varios tipos de clima, sin embargo, es susceptible a las heladas, por lo que el desarrollo vegetativo de la planta, precisa de un periodo libre de heladas de al menos 110 días para tener un cultivo rentable y de calidad.

En el libro llamado El Cultivo Moderno del Tomate los autores [Prensa, 2001] puntualizan las condiciones climáticas para el cultivo del tomate, entre las que se pueden mencionar las siguientes:

Condiciones Climaticas a tener en cuenta en el cultivo de tomate.

- Viento.
- La temperatura.
- La Humedad.
- Luminosidad

Los vientos fuertes dañan considerablemente la planta, reduciendo las producciones y si además los vientos son secos y calientes, producen el desprendimiento de las flores con similares resultados.

Con respecto al suelo, la planta de tomate prefiere los suelos profundos y con buen drenaje, a continuación se enlistaran las condiciones preferibles para el el suelo en el cultivo del tomate. En la figura 2.2 se ve el tomate cultivado en invernadero.

Condiciones del suelo a tener en cuenta en el cultivo de tomate.

- Drenaje del suelo.
- pH.
- Caliza.
- Materia Orgánica.
- Nitrógeno.
- Fosforo.

2.2. Principales Variables Agrícolas.

Para el desarrollo de las plantas además de necesitar nutrientes como lo son fosforo, potasio, calcio, magnesio, fierro, nitrógeno, azufre, boro, cobre y zinc, así como pH y conductividad eléctrica. Se requiere tener variables agrícolas en valores específicos. Entre las variables más importantes para el adecuado desarrollo de las plantas se pueden



Figura 2.2: Tomate de Invernadero.

mencionar: la temperatura (ambiente y de suelo), la humedad relativa y la humedad de suelo y la cantidad de iluminación que reciben las plantas.

A continuación se describen algunas de estas variables.

La temperatura.

La temperatura influye en todas las funciones vitales de la planta, como son la transpiración, fotosíntesis, germinación, etc., teniendo cada especie vegetal y en cada momento del ciclo biológico una temperatura optima.

La temperatura de desarrollo oscila entre 20 y 30° C durante el día y entre 13 y 17° C durante la noche; temperaturas superiores a los 30 - 35° C afectan la fructificación por mal desarrollo de óvulos y el desarrollo de la planta en general y del sistema radical

en particular. Temperaturas inferiores a 12 - 15° C también originan problemas en el desarrollo de la planta. A temperaturas superiores a 25° C e inferiores a 12° C la fecundación es defectuosa o nula. Las temperaturas óptimas para tomate son de 24 y 16° C durante el día y la noche respectivamente. La maduración del fruto está muy influida por la temperatura en lo referente tanto a la precocidad como a la coloración, de forma que valores cercanos a los 10° C así como superiores a los 30° C originan tonalidades amarillentas. No obstante, los valores de temperatura descritos son meramente indicativos, debiendo tener en cuenta las interacciones de la temperatura con el resto de los parámetros climáticos [Zapata, 2004].

La Humedad.

Esta característica influye particularmente sobre el crecimiento de los tejidos, transpiración, fecundación de las flores y desarrollo de enfermedades causadas por hongos, son preferibles humedades media no superiores al 50 % y suelos no encharcados.

La Luminosidad.

Tiene gran influencia sobre la fotosíntesis (conversión de materia inorgánica en materia orgánica gracias a la energía que aporta la luz), crecimiento de los tejidos, floración y maduración de los frutos. La influencia de la duración del día solo es para la influencia de la coloración homogénea del fruto.

El pH.

El pH está relacionado con la calidad del agua y las características del fertilizante, el control del pH es necesario para evitar que se precipiten los nutrientes en forma de sales insolubles que obstruyen el sistema de goteo, el pH al final del gotero debe de ser de 5.5 -- 6.0, esto se logra acidificando el agua con ácido fosfórico, sulfúrico o nítrico [Moreno, 2007].

2.3. Medición de las variables agrícolas.

Actualmente la medición de variables agrícolas dentro del invernadero de tomate se hace prácticamente a mano, se utilizan diversos aparatos de medición, desde convencionales hasta electrónicos. Pero todas estas mediciones están sometidas a la intervención directa de algún encargado o trabajador del campo.

A continuación se describirán algunos de los artefactos comúnmente utilizados para medir las variables agrícolas dentro del invernadero.

- **Termómetro:** El termómetro es un instrumento de medición de **temperatura**, existen desde los convencionales por dilatación de metal liquido (mercurio), hasta

los nuevos que son los electrónicos.

- Tensiómetro: Es un instrumento que indica el estado de la humedad del suelo, son usados para saber cuando regar y cuánta agua aplicar.
- Instrumento de medición de humedad relativa: Existen instrumentos tanto electrónicos como mecánicos para poder tener una referencia de la humedad relativa en el ambiente. Los electrónicos suelen ser más fácil de transportar y más precisos, además que su mantenimiento es más fácil.
- pH-Metro: Es un instrumento que utilizando un método electroquímico mide el pH de una disolución. La determinación de pH consiste en medir el potencial que se desarrolla a través de una fina membrana de vidrio que separa dos soluciones con diferente concentración de protones.

La forma más convencional de medir las variables agrícolas y registrarlas, como ya se mencionó, es la totalmente manual, pero existen otros métodos más sofisticados que hacen la lectura de forma más fácil.

2.3.1. “Data Loggers”.

Un “data logger” es dispositivo electrónico el cual se coloca en el lugar en el que se necesita medir alguna variable agrícola. Estos dispositivos contienen algún sensor o sensores específicos dependiendo que se necesite medir. Registran las mediciones cada cierto tiempo (este tiempo es programado de acuerdo a las necesidades específicas) Estos dispositivos requieren que el usuario periódicamente tenga que recolectar los datos para su procesamiento y análisis. Son de gran ayuda estos dispositivos ya que evitan que el usuario constantemente este tomando muestras y solo dejan al usuario la tarea de recolectar todo el conjunto de muestras.

Siguiendo la aplicación de los data loggers es que surge la tecnología nombrada Redes Inalámbricas de sensores. Esta tecnología se basa en la recolección de datos en el modelo de los data loggers, pero también añade la opciones de eliminar los cables y poder transmitir inalámbricamente los datos, poder controlar remotamente los dispositivos entre otras funciones. Es por ello que se desarrolló un estándar de comunicación inalámbricas de sensores del cual se desprenden diversos protocolos basándose en este estándar. Más adelante se describirá el protocolo utilizado, a continuación se describe el estándar base de las redes inalámbricas de sensores .

2.4. El estandar IEEE 802.15.4

2.4.1. Redes Inalámbricas de Area Personal.

Las redes de datos de forma computacional existen desde hace ya varias décadas, desde que se tuvo la necesidad de compartir datos entre computadoras, poder mane-

jarlos a distancia así como almacenarlos. Las redes de datos han evolucionado según las necesidades de intercambio de información, llegando al punto de compartir datos de forma local pero a su vez inalámbricamente, lo que dio como resultado la creación de las Redes Inalámbricas de Área Personal o mejor conocidas por sus siglas en inglés WPAN (Wireless Personal Area Networks).

En el aspecto de la estandarización para la interconectividad de las redes de computadoras, el papel central lo ejerce la IEEE (por sus siglas en inglés Institute of Electrical and Electronics Engineers) que es la institución que se encarga a nivel mundial de regir este tipo de comunicaciones, proporcionando los estándares que regulan las especificaciones físicas y teóricas de estos estándares de comunicación.

2.4.2. Grupo de trabajo IEEE 802.15

Dentro de la IEEE la sección de estándares referentes a las comunicaciones inalámbricas es decir, el grupo de trabajo destinado a las comunicaciones de área personal se encuentra el denominado 802.15 y a su vez este grupo se divide en cinco vertientes de acuerdo a su aplicación (por ende características físicas y teóricas), listados de la siguiente forma[IEEE, 2011]:

802.15.1: O también llamado “Bluetooth”, el cual posibilita la transmisión de datos como voz dentro de la frecuencia de los 2.4 GHz. Esta orientados a dispositivos como asistentes personales digitales, auriculares, reproductores de audio, teléfonos celulares etc.

802.15.2: Denominado también Coexistencia, dado que estudia los posibles problemas de la utilización de la bandas de frecuencias no reguladas.

802.15.3: Regula las Redes Inalámbricas de alta velocidad (11-55 Mbps). Esta enfocado a la transmisión de contenido multimedia.

802.15.4: Trata las Redes Inalámbricas con tasas de transmisión bajas pero con optimización de energía.

802.15.4: Redes de malla para las WPAN.

2.4.3. Especificaciones del estándar 802.15.4

El estándar IEEE 802.15.4 define el protocolo para la comunicación de datos entre dispositivos usando una tasa de transmisión de datos baja, bajo consumo de energía y baja complejidad en la transmisión en una red personal inalámbrica [Man et al., 2006].

Por lo que es usado ampliamente en la implementación de WSN, así como base para el estándar ZigBee que permite la creación de topologías de red complejas y un manejo confiable de la información.

Este estándar define la capa física (PHY) así como la subcapa de control del acceso al medio (MAC), algunas de las principales características son las siguientes:

- Tasas de transferencia para transmisión de datos de 250 kb/s, 100kb/s, 40 kb/s, y 20 kb/s.
- Topología de red tipo estrella y punto a punto.
- Para las direcciones de red permite longitudes de direccionamiento de 16 bits (Cortas) y 64 bits (Largas).
- Asignación opcional de ranuras de tiempo garantizadas (GTS).
- Acceso al canal tipo Acceso Múltiple con Detección de Portadora y Evasión de Colisiones (CSMA-CA).
- Bajo consumo de energía.
- Detección de energía (ED).
- Indicador de calidad de enlace (LQI).
- 49 canales disponibles, 16 canales están en la banda de los 2450 MHz, 30 canales en la banda de los 915 MHz, y 3 canales en la banda de los 868 MHz.

Existen dos dispositivos básicos en las redes de área local, el dispositivo de funciones completas (FFD Full Function Device) y el dispositivo de funciones reducidas (RFD Reduced Function Device). En una red debe existir al menos un dispositivo tipo FFD.

Topología de red: Dependiendo de la aplicación se puede operar en dos diferentes topologías, la topología de estrella y la topología punto a punto, ambas topologías se muestran en la figura 2.3.

Las dos topologías tienen un coordinador PAN, sin embargo la diferencia entre ellas es que en la topología tipo punto a punto, todos los dispositivos pueden comunicarse entre ellos, siempre y cuando estén dentro de su rango. Por lo tanto podemos observar que Punto a Punto permite formaciones de red más complejas.

Arquitectura.

La arquitectura esta definida en término a un número de bloques ordenados para simplificar el estándar. Estos bloques son llamados capas, cada capa es responsable por una parte del funcionamiento del estándar. Estas capas están basadas a lo que se llama el modelo OSI (por sus sigles en ingles, Open System Interconecction)[Zimmermann, 1980].

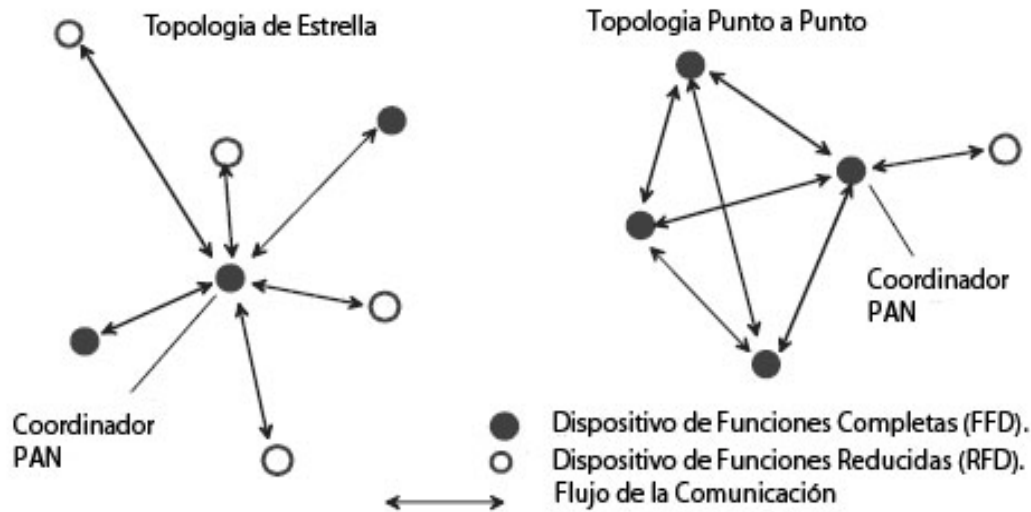


Figura 2.3: Topologías de red permitidas por el estándar 802.15.4.

De la Figura 2.4 podemos observar la capa PHY corresponde a un transceptor con un mecanismo de control de nivel bajo, mientras que la subcapa MAC provee el acceso del canal físico para todos los tipos de transferencia.

Las capas superiores consisten de una capa de red que provee la configuración de la red, manipulación y el enrutamiento de los mensajes, y una capa de aplicación. Estas capas se encuentran fuera del estándar 802.15.4.

La subcapa del estándar 802.2 [Committee and IEEE, 1998] define las características de la interfaz uniforme al usuario del servicio de enlace de datos a través de la subcapa Servicio Especifico de Convergencia (SSCS por sus siglas en ingles, Service-Specific Convergence Sublayer.)

2.4.4. Estandar 802.11

El estándar corresponde en equivalencia al estándar Ethernet (802.3), entre ellos solo cambia la forma en que se transmiten las tramas o paquetes de datos. Esto lo hace compatible con todos los servicios de redes locales . El estándar IEEE 802.11 define el uso de los dos niveles inferiores de la arquitectura OSI [802.11 Working Group,].

Dentro de este estándar se utilizan diferentes protocolos documentados dentro de la estandarización, lo cual permite contar con una gran variedad de aplicaciones así como servicios disponibles, y que a su vez ha impulsado su implementación comercial en forma tan común que actualmente muchos dispositivos personales como celulares, computadoras, tablets etc, cuentan con esta tecnología.

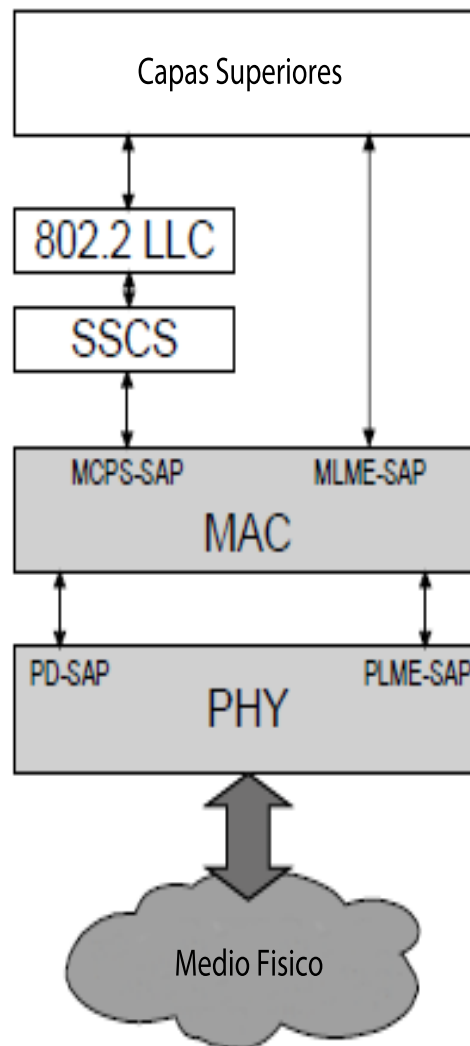


Figura 2.4: Arquitectura del estándar 802.15.4.

2.5. Protocolo ZigBee.

ZigBee es un conjunto de protocolos que trabajan bajo el estándar de comunicación IEEE 802.15.4. [Alliance, 2010]. La especificación 1.0 de ZigBee se aprobó el 14 de diciembre de 2004.

Con respecto a los tipos de dispositivos que pueden interactuar dentro de la especificación ZigBee se pueden mencionar:

- ZigBee Coordinador : ZC es el tipo de dispositivo mas completo, es necesario que exista uno por red. Como funciones tiene controlar la red y, crear los caminos

necesarios para el intercambio de mensajes entre los demás dispositivos de la red.

- ZigBee Router. ZR tiene la capacidad de interconectar dispositivos en la topología de red, así como ofrecer código de aplicación para poder interactuar directamente con las aplicaciones dirigidas al usuario.
- ZigBee End Device. ZED tiene los recursos de memoria, procesamiento y código necesarios para realizar comunicarse con el ZC. Ahorra energía durmiendo durante los periodos en los que el intercambio de datos no es necesario.

2.5.1. Arquitectura.

Siguiendo el modelo OSI de cinco capas simplificadas que se muestra en la figura 2.5 : El estándar 802.15.4 sobre el cual se basa la especificación de ZigBee define únicamente las capas Física y la de enlace de datos o también llamada MAC.

Las capas restantes no se especifican por el estándar, y es en éste punto, en donde la Alianza ZigBee crea las capas superiores. La pila de ZigBee creada con base al Modelo

Mode ISO-OSI Siete Capas	Modelo ISO-OSI Cienco Capas Simplificadas	Modelo IEEE 802
Aplicacion	Aplicacion	
Presentacion	Perfil de Aplicacion	
Sesion		
Transporte		
Red	Red	Capa Superiores
Enlace de Datos	Enlace de datos	Control de Enlace Logico (MAC)
		Control de Acceso al Medio (MAC)
Fisica	Fisica	Fisica (PHY)

Figura 2.5: Comparación entre modelo ISO-OSI y modelo IEEE 802.

OSI de cinco capas puede observarse en la figura 2.6

2.5.2. Capa de Red (Network Layer).

Dentro de una red del tipo ZigBee pueden existir hasta 254 nodos, así como un conjunto de 255 clusters o conjuntos; con lo cual se puede llegar hasta tener 64770 nodos, teniendo la posibilidad de utilizar varias topologías como podemos observar en la figura 2.7. La clave del éxito de la capa de red dentro de la especificación ZigBee es el encaminamiento o enrutamiento de saltos múltiples (multi-hop), esto permitiendo hacer que estas redes abarquen de forma segura gran cantidad de superficie.

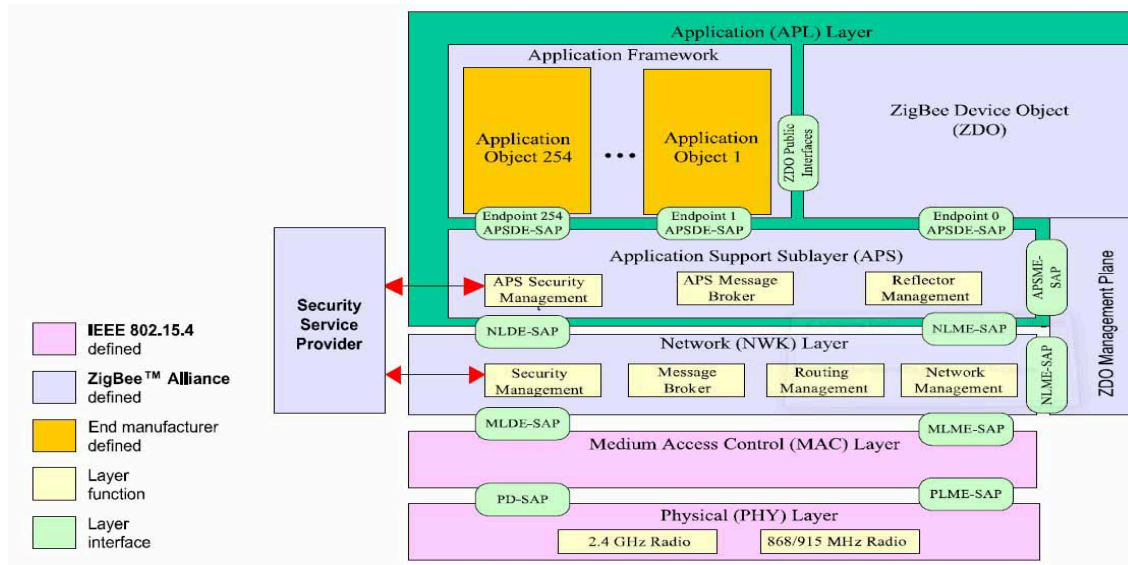


Figura 2.6: Arquitectura de la pila ZigBee.

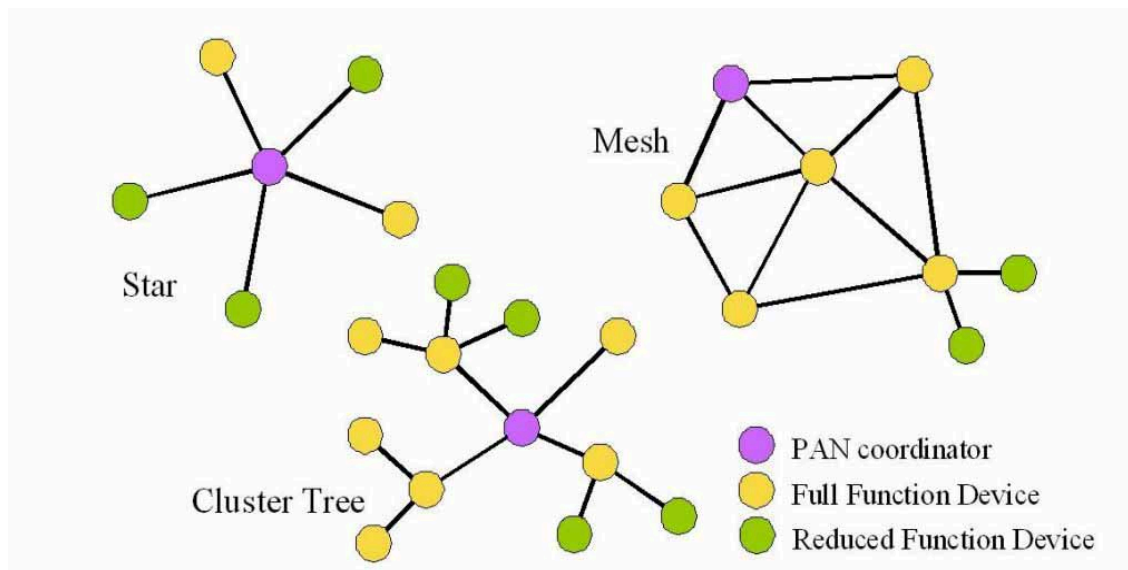


Figura 2.7: Topologías ZigBee.

2.5.3. Enrutamiento.

En cuanto al enrutamiento, esto es el camino creado por el coordinador para que se transmitan mensajes entre dos dispositivos, esto puede ser dando los saltos necesarios para que llegue el mensaje a su destino. Un punto importante es que ya definida una ruta para la transmisión de mensajes, si un dispositivo encargado de pasar un mensaje (router) es deshabilitado, el coordinador gestionará un nuevo camino para la transmisión del mensaje.

2.5.4. Capa de aplicación.

ZigBee divide la capa de aplicación en la subcapa APS, la capa ZDO (ZigBee Device Objects) así como los objetos de aplicación definidos por cada uno de los fabricantes.

2.5.5. Subcapa de Soporte APS.

Esta subcapa proporciona la interfaz entre la capa de red (NWK) y la capa de aplicación (APL) a través de un conjunto de servicios que se utilizan junto a los Objetos (ZDO). Ofrece los servicios:

- La entidad de datos APSD a través del servicio de punto de acceso APSDE-SAP.
- La entidad gestora APSME a través del servicio de punto de acceso APSE-SAP.

APSD proporciona el servicio necesario para la transmisión de datos y el transporte de los datos de aplicación entre dos o más dispositivos en la misma red. APSME proporciona el servicio de descubrimiento y enlace de dispositivos y mantiene una base de datos de los objetos llamado Base de información de Base (APS AIB).

2.5.6. Componentes para la comunicación de la capa de aplicación.

- **Perfiles:** Los perfiles cubren las necesidades de una aplicación y son diseñados por el fabricante. Por lo tanto cumplen la funcionalidad de satisfacer una necesidad específica del mercado. Dentro de la alianza ZigBee existen perfiles de aplicación interoperables como pueden ser por ejemplo “ZigBee Home Automation”, “Smart Energy”, “ZigBee Link Layer”.
- **Cluster:** Son un conjunto de comandos y atributos propios de la especificación de aplicación, existen clusters básicos para crear la interoperabilidad entre perfiles así como también los clusters propios para cada perfil siendo estos ya sea públicos o privados y diseñados por el fabricante.

2.5.7. Seguridad.

La especificación ZigBee dentro de su conjunto de protocolos permite distintas formas de seguridad en cada una de sus capas de funcionamiento. Heredando primeramente la seguridad propia del estándar 802.15.4.

En el nivel de red se usan las claves de enlace correspondientes al ruteo realizado; si esta disponible en otro caso se utilizará la clave de red.

El nivel de aplicación ofrece servicio de establecimiento de claves al ZDO y las aplicaciones, siendo responsable para la difusión de los cambios que se produzcan en

sus dispositivos de red. Existe el centro de confianza (“trust center”) el cual se encargara de gestionar la seguridad, así como el intercambio de llaves (estas partiendo de una llave y certificado inicialmente establecidos en los dispositivos). Esto es de importancia para aplicaciones comerciales en las cuales la seguridad es primordial .

2.5.8. Sensores.

En la necesidad del ser humano de conocer y entender los fenómenos que ocurren a su alrededor ha buscado la forma de poder transformar las variables de su entorno a señales que pueda: medir, cuantificar, almacenar y procesar.

Según el autor del libro Sensores y acondicionamiento de señal [Areny, 2004] define a un transductor como todo dispositivo que convierte una señal de una forma física en una señal correspondiente pero de otra forma física distinta. Es, por tanto, un dispositivo que convierte un tipo de energía en otro. Un sensor es un dispositivo que, a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida transductible que es función de la variable medida.

En resumen lo que diferencia a un transductor de un sensor, es que el sensor esta siempre en contacto con la variable de instrumentación con lo que puede decirse también que es un dispositivo que aprovecha sus propiedades con el fin de adaptar una señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo.

Dentro las características principales de un sensor tres son de importancia a la hora de escoger un sensor o evaluar su desempeño: Exactitud, precisión y sensibilidad.

Exactitud.

Se refiere a la cualidad de un instrumento para dar valores que se acerquen al valor verdadero. Donde el valor verdadero es aquel que se obtendría si se midiera la variable con un instrumento ideal. La diferencia entre el valor del instrumento y el valor verdadero se le llama error absoluto.

$$errorAbsoluto = resultado - valorVerdadero \quad (2.1)$$

Es más comun especificar el error como cociente entre el error absoluto y el error verdadero , a este cociente se le llama error relativo.

$$ErrorRelativo = \frac{errorAbsoluto}{valorVerdadero} \quad (2.2)$$

Precisión.

Es la cualidad de un instrumento de medida de poder repetir en las mismas condiciones su magnitud de respuesta. Cuando un sensor presenta una variación de salida con el paso del tiempo se dice que tiene derivas.

Sensitividad.

Se le denomina como el menor cambio en la magnitud de de entrada que puede apreciarse a la salida.

Capítulo 3

Metodología.

3.1. Sistema de medición de variables ambientales dentro de un invernadero utilizando una red inalámbrica de sensores.

A continuación se describirá el sistema que se desarrollo para realizar la medición de variables ambientales dentro de un invernadero utilizando una red inalámbrica de sensores.

El sistema se divide en dos grandes bloques, Servicio Local y Servicio Publico tal como se muestra en la figura 3.1.

3.1.1. Servicio Local:

En esta parte el sistema interactúa con todos los elementos encargados de recopilar la información de las variables agrícolas, procesarla, y guardarla en una base de datos confiable. Intervienen tanto partes de “Hardware” como de “Software”.

Sensores.

Son los encargados de convertir las variables físicas en variables eléctricas de tal forma que puedan ser leídos e interpretados por un dispositivo electrónico, que a su vez los acondicionará para su despliegue al usuario final. Entre los diferentes sensores que se incluyen dentro del sistema se pueden mencionar: Sensores de humedad relativa, temperatura ambiental, temperatura del suelo y luminosidad.

Red de Sensores.

Esta es la encargada de la recopilación de los datos, y trabaja bajo el estándar 802.15.4 los módulos correspondientes a los nodos contienen los sensores. Al recibir la

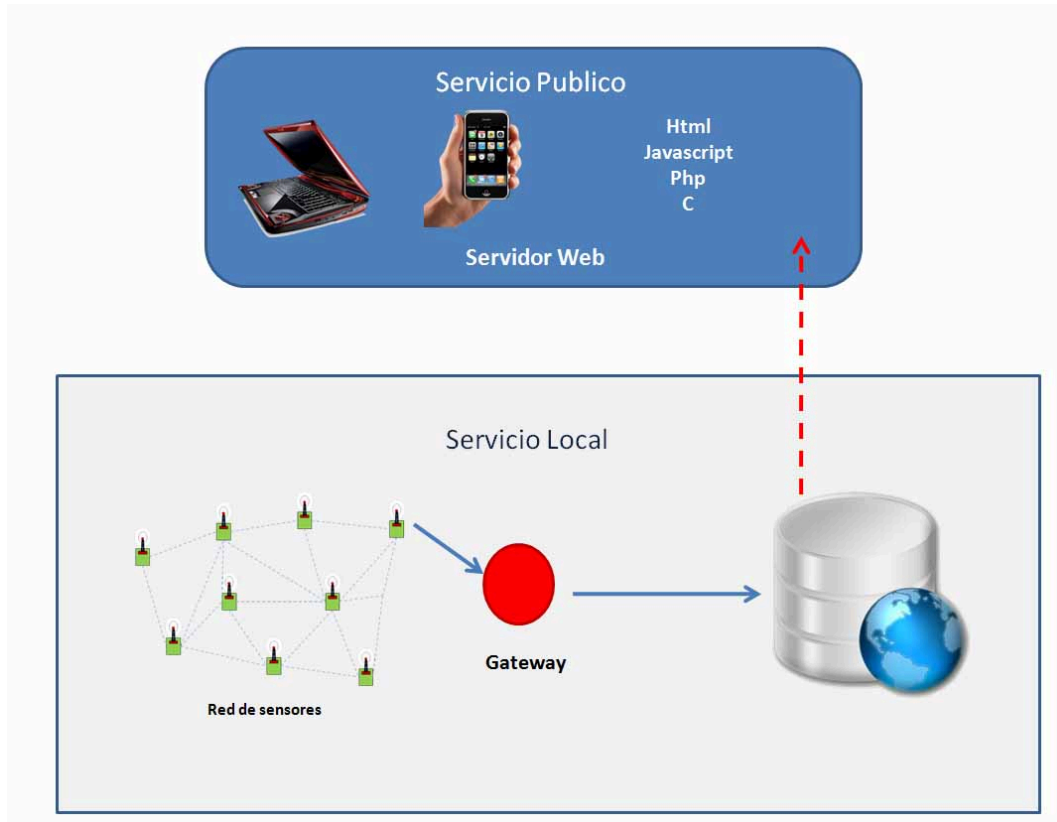


Figura 3.1: Diagrama del general del Sistema de medición y manejo de datos correspondientes a variables ambientales dentro de un invernadero.

información proveniente de los sensores los nodos envían inalámbricamente las variaciones a su nodo coordinador.

El nodo coordinador es el encargado de manejar la red de sensores, gestiona la comunicación dentro de la red, recibe los datos de los sensores en cada nodo y es el responsable de interactuar con el puente de comunicación ("Gateway").

Gateway.

Esta parte del sistema es el dispositivo que está conectado directamente por comunicación serial con el coordinador de la red de sensores con la finalidad, de poder realizar el puente entre la red de sensores y las redes de información convencionales.

Las tareas encargadas a este elemento del sistema son: Recibir la información de la red de sensores con el coordinador de esta como intermediario, procesar la información recibida, almacenarla en una base de datos que sea fiable para después poder mostrarlos de una forma amigable al usuario.

3.1.2. Servicio Público.

En ésta parte del sistema se localizan los servicios disponibles para que el usuario pueda interactuar con la información proveniente de la red de sensores.

Servidor Web.

El sistema utiliza la base de datos contenida en el Gateway para mostrar los datos en una página web, mediante el uso de mandos secuenciales (“scripts”) en lenguaje php se hace la interacción con la base de datos, se ordena la información, un procesamiento final y se muestra la evolución de las variables ambientales en forma amigable al usuario.

Entre los diferentes lenguajes de programación que se utilizaron dentro de esta parte de la aplicación se pueden mencionar: C, javascript , php y html.

3.2. Módulo controlador de la red basado en la tarjeta Rabbit RCM5600W

Al tener la necesidad de usar un modulo para: controlar la red de sensores, procesar los datos recibidos por el coordinador de esta red y además mostrarlos de forma amigable al usuario se pensó en la posibilidad de usar el Modulo RCM5600W de la compañía DIGI [Digi, 2010c].

Esta modulo representa una buena solución ya que se concentra la funcionalidad requerida en un dispositivo compacto y de bajo costo. La capacidad de servidor web es adecuada para los propósitos del proyecto. Su arquitectura ofrece una gran flexibilidad, ya que la tarjeta cuenta con varios puertos de comunicación serial y un modulo WiFi, lo cual permite poder realizar un puente entre dos estándares de comunicación tal como lo requiere el sistema en éste caso, es decir un puente entre, el estándar propio de las redes de sensores 802.15.4 y el 802.11.

El modulo RCM5600W ofrece la posibilidad de contar con la conectividad Wi-Fi (802.11b/g) incluyendo estándares de seguridad WPA2, WPA y WEP, permitiendo una fácil integración e interoperabilidad entre redes Wi-Fi. Con 6 puertos serie, cuatro de ellos configurables como SPI, el RCM5600W puede ser embebido fácilmente, tanto en un sistema nuevo como en uno ya existente.

Características de la tarjeta RCM5600W.

- Tamaño reducido: 1.20 x 2.00 x 0.4 pulgadas.
- Microprocesador: Rabbit 5000 corriendo a una velocidad de 73.73 MHz.
- 35 posibles entradas o salidas configurables para diferentes funciones.

- Un voltaje de entrada y salida de 3.3 V.
- Seis puertos seriales CMOS compatibles, cuatro son configurables como SPI, y dos SDLC/HDCL.
- Tranceptor Airoha 802.11b/g.
- Memoria SRAM de 1 Mb y 1 MB de memoria flash serial.
- Bateria de respaldo para un reloj de tiempo real.
- Watchdog.

El módulo se programa en un lenguaje propietario llamado Dinamic C, el cual es un lenguaje de programación ideado especialmente para la línea de estos productos .

3.2.1. Dynamic C.

Dynamic C es un software de desarrollo industrialmente probado, basado en lenguaje C. Dynamic C opera en computadoras personales (PCs), bajo los sistemas operativos: Windows 95, 98, NT, ME y 2000 e incluye un rápido compilador C con compilaciones de un solo paso, enlace y bajada al destino, un “debugger” de completa prestaciones a nivel fuente y/o ensamblaje, cientos de funciones en las librerías de código fuentes y programas de muestra, además de un editor fácil de usar [Digi, 2010a].

“Debugging” en tiempo real.

El debugging o depuración de los programas en tiempo real se realiza con ayuda de un cable inteligente, incluido en con el kit de desarrollo, el cual se conecta al Puerto serial de la PC con uno de los puertos seriales Rabbit mientras el procesador está corriendo en el sistema destino, lo cual además de elimina la necesidad de emuladores, simplifica el desarrollo de las aplicaciones.

El desarrollo de software con Dynamic C es sencillo. Código C, Los programas en código C, código ensamblador e inclusive código C entremezclado con código ensamblador, pueden ser escritos, compilados y verificados sin la necesidad de salir del ambiente de desarrollo Dynamic C.

Prestaciones del ambiente de desarrollo Dynamic C.

El ambiente de desarrollo Dynamic C es especialmente adecuado para sistemas dedicados. Se pueden compilar los programas y rutinas de librerías requeridas y bajar simultáneamente el código compilado hacia el sistema destino de manera tan rápida que se le podrían realizar los cambios con casi la misma rapidez con la que se conciben. Los puntos de depuración (“breakpoints”), corridas paso a paso (“single stepping”),

observaciones de variables en un programa en ejecución, complejas expresiones visuales e impresión a la consola son todos soportados para ayudar la depuración (“debugging”) del código. El ambiente Dynamic C también incluye poderosas extensiones de lenguaje para multitareas cooperativas, gran velocidad en operaciones de punto flotante y librerías matemáticas como también controladores para los periféricos integrados de Rabbit.

TCP/IP Libre de regalías.

El ambiente incluye el código fuente completo de los protocolos TCP/IP. Sus capacidades incluyen Ethernet, PPP, cliente DHCP, http (incluye facilidades para SSI, rutinas CGI, cookies y autenticaciones básicas), SMTP, POP3, FTP y TFTP [Digi, 2010b].

Rabbit Web.

RabbitWeb es una manera de crear formularios HTML para páginas web que se vinculan con variables del código escrito en lenguaje C en aplicaciones de red (“networking”) embebidas. RabbitWeb reduce a horas las semanas o meses de compleja programación de Common Gate Interface (CGI). Consiste en el perfeccionamiento del compilador Dynamic C, y en extensiones del servidor HTTP embebido. Un pequeño número de nuevas extensiones de rutinas HTML (“scripting”) propietarias que son manejadas por el servidor HTTP, y la nueva directiva de compilador web y otras opciones asociadas reducen el esfuerzo de programación involucrado en analizar la sintaxis del código HTML y generar posteriormente paginas HTML de respuesta basadas en variables del programa.

En la figura 3.2 se muestra el módulo Rabbit RCM5600W.



Figura 3.2: Módulo Rabbit RCM5600W.

3.3. Módulo Xbee

El componente llamado Xbee es un modulo desarrollado por la compañía Maxstream que después fue comprada por la compañía Digi International, el modulo esta diseñado para poder comunicarse con otros dispositivos bajo el estándar IEEE 802.15.4 de redes de área local.

En la figura 3.3 se muestra el módulo Xbee. Los módulos Xbee tienen dos modos



Figura 3.3: Módulo Xbee.

de operación, el modo AT y el Modo API. Se pueden programar mediante una PC utilizando la herramienta X-CTU o bien desde un microcontrolador haciendo uso de la comunicación serial [Digi, 2006].

Su arquitectura inalámbrica de comunicación puede del tipo: de punto a punto, punto a multi punto o en una red mesh.

3.3.1. Características de los módulos Xbee.

- Alcance de hasta 300 ft (100 mts) en línea de vista para los módulos Xbee y hasta una milla (1.6 Km) para los módulos Xbee Pro.
- 9 Entradas/Salidas analógicas y digitales.
- Bajo consumo: 50mA cuando están en funcionamiento y 10uA cuando están en modo sleep.
- Interfaz serial.
- La cantidad de 65,000 direcciones para cada uno de los 16 canales disponibles. Se pueden tener muchos de estos dispositivos en una misma red.
- Uso fácil mediante sus comandos AT.

Existen dos versiones de los módulos, la serie 1 y la serie 2. Entre las dos series se tiene la misma distribución de patillas (pines) pero trabajan con diferentes circuitos integrados (chipset) e inclusive protocolos diferentes.

3.3.2. Programación.

Los módulos Xbee pueden operar en 5 modos diferentes: Recibir/Transmitir, bajo consumo, comando y transparente .

3.3.3. Modo Recibir/Transmitir.

El modo Recibir corresponde a la configuración que se encarga de realizar las tareas cuando llega algún paquete por el aire a la antena del receptor, este lo recibirá y lo mandará al puerto de comunicación serial (UART) . Así como al mandar algo al uart del transmisor, este enviará al aire la información recibida las tareas correspondientes a ésta operación las engloba el modo Transmitir.

A su vez la información transmitida puede ser directa o indirecta. La forma directa es mandar inmediatamente al recibir el paquete y la forma indirecta retiene la información hasta que el destinatario la solicita. Es posible enviar la información de dos formas “Unicast” y “Broadcast”.

3.3.4. Modo de bajo consumo.

En éste modo de operación el nodo solo se encuentra activo cuando es necesario, de tal forma se ahorra considerablemente la energía. La forma de entrar en este modo es configurable mediante los comando AT, ya sea al cumplir un tiempo o mediante una señal En éste modo de operación este propósito.

3.3.5. Modo Comando.

En este modo se puede interactuar con el modulo e ingresar comandos AT al dispositivo Xbee para configurar, ajustar o modificar parámetros. Para poder interactuar en este modo con el modulo es necesario utilizar la comunicación serial, empleando por ejemplo las herramientas llamadas *Terminales* ó utilizando la herramienta proporcionada por el fabricante de los módulos Xbee, llamada X-CTU.

Para poder interactuar en este modo se debe ingresar el mando +++ a lo cual el modulo responderá con un OK. En la figura 3.4 se puede observar lo que sería la sintaxis a seguir por los comandos AT, Todos los comandos se pueden consultar para la serie 1 de Xbee dentro de la sección 3 RF Modu le Configuration [Digi, 2006], para la serie 2 en la sección 10 Xbee Command Reference Tables de [Digi, 2010d],

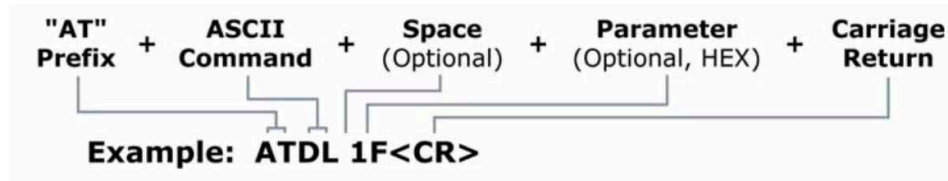


Figura 3.4: Sintaxis del Comando AT.

3.3.6. Modo transparente.

En este modo todo lo que ingresa por la terminal de entrada de datos ("Data in") (Pin 3) es enviado al buffer de entrada para luego ser transmitido por el aire, así como todo lo que ingresa por la entrada de RF es enviado al buffer de salida y luego enviado a la terminal de salida ("Data Out") (Pin 2). Es un modo de operación fácil y básico, destinado a principalmente a la comunicación punto a punto y en donde no se requiere ningún tipo de control.

3.3.7. Modo API.

Es el modo de operación más complejo, en donde se usan tramas ("frames") que contienen cabeceras para asegurar la entrega de los datos. Por lo tanto en este modo toda la información que entre o sale es primeramente empaquetada en frames.

Los APIs proveen además del intercambio de información entre los módulos la configuración de estos, transmiten información a múltiples destinatarios, reciben el estado de éxito o falla de los paquetes por el aire así como identifican la dirección de origen de cada paquete.

3.3.8. Configuración.

Mediante los comandos los comando AT definidos en [Digi, 2006] se puede configurar el direccionamiento dentro de la red.

Direccionamiento.

Los módulos Xbee permiten dos tipos de direccionamiento, el de 16 bits y el de 64 bits. Estas dos tipos de direccionamiento también son conocidos como direccionamiento Corto ó Largo.

La principal diferencia entre los dos direccionamientos es la gran cantidad de direcciones que se pueden obtener mediante el uso del direccionamiento largo.

El comando **MY** es el que define el direccionamiento corto, el rango se encuentra entre 0x0000 ó 0xFFFFE, para definir una dirección corta se usaría de la forma ATMY1234.

El comando **DL** define la dirección de 16 bits la cual será el destino dentro de la red. El intervalo debe estar entre 0x0 y 0xFFFE.

Para el direccionamiento de 64 bits o largo el numero 0xFFFF y 0xFFFE se usa con el comando **MY**, de esta forma se desactiva el modo corto y se habilita el uso de la dirección de 64 bits. En este direccionamiento ya no se puede definir la dirección dado que se asigna automáticamente (Dirección IEEE propia en cada modulo).

3.4. Interacción entre el la tarjeta RCM5600W y los módulos Xbee.

Dado que se pretendía aplicar el puente para poder monitorear una red de sensores, se conecto un coordinador WSN en cual controla un red de tipo estrella; mientras que el módulo Rabbit RCM5600W se utilizó como puente entre las dos redes , tal como se puede observar en el diagrama de funcionamiento mostrado en la figura 3.5. Teniendo en cuenta esto el funcionamiento es el siguiente:

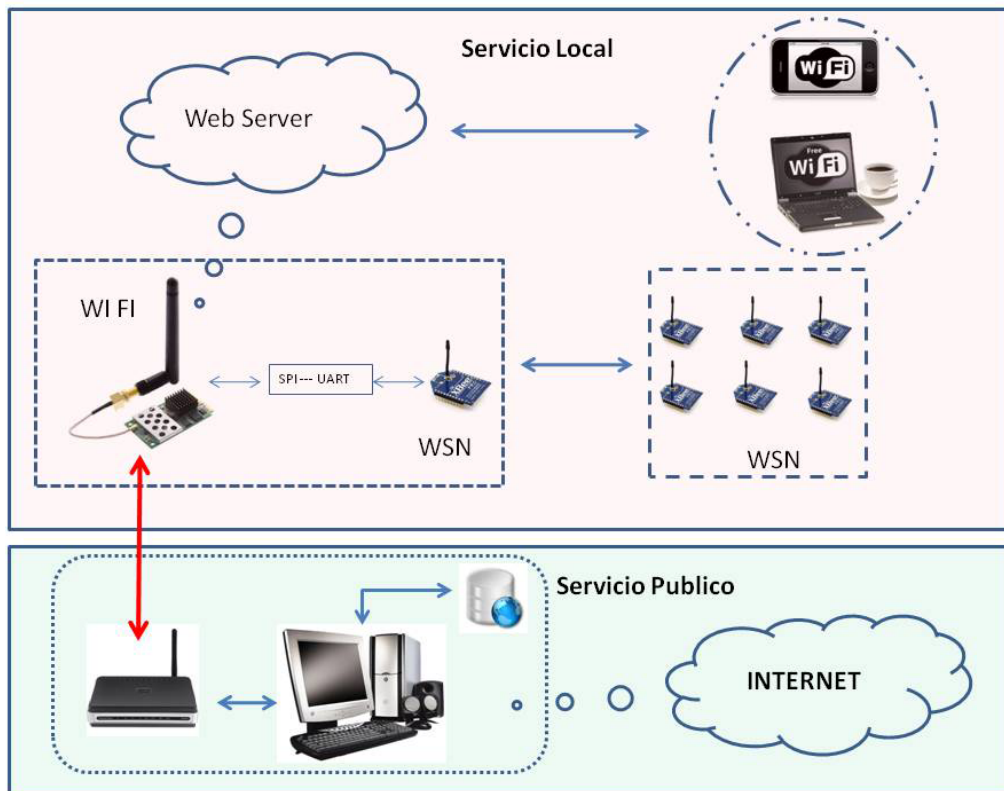


Figura 3.5: Diagrama del Sistema Rabbit - WSN.

- Establecer conexión por medio del protocolo UART entre el coordinador de la red WSN y el módulo Wifi Rabbit RCM5600W.
- El coordinador recibe datos de los nodos y los retransmite vía comunicación serial al módulo WiFi.
- El módulo WiFi se asigna a un punto de acceso de una red bajo en estándar 802.11x.
- Se retransmiten los datos entregados por el coordinador al módulo WiFi, a una Computadora de la red mediante el protocolo de red UDP (User datagram protocol).
- Por el mismo protocolo UDP el módulo Rabbit puede retransmitir una cadena de control enviada desde una computadora hacia el coordinador de la red WSN.
- Los datos transmitidos a una computadora tipo servidor pueden ser almacenados en una base de datos para registrar los historiales de las variables.
- Los datos actuales de los sensores de la red se pueden visualizar en una página web gracias al servidor embebido montado en el módulo WiFi.

3.4.1. Desarrollo.

Se estudio la literatura y los manuales de referencia del módulo Rabbit RCM5600W, así como, los ejercicios de prueba que vienen dentro del disco de instalación Dynamic C. Como primera tarea se estableció una comunicación serial entre el módulo Rabbit y el módulo Sard. A continuación se describen las funciones principales para interactuar con los puertos seriales del módulo Rabbit.

En la figura 3.6 se muestra el diagrama de flujo del Sistema Rabbit – WSN.

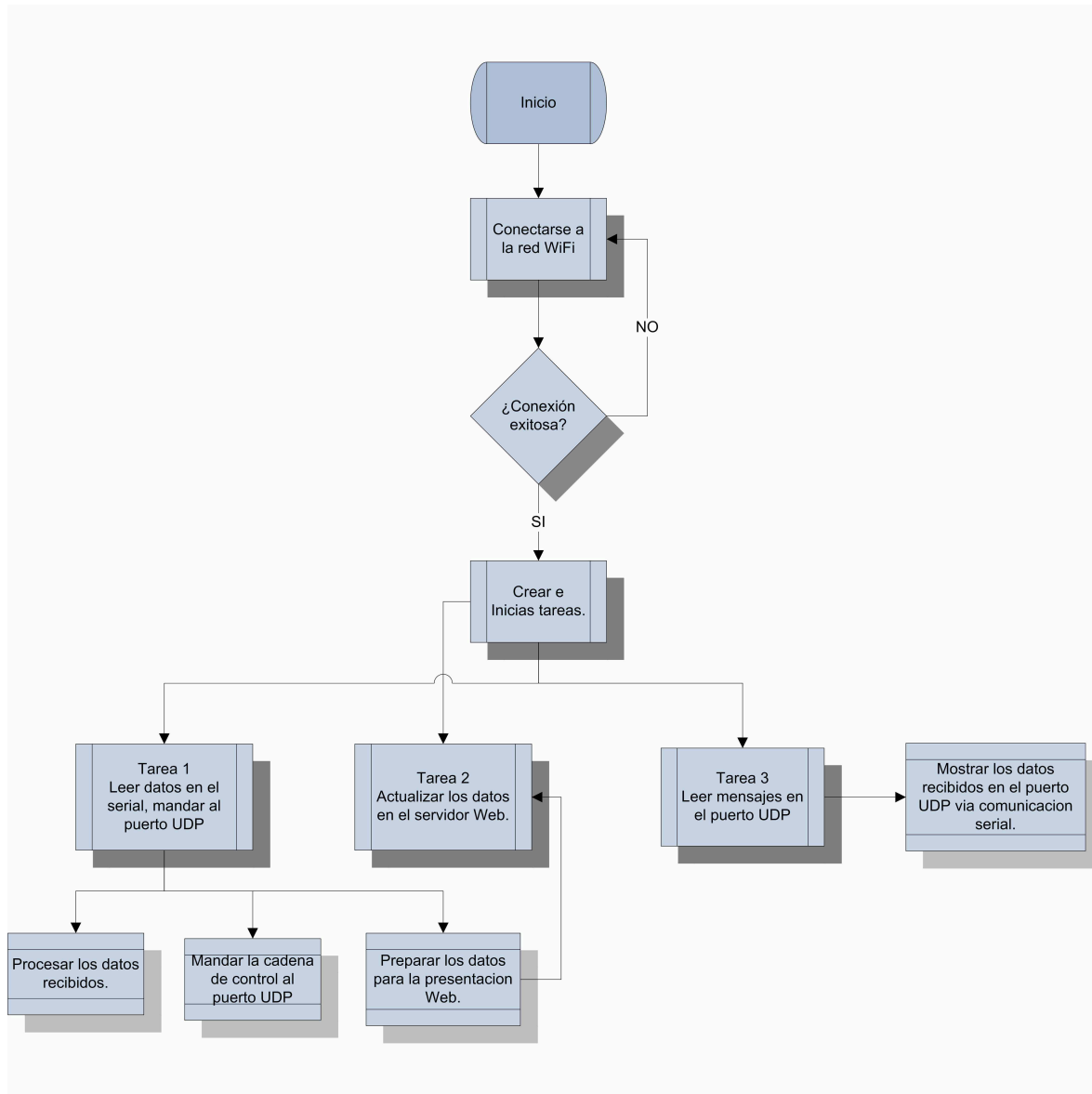


Figura 3.6: Diagrama de flujo del Sistema Rabbit - WSN.

Codificación Módulo Rabbit RCM5600w.

Entre las características que hacen a este módulo una herramienta muy útil se encuentra la utilización del compilador Dynamic C, en cual se cuenta con una programación muy enfocada a las necesidades de los sistemas embebidos. La programación se vuelve muy amigable gracias a las funciones para fines específicos que se encuentran ya construidas dentro de sus librerías. En la **sección A** de los apendices se pueden ver a detalle las funciones principales proporcionadas por Dynamic C para poder realizar las diferentes tareas.

Configuración del adc para xbee con transmisión de datos inalámbrica.

La señal de voltaje analógico de entrada se inyecta en la terminal 20 del circuito Xbee, ientras que en la patilla 6 se introduce el voltaje de referencia.

Se definio como $V_{ref}=V_{dd}$

Por lo tanto se tiene que el voltaje de entrada tendrá una excursión de 0 a 3.3 V con un adc de 10 bits lo que proporciona una resolución de:

0.0032258064516129 V.

Comandos utilizados:

- DL: Direccion de destino baja, Cuando se combina con DH , DL define la direccion de destino usada para la transmisión.
- MY: Dirección de 16 bits de origen.
- P0: Configuración del PWM0.
- IU: Habilita la entrada o salida de datos por la UART.
- IA: Configura la dirección del módulo con el que las salidas estan ligadas.
- DO: Configura el puerto 0 (pin 20) como entrada de adc.
- IR: Frecuencia de muestreo.
- IT: Numero de muestras recolectadas antes de transmitir el dato.

Ejemplo de trama (frame) obtenida obtenido por la UART en el módulo base ver figura 3.9.

7E 00 1C 83 56 78 22 00 05 06 00 00 00 03 FF 00 00 03 FF 00 00 03 FF 00 00 03 FF 00 00 03 FF 77

La descripción de la trama se indica a continuación:

7E Delimitador para comienzo

00 1C Longitud de la cadena

83 Identificador API Byte par 16bit de datos A/D (82 es para 64 bit A/D data)

56 78 Dirección destino

22 RSSI

00 Opciones

05 Cantidad de muestreo

06 00 Indicador del canal

00 00 Datos de muestra del canal 0.

03 FF Datos de muestra del canal 1.

77 CheckSum

Modo de dormir.

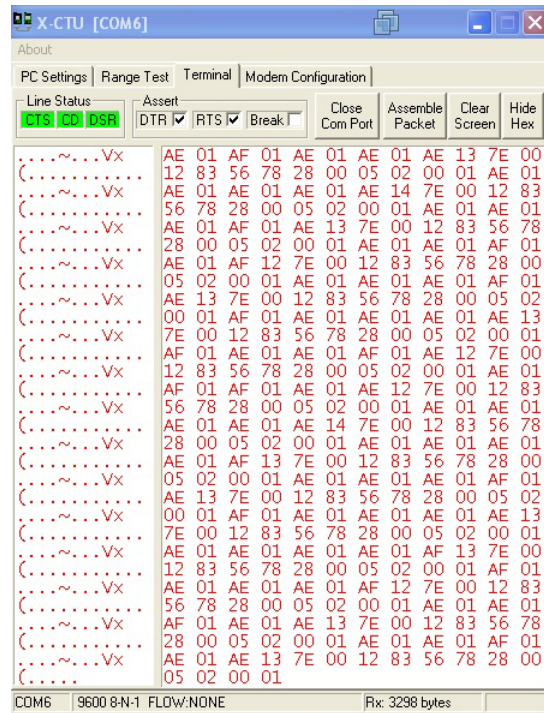


Figura 3.7: Trama Api mostrada en el XCTU

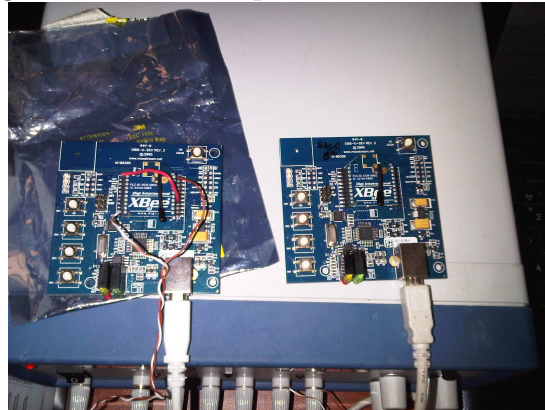


Figura 3.8: Conexión para prueba de envío de datos del adc.

Base	Remoto
CE = 1	DL = 5678
DL = 1234	MY = 1234
MY=5678	SM = 4
ST=1388	ST = 157C
SP = 226	SP = 1F4

En la figura 3.8 se muestra la conexión para la interacción de los módulos xbee. Funcionamiento de los comandos:

- ST: tiempo antes de dormir.
- SP: Tiempo de dormir.
- SM: Configurar el modo de dormir.

Importante, el mando SM contiene varios parametros, para éste caso se utilizó el 4 que es un ciclo de dormir comun, pero si se utiliza el parámetro 5 se puede despertar antes de que concluya el ciclo, en la figura ?? se puede ver un ejemplo del caso descrito.

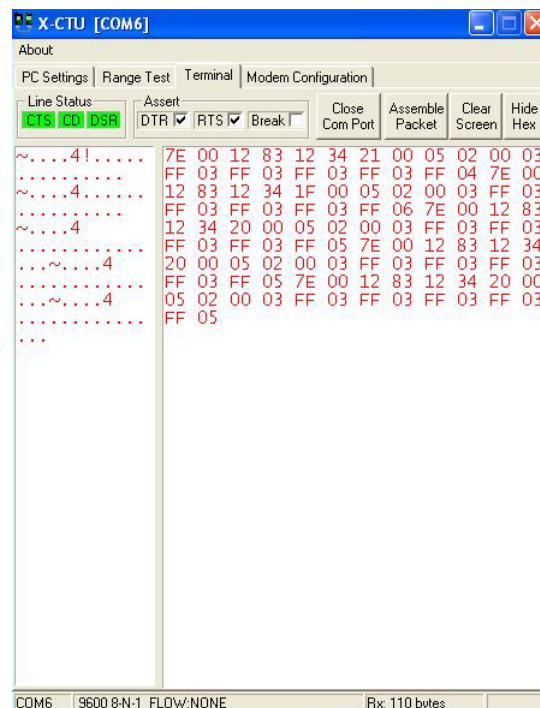


Figura 3.9: Trama Api mostrada en el XCTU.

3.4.2. Configuración final de los módulos Xbee.

Base	Remoto
CE = 1	DL = 5678
DL = 1234	MY = 1234
MY=5678	SM = 4
ST=1388	ST = 157C
SP = 226	SP = 1F4
IU = 1	D0 = 2
IA = 1234	IR = 14
.	IT = 5

3.4.3. Programa Servidor UDP en lenguaje Java.

Se desarrolló un programa en lenguaje java con la colaboración de alumnos de séptimo semestre de la materia Aplicaciones Distribuidas, el cual tiene las siguientes funciones:

- Capturar los paquetes recibidos en el socket UDP que son enviados por el módulo Rabbit.
- Automaticamente se crea un archivo de texto con un formato específico, el cual incluye la fecha con un formato de años a segundos y el valor del porcentaje de humedad.
- Al crear el archivo de texto éste se genera como un archivo temporal, al cerrar el servidor el nombre del archivo indicado corresponderá a la fecha inicial del primer paquete capturado.

El proyecto en lenguaje Java consta de los siguientes cinco paquetes de código: about.java, Cliente.java, Reloj.java, VentPrincipal.java.

Se utilizó el entorno de desarrollo de código abierto Netbeans IDE 7 una imagen capturada de la ventana de trabajo se muestra en la Figura 3.10.

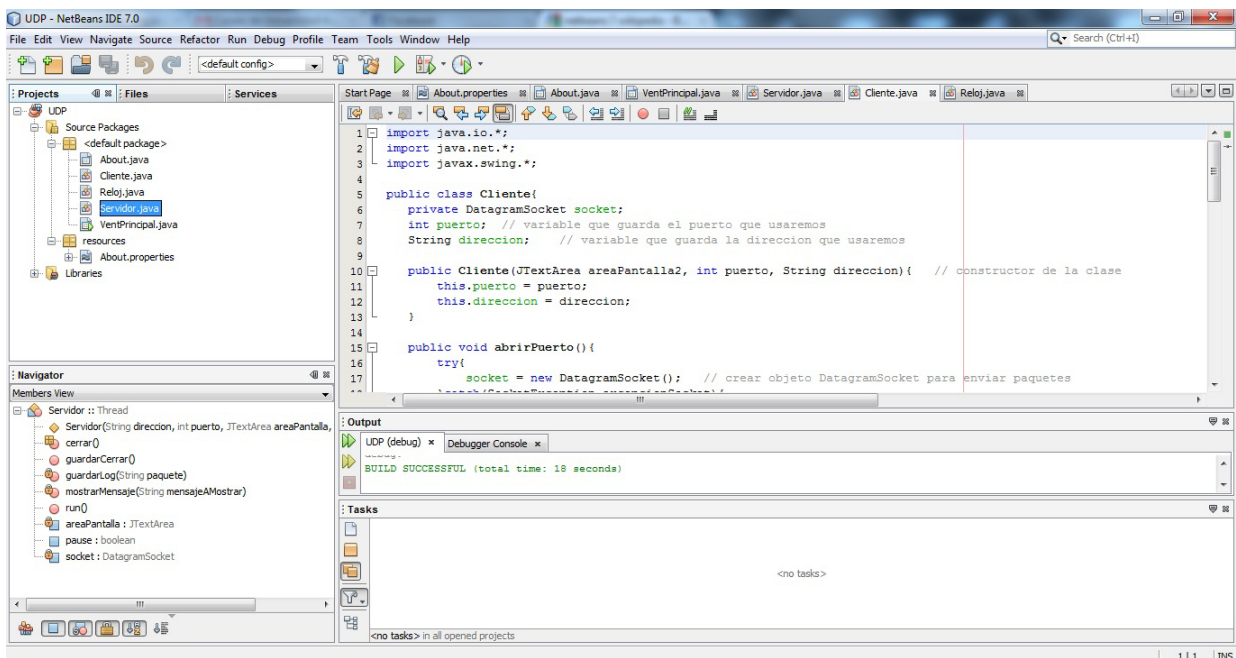


Figura 3.10: Netbeans compilador Java usado en la aplicación.

3.4.4. Resultados.

Una de las primeras pruebas realizadas con los módulos Xbee, correspondió a la captura de datos provenientes de un sensor, en donde se lee un canal del ADC (con el sensor de humedad HM1500) y se envían los datos por el radio al coordinador cada 9 segundos.

El nodo coordinador al recibir los datos del nodo remoto, genera una cadena de control la cual arroja la información relevante de la muestra tomada.

A continuación se muestran los resultados obtenidos con la implementación del Punte WiFi.

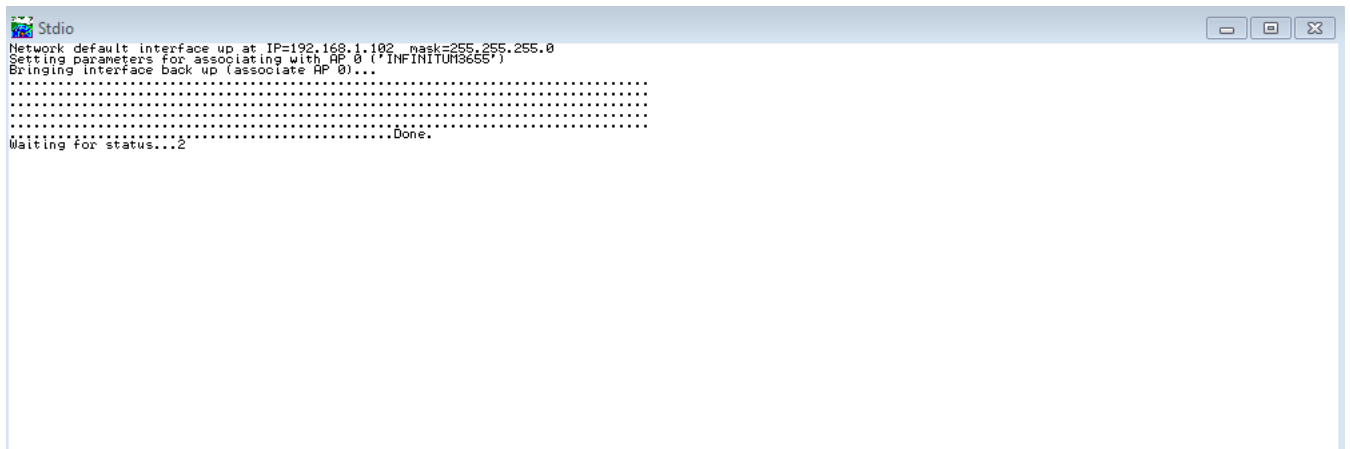


Figura 3.11: Asignación con cifrado WEP.

Se asigna el módulo a una red con cifrado WEP (ver figura 3.11).

En la figura 3.12 se puede observar en el modo de depuración (debug) como son transmitidos los datos del voltaje obtenido y el porcentaje de humedad.

Se puede observar el despliegue de los datos obtenidos mediante el módulo Rabbit en una página web (ver Figura 3.13), de forma intuitiva, inclusive a través de cualquier dispositivo que tenga acceso a redes WiFi, tal como un teléfono celular (tipo smartphone) o una computadora portátil por mencionar alguno.

Con ayuda del software Hercules de la empresa HW groupse pueden observar los paquetes UDP (e inclusive enviar paquetes bajo este mismo protocolo) con ayuda de la computadora configurada con el puerto 1234 abierto (ver figura 3.14).

Por ultimo en la figura 3.15 se puede observar en funcionamiento la aplicación Java, la cual crea el archivo de texto que incluye la fecha y el valor obtenido del sensor utilizando un formato de separación de valores por una coma para poder exportar los datos a una hoja de excel (por citar un ejemplo).

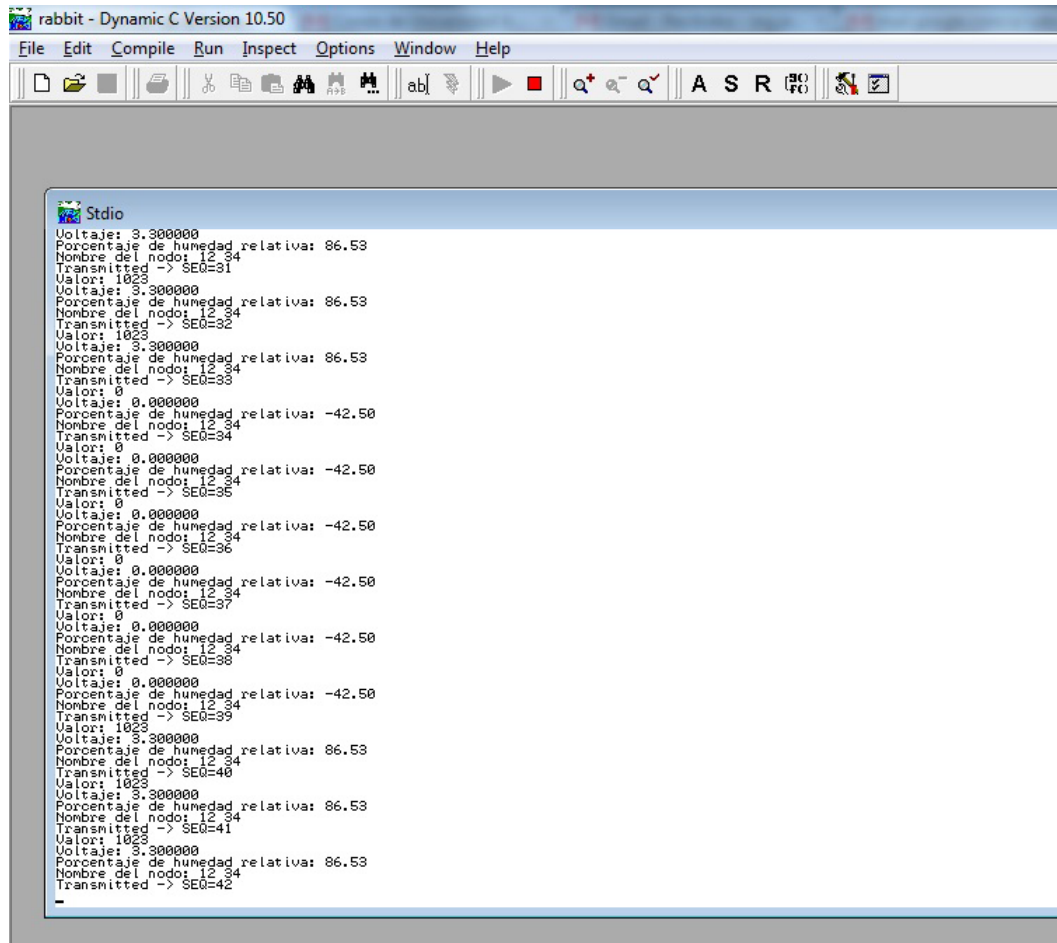
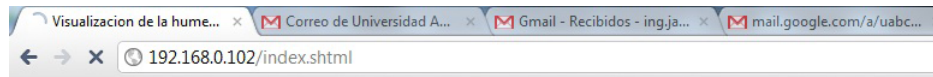


Figura 3.12: Ventana stdio Dynamic C.

3.5. La plataforma Pandaboard.

El sistema embebido o tarjeta Pandaboard es una plataforma basada en el procesador OMAP4430 la cual permite el acceso a muchas herramientas del procesador [Org., 2011]. Esto permite al usuario desarrollar software que explote la capacidad de este poderoso procesador. Con esta herramienta de desarrollo se puede implementar el manejo de muchas características importantes, que se citan en la tabla 3.1



Prueba de servidor web con rabbit

Sensor HM1500 valor

Porcentaje de Humedad: = 86.53%

Voltaje del sensor: = 3.30V

Nombre del nodo: = 1234

Figura 3.13: Pagina web de visualización de datos.

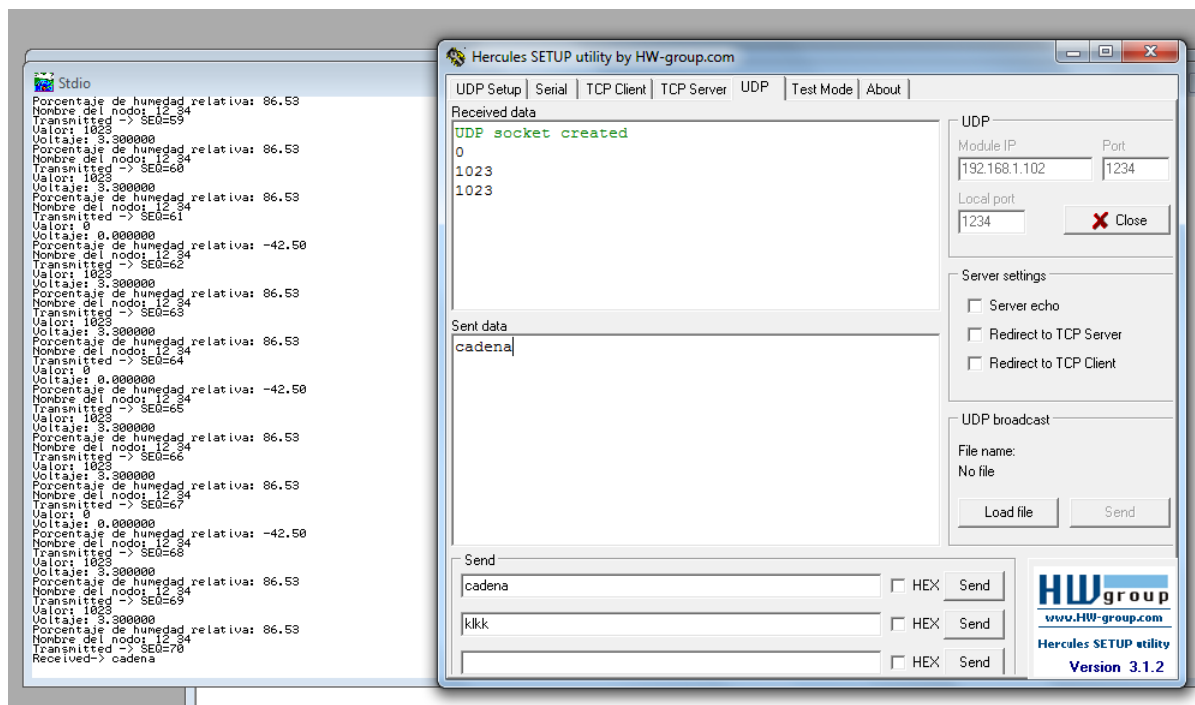


Figura 3.14: Recepción de cadenas mediante UDP.

En la figura 3.16 se muestra la distribución física de la plataforma de desarrollo Pandaboard, remarcando además sus principales componentes. De igual forma en la figura 3.17 se muestra su diagrama de funcionamiento respectivo.

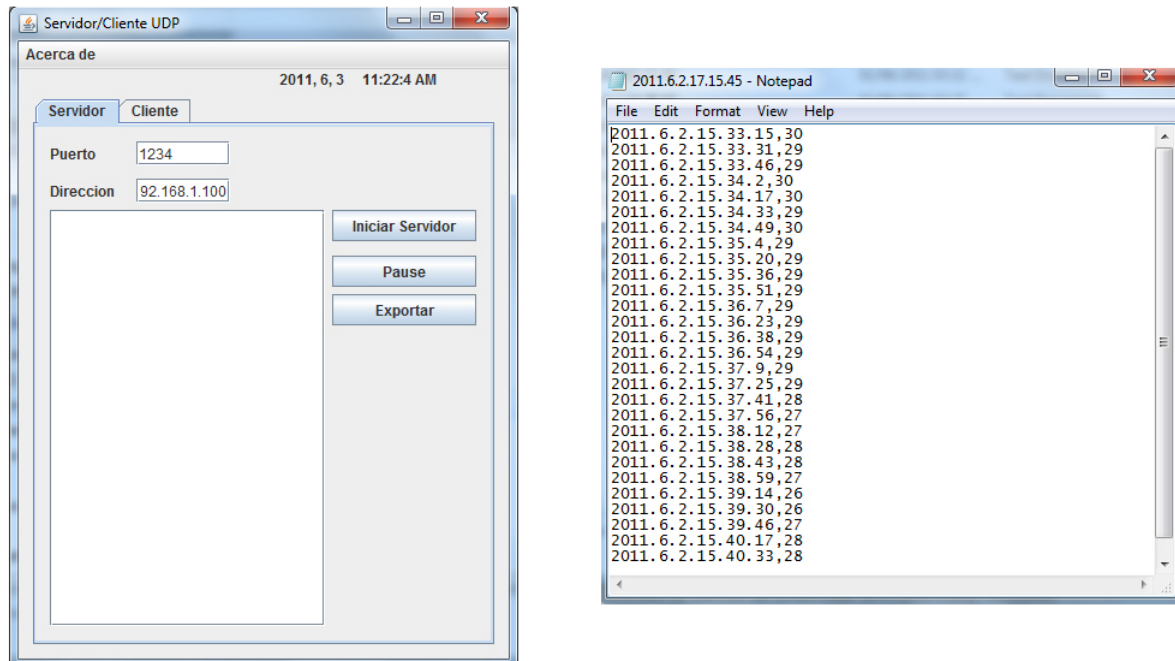


Figura 3.15: Uso de la aplicación Java para manejar el puerto UDP.

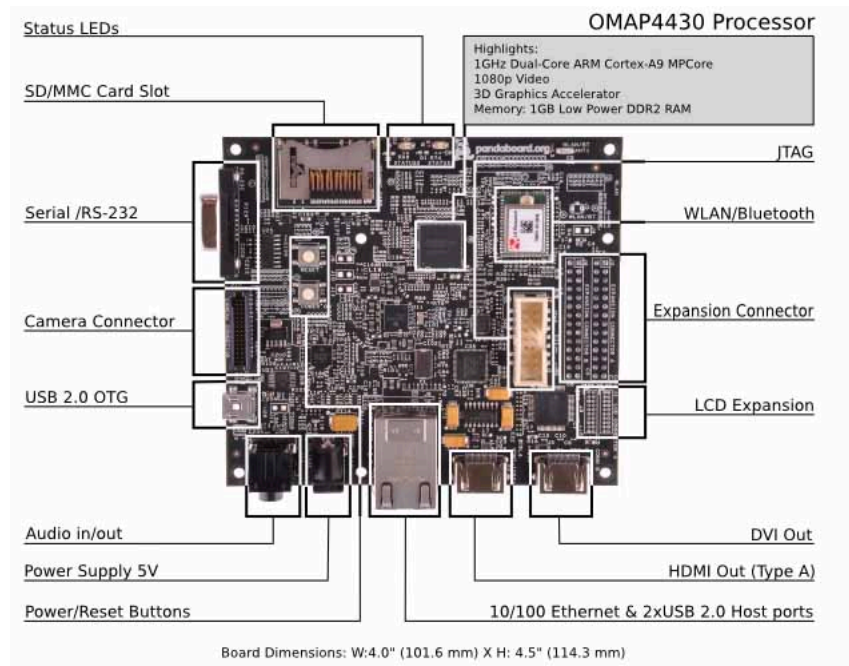


Figura 3.16: Plataforma Pandaboard con descripción de los componentes.

3.5.1. Instalación y configuración Linux en Pandaboard.

La plataforma Pandaboard es capaz de funcionar bajo el sistema operativo Linux, incluso puede desplegar su entorno de grafico. La forma más rápida y sencilla para

- Comenzar la instalación.

Para descargar los Pre-Built Binaries por ejemplo para la versión 10.10 de Ubuntu se puede acceder al siguiente link <http://cdimage.ubuntu.com/ubuntu-netbook/ports/releases/10.10/release/>.

Preparar la tarjeta “SD Card”.

Para poder montar los binarios en la SD Card primero se requiere preparar la memoria , esto se realiza corriendo desde la consola de Linux el script mkcard.sh, escribiendo el siguiente mando desde el directorio en donde se encuentre el script mkcard.sh :

```
sh mkcard.sh /dev/sdb
```

Esto hará que la “SD Card” cree las particiones adecuadas para poder montar Linux.

Copiar a la tarjeta SD los Archivos.

Pasos:

- Colocar la “SD Card” en la computadora.
- Asegurarse de que la “SD Card” no esté montado, si no desmontar.
- Identifique el nombre correcto del dispositivo (como /dev/sde - no /dev/sde1)
- Correr el comando en la consola para copiar los Binarios a la SD Card.

Comando para copiar los binarios :

```
zcat ./ubuntu-12.04-preinstalled-desktop-armhf+omap4.img.gz —sudo dd bs=4M of=/dev/sde  
; sudo sync
```

Otra opcion seria:

```
gunzip ubuntu-12.04-preinstalled-desktop-armhf+omap4.img.gz
```

```
sudo dd bs=4M if=ubuntu-12.04-preinstalled-desktop-armhf+omap4.img of=/dev/sde  
sudo sync
```

Posteriormente se inserta la “SD Card” en el Pandaboard se reinicia y se siguen las instrucciones de configuración.

3.5.2. Paqueteria Necesaria Pandaboard.

Linux Ubuntu, es un sistema operativo orientado a usuario, esto significa que tiene un enfoque en la facilidad de uso y mejorar la experiencia del usuario. Utiliza un Ker-

nel Linux y está basado en la distribución Debian de Linux.. En si está compuesto de múltiple “software” normalmente distribuido bajo licencia libre y código abierto.

El uso de Linux permite usar paquetería de código abierto o licencia libre, con la cual se pueden satisfacer las necesidades del proyecto, en específico la de guardar la información y mostrarla de forma amigable al usuario. A continuación se describirá la paquetería clave para el funcionamiento de la plataforma Pandaboard la cual será configurada como un Gateway para el sistema en desarrollo.

Servidor Apache (Apache Server).

El servidor Apache es la paquetería que permitirá mostrar los datos de la red de sensores mediante un navegador web en cualquier dispositivo que sea capaz de enlazarse a una red WiFi y que pueda correr un navegador web.

Apache es un servidor web HTTP de código abierto, compatible con Unix, Microsoft, Macintosh principalmente en donde implementa el protocolo HTTP 1.1 [Foundation, 2012].

La arquitectura del servidor Apache es modular, es decir que se tiene una sección tipo core y varios módulos que aportan funcionalidad para el servidor web. Entre los módulos contenidos se pueden citar:

- mod_ssl: Comunicaciones seguras via TLS.
- mod_rewrite: Reescritura de direcciones.
- mod_php: Paginas dinamicas en PHP.

Instalacion del Servidor Apache.

Para instalar el servidor Apache en el Pandaboard corriendo Linux Ubuntu, primero se abre una consola o terminal, y se ejecuta el mando siguiente:

```
sudo apt-get install apache2
```

cuando la instalacion finalice se puede comprobar si el servidor esta funcionando por medio del siguiente procedimiento: Se abre el navegador, y se escribe en la ventana de dirección `http://localhost` si se despliega "It Works" el servidor Apache está funcionando correctamente.

PHP.

El lenguaje de programación php proporciona la ventaja en una plataforma web, de correr junto con el servidor y esto permite la utilización de claves de forma segura.

Este lenguaje de programación es del tipo interpretado (también llamado script), diseñado originalmente para la creación de páginas web dinámicas. Puede ser desplegado en la mayoría de los servidores web y en casi todos los sistemas operativos. Lo cual para los requerimientos del proyecto se ajusta perfectamente [Group, 2012].

Procedimiento para instalacion de PHP.

Para instalar el paquete php se debe abrir una consola y escribir el siguiente comando:

```
sudo apt-get install php5 libapache2-mod-php5
```

Cuando la instalacion este lista se debe de reiniciar el servidor con el siguiente comando:

```
sudo /etc/init.d/apache2 restart
```

3.5.3. MySQL.

La paquetería MySQL es fundamental en el funcionamiento del Gateway, ya que esta se encarga directamente de almacenar de forma segura la información proveniente de la red de sensores.

MySQL es un sistema encargado de gestionar una base de datos del tipo relacional, es muy utilizado en aplicaciones web ya que es una base de datos muy rápida en la lectura cuando utiliza el motor no transaccional MyISAM. Es por estas características que se eligió como el sistema que soportara la gestión de la información contenida en el servidor web.

Instalacion de MySQL.

Para instalar el paquete MySQL se debe abrir la terminal de mandos y escribir la siguiente instrucción:

```
sudo apt-get install mysql-server libapache2-mod-auth-mysql php5-mysql
```

Posteriormente aparecerá una ventana solicitando el ingreso de una contraseña y un nombre de usuario, así como el tipo de servidor a utilizar (en este caso Apache2).

3.5.4. Funcionamiento de la tarjeta Pandaboard como “Gateway”.

En el sistema desarrollado la plataforma Pandaboard se configuró para funcionar como un “Gateway”. El “Gateway” es el dispositivo de más importancia en éste siste-

ma, dado que es el encargado de realizar el puente entre el estándar de comunicación 802.11 y 802.15.4; además procesa la información proveniente del coordinador de la red de sensores, ya estructurada la información la guarda en un archivo de texto para posteriormente mediante el uso de un script php almacenarla en una base de datos MySQL. Otra de las funciones fundamentales del Gateway es mantener en funcionamiento un servidor web el cual mediante el uso de java script, html y scripts php se encarga de desplegar la información contenida en la base de datos, de una forma amigable al usuario.

En la figura 3.18 se puede observar el diagrama de bloques del funcionamiento del “Gateway”.

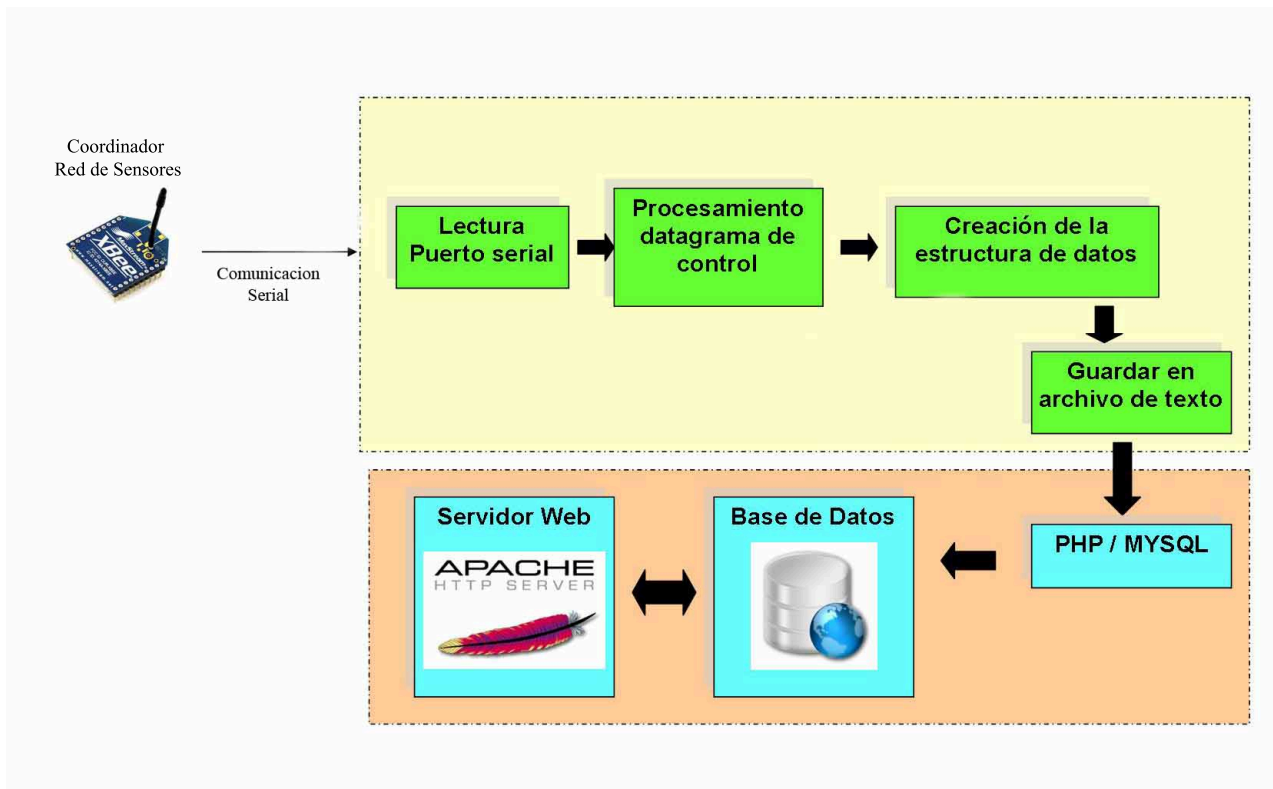


Figura 3.18: Procesamiento de datos en Pandaboard.

En la figura 3.19 se muestra el funcionamiento del programa encargado de recibir la información proveniente del coordinador de la red de sensores, creación de del datagrama y el almacenamiento en la base de datos.

Los datos al ser recibidos por el Pandaboard vía comunicación serial son procesados después de haber comprobado que se trata de una cadena correcta. El siguiente paso es la creación del datagrama que se almacena en un archivo de texto.

Uno más de los procesos realizados por esta rutina es la lectura del archivo de texto que contiene los datagramas creados por el programa, la rutina que indica las tareas a realizar se activa ejecutando un script php el cual toma el datagrama y lo guarda en la base de datos.

El script php utiliza funciones especiales para poder interactuar con la base de datos tales como: `mysqlconnect()`, `mysqlselectdb()` y `mysqlquery()` entre otros. En la figura 3.20 se representa el comportamiento de este script, para mas detalles de la interacción con la base de datos consulte en los anexos.

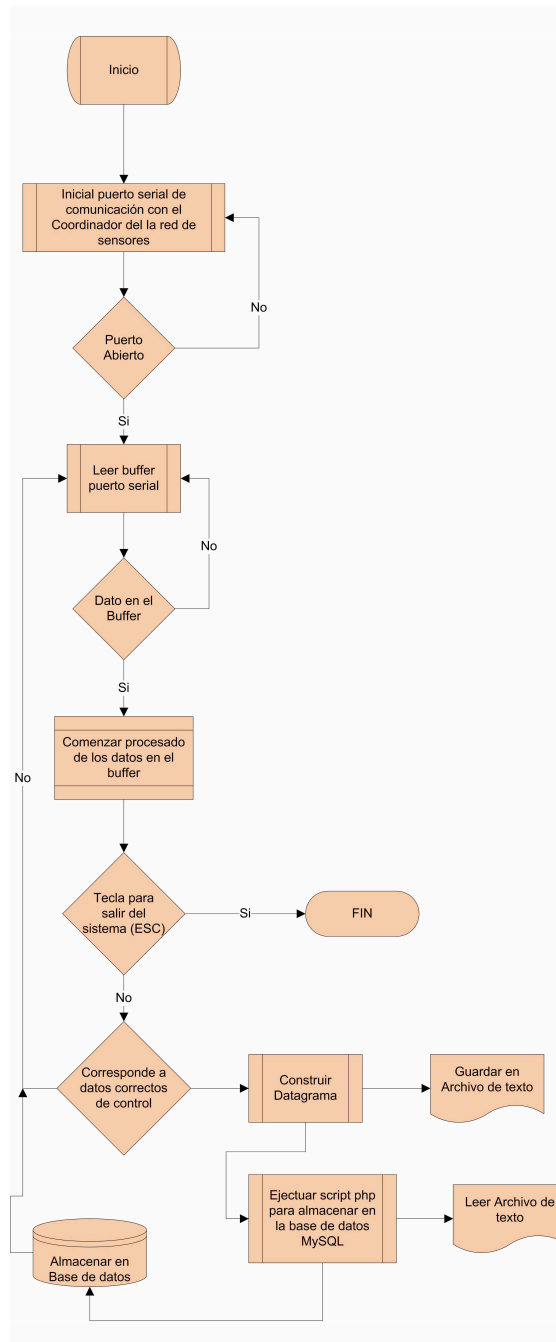


Figura 3.19: Creación de datagramas y almacenamiento en la base de datos.

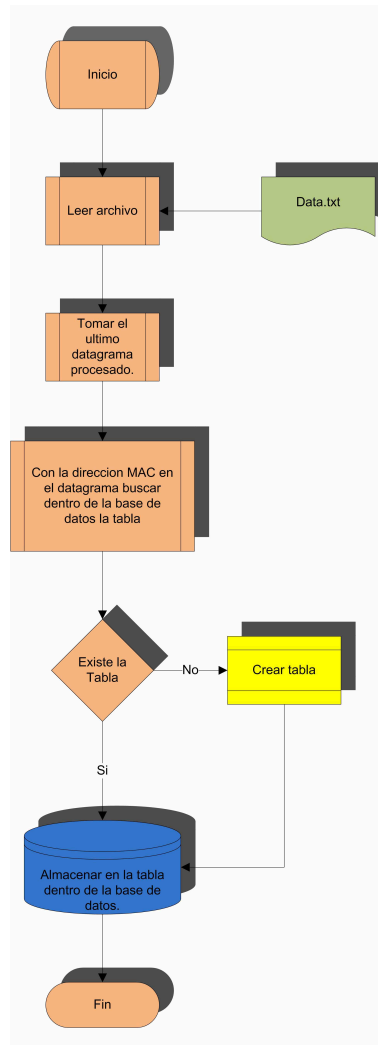


Figura 3.20: Script php para guardar los datagramas en la base de datos.

3.5.5. Servidor seguro para comandos (SSH).

Gracias a que el modulo de Pandaboard utiliza la distribución Ubuntu de Linux , permite correr mandos de control, visualización, configuración etc. Sin embargo, para poder configurar el modulo, es necesario acceder a la terminal de mandos, en un laboratorio ésta tarea se efectua fácilmente conectado un monitor y teclado como periféricos a la tarjeta Pandaboard, debido al objetivo final del trabajo, será necesario colocar el modulo dentro de un invernadero lo cual haría impráctico configurar la tarjeta Pandaboard mediante periféricos, por lo que se optó por instalar un servidor SSH.

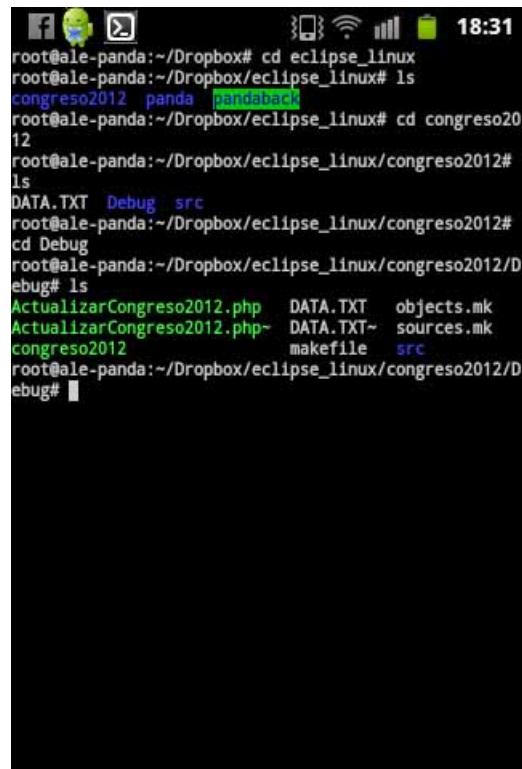
El módulo SSH (**S**ecure **S**hell) es un protocolo de comunicación que sirve para acceder a maquinas remotas a través de la red y permite controlar el equipo al que se conecta mediante una terminal de mandos.

Instalacion del módulo SSH..

Para instalar el módulo SSH se abre la terminal de mandos y se escribe la siguiente instrucción:

```
apt-get install openssh-server
```

En la figura 3.21 se muestra un ejemplo de acceso al Pandaboard mediante el uso de un cliente SSH instalado en un celular con plataforma Android. La utilización de aplicaciones como la mencionada en Android permite el control del Gateway remotamente.



```
root@ale-panda:~/Dropbox# cd eclipse_linux
root@ale-panda:~/Dropbox/eclipse_linux# ls
congreso2012  panda  pandaback
root@ale-panda:~/Dropbox/eclipse_linux# cd congreso20
12
root@ale-panda:~/Dropbox/eclipse_linux/congreso2012#
ls
DATA.TXT  Debug  src
root@ale-panda:~/Dropbox/eclipse_linux/congreso2012#
cd Debug
root@ale-panda:~/Dropbox/eclipse_linux/congreso2012/D
ebug# ls
ActualizarCongreso2012.php  DATA.TXT  objects.mk
ActualizarCongreso2012.php~  DATA.TXT~  sources.mk
congreso2012                makefile   src
root@ale-panda:~/Dropbox/eclipse_linux/congreso2012/D
ebug#
```

Figura 3.21: Cliente SSH corriendo desde un servidor con plataforma Android.

3.6. Presentación de la información de forma amigable al usuario.

La presentación de la información al usuario es la última etapa del proceso de la información dentro del sistema, es necesario que el usuario pueda ver de forma fácil y entendible la información, dado que el usuario final del sistema no siempre será un agrónomo, también se debe considerar que la presentación de los resultados sea fácilmente entendible para cualquier persona que la solicite. La información está contenida

dentro de la base de datos, es decir, dentro de los registros de las tablas solo se tendrá información del valor de los pasos de cuantización del convertidor analógico digital del modulo Xbee.

Por lo tanto cuando queremos acceder a la información de la base de datos y en específico a la de un sensor de un nodo, se buscara el nodo en una tabla la cual contiene la información de que tipo de sensores contiene ese nodo y así poder realizar las operaciones específicas para poder obtener el valor del sensor a partir de valor almacenado en la tabla de datos.

Hay dos formas en las que se muestran los datos a los usuarios, mostrar los datos actuales de cada nodo y que el usuario haga una solicitud para que se muestren los datos específicos de un sensor de un nodo específico, esta solicitud se procesara con la fecha específica a consultar.

En la figura 3.22 se observa el diagrama de flujo que muestra el procedimiento para desplegar los datos actuales de los sensores. En la figura 3.23 También se observan los datos consultados por un rango de fecha en particular así como nodo y sensor específicos.

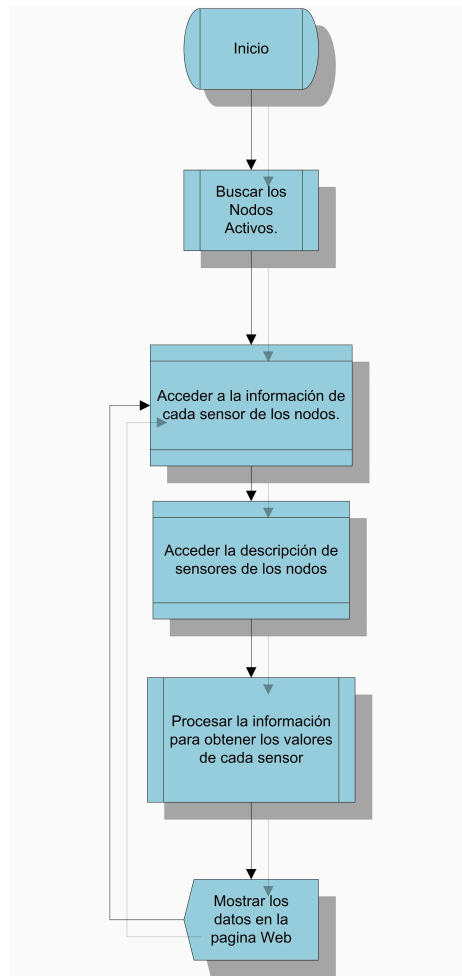


Figura 3.22: Procedimiento para desplegar datos actuales.

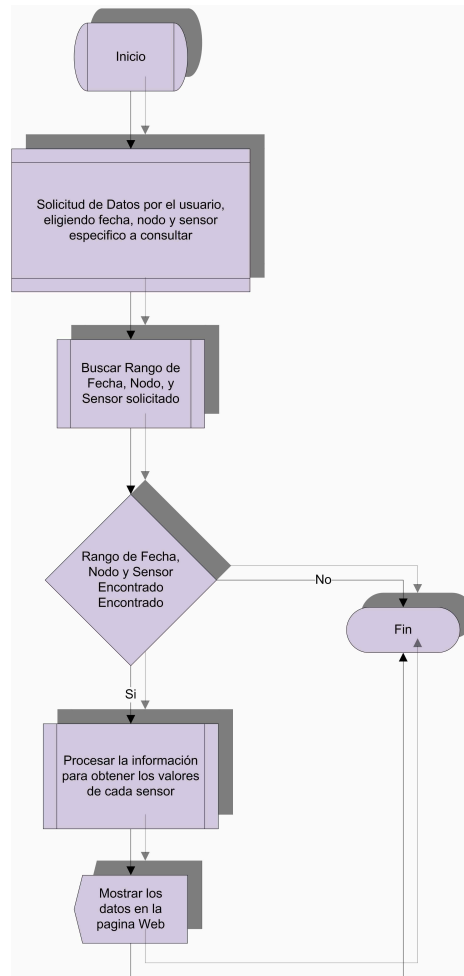


Figura 3.23: Procedimiento para mostrar los datos consultados por fecha, nodo y sensor.

3.7. Modulo Xbee S2B.

El modulo Xbee S2B de la empresa Digi Internacional está diseñado para operar dentro del protocolo Zigbee. El Xbee Zb esta basado en la serie de funciones de la pila de red mesh EmberZNET 3.x ZigBee Pro. Por otro lado, el firmware ZB y ZBNET 2.5 son similares en naturaleza , pero no en el aire, por lo tanto los dispositivos que usan ZNET 2.5 no pueden comunicarse con dispositivos que usan firmware ZB. Cabe mencionar que los dispositivos que utilizan la pila de ZigBee pueden manejar el enrutamiento en la capa de red, por lo que su conectividad es más confiable, permite que los paquetes enviados tengan varias rutas por donde llegar al coordinador, mejora el manejo de la información de los nodos y contribuye a la, compatibilidad e interaccion con otros dispositivos ZigBee.

Para poder tener una mejor referencia sobre los modulos Xbee S2B Pro, se puede

consultar [Digi, 2010d]. En la figura 3.24 se muestra el Módulo Xbee S2B.



Figura 3.24: Modulo Xbee S2B.

3.8. Sensores utilizados.

3.8.1. Sensor de temperatura.

El sensor de temperatura seleccionado para éste trabajo es el circuito integrado LM35 mosstrado en la figura 3.25, el cual Entre sus principales características, se puede mencionar que: tiene una precisión de 1 grado Centígrado (o Celsius), trabaja en un rango de temperatura de -55 hasta 150 grados celsius, su salida de voltaje es lineal y cada grado centígrado equivale a 10mV[Semiconductor.,].

Se puede ver su circuito básico en la figura 3.26.

Este práctico sensor es muy utilizado debido a que no requiere circuitos adicionales para su calibración, consume una baja corriente de alimentación lo que asegura un efecto de auto calentamiento muy bajo. A continuación se enlistan sus características:

- Calibrado directamente en grados Celsius.
- La tensión de salida es proporcional a la temperatura.
- Tiene una presición garantizada de 0.5 C a 25 C.
- Opera con una alimentación en el intervalo de 4 a 30 volts.
- Baja impedancia de salida.
- Baja corriente de alimentación (60uA).
- Bajo costo.

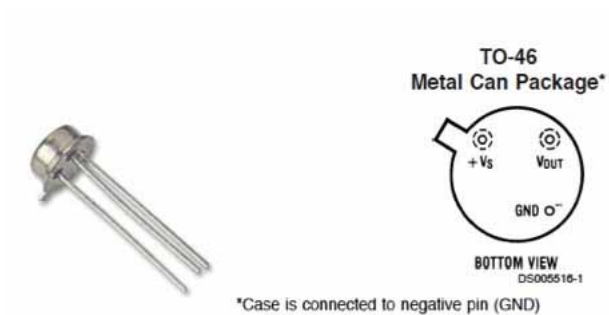


Figura 3.25: Sensor de temperatura LM35.

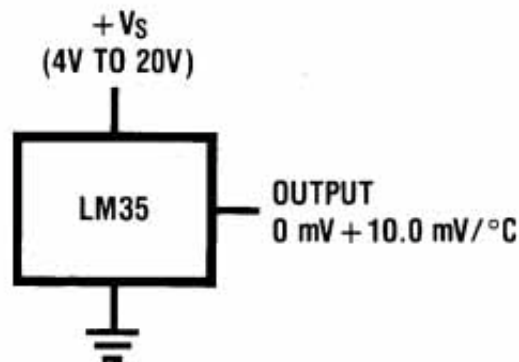


Figura 3.26: Sensor de temperatura básico LM35.

3.8.2. Sensor de humedad HUMIREL HM 1500

El sensor de humedad seleccionado mostrado en la figura 3.27 es del tipo capacitivo, proporciona una salida de voltaje lineal de 1 a 4 Volts (0 a 100 % RH)y se puede conectar directamente a un microcontrolador. Sus características se enlistan a continuación:

- Tamaño pequeño (52 mm de alto y 11 mm de ancho.)
- No es afectado por inmersión en agua.
- Alta fiabilidad y estabilidad.
- Calibrado dentro $\pm 5\%$ RH.
- Muy baja dependencia de temperatura.

En la figura 3.28 se muestra el comportamiento del voltaje del sensor con respecto a la humedad ambiental. La figura 3.29 muestra los voltajes dependiendo el porcentaje de

humedad relativa. El circuito de ejemplo para la utilización del sensor se muestra en la figura 3.30.



Figura 3.27: Sensor de humedad HM 1500.

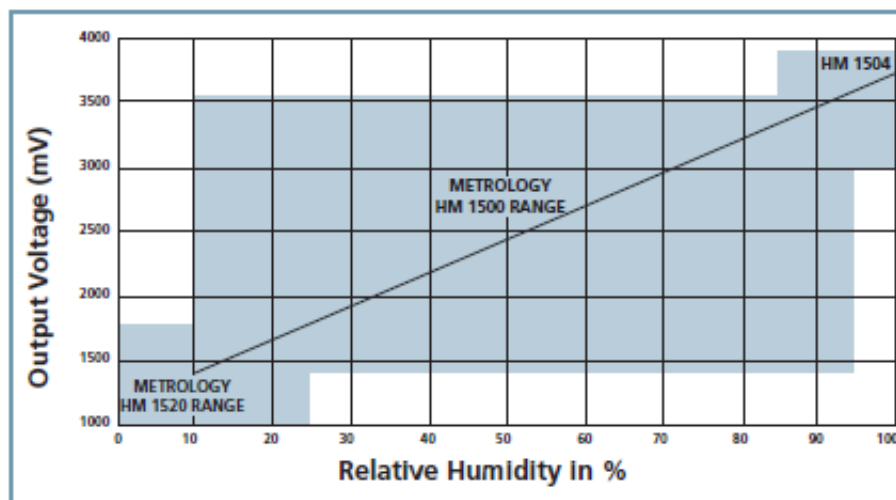


Figura 3.28: Comportamiento del voltaje con respecto a la humedad.

RH (%)	$V_{out}(mV)$	RH (%)	$V_{out}(mV)$
10	1325	55	2480
15	1465	60	2605
20	1600	65	2730
25	1735	70	2860
30	1860	75	2990
35	1990	80	3125
40	2110	85	3260
45	2235	90	3405
50	2360	95	3555

Figura 3.29: Tabla de referencia de voltajes.

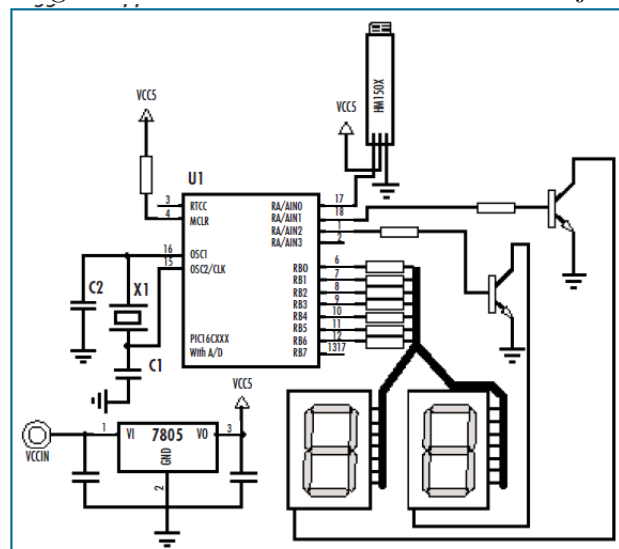


Figura 3.30: Ejemplo de circuito de aplicación típica.

3.8.3. Humedad del suelo

Para la medición de la humedad del suelo se utilizó el sensor 200SS-V de la compañía Irrometer mostrado en la figura 3.31. Este modelo del sensor entrega una salida lineal de voltaje con respecto a la humedad. Entre sus principales características se pueden mencionar:

- Calibración estable.
- Listo para usarse
- Totalmente de estado sólido.
- No es afectado por congelamiento.

- Compesación interna para salinidad.
- Compatible con muchos lectores de voltaje.
- Rango de medición de 0 a 239 kPa.
- No requiere mantenimiento.

El sensor es más ampliamente descrito tanto en su funcionamiento, construcción, comparación de funcionamiento y respuesta en el trabajo de tesis titulado Medición remota de Humedad del suelo de Javier Villagrana [en proceso].

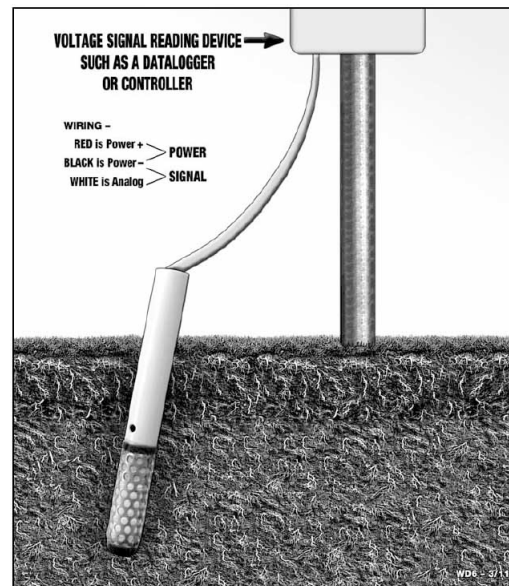


Figura 3.31: Sensor de Humedad del Suelo 200SS-V.

3.8.4. Temperatura del suelo.

Para la medición de temperatura del suelo se utiliza un sensor tipo termistor de la compañía Davis mostrado en la figura 3.32, el sensor originalmente se utiliza en sistemas completos comercializados por la misma compañía que lo fabrica. Este componente se utilizó también en la tesis de Javier Villagrana [Villagrana, 2011] en donde se describe con detalle la caracterización del dispositivo y se proporciona más información sobre la utilización del sensor.



Figura 3.32: Sensor de Temperatura del suelo.

3.9. Conversión de señales medidas a los valores de variables físicas correspondientes.

Para poder mostrar los valores de los sensores, es necesario tener una secuencia de instrucciones (script) que convierta el valor del voltaje de cada sensor a su valor de la variable física medida. En secciones anteriores de este texto se mostro el procedimiento para buscar los sensores y asociarlos con un archivo que contiene el procedimiento para la conversión de los valores. A continuación se describirá las ecuaciones usadas y la representación en el script php.

3.9.1. Ecuación para el sensor de Humedad Humirel.

La señal proveniente del sensor de Humedad Humirel se convirtió de voltajes a humedad con ayuda de la ecuación (3.1):

$$Humedad = ((0.0391 * Voltaje) * 1000) - 42.5 \quad (3.1)$$

Las instrucciones, escritas en lenguaje Php para calcular el porcentaje de humedad, se muestran a continuación:

```
$valor=((0.0391*$voltaje)*1000)-42.5;
```

3.9.2. Ecuación para el sensor de Temperatura del Suelo

Para calcular el valor de temperatura de suelo proporcionado por el termistor se utilizó el modelo de Steinhart utilizado en la tesis de Javier Villagrana [Villagrana, 2011], que básicamente se encarga de linealizar la respuesta del sensor. Las ecuaciones 3.2, 3.3, 3.4 son las constantes utilizadas en la ecuación.

$$A = 0.002773158328763 \quad (3.2)$$

$$B = 0.000250127116199 \quad (3.3)$$

$$C = 0.000000402941348 \quad (3.4)$$

$$temperatura = \frac{1}{A + B * \log(\frac{33}{voltaje} - 10) + (C * \log(\frac{33}{voltaje} - 10))^3} - 273.15 \quad (3.5)$$

Script en Php para calcular el porcentaje de humedad:

```
$valor= (1/($A + ($B*log($R)) + pow(($C*log($R)),3) )) ? 273.15;
```

3.9.3. Ecuación para el sensor de Humedad del Suelo.

Respecto a la medición de la Humedad del Suelo, fue necesario utilizar la ecuación 3.6

$$humedad = \frac{voltaje}{0.0117155} \quad (3.6)$$

Script en Php para calcular el porcentaje de humedad:

```
$valor=($voltaje/.0117155);
```

3.9.4. Ecuación para el sensor de Temperatura LM35.

Para el caso del sensor de temperatura LM35, solo fue necesario implementar la ecuación 3.7:

$$temperatura = \frac{voltaje}{0.01} \quad (3.7)$$

Script en Php para calcular la temperatura:

```
$temperatura=$voltaje/0.01;
```

3.10. Exportación de tablas directamente a Excel.

Una de las ventajas de trabajar con una base de datos como MySQL es la facilidad de interacción con otros programas para el manejo de datos. En éste caso se requiere poder exportar los datos a Microsoft Excel para su procesamiento posterior.

Lo anterior es muy útil dado que las personas encargadas de monitorear la producción y hacer sus balances administrativos dentro del sector agrícola usan comúnmente Excel. Teniendo ellos sus datos de producción y también los de medición de variables pueden que la misma herramienta hacer correlaciones para poder comparar entre diversos factores ambientales y sus resultados de producción.

En la figura 3.33 se puede ver el manejo de datos en Excel.

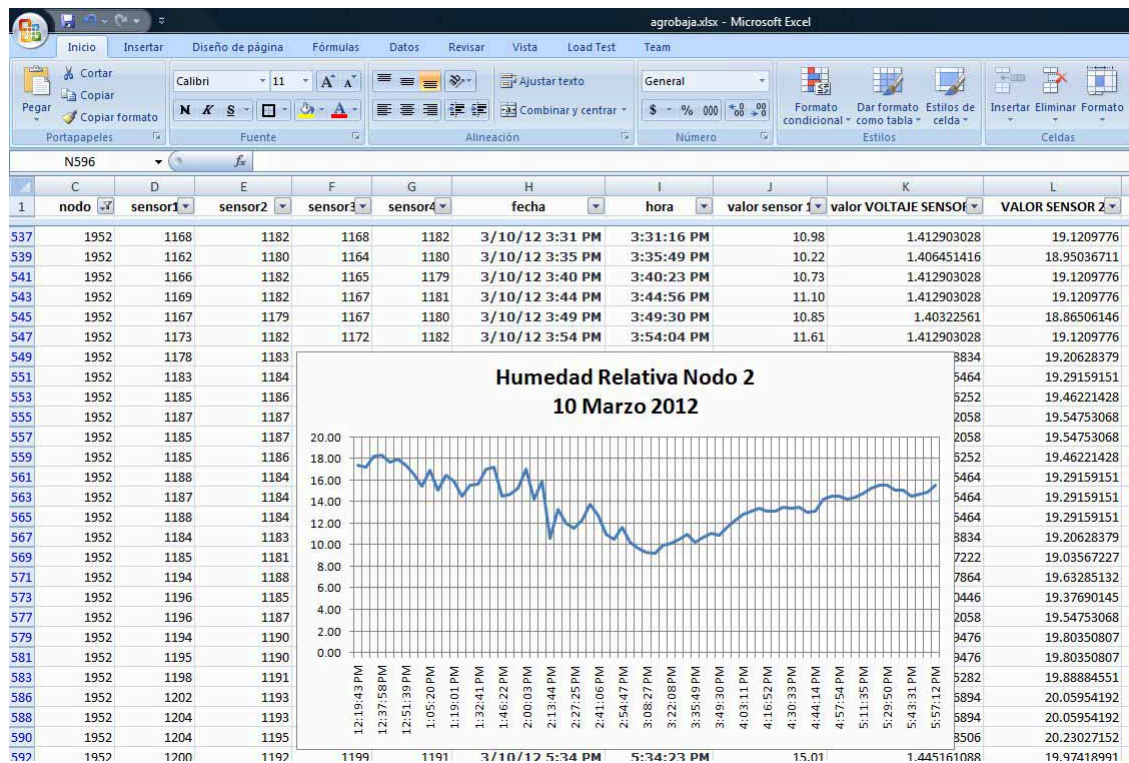


Figura 3.33: Exportación de datos a un documento de Excel.

3.10.1. Alimentación autónoma de energía.

Dado que una consideración para el diseño de módulos que operen de forma autónoma es que colecten la energía para auto-alimentarse, opto por utilizar paneles solares para poder recargar las baterías de los módulos.

El sistema de alimentación por paneles solares se desarrolló por otro miembro del Cuerpo Académico "Comunicaciones e Instrumentación Electrónica" de la FIAD-UABC [Villagrana,2012] y solo se integró como un módulo extra en éste trabajo.

3.11. Diseño de los nodos de la red en base al módulo Xbee.

A continuación se presentan las etapas para el diseño de la alimentación de los nodos en base al módulo de comunicación Xbee. El esquemático completo y el impreso de la tarjeta se encuentran en el anexo D.

Paneles Solares

Para el sistema de recarga de baterías se utilizaron dos paneles solares (figura 3.34), los cuales cuentan con las siguientes características:

- 6 Volts máximos de salida.
- 1 Watt máximo de salida.
- Pueden expandirse para proporcionar más corriente o voltaje.

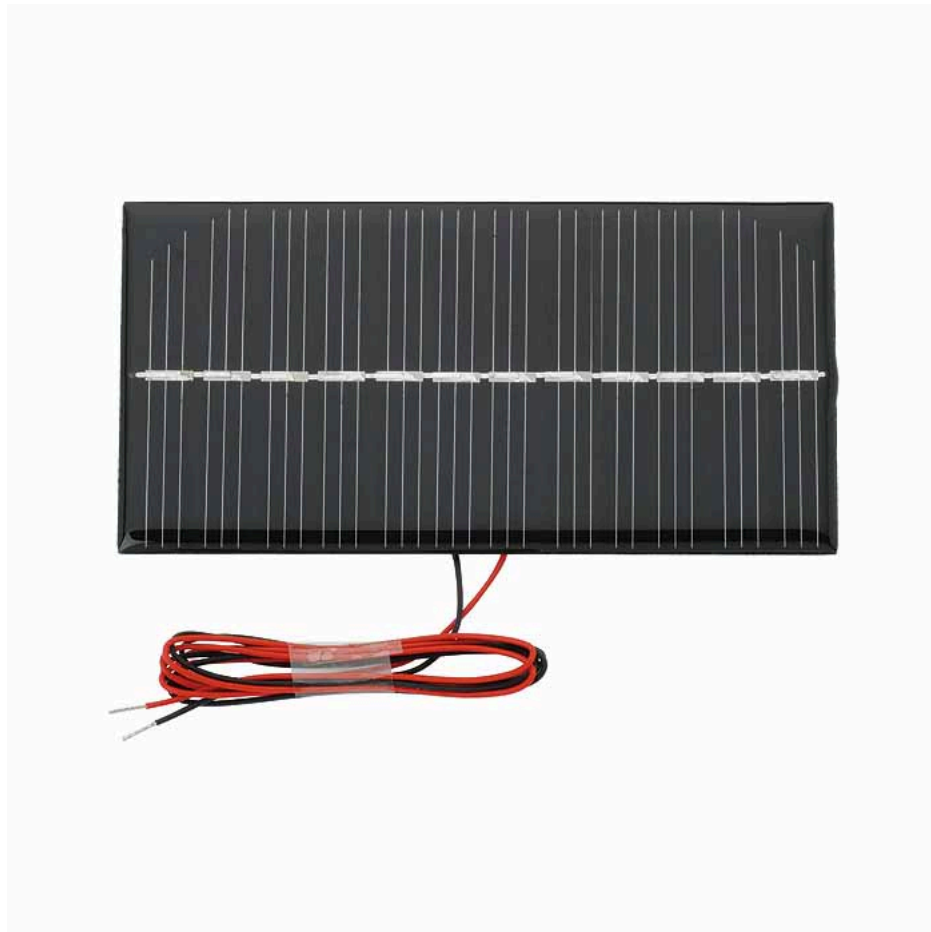


Figura 3.34: Paneles solares.

Baterías.

Para el almacenamiento de energía proveniente de los paneles solares se utilizan baterías como las mostradas en la figura 3.35, fue necesario conectar dos baterías en paralelo para tener el mismo voltaje pero mayor corriente.

Algunas de las características más importantes de las baterías son:

- Voltaje de salida de 3.7 V.
- Corriente de salida de 2600 mA.
- Tecnología Li-ion.



Figura 3.35: Baterías recargables empleadas en el módulo autónomo.

Circuito de carga.

Un punto importante en el sistema de recolección de energía solar es el circuito de carga utilizado. Para el sistema de recarga de baterías a base de paneles solares fue utilizado el circuito controlador de carga de la empresa Microchip MCP73833.

El controlador de carga MCP73833 es un circuito controlador ampliamente utilizado en la industria en equipos tales como: cámaras digitales, MP3 Players y teléfonos celulares entre otros. Sus características de voltaje, corriente y programación, los hacen muy prácticos a la hora de controlar la carga de baterías del tipo Li-Ion.

3.12. Configuraciones de nodo utilizadas para evaluar el desempeño del sistema.

Durante el desarrollo del sistema se probaron dos arquitecturas diferentes para evaluar el diseño del nodo sensor. La primera arquitectura se probó en un módulo construido para ser presentado en el evento Agrobaja 2012 realizado en la ciudad de Mexicali, en donde se mantuvo el sistema en operación intensiva durante tres días. El módulo con la segunda arquitectura fue probado bajo condiciones más estrictas en el laboratorio durante quince días consecutivos.

En la figura 3.36 se observa la arquitectura del nodo utilizado en Agrobaja en donde se muestra como se conectan los sensores directamente a los canales del convertidor analógico-digital del dispositivo Xbee. Por otro lado en la figura 3.37 se muestra como esta arquitectura difiere de la anterior al añadir un microcontrolador que recibe las señales provenientes de los sensores y este a su vez se conecta por medio del puerto serie al módulo Xbee para enviarle los datos.

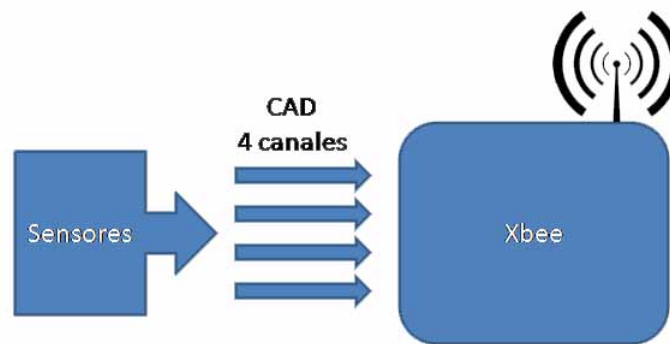


Figura 3.36: Arquitectura del Nodo Utilizado en Agrobaja.

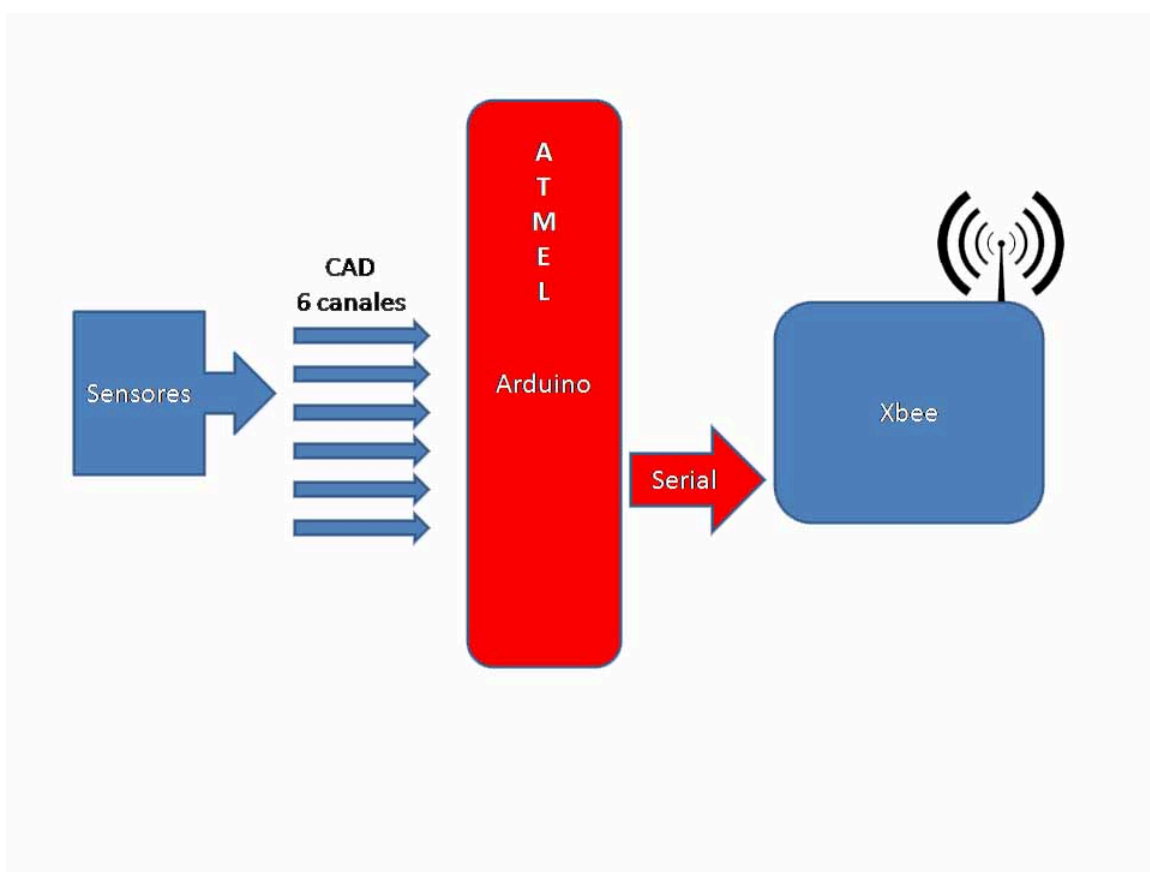


Figura 3.37: Arquitectura del Nodo Utilizado para el monitoreo en laboratorio.

Las diferencias principales que se observaron durante estas pruebas entre las diferentes arquitecturas es que en el primer caso el sistema se encontraría limitado en el número de sensores que se pueden conectar a cada nodo, sin embargo, se tendría un

ahorro de componentes al no usar un microcontrolador externo, además de reducir tanto el espacio requerido en el PCB como la energía demandada para su operación . Para cubrir las necesidades de un sistema con pocos sensores (en el módulo más austero del sistema empleado en el laboratorio de la FIAD solo se utilizan tres sensores por nodo), la arquitectura sin microcontrolador externo es más que suficiente para proporcionar el servicio.

Capítulo 4

Pruebas y Resultados.

4.1. Pruebas de señal de los radios Xbee Serie 1.

Para evitar la perdida de datos en la red de sensores, es necesario asegurar de que la red trabaje adecuadamente en el invernadero, con este propósito se hicieron pruebas de alcance de transmisión y recepción de señal en un invernadero con una superficie de dos Hectáreas.

En la figura 4.1 se muestra la distribución geográfica de los puntos en donde se colocaron los módulos para evaluar el nivel de señal recibida entre un nodo base y un nodo remoto. El nodo base se colocó en la puerta dentro del invernadero a una altura de dos metros y posteriormente afuera de la puerta, mientras que el nodo remoto se fue colocando sucesivamente en cada punto indicado, para tomar las lecturas de señal.

Las lecturas de señal se realizaron con ayuda del programa X-CTU para la prueba se configuró el sistema de manera que enviará un paquete en forma periódica del nodo base al nodo remoto, una vez recibido el paquete, el nodo remoto responde y el reconocimiento de recepción lo detecta el nodo base, por lo que se conoce el número de paquetes enviados y el número de paquetes recibidos correctamente, de esta manera se pueden contabilizar los paquetes enviados/recibidos para posteriormente calcular un porcentaje de efectividad de transmisión de paquetes.

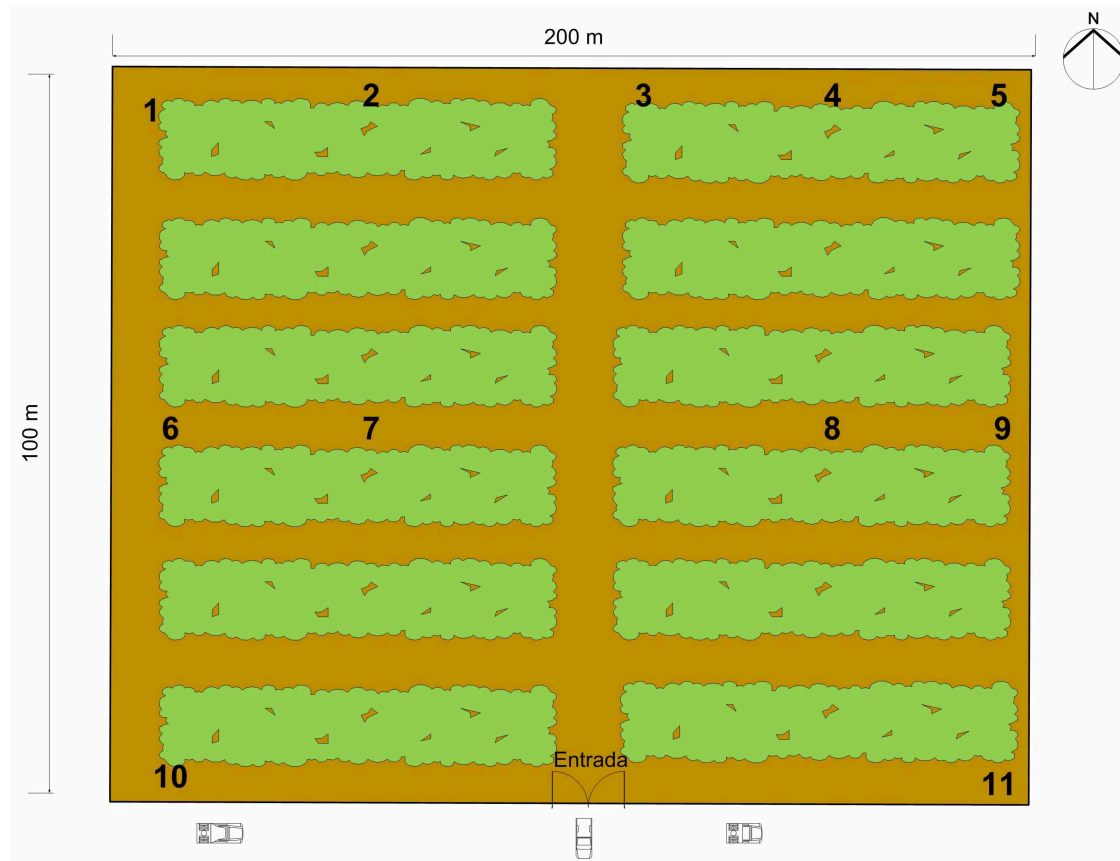


Figura 4.1: Distribucion geográfica de los puntos en donde se coloco el módulo remoto.

En la tabla 4.1 se indican los resultados de los paquetes de prueba enviados en cada punto en donde se coloco el nodo remoto. Hay dos columnas en la tabla, cada una corresponde al porcentaje de paquetes recibidos al hacerse dos pruebas, la primera con el coordinador dentro del invernadero colocado en la entrada por dentro del invernadero (se puede observar esto en la figura 4.1), la segunda prueba con el coordinador en la puerta del invernadero pero por fuera de este. Cada prueba se refleja en cada una de las columnas de la tabla (Dentro del Invernadero y Fuera del Invernadero).

Lugar	Dentro Invernadero %	Fuera Invernadero %
1	96.8	81
2	97.1	91
3	100	99.7
4	92	98.1
5	96.5	98
6	98.4	86
7	100	91.2
8	99.9	99.8
9	96.4	92.1
10	98	100
11	100	100

Tabla 4.1: Resultado de mediciones en Invernadero 2.

4.2. Pruebas realizadas a los radios Xbee S2B Pro.

Otra de las pruebas que se realizaron para evaluar el rango de señal de los radios en el invernadero, fue llevada a cabo con módulos Xbee de la serie 2 versión Pro.

Los módulos de la serie 2 contienen la capa física y de enlace de datos como en los de la serie 1, pero además contienen el stack de ZigBee. Esta característica les proporciona una gran ventaja, dado que la red puede crear caminos usando saltos, además de que la versión PRO de éstos módulos proporciona una señal radiada de mayor intensidad.

A continuación se muestra la prueba que se hizo en un invernadero de tres hectáreas, bajo condiciones de temperatura y humedad elevadas. En la figura 4.2 se puede observar la ubicación de los diferentes puntos en donde se colocó el nodo remoto. El nodo coordinador se ubicó en forma fija en el punto 1 del mapa, mientras que el nodo remoto se colocó en cada uno de los puntos restantes.

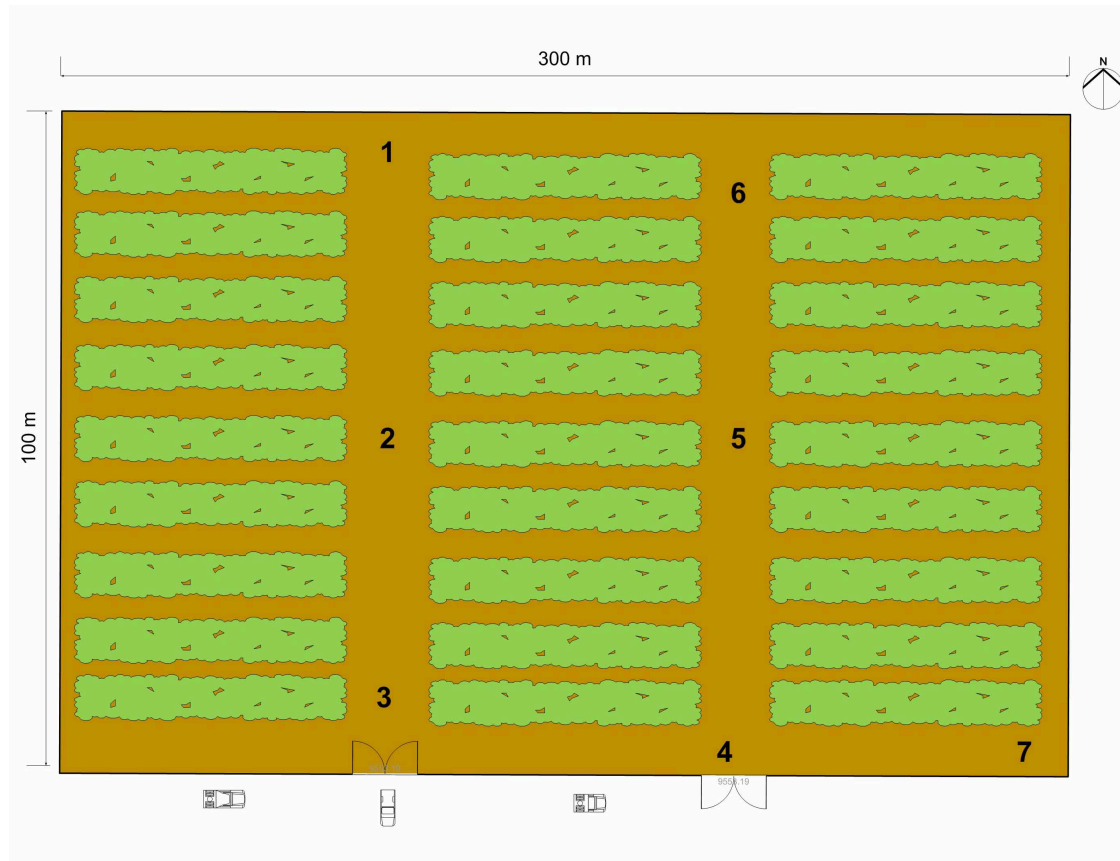


Figura 4.2: Mapa del Invernadero de 3 hectáreas.

Para verificar la información enviada/recibida por los nodos, se utilizó un analizador de redes **Ubiqua** de la empresa Ubilogix para capturar los paquetes recibidos por el aire y así evaluar la calidad de señal en los diferentes puntos del invernadero, así como, en conjunto con este se utilizó un dispositivo (sniffer) para capturar los paquetes figura 4.3 .

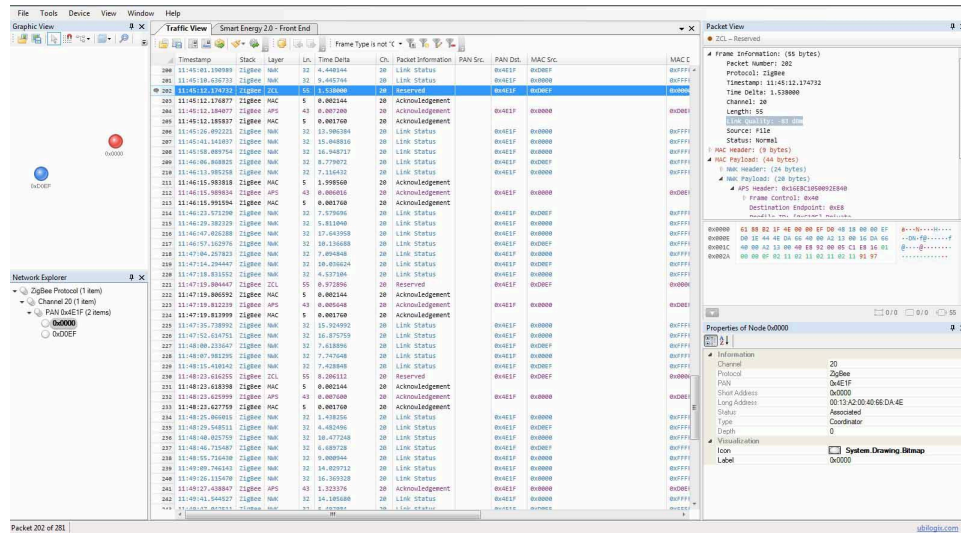


Figura 4.3: Analizador de 802.15.4 para ver los paquetes en el aire.

En la tabla 4.2 se mostraran lo calidad de señal en cada punto de medición del invernadero.

Lugar	Link Quality dBm
2	-45
3	-65
4	-83
5	-73
6	-66
7	-85

Tabla 4.2: Resultado de mediciones en Invernadero 3 hectáreas.

4.3. Pruebas de red con los módulos Xbee S2B Pro.

Uno de los motivos para cambiar los módulos Xbee de la serie 1 a los módulos de la serie 2, es que los segundos pueden usar el “stack” de ZigBee, lo que permite usar las opciones de red y así realizar topologías más complejas.

Las pruebas realizadas en el invernadero con los módulos Xbee S2E Pro aseguran que los paquetes enviados son correctamente recibidos en los dos puntos más extremos del invernadero, pero para asegurar que los paquetes lleguen a su destino con una mejor probabilidad se uso una red tipo “mesh” en donde se utilizaron los módulos en configuración tipo “router”, así se crearon saltos entre los dispositivos más alejados y el coordinador.

A continuación se mostraran las pruebas que se hicieron de enrutamiento. Para monitorear y analizar los paquetes enviados por el aire se uso la herramienta **Ubiqua**.

Se usaron un coordinador y 4 “router”, alejando un “router” cada vez a mayor distancia del coordinador. Los “routers” fueron configurados para que cada minuto mandan el valor de sus cuatro canales ADC.

En la figura 4.4 se puede observar la topología que se forma durante la asociación a la red por parte de los routers.

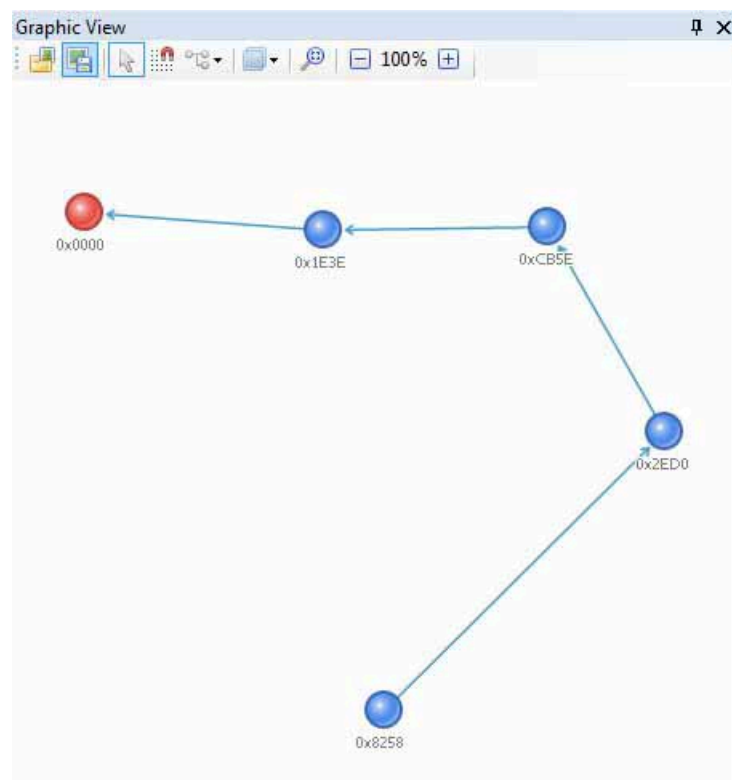


Figura 4.4: Vista del enrutamiento durante la asociación a la red.

En la figura 4.5 se pueden observar las direcciones de red pertenecientes a la red formada.

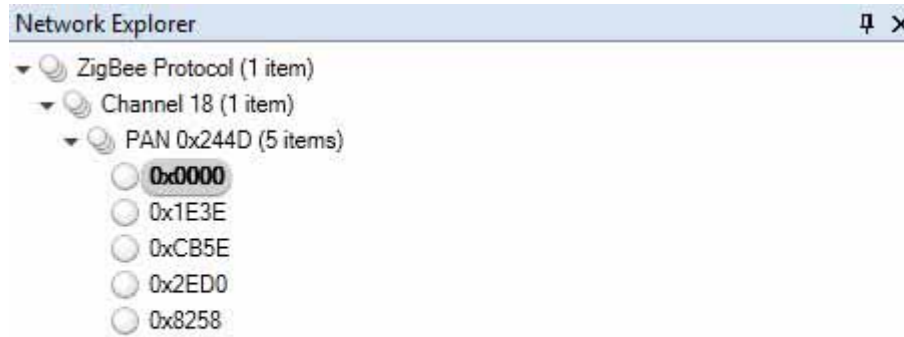


Figura 4.5: Direcciones dentro de la red.

La capa de red es la encargada de crear las rutas para el envío de los mensajes (en este caso los provenientes de cada nodo al coordinador con la informacion de los canales ADC). En la figura 4.6 se pueden ver los paquetes “Route Request” y “Route Reply” encargados para el del enrutamiento de los nodos.

Timestamp	Stack	Layer	Ln.	Time Delta	Ch.	Packet Information	PAN Src	PAN Dst	MAC Src	MAC Dst	Frame Information: (59 bytes)
1:21:26.945395	ZigBee	NWK	33	0.007968	18	Route Request		0x244D	0x1E3E	0xFFFF	MAC Header: (8 bytes)
1:21:26.987500	ZigBee	NWK	33	0.042104	18	Route Request		0x244D	0x8258	0xFFFF	MAC Payload: (48 bytes)
2:21:27.096443	ZigBee	NWK	33	0.108304	18	Route Request		0x244D	0xCB5E	0xFFFF	MAC Header: (24 bytes)
3:21:27.153213	ZigBee	NWK	33	0.054769	18	Route Request		0x244D	0x2ED0	0xFFFF	MAC Payload: (24 bytes)
4:21:27.246532	ZigBee	NWK	59	0.095320	18	Route Reply		0x244D	0x0000	0xCB5E	Command Payload: (24 bytes)
5:21:27.248812	ZigBee	MAC	5	0.002280	18	Acknowledgement					NWK Command ID: [0x02] Route Reply
6:21:27.253396	ZigBee	NWK	59	0.004584	18	Route Reply		0x244D	0xCB5E	0x8258	NWK Command Payload: 0x01000002580130
7:21:27.255667	ZigBee	MAC	5	0.002272	18	Acknowledgement					Route Reply Options: 0x30
8:21:27.337307	ZigBee	NWK	33	0.081640	18	Route Request		0x244D	0x8258	0xFFFF	... 0000 = Reserved: 0x0
9:21:27.398020	ZigBee	NWK	38	0.433512	18	Link Status		0x244D	0x8258	0xFFFF	...1 = Originator IEEE Address Included: [0x1] Yes
10:21:29.142044	ZigBee	NWK	41	1.171324	18	Link Status		0x244D	0xCB5E	0xFFFF	...2 = Responder IEEE Address Included: [0x1] Yes
11:21:32.359956	ZigBee	NWK	38	3.237912	18	Link Status		0x244D	0x0000	0xFFFF	...0 = Multicast Route Reply: 0x0
12:21:33.358668	ZigBee	NWK	38	0.998712	18	Link Status		0x244D	0x2ED0	0xFFFF	...0 = Reserved: 0x0
13:21:39.180332	ZigBee	NWK	41	5.837664	18	Link Status		0x244D	0x1E3E	0xFFFF	Route Request ID: 0x00
14:21:43.483684	ZigBee	NWK	38	4.257352	18	Link Status		0x244D	0x8258	0xFFFF	Originator Address: 0x8258
15:21:43.736908	ZigBee	NWK	41	0.283216	18	Link Status		0x244D	0xCB5E	0xFFFF	Responder Address: 0x0000
16:21:48.079108	ZigBee	NWK	38	0.342280	18	Link Status		0x244D	0x0000	0xFFFF	Path Cost: 0x01
17:21:49.153048	ZigBee	NWK	38	1.074760	18	Link Status		0x244D	0x2ED0	0xFFFF	MAC Footer: 0xFFFF
18:21:52.054004	ZigBee	ZCL	47	2.908056	18	Reserved		0x244D	0x2ED0	0xCB5E	
19:21:52.055892	ZigBee	MAC	5	0.001888	18	Acknowledgement					
20:21:52.058860	ZigBee	ZCL	47	0.002568	18	Reserved		0x244D	0xCB5E	0x0000	

Figura 4.6: Paquetes enviados para crear las rutas de información.

En la figura 4.7 se presenta un ejemplo de cómo un nodo sigue el mecanismo de enrutamiento para hacer llegar los mensajes al coordinador, los paquetes 258 y 260 muestran como el nodo 0x2ED0 tiene que mandar el mensaje al coordinador; por lo tanto lo envía primero a un nodo más cercano 0xCB5E y este los redirige al coordinador 0x0000 y a su vez los mensajes “Acknowledgements” son enviados por el mismo camino para responder al nodo originador.

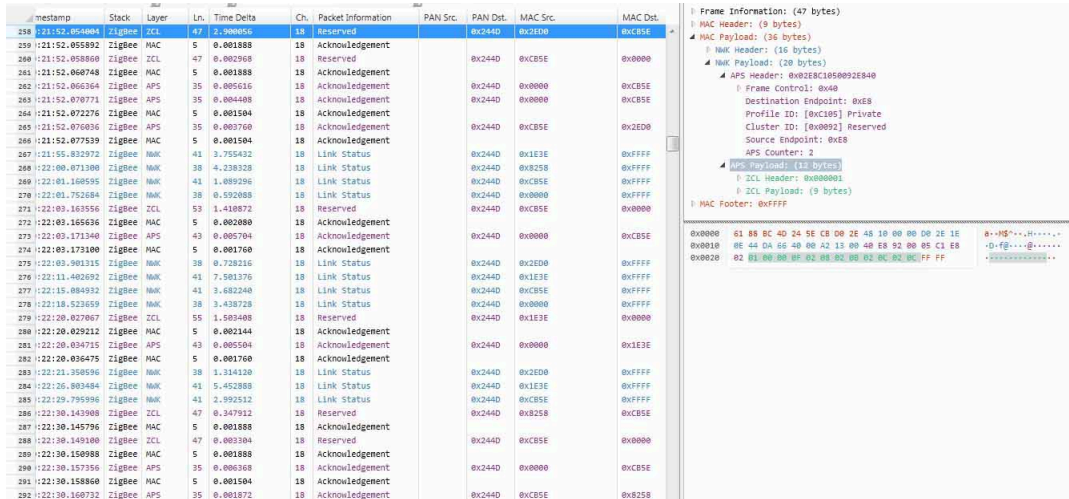


Figura 4.7: Paquetes de los canales ADC de los nodos enviados mediante la ruta creada.

4.4. Pruebas de captura de datos con el sistema y visualización de la información.

4.4.1. Monitoreo en Agrobaja.

Durante el evento realizado en la ciudad de Mexicali, se puso a funcionar el sistema aproximadamente ocho horas diariamente durante tres días. Los sensores que se utilizaron fueron uno de humedad relativa del ambiente y otro de temperatura. La toma y envío de muestras por el nodo sensor se llevaba a cabo cada 5 minutos, las figuras 4.11 - 4.13 muestran las graficas de la toma de datos tanto de la temperatura como de la humedad durante estos tres días.

Los datos están graficados por cada día dentro del evento, así como por sensor.

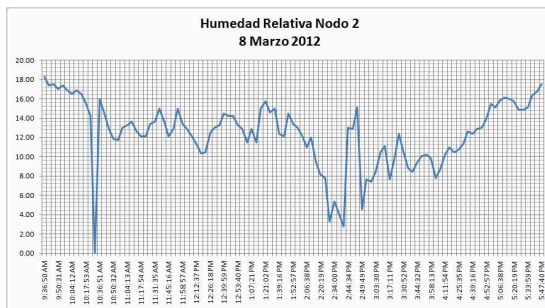


Figura 4.8: Primer día Agrobaja Gráfica de Humedad Relativa.

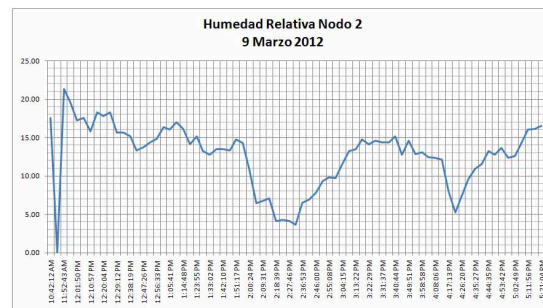


Figura 4.9: Segundo día Agrobaja Gráfica de Humedad Relativa.

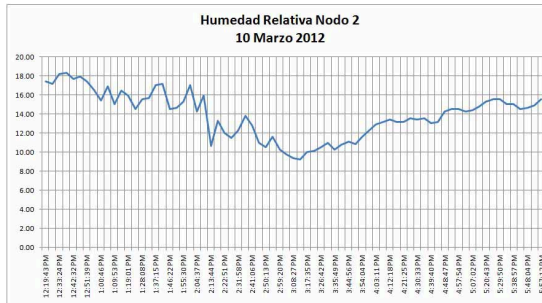


Figura 4.10: Tercer día Agrobaja Gráfica de Humedad Relativa.

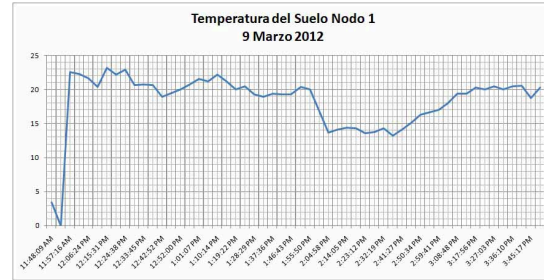


Figura 4.12: Segundo día Agrobaja Gráfica de Temperatura del Suelo.

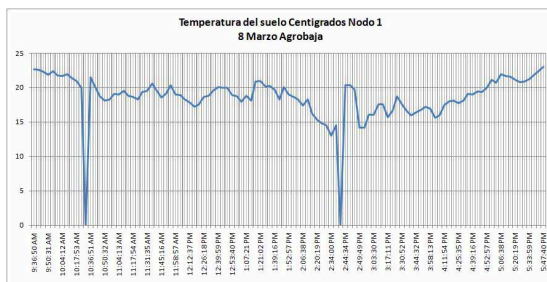


Figura 4.11: Primer día Agrobaja Gráfica de Temperatura del Suelo.

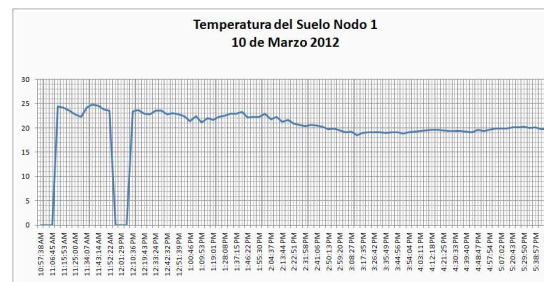


Figura 4.13: Tercer día Agrobaja Gráfica de Temperatura del Suelo.

En cada gráfica se puede observar como la señal súbitamente cambia a cero, esto debido en que en ciertos instantes el nodo sensor se desconecta, o el sensor fue accidentalmente desconectado.

4.4.2. Monitoreo en el laboratorio

Durante la prueba realizada en el laboratorio se tuvo la oportunidad de monitorear un experimento de un alumno de Doctorado (evaluación de evolución de maduración de frutos), el cual consistía aislar chiles habaneros para ver su evolución en cuanto a maduración en condiciones controladas de humedad, temperatura e iluminación. Se controló el experimento encerrando los chiles habaneros en el laboratorio, durante quince días, evitando que se abriera la puerta o ventanas y por lo tanto aislando a las muestras de la luz solar.

Este experimento ofreció la oportunidad de tener un funcionamiento constante del sistema durante un periodo largo de tiempo así como validar la información que el sistema recopiló y almaceno en su base de datos.

Durante las prueba se monitoreo el experimento desde internet, accediendo al ser-

vidor web para ver los datos actuales así como los históricos de la base de datos.

Después del periodo del experimento, se accedió a la base de datos, las tablas se exportaron a Excel y se graficaron los datos. A continuación en las figuras 4.14 - 4.22 se pueden ver el comportamiento de los tres nodos, cada uno con tres sensores (temperatura, humedad e intensidad lumínica).

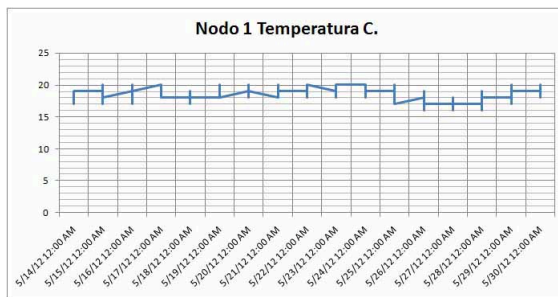


Figura 4.14: Temperatura Nodo 1.

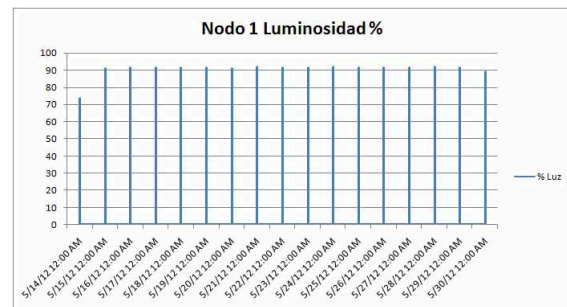


Figura 4.17: Luminosidad Nodo 1.

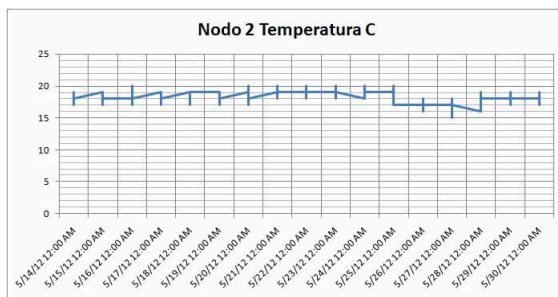


Figura 4.15: Temperatura Nodo 2.

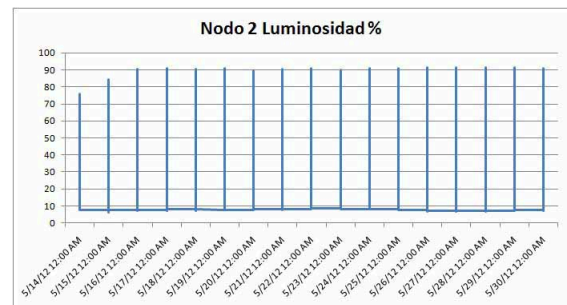


Figura 4.18: Luminosidad Nodo 2.

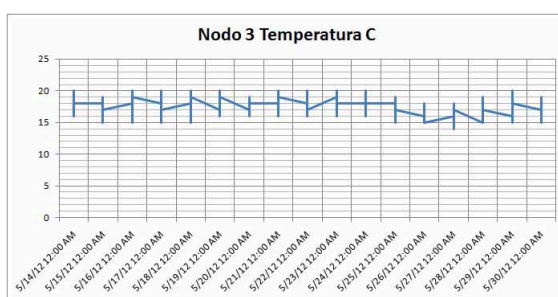


Figura 4.16: Temperatura Nodo 3.

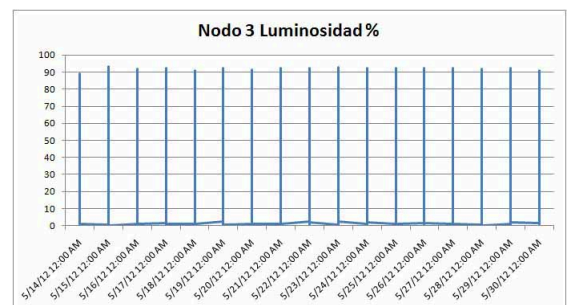


Figura 4.19: Luminosidad Nodo 3.

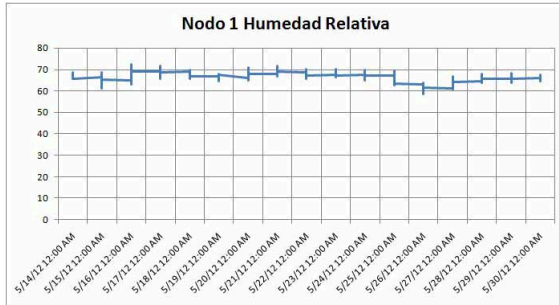


Figura 4.20: Temperatura Nodo 1.

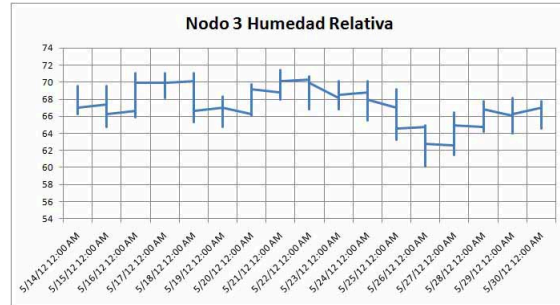


Figura 4.22: Temperatura Nodo 3.

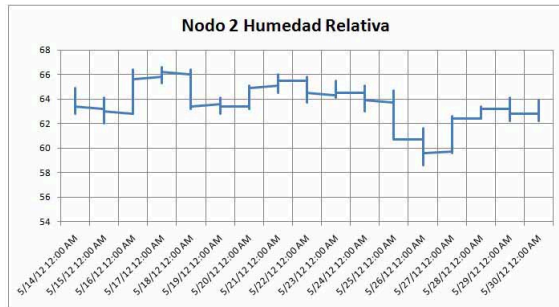


Figura 4.21: Temperatura Nodo 2.

En las figuras anteriormente mostradas se puede ver en todos los datos un pico de variación siempre en cada día, esto es debido a que el responsable del experimento entraba una vez por día a tomar muestras de los chiles habaneros y los sensores detectaban el cambio de entorno, originado por abrir la puerta y prender la luz, lo que a su vez provocaba que las variables (temperatura, intensidad luminosa y humedad) se vieran afectadas drásticamente.

El efecto mencionado en el parrafo anterior se puede observar con mayor detalle en las figuras 4.17, 4.18, 4.19; dado que al mantener el laboratorio casi completamente oscuro y encender súbitamente la luz, provoca un incremento en la intensidad luminosa que se ve reflejado en un pico de la representación gráfica de la medición.

Capítulo 5

Conclusiones.

5.1. Conclusiones.

En este trabajo se desarrolló un sistema con capacidad para monitorear variables agrícolas necesarias para facilitar la siembra, mantenimiento y cultivo dentro de un invernadero de tomate.

Las implementaciones, experimentos y resultados descritos a lo largo de este documento comprueban que se cumplió con el objetivo general y a su vez cuatro objetivos específicos. En los siguientes párrafos se resumen las tareas realizadas y resultados obtenidos para cumplir con los objetivos marcados al inicio del trabajo.

Con respecto a la implementación de los sensores para la medición de variables, se hicieron pruebas con varios sensores que ayudaran a obtener información de las variables requeridas. Entre los sensores utilizados se incluyen: de humedad relativa, humedad del suelo, temperatura ambiente, temperatura del suelo y luminosidad.

Se observó que el sistema se adapta fácilmente a cualquier sensor que se necesite implementar, los sensores usados fueron fácilmente manejados por el sistema. Se comprobó la correcta lectura de variables comparando los resultados con otros sistemas convencionales, como termómetros, aparatos comerciales para medir la humedad, etc. El resultado de las comparaciones de las medidas obtenidas con los sensores contra las mediciones obtenidas con instrumentos comerciales indica que el desempeño de los sensores es confiable.

En cuanto a las topologías de red implementadas dentro del invernadero, se efectuaron pruebas con dos topologías: En primer lugar se utilizó una topología tipo estrella, usando solamente el estándar de red IEEE 802.15.4. Se obtuvieron buenos resultados con estas pruebas, los datos fueron confiables y no existía pérdida de paquetes a la tasa de transmisión que se manejó, la cual fue aproximadamente de una lectura enviada cada 10 minutos.

A pesar de que se aseguraba una correcta transmisión de datos empleando la topología tipo estrella se optó por utilizar una topología tipo mesh, empleando el protocolo de red ZigBee. Las pruebas con este protocolo fueron satisfactorias, ya que se logró crear una red muy confiable y robusta. Al tener un coordinador, dispositivos enrutadores así como dispositivos esclavos, se obtiene una red que en caso de que un nodo se caiga, se encuentre un nuevo camino para los datos provenientes de un nodo remoto. La topología mesh también permitió escalar fácilmente la red a áreas más grandes sin la necesidad de tener que crear una sub red, con la ventaja adicional de utilizar coordinador.

Para cumplir el objetivo de desarrollar un programa para recibir los datos de la red inalámbrica, se observó que la forma más práctica para administrar los datos provenientes de la red de sensores era la de crear un módulo que tuviera la capacidad de ser el manejador de la red y al mismo tiempo poder procesar todos los datos, además de que fuera un sistema embebido para poder ubicarlo en cualquier lugar dentro o fuera del invernadero y de ésta manera evitar el uso de una computadora personal.

Utilizando los recursos del módulo para manejar los datos provenientes de la red de sensores, se desarrolló una interfaz web el usuario pudiera ver y manejar los datos de forma amigable y así cumplir con el último objetivo específico del trabajo.

La utilización de la interfaz gráfica resultó ser bastante útil para el usuario ya que fácilmente puede acceder a los datos desde casi cualquier dispositivo móvil, ya que la interfaz es web puede ser vista en cualquier navegador web contenido como aplicación genérica en, celulares, tabletas, computadoras etc. Esto hace muy versátil el sistema, aparte ya que la capacidad de consulta vía internet le añade más funcionalidad al sistema.

En conjunto el sistema demostró ser de gran ayuda para facilitar el manejo de la red de sensores, obtención de los datos y despliegue de los datos de forma amigable para el usuario. Algunas características que hacen al sistema altamente versátil son por ejemplo su capacidad para exportar los datos a un documento de formato típico, por ejemplo una hoja de cálculo tipo Excel, lo que ofrece la facilidad de procesar y analizar los datos con herramientas de cómputo habituales. Como resultado, el agrónomo cuenta ahora con una herramienta que le permite correlacionar directamente las variables agrícolas medidas dentro del invernadero con el resultado directo de sus cosechas así como también con el ataque de plagas a los cultivos o enfermedades.

Con esta herramienta, el agrónomo podrá realizar en forma más adecuada el análisis de las correlaciones entre datos provenientes de los sensores y el cultivo, con el fin de prevenir en la medida de lo posible enfermedades, mejorar los tiempos de riego, aplicar adecuadamente los nutrientes necesarios para la planta así como tener en sus manos el

poder caracterizar fielmente el comportamiento del cultivo de tomate en invernadero específicamente en la zona de Ensenada.

5.1.1. Contribuciones.

Este proyecto ha contribuido directamente con el sector agrícola de Ensenada, dado que le proporciona una herramienta con la cual pueden monitorear las variables agrícolas. El proyecto también abrió la posibilidad de expandir la vinculación en áreas de interés común entre el sector agrícola y académico (en particular con la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño de la UABC).

5.1.2. Trabajo a Futuro.

El proyecto deja abierto el sistema a su constante mejoramiento en función de los requerimientos del usuario, en particular en los aspectos concernientes a la interfaz, el manejo de los sensores y la utilización de nuevos sensores. Un punto importante es que la adquisición de variables dentro de un invernadero, su manejo, visualización y manejo es el primer paso para la construcción de un sistema completo el cual pueda llegar a automatizar completamente un invernadero. Es decir, a partir de los resultados obtenidos con las mediciones respecto a la evolución de las variables de interés, se podrán realizar las acciones adecuadas para controlar el entorno, entre las acciones a efectuar se pueden mencionar: la apertura y cierre de las ventanas para ajustar la temperatura y la humedad del ambiente, así como activar o desactivar el riego de acuerdo a la humedad y temperatura del suelo, entre otras, que en conjunto formarían un sistema completamente automatizado.

Apéndice A

Código en C para el manejo de la información proveniente de la red de sensores por el Gateway.

A continuación se describirán las principales funciones del código utilizado en el Pandaboard para poder manejarlo como Gateway. El proyecto incluye los siguientes archivos.

App.c
archivar.c
console_io.c
console_io.h
interpreter.c
interpretar.h
panda.c
serial.c
serial.h
verdata.c
actualizar.php

A.1. Descripción de App.c

Este archivo contiene el código necesario para crear un manejador de multitareas basados en Hilos. Creara tareas corriendo simultáneamente, es decir, si por ejemplo el caso de la tarea TERM la cual configura y monitorea el puerto serial para poder escribir y quedarse en un estado de espera por cadenas provenientes del coordinador de la red de sensores.

```
ret = pthread_create(&thrd1, NULL, (void *)task1, (void *)&g1);
```

APÉNDICE A. CÓDIGO EN C PARA EL MANEJO DE LA INFORMACIÓN PROVENIENTE DE LA

Esta función crea la nueva tarea, le asigna una función en particular y devuelve el código correspondiente al status del resultado del proceso (succes o failure).

```
pthread_join(thrd1, NULL);
```

Esta función inicializa la tarea creada.

A.2. Descripción panda.c

En este archivo se encuentra la parte principal (main) del programa: se usan entre otras dos librerías que son indispensables para el funcionamiento del programa serial.h y console.io.h.

La función main se encarga de inicializar el puerto serial, a través del cual recibirá las cadenas de control enviadas por el coordinador de la red de sensores.

Después de configurar el puerto serial así como la consola de comandos, activa le manejador de tareas mediante la función **manejador()**;

Una de las tareas administradas por el manejador de tareas es la función **term()**, la cual se encarga de monitorear el buffer de entrada de los datos así como esperar comandos escritos por el usuario mediante la función **if (console_io_getch();)**.

Aquí hay una línea que es importante para el entendimiento del manejo de las cadenas provenientes del serial, **n=serial_read(serial_fd,rec,1,TIMEOUT)**; la cual constantemente revisa si hay caracteres en el buffer de entrada, si existe alguno (**if(n==1)**) comenzará a buscar dentro de la cadena de caracteres la información necesaria, tal como las direcciones y los valores de los canales del convertidor analógico digital del Xbee.

Después de que el datagrama esta completo mediante la función **archivar(datagrama)**; se crea el archivo de texto en donde se guardaran las cadenas de control creadas y con la función **system(php actualizar.php)** se llama a un scrip php el cual toma la última entrada en el archivo de texto de los datagramas y lo agrega en la base de datos.

A.3. Descripción serial.c.

Este archivo contiene las funciones necesarias para interactuar con el puerto serial, las cuales son:

- **serial_read()**;
- **serial_close()**;

A.4. Descripción Archivar.c.

Este archivo contiene la función que se encarga de crear el archivo txt que contendrá las cadenas de control, así como almacenar información en dicho archivo.

```
Archivar(unsigned char data[40] )
{
    FILE *fp;

    fp = fopen("DATA.TXT","a+"); /* open for writing */
    fprintf(fp,"%s\n",data);
    fclose(fp); /* close the file before ending program */
    printf("\n          guardo en archivo          ");
    fflush(stdout);
}
```

Se observa que al recibir la cadena de control, con la función **fopen** abre un archivo con permiso de escritura y con **fprintf()**, agrega una nueva fila con la cadena de control.

A.5. Script para actualizar los datos en la base de datos.

Para poder actualizar los datos cada vez que llega una cadena de control al gateway, el programa escrito en lenguaje C para manejar estos datos ejecuta un comando de consola mediante la función **system(php actualizar.php)**.

El script primeramente ejecuta los comandos que abrirá el archivo txt y así calcular cuantas filas activas se tienen y escribir en el consecutivo.

```
$nuevos_registros=0;
$filas=file("/home/alex/Dropbox/eclipse_linux/panda/Debug/DATA.TXT");
$filas_txt=0;
while($filas[$filas_txt] != NULL){
    $filas_txt++;
}
```

Se lee la última cadena de control almacenada en el archivo de texto mediante las siguientes líneas.

```
$row = $filas[$filas_txt-1];
$sql = explode(";", $row);
```

Para poder acceder y escribir en la base de datos.

APÉNDICE A. CÓDIGO EN C PARA EL MANEJO DE LA INFORMACIÓN PROVENIENTE DE LA

Primero accedemos la base de datos con la siguiente función:

mysql_connect("DireccionIP","Usuario","Clave"); .

Para seleccionar la base de datos en la que trabajaremos se usa: **mysql_select_db("BasedeDatos", \$con);**.

Para poder seleccionar una tabla usamos el siguiente comando:

\$q = "SELECT *FROM \$tabla";.

mysql_query() nos permite enviar una única consulta a la base de datos actualmente activa en el servidor asociado con el identificador de enlace.

Apéndice B

Codificación para el monitoreo de los datos por el usuario.

Para la mostrar los datos al usuario se uso una pagina web con codificación html, usando Ajax para poder interactuar con la información de una forma un poco más dinámica. Se usan librerías jquery provistas por Google.

Para graficar históricamente de los datos, se usa la librería escrita en php jpgraph. A continuación se muestra un ejemplo del uso de esta librería para graficar un intervalo dado mediante un formulario:

```
// Configuramos los titulos
$titulo= "Grafica del nodo $nodog $titulo2";
$graph =& new PHPPlot($campos*42,600);
$graph->SetTitle($titulo);
/* configuraramos el vector de datos en caso $example_data */
$graph->SetDataValues($example_data);
/*Configuramos dejando en nulo el area a dibujar , de esta manera se hara
Automáticamente */
$graph->SetPlotAreaWorld(NULL, 0, NULL, NULL);
/* Activamos el Grid del grafico */
$graph->SetDrawXGrid(True);
$graph->SetDrawYGrid(True);
/* Se configuran las etiquetas de la grafica */
$graph->SetYTitle($labelejey);
$graph->SetXTitle('Fecha dia:hora:minuto');
/* Si se desea se puede configurar una imagen para el fondo de la grafica. */
//$graph->SetPlotAreaBgImage('tomate.jpg');

/*Se grafica su el estado sigue siendo active */
if ($bandera==1){
```

```

$graph->DrawGraph();
/* si algo fallo se hace saber al usuario */
else{
echo 'Error el nodo no existe.';

```

B.1. Codificación para consultar datos históricos.

Para poder consultar los datos en la base de datos en un intervalo de fecha se utiliza un formulario html en donde se piden los siguientes datos:

Campo	Codificación
Fecha Inicial	\$_POST['fecha']
Fecha Final	\$_POST['fecha2']
ID Nodo	\$_POST['id_nodo']
Numero de Sensor	\$_POST['no_sensor']

```

/*Nos conectamos a la base de datos */
mysql_connect(localhost,$username,$password);
mysql_select_db($database) or die( "Unable to select database");
/*Seleccionamos los datos de la tabla "datos"*/
$query="SELECT * FROM datos";
$result=mysql_query($query);
$num=mysql_numrows($result);
/*Seleccionamos los datos de la tabla "descripcion"*/
$query1="SELECT * FROM descripcion";
$result1=mysql_query($query1);
$num1=mysql_numrows($result1);
mysql_close();
/*Convertimos las fechas leidas en el formulario al tipo UTC para
poder compararlas*/
$timestamp = strtotime($_POST['fecha']);
$due1 = date('m-d-Y', $timestamp);
$timestamp1 = strtotime($_POST['fecha2']);
$timestamp2 = strtotime($due1);
$fecha_final=$timestamp1+86399;

```

Llenar el arreglo para crear el grafico:

```

/*Verifica que el nodo sea el correcto*/
if ($_POST['id_nodo']==$nodo){
/*Verifica el rango de la fecha sea la adecuada*/

if (($fecha>=$timestamp) && ($fecha<$fecha_final)){

```

*APÉNDICE B. CODIFICACIÓN PARA EL MONITOREO DE LOS DATOS POR EL USUARIO.*85

```
$bandera=1;
/*Guarda el $hora el valor del día hora y minuto de la fecha*/
$hora = date("d:H:i",$fecha);
/*Crea arreglo con los datos de la fecha y el valor del sensor*/
$example_data[] = array($hora,($hora) => $valor);
$campos++;
}
}
```

Apéndice C

Codificación en Dynamic C para Rabbit 5000

C.1. Lectura y escritura puerto serial.

A continuación se describen las funciones principales que se utilizaron para interactuar con los puertos serial del módulo Rabbit.

```
serXopen(): abre o activa el puerto serial donde X indica el
           puerto, y se determina la velocidad.
serXclose(): cierra el puerto.
serXdatabits(): establece el largo en bits de la palabra.
serXparity(): configura paridad.
serXflowcontrolOff(): deshabilita control de flujo.
serXrdFlush(): limpia el buffer de recepción.
serXwrFlush(): limpia el buffer de transmisión.
serXgetc(): devuelve un caracter del buffer tambien reporta si esta vacío.
serXputc(): escribe un caracter en el buffer.
serXputs(): escribe una cadena en el buffer.
serXwrite(): escribe un número determinado de bytes en el buffer.
```

Mas referencias sobre este tema se pueden encontrar en el artículo[Sergio R., 2003].

C.2. Asignación a una red con encriptación WEP.

```
#define IFC_WIFI_ENCRYPTION IFPARAM_WIFI_ENCR_WEP : define que se usara
la encriptación tipo WEP.
#define AP_0 "Polvorita" : define el nombre de la red.
#define MY_ADDRESS_0 "192.168.0.102" // con esto configuramos el ip del módulo.
#define KEY_0 "A591FF1B337E1A2D9F7E5D3A50" : la clave de la red.
isxdigit : Prueba si un caracter es un caracter valido hexadecimal.
```

`sock_init_or_exit` : esta función inicializa el dispositivo TCP/IP.
`ifconfig` : para el establecimiento de parámetros de red en tiempo de ejecución.
`ifpendient` : Devuelve el estado de la interfaz de red.

Sobre este tema se puede encontrar una explicación mas amplia dentro del documento que publico Puck Curtis en el 2009[Curtis, 2009], asi como en el manual publicado en internet[Digi, 2004].

C.3. Multitareas con Dynamic C.

Existen varios métodos para realizar multitareas en programación y una de las ventajas de usar Dynamic C es que proporciona de una serie de funciones creadas específicamente para realizar esta codificación.

Un entorno creado para esto es el **ucosII**, el cual un sistema operativo simple, limpio y eficiente que puede ser ejecutado en microprocesadores Rabbit y es completamente soportado por Dynamic C [International, 2010]

Algunas de las funciones utilizadas fueron las siguientes:

```
#define OS_MAX_TASKS    : Delimitar la cantidad de tareas que se  
    ejecutaran sumultaneamente.  
#define OS_SEM_EN      : Habilitar semaforos.  
#define OS_TIME_DLY_HMSM_EN : Definir el modo de tiempo de  
    retardo para las tareas.  
OSTimeDlyHMSM : espera la ejecución de una tarea hasta que el  
    tiempo determinado lo permita.  
OSInit(); : Inicializa el sistema operativo Ucos\ -II.  
OSTaskCreate : Crea una tarea manejada por el Ucos\ -II.  
OSStart() : Comienza el funcionamiento del sistema.
```

C.4. Pagina HTML en Rabbit.

El modulo permite cargarle una interfaz html, y por lo tanto proporciona librerias y funciones para dicho fin. Para éste trabajo se buscó montar una pagina en por lo que se realizó una búsqueda de ejemplos que posteriormente se modificaron para adecuarlos a las necesidades del sistema. web server embebido del Rabbit por lo que se realizó una búsqueda de ejemplos que posteriormente se modificaron para adecuarlos a las necesidades del sistema.

Funciones que se utilizan dentro de la codificación en C, incluyendo la generación del

archivo .html.

A continuación se describirán las funciones utilizadas.

```
#ximport "samples/tcpip/http/pages/refreshpage.shtml" index_html
SSPEC_MIMETABLE_START
SSPEC_MIME_FUNC(".shtml", "text/html", shtml_handler),
SSPEC_MIME(".html", "text/html"),
SSPEC_MIME(".gif", "image/gif"),
SSPEC_MIME(".cgi", "")
SSPEC_MIMETABLE_END
```

Se exporta el archivo de la pagina que desplegara el Rabbit, al mismo tiempo que se crea una tabla de tipos de archivo soportados por la aplicacion.

```
SSPEC_RESOURCETABLE_START
SSPEC_RESOURCE_XMEMFILE("/", index_html),
SSPEC_RESOURCE_XMEMFILE("/index.shtml", index_html),
SSPEC_RESOURCE_ROOTVAR("rh", &rh, FLOAT32, "%.2f"),
    SSPEC_RESOURCE_ROOTVAR("voltaje", &voltaje, FLOAT32, "%.2f"),
    SSPEC_RESOURCE_ROOTVAR("nodoMas", &nodoMas, INT8, "%x"),
    SSPEC_RESOURCE_ROOTVAR("nodoMen", &nodoMen, INT8, "%x")
SSPEC_RESOURCETABLE_END
```

Se crea la estructura de las paginas , asi como los recursos correspondientes a variables que se exportara del código en C a la pagina shtml, en donde se puede observar la manera en que se describe el tipo de variable manejada asi como el formato en el que se desplegará.

http_init(); : Inicializa el Web Server.

http_handler(); : Se Activa el control del http.

```
<html>
<HEAD><TITLE>Visualizacion de la humedad</TITLE></HEAD>
<BODY onLoad=window.setTimeout("location.href='index.shtml'",500)>
<H1>Prueba de servidor web con rabbit </H1>
<H1> Sensor HM1500 valor
<p>Porcentaje de Humedad: = <!--#echo var="rh"-->%</p>
<p>Voltaje del sensor: = <!--#echo var="voltaje"-->V</p>
<p>Nombre del nodo: = <!--#echo var="nodoMas"--><!--#echo
    var="nodoMen"--></p>
</body>
</html>
```

Se observa un ejemplo del archivo .shtml en cual llama a las variables exportadas. Esta página tambien tiene la funcion de refrescarse cada medio segundo (500 milisegundos).

C.5. Envío de datos por el protocolo UDP.

Se enviarón datos del módulo Rabbit a una computadora conectada al mismo punto de acceso, esto se logro utilizando las herramientas proporcionadas por Dynamic C.

```
#define MAX_UDP_SOCKET_BUFFERS 1 : define el numero maximo de buffers.
#define LOCAL_PORT 1234 : aqui configuramos el puerto que se utilizará
de forma local para la comunicación.
#define REMOTE_IP "192.168.0.101" : Definimos el ip de la computadora
destino.
#define REMOTE_PORT 1234 : el puerto de la computadora destino.
udp_open : toma los valores de IP y Port para crear el puerto UDP.
udp_send : manda un datagrama tipo UDP.
tcp_tick : Tiene dos usos: se acciona el "Fondo" de procesamiento
necesario para
mantener una información actualizada, y que también se puede utilizar
para
prueba de estado del socket TCP.
```

Esquemático de los nodos diseñados en base al módulo Xbee.

El diseño del esquemático está basado en el módulo de comunicación inalámbrica Xbee, también se usó los canales analógico/digitales del módulo Xbee para la toma de muestras de los sensores utilizados. El modulo cuenta con cuatro entradas analógico/digitales.

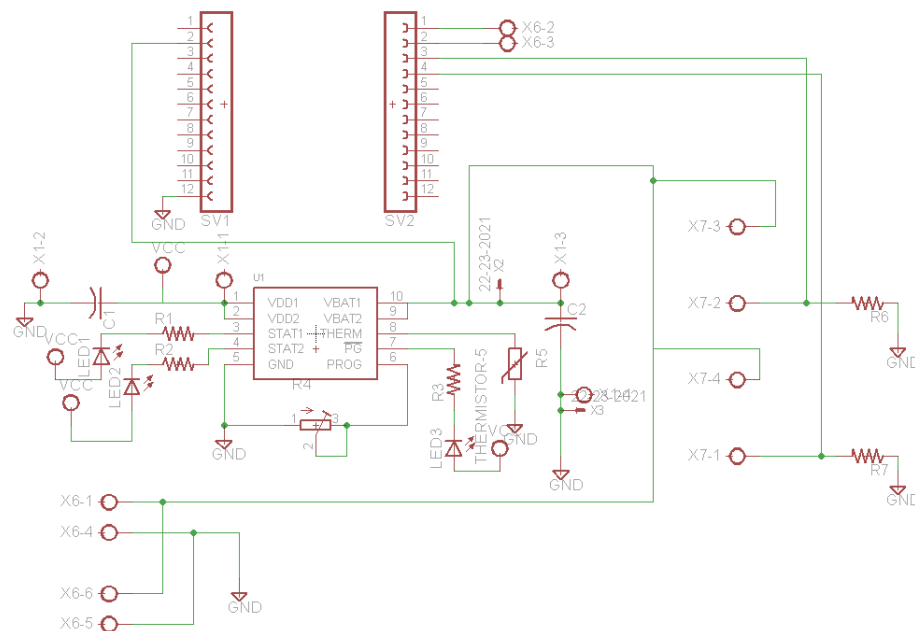


Figura D.1: Esquemático de los nodos.

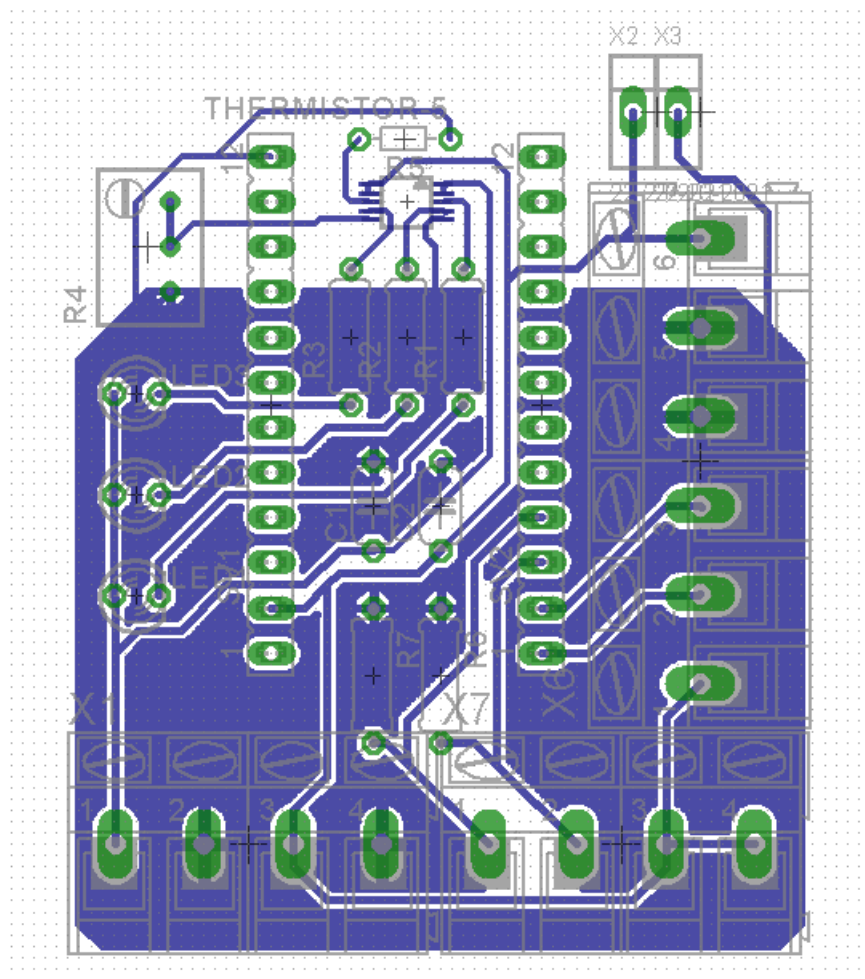


Figura D.2: Impresión de la tarjeta de los nodos.

Bibliografía

- [802.11 Working Group,] 802.11 Working Group. IEEE Standard for Information technology Telecommunications and information Local and metropolitan area networks, Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC).
- [Aakvaag and Frey,] Aakvaag, N. and Frey, J.-e. Redes de sensores inalámbricos. pages 39–42.
- [Alliance, 2010] Alliance, Z. (2010). ZigBee Specification.
- [Areny, 2004] Areny, R. (2004). *Sensores y acondicionadores de señal: prácticas*. ACCESO RÁPIDO. Marcombo.
- [Committee and IEEE, 1998] Committee, L. S. and IEEE (1998). Logical Link Control.
- [Curtis, 2009] Curtis, P. (2009). Dynamic Web Pages With The Embedded Web Server The Rabbit-Geeks AJAX Workbook. pages 1–66.
- [Digi, 2004] Digi (2004). Dynamic C TCP / IP Users Manual. 1.
- [Digi, 2006] Digi, I. I. (2006). Xbee, Xbee Pro OEM Modules Manual 802.15.4.
- [Digi, 2010a] Digi, I. I. (2010a). Dynamic C An Introduction to TCP/IP For Embedded System Designers.
- [Digi, 2010b] Digi, I. I. (2010b). Dynamic C An Introduction to TCP/IP For Embedded System Designers.
- [Digi, 2010c] Digi, I. I. (2010c). MiniCore RCM5600W Users Manual.
- [Digi, 2010d] Digi, I. I. (2010d). Xbee, Xbee Pro ZB RF Modules Manual.
- [el Mexicano., 2011] el Mexicano., P. (2011). Sobresale Ensenada en produccion de tomate.
- [Foundation, 2012] Foundation, A. S. (2012). About Apache Server HTTP Project.
- [Group, 2012] Group, T. P. (2012). PHP Official Page.

- [IEEE, 2011] IEEE (2011). IEEE 802.15 WIRELESS PERSONAL AREA NETWORKS (PANs).
- [International, 2010] International, D. (2010). User manual Integrated C Development System For Rabbit® 4000, 5000 and 6000 Microprocessors. 019-0167_F:61.
- [Man et al., 2006] Man, L. A. N., Committee, S., and Computer, I. (2006). IEEE Standard for Information technology- Telecommunications and information exchange between systems- Local and metropolitan area networks- Specific requirements- Part 15.4: Wireless MAC and PHY Specifications for Low-Rate WPANs. *Control*, 2006(September).
- [Moreno, 2007] Moreno, R. N. (2007). MANUAL DE PRODUCCIÓN DE TOMATE ROJO BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO PARA EL VALLE DE MEXICALI , BAJA CALIFORNIA RAÚL NUÑO MORENO. *Produce Fundacion, Gobierno del Estado de Baja California*.
- [OMAPpedia, 2011] OMAPpedia (2011). Guia de instalacion de Ubuntu en sistemas OMAP.
- [Org., 2011] Org., P. (2011). OMAP4 Pandaboard System Reference Manual. 019-0167_F.
- [Prensa, 2001] Prensa, G. M., editor (2001). *Cultivo Moderno del Tomate*. Barcelona España, 2da edition.
- [Prensa, 2007] Prensa, G. M., editor (2007). *Invernaderos de Plastico Tecnologia y Manejo*. Mexico DF., 2da edition.
- [Rodríguez Pérez, 2010] Rodríguez Pérez, J. (2010). *Diseño y cálculo de la estructura de un invernadero*. PhD thesis, Universitat Politècnica de Catalunya.
- [Semiconductor.,] Semiconductor., N. LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors. 019-0167_F:83.
- [Sergio R., 2003] Sergio R., C. (2003). Aplicaciones de comunicaciones con interfaz serie asincrona en Dynamic C 8. *Cika Electronica CAN-019*, pages 1–4.
- [Valdiviezo, 2009] Valdiviezo, D. V. (2009). *Diseño de una Red de Sensores Inalambrica para Agricultura de Precision*. PhD thesis, Pontificia Universidad Catolica del Peru.
- [Xuemin, 2008] Xuemin, Y. P. (2008). Wireless Personal Area Networks, Performance, Interconnections and Security with IEEE 802.15.4. *Wireless Networks*.
- [Zapata, 2004] Zapata, C. E. (2004). Producción de tomate en invernadero. *Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción Torreón, Coah, México.*, pages 19–43.

- [Zimmermann, 1980] Zimmermann, H. (1980). Open Systems Interconnection. *IEEE*, C(4).