

INFORMACIÓN IMPORTANTE

La Universidad Santo Tomás, informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea de la Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan **finalidad académica**, nunca para usos comerciales, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el Artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, la Universidad Santo Tomás informa que “los derechos morales sobre documento son propiedad de los autores, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.”

Bibliotecas Bucaramanga
Universidad Santo Tomás

**IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA ADQUISICIÓN,
ALMACENAMIENTO Y TRANSMISIÓN DE DATOS DE UNA RED DE
SENSORES INALÁMBRICOS PARA APLICACIONES AGRÍCOLAS; A TRAVÉS
DE TECNOLOGÍA MÓVIL CELULAR**

**JOHANS JOARIN CONRADO ESCUDERO
JOSÉ DAVID HERNÁNDEZ BRUGES**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
DIVISION INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2014**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA ADQUISICIÓN,
ALMACENAMIENTO Y TRANSMISIÓN DE DATOS DE UNA RED DE
SENSORES INALÁMBRICOS PARA APLICACIONES AGRÍCOLAS; A TRAVÉS
DE TECNOLOGÍA MÓVIL CELULAR**

**JOHANS JOARIN CONRADO ESCUDERO
JOSÉ DAVID HERNÁNDEZ BRUGES**

**Trabajo de grado realizado para optar el título de:
Ingeniero de Telecomunicaciones**

**ASESOR:
SERGIO ANDRÉS ZABALA VARGAS**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
DIVISION INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2014**

DEDICATORIA

A Dios por darme vida y salud para enfrentar todos los inconvenientes que se me presentaron durante la carrera y durante el desarrollo de este proyecto y a mis padres por haber confiado en mí y darme la oportunidad de estudiar para crecer como persona y como profesional, por comprenderme en los momentos difíciles y darme ánimo para salir adelante.

JOHANS JOARIN CONRADO ESCUDERO

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico primero que todo a Dios, que ha sido mi guía espiritual y sin él no habría sido posible realizarlo. Además quiero dedicarlo a mis padres y familiares por el apoyo constante e incondicional durante la carrera y en cada una de las decisiones que he tomado.

JOSÉ DAVID HERNÁNDES BRUGES

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Ingeniero Sergio Andrés Zabala Vargas por servirnos como guía durante todo el proceso de desarrollo de este trabajo de grado, por aportarnos sus concejos y conocimientos como profesor y como director de esta tesis, finalmente por ser fuente de inspiración para que seamos buenos profesionales.

A los docentes Ingenieros Ricardo Andrés Díaz Suarez y Carlos Felipe Reyes Contreras por prestarnos colaboración durante el desarrollo de este proyecto y por todas sus enseñanzas en aquellos momentos en los cuales fueron nuestros profesores.

Finalmente agradecemos a la facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones su apoyo económico para cubrir el gasto de la compra de los dispositivos con los que se desarrolló este proyecto.

**JOSÉ DAVID HERNANDES BRUGES
&
JOHANS JOARIN CONRADO ESCUDERO**

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	16
1. FORMULACION DEL PROBLEMA	17
2. JUSTIFICACIÓN.....	19
3. OBJETIVOS.....	20
3.1 OBJETIVO GENERAL	20
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
4. METODOLOGÍA, CRONOGRAMA Y PRESUPUESTO	21
4.1 METODOLOGÍA	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
4.1.1 Generación de línea base para el proyecto.....	21
4.1.2 Revisión del estado actual del proyecto aplicado a Cultivo Ají.....	21
4.1.3 Selección de dispositivos	21
4.1.4 Elaboración del dispositivo hardware.....	21
4.1.5 Diseño y desarrollo del software	21
4.1.6 Validación del funcionamiento.....	21
4.2 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	22
4.3 PRESUPUESTO.....	23
4.3.1 Tabla síntesis de los valores del proyecto.....	23
4.3.2 Presupuesto de materiales.....	23
4.3.3 Equipos de trabajo y laboratorio.....	24
4.3.4 Recurso humano	24
4.3.5 Materiales de papelería.....	25
5. MARCO REFERENCIAL	26
5.1 MARCO TEORÍCO	26
5.1.1 Redes Inalámbricas de Sensores (WSN).....	26
5.1.2 Aplicaciones Principales de las WSN.....	27
5.1.3 Arquitectura de las WSN	27
5.1.4 Topologías de Red WSN.....	31
5.1.5 Parámetros de una WSN	33
5.1.6 Redes AD-HOC.....	34
5.1.7 Protocolos de enrutamiento	35
5.1.8 Tecnología inalámbrica móvil para WSN	36
5.1.9 Zigbee	38
5.1.10 Características de Zigbee	38
5.1.11 Ventajas	39
5.1.12 Desventajas	39
5.1.13 Tipos de Dispositivos	40
5.1.14 Comparativa entre Zigbee vs otros estándares.....	42
5.1.15 Tecnología GSM/GPRS	42
5.1.16 Características de GPRS	44
5.1.17 Ventajas de GPRS.....	44
5.1.18 Desventajas de GPRS	44

5.2	APROXIMACIÓN AL ESTADO DEL ARTE	45
6.	DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN DEL PROYECTO	52
6.1	DIAGRAMA GENERAL DEL PROYECTO	52
6.2	SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS NODO - MOTE.....	52
6.2.1	<i>Arduino Uno</i>	53
6.2.2	<i>Modem GSM/GPRS Shield V2.0</i>	54
6.2.3	<i>Xbee shield V1.1</i>	56
6.2.4	<i>Radio Xbee S2</i>	57
6.3	INTEGRACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL HARDWARE	58
6.4	CONSUMO DE DATOS MÓVILES.....	60
6.5	CONSUMO DE ENERGÍA DE LOS DISPOSITIVOS.....	61
7.	DESARROLLO DEL SOFTWARE	63
7.1	DESARROLLO DEL SOFTWARE PARA PUERTOS SERIALES.....	64
7.2	SOFTWARE DE PRUEBAS CON EL SERVIDOR PÚBLICO XIVELY.....	65
7.3	CONFIGURACIÓN DE MÓDULOS XBEE	67
7.4	SOFTWARE DE LECTURA Y TRANSMISIÓN DE VARIABLES	72
7.5	SOFTWARE DEL NODO COORDINADOR PARA TRANSMISIÓN DE DATOS POR LA RED MÓVIL CELULAR.....	73
7.6	SOFTWARE DEL SITIO WEB.....	76
7.6.1	DESARROLLO DEL SOFTWARE PHP Y POSTGRESQL.....	78
7.6.2	DESARROLLO DEL SITIO WEB	80
8.	PRUEBAS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA.....	83
8.1	SOFTWARE DE PRUEBA AT COMMAND TESTER	83
8.2	PRUEBAS DE COMUNICACIÓN DE RADIOS XBEE EN X-CTU.....	85
8.3	PRUEBAS DE VALIDACIÓN DE LA LIBRERÍA XEEB DE ARDUINO	87
8.4	PRUEBAS DE COMUNICACIÓN A DISTANCIA EN CAMPO (ENTORNO REAL).....	88
8.5	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO EN CONDICIONES DE LABORATORIO	90
9.	CONCLUSIONES	95
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97
	ANEXOS.....	99

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Presupuesto total del proyecto.....	23
Tabla 2. Presupuesto de materiales	23
Tabla 3. Presupuesto de equipos de trabajo	24
Tabla 4. Presupuesto de recurso humano	24
Tabla 5. Presupuesto de materiales de papelería.....	25
Tabla 6. Características de los protocolos de redes Ad-hoc.....	36
Tabla 7. Principales tecnologías inalámbricas de 2 vías.....	37
Tabla 8. Comparativa de zigbee y otros estándares.....	42
Tabla 9. Diferencias entre Zigbee Series 1 - 2.....	57
Tabla 10. Consumo de energía Nodo coordinador	61
Tabla 11. Consumo de energía Nodos Routers.....	62

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Componentes de WSN Gateway y Nodos Distribuidos	26
Figura 2. Distribución de Mercado de las aplicaciones	27
Figura 3. Arquitectura de las WSN.....	28
Figura 4. Arquitectura de un nodo inalámbrico	28
Figura 5. Microcontrolador ATMEGA128.	29
Figura 6. Batería 12 V para aplicaciones de WSN.....	29
Figura 7. Sensor de Humedad	30
Figura 8. Topología Estrella.....	32
Figura 9. Topología Malla	32
Figura 10. Topología Híbrida	33
Figura 11. Tecnologías Inalámbricas	37
Figura 12. Módulo de Zigbee (Xbee)	38
Figura 13. Conexión de Módulos Xbee.....	41
Figura 14 Arquitectura GPRS	43
Figura 15. Diagrama general de bloques del proyecto	52
Figura 16. Board Arduino Uno	53
Figura 17. Shield GSM/GPRSv2.....	54
Figura 18. Diagrama de Interfaces del módulo GSM/GPRS.....	55
Figura 19. Arduino Xbee Shield	56
Figura 20. Radio Xbee Series 2.....	57
Figura 21. Dispositivo para la comunicación móvil celular	59
Figura 22. Dispositivo Nodo-Mote de la red de sensores	60
Figura 23 Captura de trama HTTP por Wireshark	61
Figura 24. Simulación de puertos seriales en PROTEUS.....	64
Figura 25. Diagrama de Flujos del Software de Puertos seriales	65
Figura 26. Diagrama de flujo de comunicación con el servidor de xively.....	66
Figura 27. Representación de datos enviados en el servidor de Xively.....	67
Figura 28. Tarjeta Xbee Explorer	68
Figura 29. Ventana principal de X-CTU	69
Figura 30. Configuración de módulo Transmisor X-CTU	70
Figura 31. Configuración del módulo Receptor X-CTU.....	71
Figura 32. Diagrama de flujo del software de lectura y transmisión de variables	72
Figura 33. Diagrama de flujo I programa del nodo coordinador	75
Figura 34. Diagrama de flujo II programa del nodo coordinador	76
Figura 35. Administrador de Hosting CPanel.....	77
Figura 36. Estructura general del sitio Web	78
Figura 37. Diagrama de flujos de programación PHP y PostgreSQL 1.....	79
Figura 38. Sitio web de inicio	80
Figura 39. Página web de acceso al usuario	81
Figura 40. Sitio web de visualización de las graficas	81
Figura 41. Diagrama de flujo de la programación de la página Web.....	82

Figura 42. Uso de comando AT 1	83
Figura 43. Uso de comando AT 2	84
Figura 44. Configuración de pan ID de los dispositivos	85
Figura 45. Estructura de la trama API2	86
Figura 46. Pruebas de la librería Xbee de Arduino	87
Figura 47. Distancia entre el cultivo y el nodo de coordinador	88
Figura 48. Tabla de los datos del Hosting	89
Figura 49. Ubicación de nodo Router en cultivo	89
Figura 50. Ubicación del nodo coordinador	90
Figura 51. Pruebas de funcionamiento Nodo Coordinador	91
Figura 52. Pruebas de funcionamiento Nodo Router 1	91
Figura 53. Pruebas de funcionamiento Nodo Router 2	92
Figura 54. Pruebas de funcionamiento tabla y gráfica del Nodo 1	92
Figura 55. Pruebas de funcionamiento en un periodo de tiempo extenso 1	93
Figura 56. Pruebas de funcionamiento en un periodo de tiempo extenso 2	94

GLOSARIO

ALGORITMO: se puede definir como una secuencia de instrucciones que representan un modelo de solución para determinado tipo de problemas.

API: (Interfaz de Programación de Aplicación) conjunto de funciones y procedimientos que ofrece cierta biblioteca para ser utilizado por otro software.

APN: (Nombre del Punto de Acceso) son los datos para poder acceder a internet desde el teléfono móvil que tiene cada operadora de forma única.

ARDUINO: plataforma de hardware libre, basada en un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.

FPGA: dispositivo semiconductor que contiene bloques de lógica cuya interconexión y funcionalidad se puede configurar mediante un lenguaje de descripción especializado.

GATEWAY: (PUERTA DE ENLACE), dispositivo que permite interconectar redes con protocolos y arquitecturas diferentes a todos los niveles de comunicación.

GPRS: técnica de conmutación de paquetes, que es integrable con la estructura actual de las redes GSM.

GSM: sistema de radiotelefonía celular digital europeo comercializado a partir de 1992.

HARDWARE: se refiere a todas las partes tangibles de un sistema informático, sus componentes suelen ser eléctricos, electrónicos, electromecánicos y mecánicos.

HOSTING: servicio que provee a los usuarios de internet un sistema de almacenamiento de datos o cualquier contenido accesible vía web.

HTML: es un lenguaje de programación que se utiliza para el desarrollo de páginas web.

HTTP: es un protocolo usado en cada transacción de la WWW (World Wide Web).

IoT: (Internet de las Cosas) se refiere a una red de objetos cotidianos interconectados.

M2M: concepto genérico que se refiere al intercambio de información entre dos máquinas remotas.

MICROCONTROLADOR: circuito integrado programable, capaz de ejecutar las ordenes grabadas en su memoria.

MICROCONTROLADOR: es un circuito integrado que incluye en su interior tres unidades funcionales de un computador; estas son CPU, Memoria y Unidades de E/S.

MOTA: (MOTE) nodos inalámbricos de una red de sensores con tamaño reducido y ligereza.

PH: coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa.

PHP: lenguaje de programación de uso general de código abierto del lado del servidor originalmente diseñado para desarrollo web de contenido dinámico.

POSTGRESQL: sistema de gestión de bases de datos, distribuido bajo licencia BSD y con un código fuente disponible libremente.

REDES DE SENSORES: es una red de pequeños ordenadores (nodos), equipados con sensores que colaboran en una tarea común.

SOFTWARE: conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas que permiten ejecutar distintas tareas en una computadora.

SQL: lenguaje declarativo de acceso a bases de datos relacionales que permite especificar diversos tipos de operaciones en ellas.

TCP: uno de los principales protocolos de la capa de transporte del modelo TCP/IP.

UDP: es un protocolo no orientado a conexión de la capa de transporte del modelo TCP/IP.

WPAN: redes inalámbricas de corto alcance que abarca un área de algunas decenas de metros.

XBEE: son dispositivos que se pueden configurar como transmisor o receptor para desarrollar aplicaciones de comunicación.

XIVELY: plataforma de almacenamiento en la nube para internet de las cosas.

ZIGBEE: conjunto de protocolos basados en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal para usos de radiodifusión digital de bajo consumo.

RESUMEN

En este proyecto se presenta el desarrollo de un sistema que cumple las funciones de adquisición, almacenamiento y transmisión de datos en una red inalámbrica de sensores bajo la condición que dicho dispositivo transmita esos datos por medio de la red de telefonía móvil celular; específicamente utilizando GPRS (General Packet Radio Service).

El sistema se basa en la selección e integración de varios dispositivos de hardware y software abierto y que cumpla con la principal característica que en este caso sería el bajo consumo de energía.

Este dispositivo está en capacidad de recibir la información que llega de una red de sensores implementada para aplicaciones agrícolas, actuando como el nodo coordinador de la red por medio del uso de la tecnología Zigbee. También debe procesar y almacenar esa información que será transmitida por el módulo GSM/GPRS Shield de Arduino hacia un servicio web que fue implementado por las personas que desarrollan este proyecto.

El proyecto también consta de una página web que ofrece acceso como administrador y/o como invitado para consultar el registro de la información que llega a la base de datos que se encuentra en el Hosting.

Para las pruebas de funcionamiento del dispositivo se implementa una pequeña red de sensores con dos nodos físicos y tres nodos simulados por software; verificando que recibe los datos correspondientes a las variables, se envían esos datos por la red móvil celular a la base de datos que se encuentra en el Web Hosting y se muestra una representación gráfica de los datos que se están midiendo con los sensores.

Palabras claves: Red Móvil, Red de Sensores, GPRS, GSM, Hardware, Software, Consumo de Energía, Zigbee, Arduino, Hosting, Nodo.

INTRODUCCIÓN

Este proyecto está enfocado en la construcción de un sistema que permita utilizar la tecnología móvil celular, más específicamente GSM/GPRS, para transmitir hacia un sitio web con base de datos alojada en un Hosting; la información recibida de una red de sensores empleada a medir variables de un cultivo de ají.

En la primera sección del presente documento se relacionan los elementos asociados a la propuesta del proyecto, tales como: formulación del problema, justificación, objetivos tanto el general como los específicos, metodología de desarrollo, cronograma de actividades y finalmente el presupuesto de implementación.

El soporte teórico del proyecto y el estado del arte son presentados en la segunda sección donde se realiza una profunda investigación de conceptos claves correspondientes a toda la temática que abarca este trabajo.

La tercera sección se realiza la descripción general de la solución presentada para el proyecto y la selección bajo criterios técnicos y económicos de los dispositivos que se implementaron para dar solución al problema formulado y cumplir cada uno de los objetivos propuestos.

En la cuarta sección se explica el desarrollo del software haciendo uso de la programación en lenguaje C y comandos AT para la comunicación de los dispositivos utilizados, además se presenta el desarrollo del portal web donde se visualiza y se presentan los datos provenientes de la red de sensores.

Finalmente la última parte o sección de este documento describe las pruebas de funcionamiento de cada parte del desarrollo del trabajo realizado, así como las conclusiones, referencias bibliográficas y anexos.

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad se hace necesario el uso de herramientas relacionadas con las tecnologías de la información y las comunicaciones para el control y sensado de variables en todos los entornos de trabajo, en Colombia el sector agrícola es uno de los cuales se encuentra más atrasado en cuanto a la inclusión de nuevas tecnologías para potencializar la producción.

En Colombia la implementación de sistemas en telecontrol para conseguir la automatización de cultivos es cada vez más necesaria, teniendo en cuenta que todas estas metodologías son 100% aplicables al agro colombiano y que facilitan la integración y uso de herramientas tecnológicas en los procesos de producción, además, incrementan los ingresos permitiendo mejorar la calidad de vida de los campesinos que hacen parte de la población rural de Colombia.

Considerando que la mayor parte de zona agrícola en Colombia se encuentra aislada de las ciudades, surge la necesidad de llevar la información sobre las características y condiciones de estos terrenos a un punto donde dicha información sea de fácil acceso, permitiendo realizar de forma correcta el monitoreo y control de dicha información en este caso, las variables que están siendo medidas.

Además en Colombia la implementación de fertirrigación¹ semi-automatizada para el establecimiento de sistemas productivos hidropónicos, mediante la programación sistemática del riego basada en variables físicas del clima y suelo así como los requerimientos del cultivo, ha permitido hacer más dinámicos y eficientes los procesos productivos agrícolas por el sin número de ventajas obtenidas. Entre estas, se ha visto que el uso de riego localizado en conjunto con la fertilización, disminuye pérdidas de insumos y agua por lixiviación y escorrentía²; hay mayor aprovechamiento de los nutrientes por parte de las plantas, estos son suministrados en las dosis adecuadas según la etapa del ciclo vegetativo en que se encuentre el cultivo, es muy fácil hacer correcciones por deficiencias nutricionales a través del programa creado para asistir el cultivo y adicionalmente hay una disminución en la mano de obra requerida por lo que se reducen considerablemente los costos de producción del cultivo y los rendimientos de estos son iguales y hasta un 80% mayores a los obtenidos convencionalmente.

La Universidad Santo Tomas cuenta con un terreno ubicado en El Limonal usado por los estudiantes y docentes de la Facultad de Administración de Empresas Agropecuarias para realizar sus prácticas relacionadas con cultivos, por esta razón

¹ Fertirrigación: técnica que permite la aplicación simultanea de agua y fertilizantes a través de un sistema de riego.

² Escorrentía: corriente de agua que rebosa su depósito o cauce natural o artificial.

estas personas están en la obligación de desplazarse constantemente hacia el lugar anteriormente mencionado para supervisar las condiciones de los cultivos que se encuentran allí, por este motivo se plantea una alternativa para poder tener el mismo control sin la necesidad de llegar hasta el sitio, es decir, hacer el seguimiento de los cultivos de forma remota. En este caso se desea implementar un sistema para transmitir datos sensados en un cultivo de ají que se encuentra en el lugar mencionado el cual cuenta de una red de sensores, análisis de datos a través de un PC y el control de bombeo que integra la tecnología Zigbee, proyecto realizado por el grupo UNITEL en compañía de la Facultad De Administración De Empresas Agropecuarias.

Este proyecto ofrece un sistema de comunicaciones inalámbricas el cual está en capacidad no solo de mostrar la información sobre las variables monitoreadas, sino que también permitirá dar la orden a ciertos actuadores para modificar las condiciones del cultivo a las condiciones más óptimas. El sistema de comunicaciones mencionado anteriormente utiliza la red móvil celular a través de la tecnología GPRS.

2. JUSTIFICACIÓN

Actualmente las redes de sensores inalámbricas permiten monitorear y controlar las variables de forma rápida, sencilla y de una manera más eficaz que haciéndolo de cualquier otra forma, la tecnología usada para este fin suele ser muy precisa a la hora de indicar o alertar que variable sobrepasa los límites establecidos para su control.

La red de sensores que se encuentra implementada en la finca El Limonal de la Universidad Santo Tomas permite medir variables como Humedad y Ph en el cultivo de ají el cual está controlado mediante un computador personal (PC) lo cual no es una solución óptima considerando: Costo computacional en el uso de un sistema de alta capacidad (PC) en tareas relativamente básicas: consumo de energía que con este equipo es bastante alto y por otra parte se necesita de la constante movilización de una persona para que se dirija al lugar a realizar el monitoreo de las variables. Todo lo expuesto anteriormente conlleva a la implementación de soluciones modulares que permitan mejorar el proceso ya existente, producto del proyecto previo desarrollado por la Universidad Santo Tomás.

En este proyecto se implementó un dispositivo que integra las tecnologías Zigbee (ya implementada en campo) y GSM a su vez que el sistema sea micro-controlado y que reemplace ese computador personal (PC), para disminuir el consumo de energía, este transmita los datos de forma inalámbrica a través de la red móvil celular haciendo uso de la red de datos (Internet) para que un usuario que se autentique en el sistema pueda controlar de forma remota las variables que se están midiendo en el cultivo y de esta forma contrarrestar el gasto que se hacía adicional debido a la movilización hasta la finca. Con la implementación de este sistema la relación costo beneficio se encuentra reflejada de manera favorable ya que hay que tener en cuenta que el control de variables se realiza en un plano 7x24 (siete días-veinticuatro horas) y los costos se va a reducir en un alto porcentaje.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar e implementar una metodología de centralización y transmisión de datos de la red de sensores inalámbricos para las aplicaciones agrícolas existentes en la Finca El Limonal (USTA); basado en un dispositivo microcontrolado y tecnología móvil celular.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una investigación detallada, evidenciada a través de una aproximación al estado del arte, sobre aplicaciones de tecnología móvil celular en el sector agroindustrial y equipos o dispositivos utilizados para ello; así como la revisión del sistema de medición existente en la Finca El Limonal.
- Analizar las opciones existentes para dispositivos que permitan la implementación de la metodología propuesta, basados en criterios de selección técnicos y económicos; que permitan contar con un producto final adecuado a la necesidad existente.
- Desarrollar un dispositivo Hardware microcontrolado para el almacenamiento, tratamiento y adecuada transmisión y recepción de los datos; utilizando una unidad central de procesamiento y un módulo embebido GPRS.
- Diseñar y/o adecuar un aplicativo Software que permita gestionar y visualizar la información producto de la red de sensores; a través de una plataforma Web.
- Aplicar una metodología para la validación del funcionamiento del sistema tanto en condiciones controladas como en campo; verificando la eficiencia en el registro y transmisión de datos.

3.3 METODOLOGÍA, CRONOGRAMA Y PRESUPUESTO

A continuación se describe una serie de etapas o actividades con un orden establecido que deberá llevarse a cabo en un tiempo establecido para lograr los objetivos propuestos en este proyecto.

3.2.1 Generación de línea base para el proyecto. En esa primera actividad se realiza la revisión bibliográfica detallada sobre las temáticas asociadas al proyecto. Se propone explorar libros, artículos y bases de datos más relevantes (por ejemplo: IEEE, Sciencedirect, EBSCO, entre otros).

3.2.2 Revisión del estado actual del proyecto aplicado a Cultivo Ají. En esta segunda actividad, se propone revisar el proyecto existente en la Finca El Limonal sobre redes de sensores aplicados al cultivo Ají.

3.2.3 Selección de dispositivos. Realizar un estudio profundo, para tener bases sólidas al momento de seleccionar los equipos, donde se mire el rendimiento, los costos, las tecnologías que soporta, software de configuración y lenguaje de desarrollo, para brindar la solución más óptima.

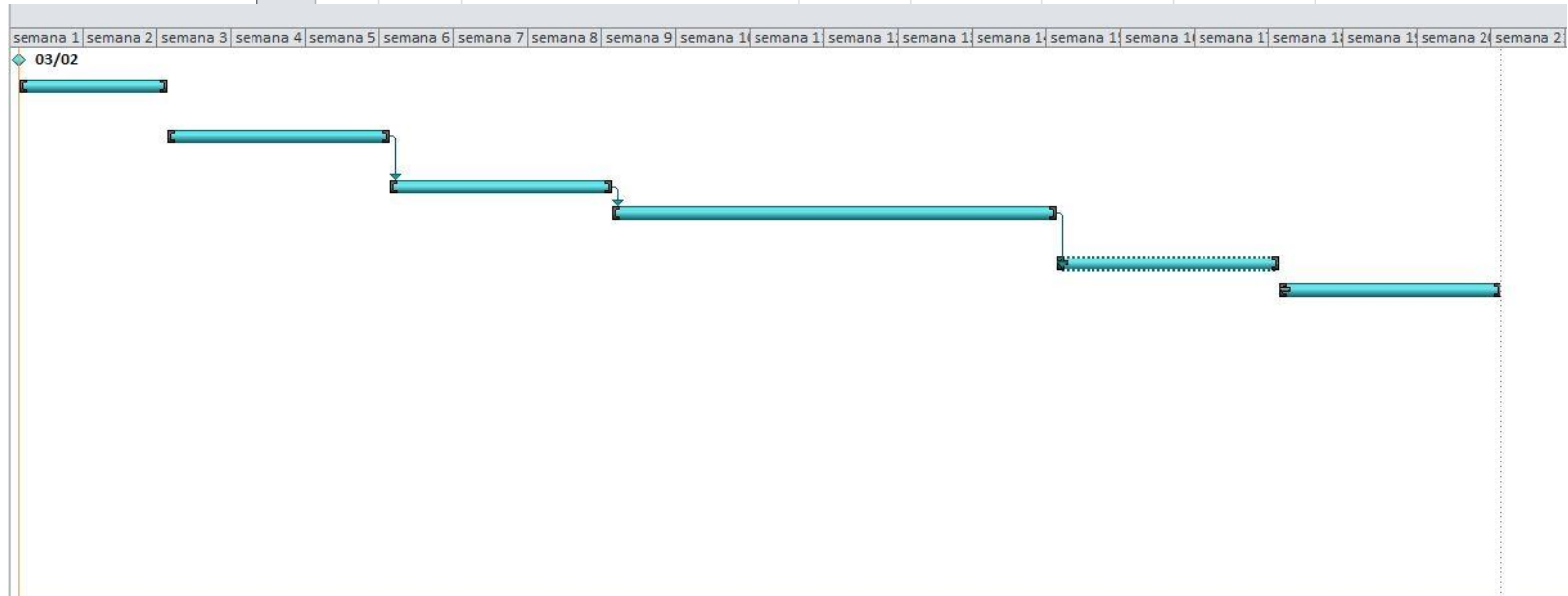
3.2.4 Elaboración del dispositivo hardware. Una vez se tiene los equipos seleccionados, se continúa con la siguiente actividad, la de construcción del sistema, que tendrá mínimo con tres elementos principales: un radio Xbee para recibir y transmitir los datos provenientes de la red de sensores, un microcontrolador para realizar el procesamiento de la información y un módulo con tecnología móvil celular para la transmisión y recepción de la información desde y hacia una base de datos localizada en la nube de internet.

3.2.5 Diseño y desarrollo del software. En esta fase se va a desarrollar una aplicación web, que será la encargada de interactuar con la base de datos para realizar las consultas y mostrar la información de la red de sensores, así como para enviar las ordenes de activado a algún actuador.

3.2.6 Validación del funcionamiento. Para evaluar el sistema se plantea realizarlo en dos situaciones. La primera en condiciones de laboratorio para comprobar la robustez del sistema tanto en hardware como en software y la segunda situación ya en el campo donde se encuentra el cultivo para mirar el desempeño en el ambiente real.

3.3 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

		Modo de	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
1			Inicio	0 días	lun 03/02/14	lun 03/02/14	
2			Generación de línea base para el proyecto	11 días	lun 03/02/14	dom 16/02/14	
3			Revisión del estado actual del proyecto aplicacdo a Cultivo de Ají	16 días	lun 17/02/14	dom 09/03/14	
4			Selección de dispositivos	16 días	lun 10/03/14	dom 30/03/14	3
5			Elaboración del dispositivo hardware	31 días	lun 31/03/14	dom 11/05/14	4
6			Diseño y desarrollo del software	16 días	lun 12/05/14	dom 01/06/14	5
7			Validacion del funcionamiento	16 días	lun 02/06/14	dom 22/06/14	



El cronograma de actividades se realizó en el software Microsoft Project y se tiene en cuenta que se trabaja 8 horas al día programadas durante aproximadamente 23 semanas.

3.4 PRESUPUESTO

3.4.1 Tabla síntesis de los valores del proyecto

Tabla 1. Presupuesto total del proyecto

Rubro	Justificación	Solicitado USTA (en pesos)	Estudiante (en pesos)	Total (en pesos)
Materiales	Ver tabla especifica		-	\$ 675.870,00
Equipos	Ver tabla especifica			\$ 5.330.000,00
Personal	Ver tabla especifica	5.000.000	5.040.000	\$ 13.480.000,00
Materiales de papelería	Ver tabla especifica	310.000	44.000	\$ 131.000,00
TOTAL				\$ 19.616.870,00

Fuente: Autores del proyecto

3.4.2 Presupuesto de materiales

Tabla 2. Presupuesto de materiales

Can.	Descripción	Justificación	VALOR UNITARIO EN PESOS	TOTAL EN PESOS
1	Xbee Pro 50mW RPSMA - Serie 2(ZB)	Productos requeridos para la fabricación del dispositivo	\$ 84.000,00	\$ 84.000,00
1	Arduino GPRS Shield V2.0		\$187.000,00	\$ 187.000,00
1	Arduino ONE		\$ 70.000,00	\$70.000,00
2	Xbee Breakout Board		\$ 12.000,00	\$ 24.000,00
2	Xbee Xplorer USB		\$ 53.000,00	\$ 106.000,00
2	Atmega 328 + ONE Firmware		\$ 12.650,00	\$ 25.300,00
2	Cables usb para interfaz – alimentacion		\$ 10.000,00	\$ 20.000,00
2	Quad Band Cellular duck antenna		\$ 18.285,00	\$ 36.570,00
10	Arduino Stackable Header Kit		\$ 2.300,00	\$ 23.000,00
2	PROTOBOARD		\$ 13.000,00	\$ 26.000,00

NA	Soldadura+ elementos circuitales básicos+conectores modulos finales+cables+ borneras+ elementos varios	\$ 100.000,00	\$ 100.000,00
	TOTAL		\$ 675.870,00

Fuente: Autores del proyecto

3.4.3 Equipos de trabajo y laboratorio

Tabla 3. Presupuesto de equipos de trabajo

CANTIDAD	Descripción	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
2	Multímetros*	\$ 40.000,00	\$ 80.000,00
2	Fuentes de Voltaje*	\$ 800.000,00	\$ 1.600.000,00
NA	Montajes de laboratorio y prototipo	\$ 250.000,00	\$ 250.000
2	Equipos de cómputo para desarrollo*	\$ 1.500.000,00	\$ 3.000.000,00
2	Diseño e implementación de tarjetas	\$ 200.000,00	\$ 400.000,00
	TOTAL:		\$ 5.330.000,00

Fuente: Autores del proyecto

3.4.4 Recurso humano

Tabla 4. Presupuesto de recurso humano

HORAS TOTALES	Descripción**	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
200	Director Proyecto USTA- Ing. Sergio Zabala	\$ 25.000,00	\$ 5.000.000,00
848	Ejecutor del proyecto- estudiante de pregrado Johans Conrado Escudero	\$ 5.000,00	\$ 4.240.000,00
848	Ejecutor del proyecto- estudiante de pregrado José Hernández Bruges	\$ 5.000,00	\$ 4.240.000,00
	TOTAL:		\$ 13.480.000,00

Fuente: Autores del proyecto

3.4.5 Materiales de papelería

Tabla 5. Presupuesto de materiales de papelería

Cantidad	Concepto	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
1	Resma de papel	\$12.000,00	\$12.000,00
5	DVD's para copiado de información y entrega de informes	\$1.000,00	\$5.000,00
5	Lapiceros	\$1.200,00	\$6.000,00
260	Impresiones	\$ 300,00	\$ 78.000,00
1	Empastado documento final	\$ 30.000,00	\$30.000,00
	TOTAL:	\$ 131.000,00	

Fuente: 1Autores del proyecto

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO TEORÍCO

4.1.1 Redes Inalámbricas de Sensores (WSN). Las WSN son redes inalámbricas de pequeños dispositivos equipados con sensores que realizan en grupo una tarea en común. Estos dispositivos (sensores) tienen ciertas capacidades sensitivas y de comunicación inalámbrica que permiten conformar redes de tipo Ad-Hoc que no tienen un nodo central, sino que todos los dispositivos están en igualdad de condiciones.

Actualmente las redes de sensores inalámbricos son un concepto nuevo que se utiliza para la adquisición y tratamiento de datos con mucho énfasis en una gran variedad campos de acción como lo son medios industriales, militares, ambientales, domótica, entre otros. Las WSN se basan en distribuir estratégicamente los dispositivos para el sensado y así poder monitorear condiciones físicas o ambientales, este sistema incorpora un Gateway que provee conectividad inalámbrica (véase en la Figura 1).

Figura 1. Componentes de WSN Gateway y Nodos Distribuidos



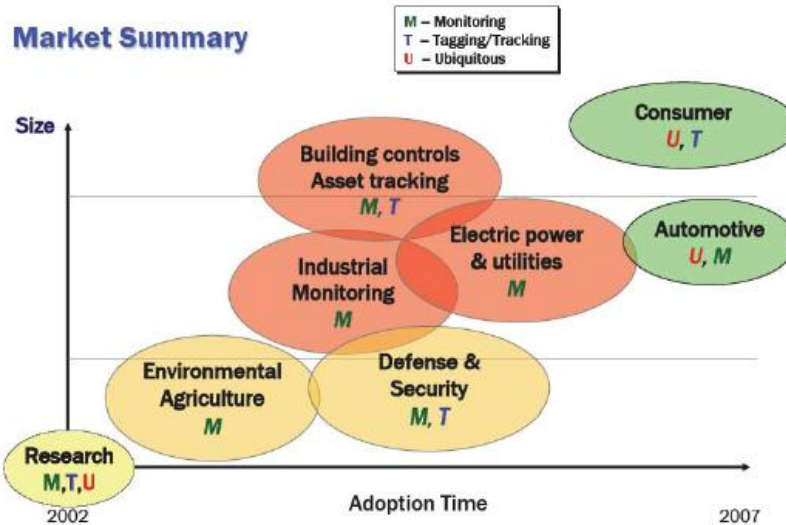
Fuente: <http://www.ni.com/white-paper/7142/es/>

Este tipo de redes se caracteriza por que son auto configurables y por su facilidad de despliegue, además porque ofrecen servicios de encaminamiento entre nodos sin línea de vista, capacidad de registrar datos pertinentes a los sensores locales de cada nodo y su gestión eficiente de energía haciendo que el sistema sea mucho más operativo³.

³ (Fernández Martínez, Roberto; Orideres Meré, Joaquín; Martínez de Pisón Ascacíbar, Francisco; González Marcos, Ana; Alba Elías, Fernando; Lostado Lorza , Ruben; Pernía Espinoza, Alpha;, 2009)

4.1.2 Aplicaciones Principales de las WSN. El monitoreo remoto satisface un amplio rango de aplicaciones donde la integración de sistemas inalámbricos pueden complementar sistemas cableados reduciendo a un valor mínimo los costos y permitiendo nuevos tipos de aplicaciones de medición.

Figura 2. Distribución de Mercado de las aplicaciones



Fuente: Redes inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica

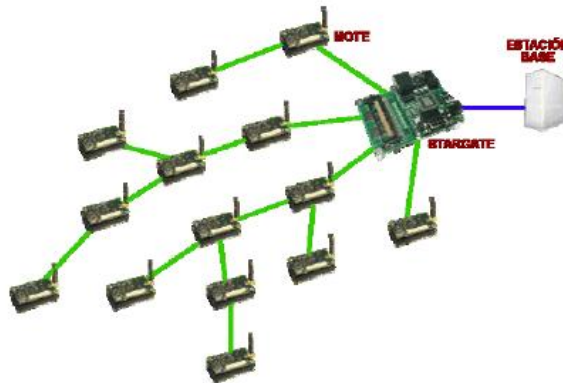
Entre las aplicaciones principales se encuentran:

- Monitoreo ambiental y agrónomo (aire, agua y suelo).
- Monitoreo estructural (edificios y puentes).
- Monitoreo industrial (maquinas).
- Monitoreo de procesos.
- Seguimiento de activos.
- Eficiencia energética.
- Entornos de alta seguridad.

4.1.3 Arquitectura de las WSN. La arquitectura de este sistema se basa prácticamente en el funcionamiento de este tipo de redes, típicamente el modelo a seguir es el siguiente: se realizan una serie de mediciones, luego se transforma dicha información en digital en el mismo nodo para que esta sea transmitida de forma inalámbrica fuera de la red de sensores por medio de la Gateway a una Estación Base, donde los datos pueden ser almacenados y tratados temporalmente.⁴

⁴ Ibid

Figura 3. Arquitectura de las WSN



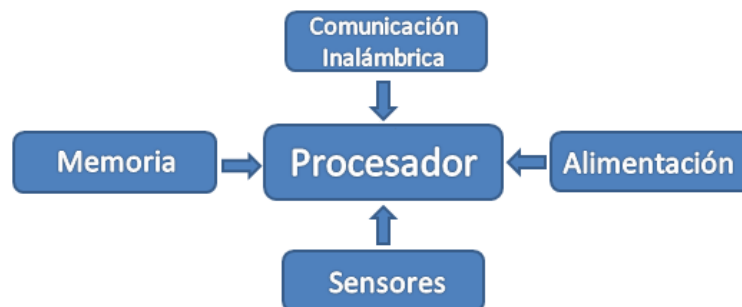
Fuente: Redes inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica

En la arquitectura de las redes inalámbricas de sensores se encuentran los siguientes elementos:

- **Nodos inalámbricos.** También son denominados motas, del inglés “mote” debido a su reducido tamaño y rapidez. Estos dispositivos tienen la capacidad de captar, procesar y transmitir de forma inalámbrica a otros dispositivos información proveniente del entorno en el cual se encuentran, además estos deben garantizar un bajo consumo de energía, bajo costo, una transmisión eficaz de los datos y una amplia zona de cobertura salvaguardando que no debe estar muy aislado de los otros nodos puesto que están diseñados y programados para formar parte de una red y con un objetivo en común, lo cual quiere decir que si se encuentra aislado su utilidad sería completamente nula.⁵

El hardware de los nodos o motas consta de varias partes como se podrá observar en la Figura 4.

Figura 4. Arquitectura de un nodo inalámbrico



Fuente: Autores del proyecto

- **Procesador:** este es el elemento que se encarga de interpretar y procesar como lo indica su nombre, los datos para luego transmitirlos

⁵ Ibid

o enviarlos a otro nodo, también cumple la función de gestionar el almacenamiento de dichos datos en memoria. Existen diferentes dispositivos que se integran al nodo para que realicen la tarea computacional entre ellos están FPGAs, Microprocesadores y Microcontroladores.

Figura 5. Microcontrolador ATMEGA128.



Fuente: http://www.futurlec.com/ET-AVR_Stamp.shtml

- **Alimentación:** usualmente la alimentación se realiza con baterías que se sustituyen cuando termina su vida útil o también se utilizan transformadores que deben tener la salida de voltaje adecuada para el nodo. Actualmente en zonas donde no existe red eléctrica y para evitar el tedioso trabajo de cambio de baterías se implementan placas solares para que realicen la tarea de proveer alimentación.⁶

Figura 6. Batería 12 V para aplicaciones de WSN



Fuente: http://www.electronicaestudio.com/sparkfun_productos.htm

- **Comunicación inalámbrica:** este es un dispositivo que permite transmitir y recibir datos entre los nodos que se encuentran dentro de un rango de comunicación. Existen tipos de comunicación inalámbricas como lo son radio frecuencia y comunicación óptica, esta última se hace mediante láseres infrarrojos y su consumo de

⁶ (Fernández Martínez, Roberto; Orideres Meré, Joaquín; Martínez de Pisón Ascacíbar, Francisco; González Marcos, Ana; Alba Elías, Fernando; Lostado Lorza, Ruben; Pernía Espinoza, Alpha; 2009)

energía es mínimo pero con este tipo de comunicación se requiere línea de vista entre el emisor y receptor. Por otra parte la comunicación por radio frecuencia utiliza la banda libre ISM y que para aplicaciones de redes inalámbricas de sensores hace uso del rango de frecuencias comprendido entre 433 MHz y 2.4 GHz. En la Figura 1 podemos observar el dispositivo con el cual se puede realizar la comunicación inalámbrica.

- **Sensores:** se encargan de medir constantemente las variables físicas para su respectivo monitoreo. La salida de información de los sensores pueden ser analógicas o digitales y son enviadas al dispositivo microcontrolador para su debido procesamiento, las principales características de los sensores deben ser su reducido tamaño, el bajo consumo de energía, ser autónomo, operar en altas densidades volumétricas y su capacidad de adaptarse al ambiente. Los dispositivos sensores se clasifican en sensores pasivos omnidireccionales, sensores pasivos unidireccionales y sensores activos.

Figura 7. Sensor de Humedad



Fuente: <http://www.ferroneumatica.com.co/2009/07/16/sensor-de-humedad/>

- **Memoria:** la memoria es la encargada de almacenar cualquier tipo de información ya sean los datos de captan los sensores o algún tipo de configuración que se haga en el nodo. Existen diversos tipos de memoria entre los que se encuentra la memoria EEPROM que permiten que la información sea escrita o borrada en una misma operación de programación, también está la memoria FLASH que es de tipo no volátil y pues la información que se encuentre almacenada en esta no se pierde ante un posible fallo de energía.⁷
- **Puerta de enlace:** Este dispositivo que se conoce como “Gateway” se encarga de llevar a cabo la interconexión entre la red de sensores y una red de datos (TCP/IP). La puerta de enlace es un nodo exclusivo que no tiene sensor y que tiene como objetivo actuar como puente entre dos redes diferentes, también se encargan de suplir la necesidad de conectar las redes de sensores con otras redes como Internet, redes LAN e Intranets privadas.

⁷ Ibid

- **Estaciones base:** La estación base es un recolector de datos, que podría ser un computador común o un sistema empotrado. Normalmente los datos llegan a un equipo que hace las veces de servidor, específicamente dentro de una base de datos, desde la cual los usuarios pueden acceder de forma remota para la respectiva monitorización y estudio de los datos.⁸

4.1.4 Topologías de Red WSN. Existen varias topologías que pueden ser implementadas en aplicaciones de redes inalámbricas de sensores, por ejemplo: estrella, malla o híbrida (malla-estrella), cada una de estas topologías puede presentar una serie de desafíos ventajas o desventajas. La topología de la red hace referencia a la configuración de los componentes y como se transmiten los datos mediante esa configuración.

Los componentes que están presentes en las diferentes topologías de las redes inalámbricas de sensores son: Nodos finales o motas que están compuestos sensores y actuadores, cuya función es captar los datos. Routers los cuales dan cobertura a redes un poco amplias y que cumplen funciones como salvar obstáculos, solucionar problemas de congestión en la transmisión de datos y posibles fallos de algunos dispositivos. Puertas de enlace que se encargan de recoger todos los datos e interconectar la red de sensores con otras redes.⁹

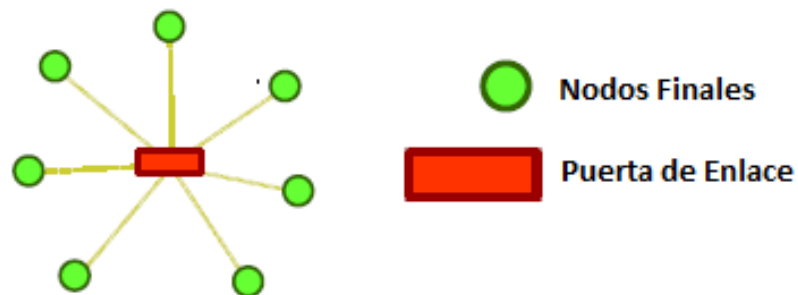
Las topologías más usadas para las WSN son:

- **Topología estrella:** Esta topología se caracteriza porque la información enviada solo da un salto, es decir, todos los nodos o motas tienen comunicación directa con la puerta de enlace. La distancia que existe entre los nodos y la puerta de enlace esta entre 30 y 100 metros, los nodos finales no interactúan entre ellos, sino que utilizan a la puerta de enlace para tal fin si se requiere.

⁸ (Fernández Martínez, Roberto; Orideres Meré, Joaquín; Martínez de Pisón Ascacíbar, Francisco; González Marcos, Ana; Alba Elías, Fernando; Lostado Lorza , Ruben; Pernía Espinoza, Alpha;, 2009)

⁹ Ibid

Figura 8. Topología Estrella



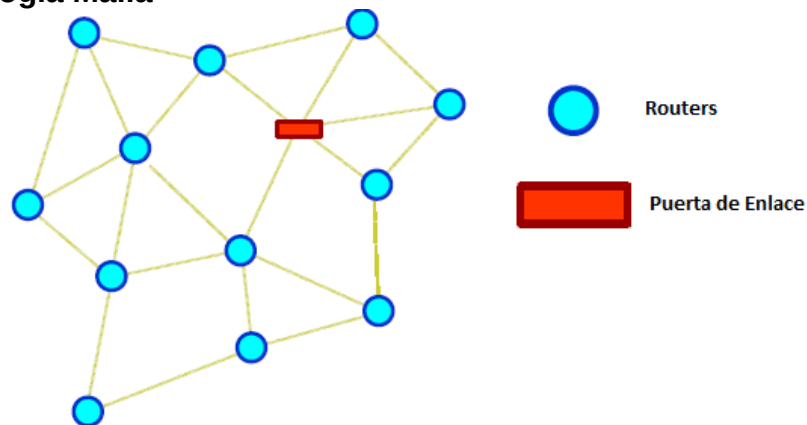
Fuente: Autores del Proyecto basado en Redes inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica

La topología estrella no tiene rutas alternativas lo cual supone que en caso de que se caiga una ruta de cualquier nodo de la red la información se pierde y no hay forma de recuperarla.

- **Topología malla**

La topología malla utiliza una técnica multisalto, con la cual todos los nodos actúan como routers. Todos los nodos pueden enviar y recibir datos de otros nodos y de la Gateway a diferencia de la topología estrella, que no permite que los nodos se envíen información.¹⁰

Figura 9. Topología Malla



Fuente: Autores del Proyecto basado en Redes inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica

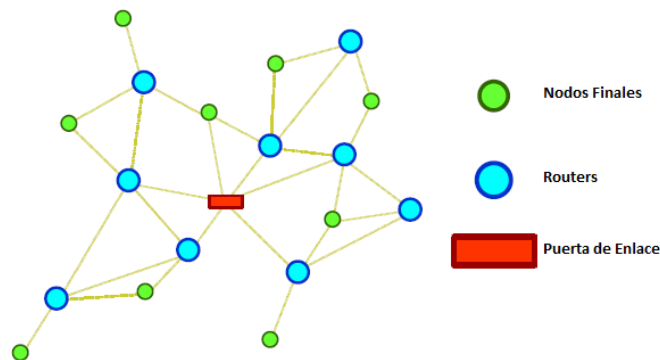
Este tipo de tecnología es altamente tolerante a fallos debido a que cada nodo puede enviar información a múltiples caminos para comunicarse con la puerta de enlace, lo que hace también que la red pueda ser escalable.¹¹

¹⁰ Ibid

¹¹ Ibid

- **Topología híbrida (estrella-malla):** Con esta topología es posible combinar y sacar provecho de las ventajas de los dos tipos de tecnologías anteriores como lo son la simplicidad y bajo consumo de la topología estrella así como la escalabilidad y la posibilidad de reorganizarse ante fallos de la topología malla.¹²

Figura 10. Topología Híbrida



Fuente: Autores del Proyecto basado en Redes inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica

4.1.5 Parámetros de una WSN¹³

- Tiempo de vida
- Cobertura de la red
- Costo y facilidad de instalación
- Precisión y frecuencia de las medición
- Seguridad
- Flexibilidad
- Robustez
- Capacidad de comunicación
- Capacidad de computación
- Facilidad de computación
- Facilidad de sincronización
- Tamaño y costo
- Consumo de energía

¹² (Fernández Martínez, Roberto; Orideres Meré, Joaquín; Martínez de Pisón Ascacíbar, Francisco; González Marcos, Ana; Alba Elías, Fernando; Lostado Lorza , Ruben; Pernía Espinoza, Alpha;, 2009)

¹³ (Fernandez Barcell)

4.1.6 Redes AD-HOC. Las redes Ad-Hoc son comúnmente utilizadas en las redes inalámbricas de sensores y son redes de tipo malla. Este tipo de redes no tienen infraestructura y sus estaciones permiten realizar encaminamiento para poder permitir las comunicaciones con estaciones que no están conectadas a la red directamente.

La principal característica de las redes Ad-Hoc es que todos los dispositivos actúan como terminales finales y además estos realizan la función de retransmisión de paquetes. La principal función de las redes Ad-Hoc es crear de manera rápida y eficaz una red temporal en lugares carentes de infraestructura de red.¹⁴ A continuación se describen algunas de las características de las redes Ad-Hoc:

- **Movilidad:** es una de las características más importantes, debido a esta los nodos se pueden repositionar o mover de forma estratégica siempre y cuando no salgan del radio de cobertura.
- **Multisalto:** esta característica hace que en la transmisión de los paquetes, estos atraviesen por varios nodos para ir desde el origen hasta su destino.
- **Escalabilidad:** las redes que poseen esta característica pueden aumentar el número de nodos de forma rápida y sencilla, gracias a que no existe un Access Point concreto. Es importante decir que en este caso se pueden agregar pero también se pueden eliminar nodos de la red.
- **Autoorganización:** debido a esto la red tiene la capacidad de establecer sus propios parámetros de configuración como direccionamiento, clustering, encaminamiento, etc.
- **Conservación de la energía:** sabiendo que este tipo de redes tienen limitaciones de energía puesto que las baterías agotan su vida útil, se trata de diseñar un protocolo MAC para el encaminamiento de los datos con el fin de mejorar el rendimiento y aumentar el tiempo de vida de las baterías.
- **Seguridad:** teniendo en cuenta que las redes inalámbricas y especialmente las redes Ad-Hoc son vulnerables a ataques tanto pasivos donde el atacante puede emular un nodo para capturar paquetes de datos, como ataques activos donde el atacante puede destruir las tablas de encaminamiento, etc.

¹⁴ (Fernández Martínez, Roberto; Orideres Meré, Joaquín; Martínez de Pisón Ascacíbar, Francisco; González Marcos, Ana; Alba Elías, Fernando; Lostado Lorza, Rubén; Pernía Espinoza, Alpha; 2009)

4.1.7 Protocolos de enrutamiento: En la redes de tipo Ad-Hoc se ve la necesidad de incluir protocolos que permitan crear las rutas que deben seguir los datos que son transmitidos, los protocolos tradicionales que son propios de redes fijas no se adaptan a este ambiente tan dinámico, por lo cual existe la necesidad de diseñar protocolos específicos para este tipo de redes. Estos protocolos se pueden clasificar principalmente en proactivos y reactivos.

Los protocolos proactivos independientemente de las necesidades de las necesidades de encaminamiento, intentan tener una visión precisa del estado de la red. Se busca mantener actualizadas las tablas de enrutamiento a través del envío de datos de forma periódica. Esta característica procura una respuesta rápida ante solicitudes de rutas y suele ofrecer un buen comportamiento en los escenarios de movilidad alta. Sin embargo, para mantener una actualización permanente de las rutas, se introduce una sobrecarga importante de la red con los mensajes de control.¹⁵

Los protocolos reactivos solo obtienen información de encaminamiento cuando es necesario. Son protocolos bajo demanda que buscan la ruta hacia un destino en el momento en el que se quiere enviar información hacia ese destino. Las redes que usan este tipo de protocolos tienen menor sobrecarga, pero los retardos al establecimiento de comunicación son mayores.¹⁶

Existe una gran cantidad de protocolos utilizados para implementación en redes de tipo Ad-Hoc, pero los más utilizados comúnmente son:

- **Destinacion-Sequenced Distance Vector (DSVD):** es una modificación del algoritmo de encaminamiento Vector Distancia Bellman-Ford, en este protocolo los nodos vecinos intercambian periódicamente sus tablas de encaminamiento para estimar la distancia mínima a la que se encuentran los demás nodos no vecinos.
- **Optimized Link-State Routing Algorithm (OLSR):** OLSR incorpora la filosofía utilizada en protocolos tradicionales como OSPF de estado de enlace. En este protocolo los nodos intercambian mensajes para formarse una visión consistente de la red y así definir el encaminamiento de los paquetes.¹⁷
- **Dynamic Source Routing (DSR):** este protocolo se fundamenta en el encaminamiento desde el origen, es decir, los paquetes de datos incluyen una cabecera con la información exacta de los nodos que deben atravesar. Esto ofrece la posibilidad de obtener con la solicitud de una ruta múltiples caminos posibles hacia el destino.

¹⁵ (Doumenc, 2008)

¹⁶ Ibid

¹⁷ (Fernández Martínez, Roberto; Orideres Meré, Joaquín; Martínez de Pisón Ascacíbar, Francisco; González Marcos, Ana; Alba Elías, Fernando; Lostado Lorza , Ruben; Pernía Espinoza, Alpha;, 2009)

- **Ad-Hoc On Demand Distance Vector (AODV):** los nodos mantienen las tablas de enrutamiento para los destinos conocidos, únicamente se le añadirán rutas nuevas cuando sea estrictamente necesario.¹⁸

En la siguiente tabla se ilustran las características principales de algunos protocolos de las redes Ad-Hoc.

Tabla 6. Características de los protocolos de redes Ad-hoc

Protocolo	Alcance	Esquema	Información Geográfica
DSDV	Unicast	Proactivo	No
DSR	Unicast	Reactivo	No
AODV	Unicast	Reactivo	No
LAR	Unicast	Proactivo	Sí
TORA	Unicast	Reactivo	No
ZRP	Unicast	Híbrido	No
FSR	Unicast	Proactivo	No
OLSR	Unicast	Proactivo	No
MAODV	Multicast	Reactivo	No
LBM	Geocast	Proactivo	Sí
GeoTORA	Geocast	Reactivo	Sí
GeoGRID	Geocast	Reactivo	Sí
GAMER	Geocast	Proactivo	Sí

Fuente: ESTUDIO COMPARATIVO DE PROTOCOLOS DE ENCAMINAMIENTO EN REDES VANET.

4.1.8 Tecnología inalámbrica móvil para WSN. Existen diversas tecnologías de comunicación inalámbrica que podría aplicar para el envío de información en grandes y pequeñas distancias.

Entre las principales tecnología se encuentra la comunicación satelital que cuenta con una red de satélites distribuidos en la zona espacial y que envían información constantemente a los dispositivos que tenemos en tierra. Las comunicaciones inalámbricas también cuentan con la tecnología móvil celular de amplia cobertura como GSM y sus versiones avanzadas como 3G y LTE (4G).¹⁹

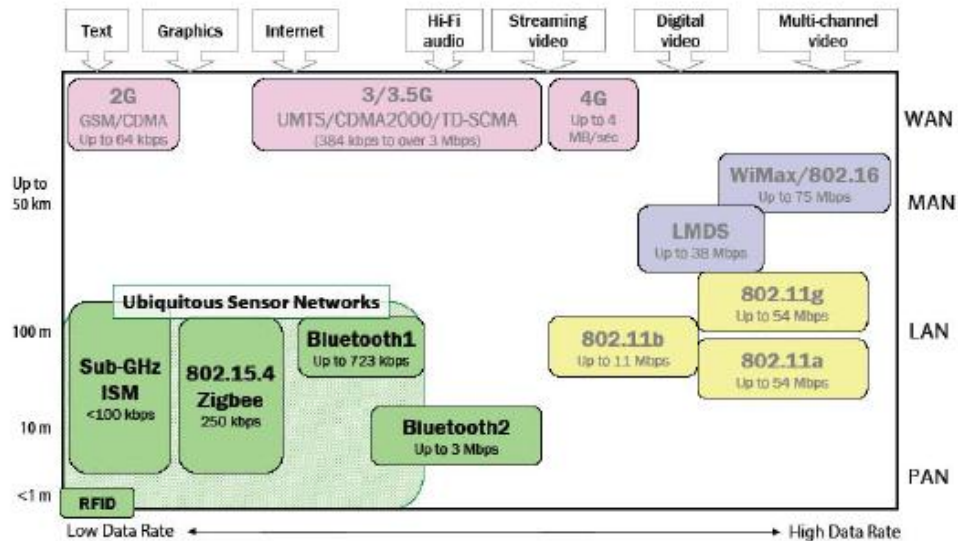
También está un contendiente prometedor que es WiMax y las tecnologías que incluyen señales de menor alcance como Wi-Fi, Bluetooth y Zigbee siendo esta la más utilizada para redes de sensores y por último las comunicaciones de tipo

¹⁸ Ibid

¹⁹ (Fernández Martínez, Roberto; Orideres Meré, Joaquín; Martínez de Pisón Ascacíbar, Francisco; González Marcos, Ana; Alba Elías, Fernando; Lostado Lorza , Ruben; Pernía Espinoza, Alpha; 2009)

NFC, en este caso el dispositivo receptor debe estar muy cerca del sistema emisor (RFID).²⁰

Figura 11. Tecnologías Inalámbricas



Fuente: Redes inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica

A continuación se muestra una tabla con las principales tecnologías inalámbricas y se realiza una comparación de estas por su velocidad de transmisión y su cobertura.

Tabla 7. Principales tecnologías inalámbricas de 2 vías

Tecnología	Transferencia de datos	Cobertura
WiMax	15 Mbps	5 Km
Celular 3G	14 Mbps	10 km
Celular 2G	400 Kbps	32 Km
Wi-Fi	54 Mbps	50-100 M
Bluetooth	700 Kbps	10 M
Zigbee	250 Kbps	30 M
UWB	400 Mbps	5-10 M
RFID	1-200 Kbps	0.01-10M

Fuente: Autores del Proyecto basado en Redes inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica

²⁰ (Fernández Martínez, Roberto; Orideres Meré, Joaquín; Martínez de Pisón Ascacíbar, Francisco; González Marcos, Ana; Alba Elías, Fernando; Lostado Lorza , Ruben; Pernía Espinoza, Alpha; 2009)

4.1.9 Zigbee. Zigbee es una tecnología de comunicaciones inalámbricas diseñado por Zigbee Alliance, dicho estándar se puede implementar por cualquier fabricante y que opera sobre el estándar IEEE 802.15.4 de (WPAN) redes inalámbricas de área personal, el objetivo de este estándar es aplicar en redes que requieren comunicaciones seguras, con baja tasa de transferencia y con gran vida útil de sus baterías.

Zigbee Alliance, empresa que promueve el estándar zigbee es una comunidad internacional de más de 100 compañías, entre ellas están Motorola, Mitsubishi, Philips, Samsung, Honeywell, Siemens, entre otras. Una red zigbee puede estar conformada hasta por 65535 equipos, lo cual quiere decir que el protocolo esta preparado para controlar en una red una gran cantidad de dispositivos.²¹

Además el protocolo zigbee satisface necesidades como:

- Bajo costo.
- Bajo consumo de potencia.
- Uso de bandas de frecuencias libres.
- Redes flexibles y escalables.
- Instalación simple y barata.

Figura 12. Módulo de Zigbee (Xbee)



Fuente: http://www.olimex.cl/pdf/Wireless/ZigBee/XBee-Guia_Usuario.pdf

4.1.10 Características de Zigbee²². Entre las principales características del estándar Zigbee se encuentran:

- Zigbee operan en las bandas libres (ISM) Industriales, Científicas y Médicas, 2.4 GHz, 868 MHz y 915 MHz.
- Tiene tasas de transmisión de 20 Kbps, 40 Kbps y 250 Kbps dependiendo de la banda de frecuencia que utilice.
- Su rango de cobertura va desde 10 hasta 75 metros.

²¹ (Thayer Ojeda)

²² Ibid

- Gracias a su baja tasa de transferencia y a características propias del estándar IEEE 802.15.4, su desempeño no se ve afectado por compartir las bandas de frecuencias con Wi-Fi y Bluetooth.
- Tiene la capacidad de soportar en teoría hasta 16000 redes diferentes en un mismo canal y cada red compuesta hasta por 65535 nodos.
- Utiliza 11 canales para las bandas 868/915 MHz y 16 canales para 2.4 GHz.
- Utiliza un protocolo de comunicación multi-salto, de esta forma puede establecer comunicación entre nodos que estén fuera del rango siempre y cuando existan nodos intermedios que los interconecten haciendo de esta forma que la red tenga más cobertura.
- Utiliza topologías como estrella, árbol y malla, esta última permite a la red auto recuperarse de cualquier tipo de problemas de comunicación.
- Su mecanismo de acceso es CSMA/CA (Acceso Múltiple con escucha de Portadora y Evasión de Colisiones).²³

4.1.11 Ventajas²⁴

- *Diseñado para el direccionamiento de información y el refrescamiento de la red.*
- *Ideal para conexiones punto a punto y punto a multipunto.*
- *Operable en las bandas ISM para conexiones inalámbricas.*
- *Óptimo para redes de baja tasa de transferencia de datos.*
- *Utiliza de 16 a 64 bits para direccionamiento.*
- *Reduce tiempos de espera en el envío y recepción de paquetes.*
- *Proporciona larga duración de batería (Bajo ciclo de trabajo).*
- *Soporta múltiples topologías de red (Estática, Dinámica, Estrella y Malla).*
- *Soporta hasta 65535 nodos en una red.*
- *Detección de energía (ED).*
- *Tecnología de bajo nivel de radiación (Aplicable en el sector de la medicina).*
- *Provee conexiones seguras entre dispositivos (128 bits AES de cifrado).*
- *Bajo costo y construcción sencilla de red.*
- *Rango de 10 a 75 metros.*

4.1.12 Desventajas²⁵

- *Baja tasa de transferencia.*

²³ (Thayer Ojeda)

²⁴ (Repositorio digital de la facultad de ingeniería UNAM, 2012)

²⁵ Ibid

- *No es compatible con otros estándares (Bluetooth y Wi-Fi) debido a su baja tasa de transferencia y a la capacidad de soporte de nodos.*
- *Poca cobertura debido a que pertenecen a redes tipo WPAN.*

4.1.13 Tipos de Dispositivos. Existen tres tipos de dispositivos Zigbee según el papel que desempeñen en la red:

- **Coordinador Zigbee:** este es el dispositivo más completo, puede actuar como director de una red o servir de enlaces a otras redes. Es el responsable de establecer el canal de comunicaciones y el PAN ID para toda la red. Existe un coordinador por cada red y este dispositivo es el que inicia o forma la red permitiendo que otros dispositivos como Router y End Devices se unan a la red, después de que se forma la red el coordinador se encarga de enrutar paquetes y actuar como origen y/o destino de los datos, además el coordinador puede también almacenar información sobre la red y portarse como centro de confianza en la repartición de claves de cifrado.²⁶
- **Router Zigbee:** este dispositivo tiene como función ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario y además puede actuar como router interconectando dispositivos separados en la topología de red. También se encarga de crear y mantener información sobre la red para establecer cuál es la mejor ruta para la transmisión de los datos.
- **End Device:** su función principal es comunicarse con el dispositivo coordinador, pero no puede transmitir o enrutar información a otros dispositivos de la red. Se caracteriza por ser más barato debido a que tiene poca memoria y puede estar la mayor parte del tiempo en modo sleep para aumentar la vida útil de su batería.²⁷

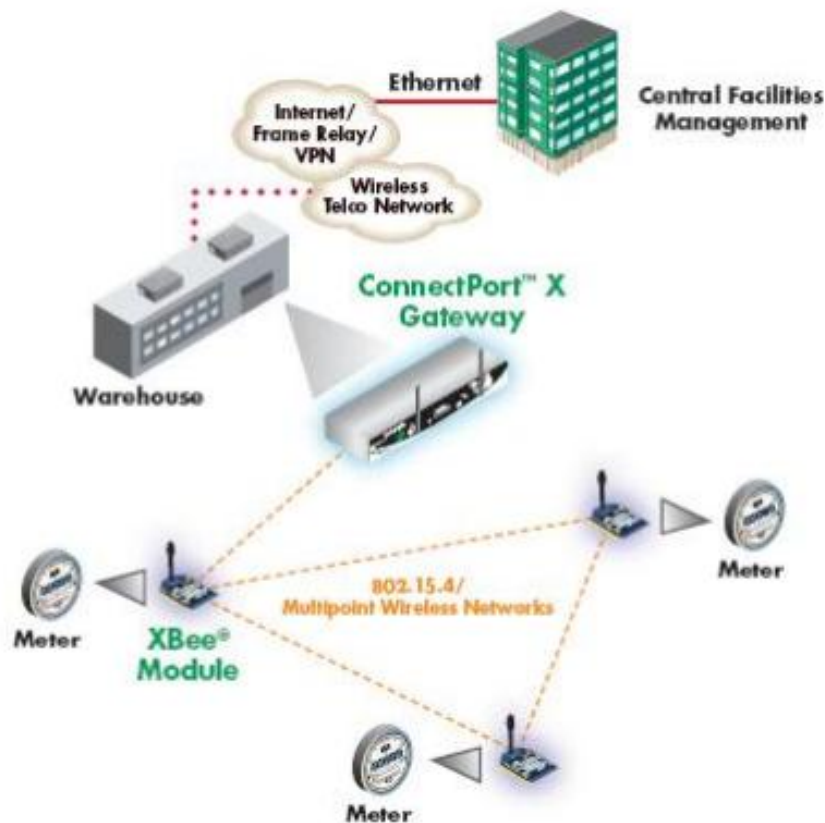
El protocolo zigbee se puede utilizar también para aplicaciones como reemplazar un cable por una comunicación serial inalámbrica, también para el desarrollo de comunicaciones por configuración punto a punto, multipunto, peer-to-peer o redes complejas de sensores. A continuación en la Figura 13, se puede apreciar una típica conexión de módulos Xbee que se usa para transmitir datos de algún tipo de sensor.²⁸

²⁶ (Valverde Rebaza , 2007)

²⁷ (Valverde Rebaza , 2007)

²⁸ Ibid

Figura 13. Conexión de Módulos Xbee



Fuente: http://www.olimex.cl/pdf/Wireless/ZigBee/XBee-Guia_Usuario.pdf

Existen otros tipos de dispositivos que se pueden clasificar según su funcionalidad:

- Dispositivo de Funcionalidad Completa: este dispositivo es apto para recibir paquetes en formato 802.15.4 estándar. Además tiene la capacidad de actuar como router o coordinador y como interface con los usuarios, todo esto lo puede hacer gracias a la capacitada que tiene para computar y a que su memoria es relativamente grande.²⁹
- Dispositivo de Funcionalidad Reducida: esta unidad es para fine de bajar los costos y esto se logra debido a que es limitado en cuanto a capacidad y funcionalidad.³⁰

²⁹ (Valverde Rebaza , 2007)

³⁰ Ibid

4.1.14 Comparativa entre Zigbee vs otros estándares

Actualmente la IEEE tiene muchos estándares inalámbricos pero cabe mencionar que la mayoría no tienen éxito comercial. Entre los estándares de comunicaciones inalámbricas se destacan tres los cuales son:

- IEEE 802.11a/b/g (Wi-Fi)
- 802.15.1 (Bluetooth)
- 802.15.4 (Zigbee)

Tabla 8. Comparativa de zigbee y otros estándares

Estándar	Wi-Fi (802.11g)	Bluetooth (802.15.1)	Zigbee (802.15.4)
Cobertura (metros)	100	10-100 (Con repetidores)	1-100
Frecuencia de Operación	5 y 2.4 GHz	2.4 GHz	868,915 MHz y 2.4 GHz
Memoria	1 MB	250 MB	4-32 KB
Tamaño de red	32 nodos	7 nodos	65535 nodos
Velocidad	54 Mbps	720 Kbps	20-250 Kbps
Batería (Días)	1-2	1-7	100-1000
Parámetros importantes	Velocidad y flexibilidad	Costo y perfiles de aplicación	Fiabilidad, bajo consumo y costo

Fuente: Autores del proyecto

4.1.15 Tecnología GSM/GPRS. Desde el nacimiento de GSM (Sistema Global para las Comunicaciones Móviles), este estándar ha venido evolucionando para poder soportar y ofrecer a los usuarios una gran cantidad de servicios. A partir de GSM han surgido otros estándares que lo complementan, como WAP para acceso a internet o el GPRS (Servicio General de Paquetes Vía Radio) en el cual la velocidad de acceso a GSM es mucho mayor.

GPRS permite mayor velocidad de los datos al agrupar varios de los 8 canales de radio que tiene una portadora, alcanzando normalmente los 115.2 Kbps. En cuanto a los usuarios, estos pueden estar conectados todo el tiempo y pagar al operador solo por la cantidad de información (Bits) que reciben o envían y no por el tiempo que permanecen conectados.³¹

Este estándar además está diseñado para aplicaciones que requieran frecuentes transmisiones de pequeños volúmenes de datos y transmisiones infrecuentes de pequeños y medianos volúmenes de datos.

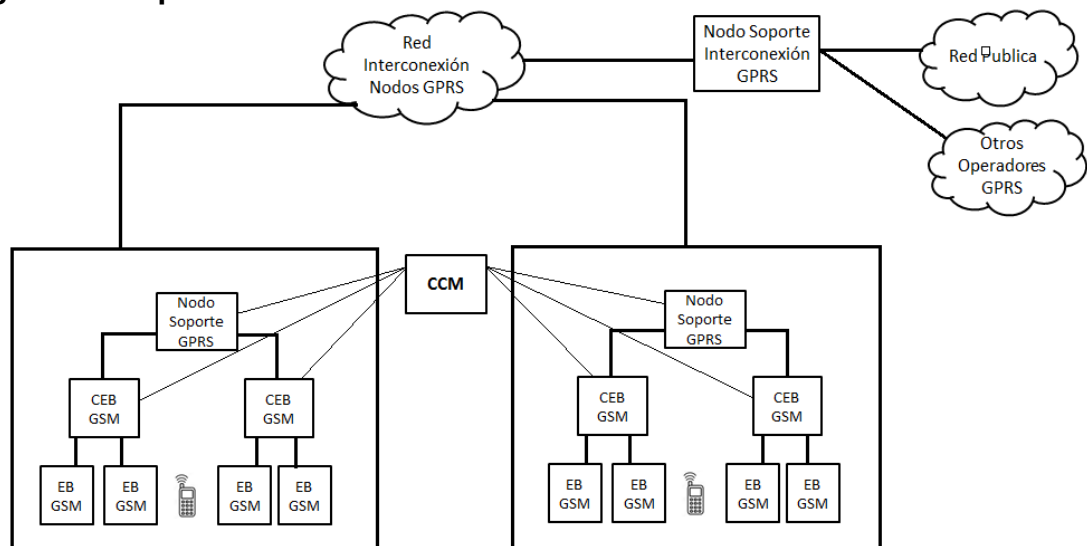
³¹ (Huidobro, 2004)

Existen tres tipos de servicios dentro del estándar GPRS:

- Punto a punto sin dialogo: para este servicio un paquete es enviado hacia o desde un único usuario; cada paquete es independiente del anterior o posterior.
Punto a punto con dialogo: servicio en el cual se incrementa el flujo para transferencia de multipaquete entre dos puntos, reduciendo los procedimientos de encaminamiento y seguridad necesarios para cada paquete.
- Punto a multipunto: un mensaje es enviado a todos los usuarios del servicio, o a un grupo predefinido de usuarios, siempre dentro de un área definida por el que pide el servicio.³²

La arquitectura del sistema GPRS se basa en una modificación a la arquitectura de GSM (Véase en la Figura 14).

Figura 14 Arquitectura GPRS



Fuente: Autores del proyecto basado en Telecomunicaciones Móviles

En ese sentido, es importante agregar que: *“Esencialmente es necesario incorporar una nueva red paralela de centros de control y comunicación, denominados nodos de soporte GPRS (GSN). Para conexión a redes externas de datos y a otros operadores GPRS, hay que utilizar un nodo soporte especial de entrada (GSNG). Las funciones primarias de los nodos de soporte son enviar/recibir paquetes hacia o desde móviles GPRS y registrar los móviles dentro de su área de encaminamiento.”*³³

³² Ibid

³³ (Rey, 1998)

4.1.16 Características de GPRS³⁴

Las características más relevantes de la tecnología o estándar GPRS son:

- Compatibilidad con el sistema GSM.
- Permite tráfico de voz y datos a través del dispositivo móvil.
- Altas velocidades de transferencia de datos, en teoría hasta 171.2 Kbps.
- Always On (Terminal siempre conectado).
- Tarificación por volumen de datos.
- Soporta protocolo IP.

4.1.17 Ventajas de GPRS. Entre las ventajas más destacadas que ofrece la tecnología GPRS, esta su máxima velocidad de transmisión que según fundamentos teóricos es precisamente de 171.2 Kbps, también se caracteriza por utilizar 8 ranuras de tiempo (Slot) para alcanzar dicha velocidad.

Otra de las particularidades de esta tecnología es que los recursos de radio en la conmutación de paquetes solo se utilizan en el momento en que se está transmitiendo o se hace recepción de datos, lo que conlleva varios usuarios puedan compartir un canal cuando lo requieran para enviar o recibir información.³⁵ Cuando se usan de forma eficiente los canales y otros recursos de GPRS significa que gran cantidad de usuarios pueden compartir en mismo ancho de banda y pueden masivamente acceder a los servicios de una sola celda o célula. Además el número de usuarios que soporte el sistema seria dependiente de la aplicación en uso y de la cantidad de información que está siendo transferida.³⁶

4.1.18 Desventajas de GPRS. Algunas de las cosas que no favorecen a esta tecnología, entre ellas la capacidad limitada de la celda para todos los usuarios. Esto se debe a que el servicio de voz y el servicio de datos utilizan los mismos recursos de radio, considerando que GPRS ayuda a distribuir de mejor forma los recursos cuando el tráfico es alto (Horas Pico).

Otra desventaja viene siendo la velocidad de transmisión teniendo en cuenta que los operadores no destinan toda la capacidad a un solo usuario, esto hace que en realidad solo se utilicen de 1-3 ranuras de tiempo y que su máxima velocidad en realidad seria de 115 Kbps.³⁷

³⁴ (Arellano, Francisco; Huidobro, Mária; Gustafson, Niklas; Novosal, Natascha;, 2001)

³⁵ (Sánchez Webar, 2005)

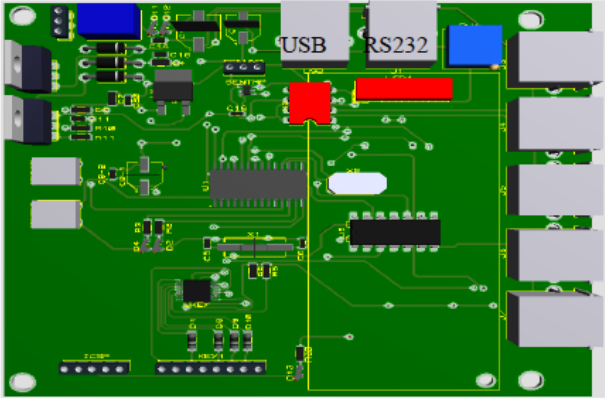
³⁶ Ibid

³⁷ Ibid

4.2 APROXIMACIÓN AL ESTADO DEL ARTE

A continuación se citan algunos trabajos o proyectos similares o con algún parecido al propuesto en este caso:

Título del Proyecto	Telemetría Usando Redes de Datos de Telefonía Celular
Autor	J. Marino Dodge
Institución	Universidad Libre-Barranquilla
Descripción General	Considerando que todo sistema necesita ser monitoreado o controlado para verificar su funcionamiento o tomar acciones correctivas en caso de ser necesario, en el caso de un sistema de sensores para medir humedad entre otras variables no es la excepción este proyecto muestra la forma de realizar monitoreo y control a través de las redes de telefonía celular.
Referencia	(Marino Dodge, 2011)
Imagen	El diagrama ilustra un sistema de telemetría. A la izquierda, una columna de recuadros contiene los tipos de sensores: 'Temperatura', 'Presión', 'Humedad' y '... etc ...'. Líneas horizontales conectan cada sensor a una 'Antena Celular' representada por un cono con ondas de radio. Desde la antena, una línea vertical sube y se conecta a una 'Central Celular' (un gabinete de servidor). Desde la central, una línea horizontal se extiende a la derecha, conectándose a un 'Servidor Principal' (otro gabinete de servidor). Encima de la conexión entre la antena y la central, se indica 'Red Celular'. Encima de la conexión entre la central y el servidor principal, se indica 'Red Local/Internet'. El título 'SISTEMA DE TELEMETRIA' está centrado en la parte superior del diagrama.
Aporte al proyecto	Este trabajo nos podría aportar una visión de cómo elaborar el dispositivo para transmitir datos a través de la red GPRS.

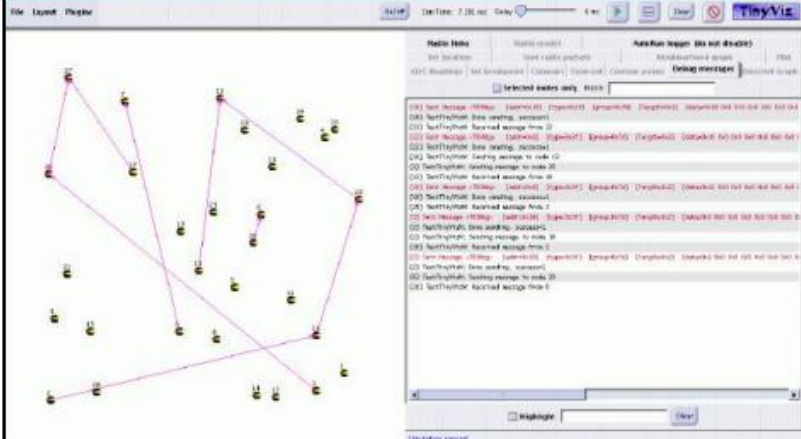
Título del Proyecto	Sistema de Adquisición de datos para el Monitoreo de la Calidad del Agua a través de las Variables de pH, Conductividad, Temperatura y Oxígeno Disuelto
Autores	Reinaldo Almario O., Bladimir A. Ramón Valencia, Jacipt A. Ramón Valencia
Institución	Universidad De Pamplona
Descripción General	En este trabajo se realiza el diseño de un sistema de adquisición, almacenamiento y registro de datos, con características especiales como comunicación GSM/GPRS, comunicación USB 2.0 con computador, sensor de temperatura, conductividad y oxígeno disuelto incorporado.
Referencia	(Almario Ospino, Ramón Valencia, & Ramón Valencia, 2011)
Imagen	
Aporte al proyecto	Con este trabajo podriamos aclarar dudas sobre como obtener, almacenar y procesar los datos que se obtienen de los sensores para su respectivo monitoreo.

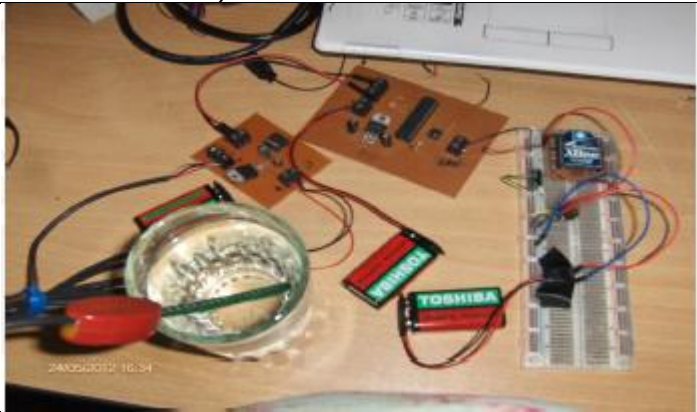
Título del Proyecto	Diseño y Desarrollo de un Módulo de Recolección, Almacenamiento y Transmisión de Datos a través de la Red Celular para Contadores Electrónicos Monofásicos de Energía Eléctrica
Autores	Yesirée Echenique, Rafael Rivero
Institución	Universidad Central De Venezuela
Descripción General	Proyecto que muestra el diseño y desarrollo de un módulo concentrador de datos para contadores de energía eléctrica, el dispositivo se encarga de la recolección, almacenamiento y transmisión de los datos a través de la red celular GSM. Se implementa el protocolo Modbus RTU para leer los datos de los contadores y las variables que se almacenan en la memoria de este módulo para su respectiva transmisión son: tensión, corriente, energía activa, energía aparente, factor de potencia, fecha y hora de lectura.
Referencia	(Echenique, Yesirée; Rivero , Rafael;, 2012)
Imagen	
Aporte al proyecto	Este proyecto aporta una idea clara sobre el protocolo de comunicación Modbus, que es el mas indicado para utilizar en el tipo de aplicación que estamos llevando a cabo.

Título del Proyecto	Evaluación de las Prestaciones de la Red GPRS para Aplicaciones de Monitoreo Remoto
Autores	Guillermo Rodolfo Friedrich, Jorge Raúl Ardenghi
Institución	Universidad Nacional Del Sur
Descripción General	Este proyecto se fundamenta en realizar una investigación profunda para evaluar las ventajas del uso de la tecnología GPRS en aplicaciones de monitoreo remoto, teniendo en cuenta que la tecnología implicada es de baja inversión inicial y su simplicidad para transferir datos a cualquier sitio haciendo uso de la red telefónica celular accediendo a internet.
Imagen	<pre> graph LR TM[Terminal móvil GSM / GPRS] --> BG[Backbone GPRS] BG <--> GI((Gateway GPRS - Internet)) GI <--> I([Internet]) I <--> S[(Servidor)] </pre>
Referencia	(Friedrich, Guillermo Rodolfo; Ardenghi, Jorge Raúl;, 2012)
Aporte al proyecto	Este trabajo presenta aportes relevantes sobre el uso de la red GPRS es la mas apropiada para nuestro proyecto debido a sus prestaciones en cuanto a aplicaciones de monitoreo.

Título del Proyecto	Diseño de una Red Inalámbrica de Sensores para Apoyar Actividades de Agricultura De Precisión en el Jardín Botánico de Cali
Autores	Fabián González Pazmín, William Mosquera Luna, German Useche Ospinal
Institución	Universidad Autónoma De Occidente
Descripción General	Este proyecto muestra el desarrollo de una red de sensores para monitorear variables ambientales en grandes extensiones y en espacios abiertos, la solución que se presenta puede ser implementada en ambientes agrícolas para obtener el máximo rendimiento de cultivos, y en aplicaciones del medio ambiente para afrontar problemáticas como la prevención y control de incendios forestales, etc.
Referencia	(González Pazmín, Mosquera Luna, & Useche Ospinal, 2013)
Imagen	
Aporte al proyecto	Con este trabajo obtenemos un esquema general de todo lo que integra este tipo de sistemas, en cuanto a arquitectura, hardware y software.
Título del Proyecto	Red de Sensores Inalámbrica para Agricultura de Precisión
Autores	J. A. López Riquelme, F. Soto, J. Suardíaz, A. Iborra
Institución	Universidad Politécnica De Cartagena
Descripción General	Este trabajo muestra la experiencia que se ha recogido en la implantación y despliegue de una red de sensores de carácter experimental que se ha llevado a cabo en una empresa hortícola de productos ecológicos en el campo de Cartagena-España. Se muestra la topología de red desplegada, algunos de los nodos que se han construido, así como la aplicación software de monitorización desarrollada.
Referencia	(López Riquelme, J. A.; Soto, F.; Suardíaz, J.; Iborra, A., 2009)

Imagen	 El diagrama a la izquierda muestra una red de sensores inalámbricos con un computador conectado a una nube que contiene tres sub-redes: Red 1, Red 2 y Red 3. Las sub-redes están interconectadas. Las leyendas indican: Mote-Tierra (círculo con una cruz), Mote-Agua (círculo con una gota) y Mote-Temperatura-Humedad (círculo con una cruz y una gota). La fotografía a la derecha muestra el hardware físico: un módulo de placa de circuito impreso con varios componentes electrónicos, conectado a un cable negro grueso y un cable USB blanco.
Aporte al proyecto	Con este trabajos podemos aclarar ideas sobre el desarrollo de la aplicación, el software de monitoreo o la escogencia de algun software comercial para llevar a acabo esa tarea.

Título del Proyecto	Diseño de una Red de Sensores Inalámbrica Para Agricultura de Precisión
Autor	Daniel Villón Valdiviezo
Institución	Pontificia Universidad Católica Del Perú
Descripción General	Este estudio consta del diseño e implementación de una red de sensores inalámbricos. Para el diseño se tomó en cuenta que para esta aplicación específica, la topología de red y el protocolo a diseñar debían ser muy confiables en la entrega de la información y debían tener el menor consumo de energía posible. También se tiene en cuenta que la red debe ser escalable y capaz de pensar su información en un software para su respectiva monitorización.
Referencia	(Villón Valdiviezo, 2009)
Imagen	 La imagen muestra la interfaz de usuario del software TinyViz. A la izquierda, se visualiza una red de sensores representada por puntos amarillos con números, conectados por líneas magenta que indican la topología de la red. A la derecha, hay un panel de configuración con pestañas como 'Status', 'History', 'Configuration' y 'TinyViz'. Debajo de estas, se muestra una lista de mensajes de log con detalles de comunicación entre los nodos de la red, incluyendo direcciones IP y IDs de mensaje.
Aporte al proyecto	Este proyecto nos aporta ideas para no estar conforme solo con la red que se encuentra ya implementada, si no que debemos tener en cuenta que la red puede ser escalable y brindar una buena solucion para ello.

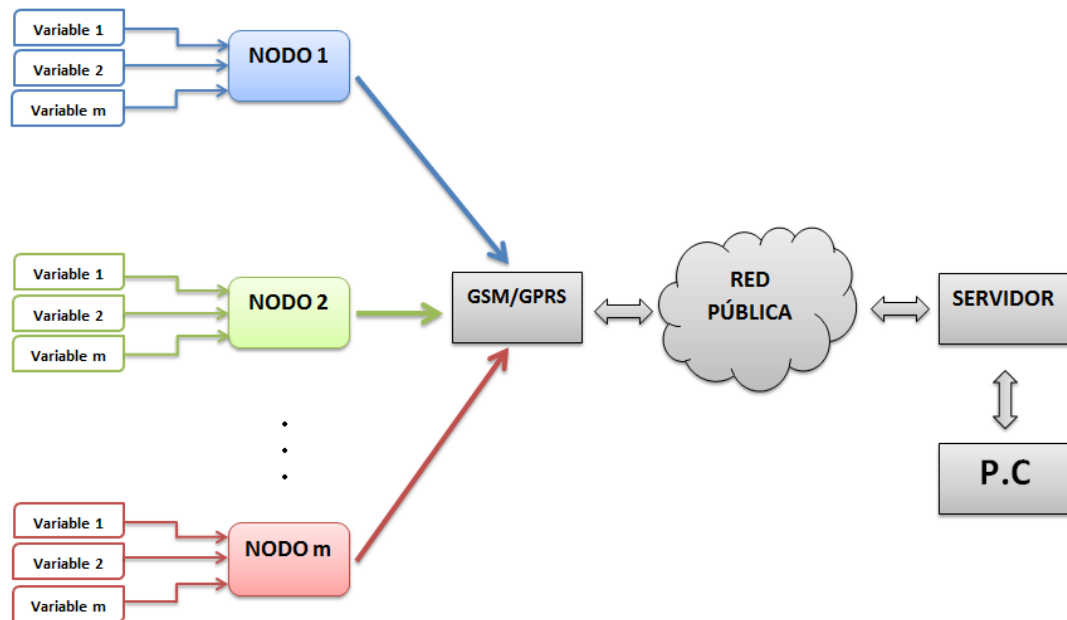
Título del Proyecto	Diseño de un Sistema Electrónico para Riego de Césped de Jardín Empleando un Sensor de Humedad de Suelos y comunicación Inalámbrica
Autor	Zulema Varas Salazar
Institución	Pontificia Universidad Católica Del Perú
Descripción General	Esta tesis plantea una forma de automatización basada en la construcción de un hardware y desarrollo de un software que podrá medir el nivel de humedad del suelo del césped y debe indicar en qué momento se debe iniciar y terminar el riego del suelo, según datos teóricos de agronomía.
Referencia	(Varas Salazar, 2013)
Imagen	
Aporte al proyecto	Este proyecto aporta ideas sobre como tener en cuenta las mediciones hechas a traves de la red de sensores y llevar a acabo el proceso de riego por medio de los actuadores.

5. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN DEL PROYECTO

5.1 DIAGRAMA GENERAL DEL PROYECTO

La siguiente ilustración muestra un esquema general de este proyecto facilitando la comprensión del lector en cuanto al funcionamiento del mismo, en el diagrama de bloque se podrá comprender también como es el flujo de datos en cuanto al sentido que llevan, aunque en algunos casos los datos podrían ser transmitidos en ambos sentidos.

Figura 15. Diagrama general de bloques del proyecto



Fuente: Autores del proyecto

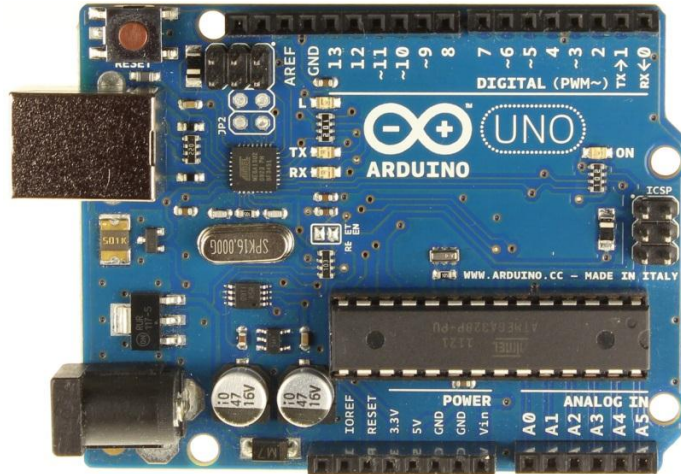
En la siguiente sección se realiza la selección de los dispositivos que van a ser utilizados para la realización de este proyecto, donde habrá que tener en cuenta las características principales de dichos dispositivos para poder seleccionarlos. Además de las características también resulta muy relevante que estos módulos sean de buena calidad y bajo costo.

5.2 SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS NODO – MOTE

Para dar solución al problema planteando en este proyecto se deben seleccionar ciertos dispositivos que lleven a cabo los procesos de control y transmisión de datos teniendo en cuenta criterios técnicos y económicos para realizar la mejor elección, debido a lo anterior se decidió a nivel de hardware trabajar con los siguientes dispositivos:

5.2.1 Arduino Uno

Figura 16. Board Arduino Uno



Fuente: <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>

Arduino Uno es el dispositivo que más relevancia tiene en este trabajo puesto que es el encargado de centralizar o controlar los datos que provienen de cada uno de los nodos de la red de sensores y a su vez los mismos datos que este va a enviar por la red celular a través del escudo GSM/GPRS. Entre los principales motivos por los cuales se selecciona esta placa es por su bajo costo, bajo consumo de energía y que su implementación en cuanto a hardware y software es completamente libre.³⁸

Esta placa se basa en el microprocesador ATMEGA328, que cuenta a su vez con 14 pines digitales de entrada y salida, 6 entradas analógicas, 1 oscilador cerámico de 16MHz, conector para batería de 9V y un conector USB para conectar al computador.

- **Características de Arduino Uno**³⁹
 - Microcontrolador ATmega 328
 - Voltaje de funcionamiento 5V
 - Voltaje de entrada (Recomendado 7-12V), (Limites 6-20V)
 - Pines de entrada/salida digital 14 (6 de ellos para salidas PWM)
 - Pines de entrada analógica 6
 - Corriente para los pines de entrada y salida 40mA
 - Corriente para el pin de 3.3V 50mA
 - Memoria Flash 32KB (utiliza 0,5KB para el gestor de arranque)
 - SRAM 2KB
 - EEPROM 1KB
 - Velocidad de reloj 16MHz

³⁸ (Arduino.cc)

³⁹ Ibid

5.2.2 Modem GSM/GPRS Shield V2.0. El modem GSM/GPRS Shield es la base para cumplir los objetivos de este trabajo, esta tarjeta permite enviar y recibir datos a través de la red móvil celular desde y hacia un Host remoto. Este módulo que es fabricado por Seeedstudio es 100% compatible con todos los dispositivos que manejan el mismo estándar de pines de las placas o tarjetas Arduino y utiliza el chip SIM900 de SIMCOM que se puede configurar a través de comandos AT.⁴⁰

Figura 17. Shield GSM/GPRSv2



Fuente: http://www.seeedstudio.com/wiki/GPRS_Shield_V2.0

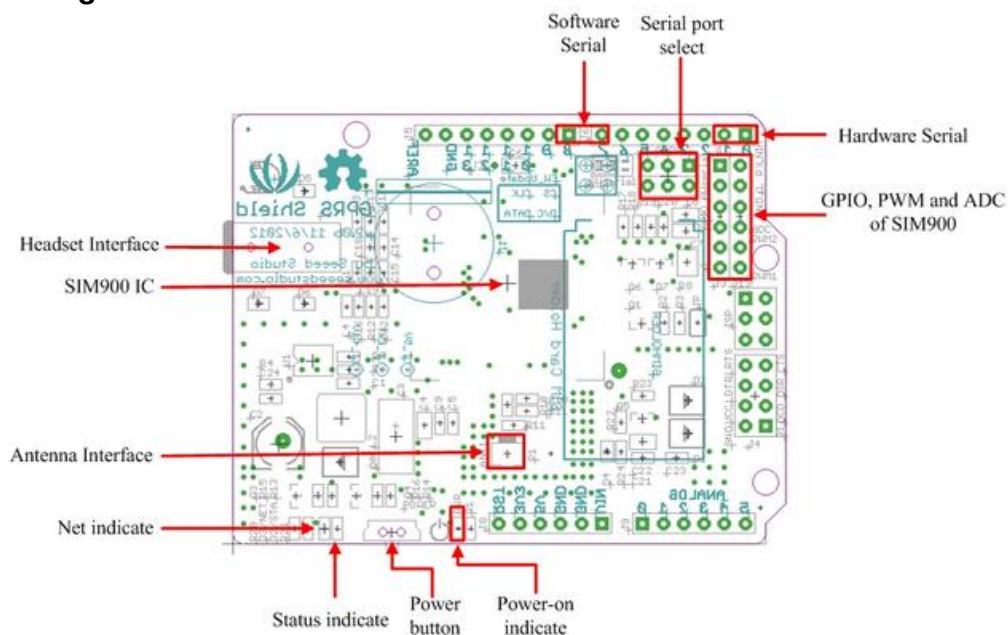
- **Características GSM/GPRS Shield V2.0**⁴¹
 - Compatible con el estándar Arduino Uno y Arduino Mega
 - Interfaz para seleccionar el puerto serial por Hardware o por Software
 - Soporta Cuatro Bandas: 800/900/1800/1900MHz
 - Soporta protocolos TCP/UDP
 - Control total a través de comandos AT estándar 07.07 y 07.05 y comando TA SIMCOM
 - Cómodo soporte de la tarjeta SIM exterior
 - Bajo consumo de energía: 1,5 mA (modo sleep)
 - Rango de temperatura: -40°C a +85°C
 - Servicio de mensajes cortos y llamadas

⁴⁰ (SeeedStudio, 2014)

⁴¹ Ibid

- **Funciones de la Interfaz** ⁴²

Figura 18. Diagrama de Interfaces del módulo GSM/GPRS



Fuente: http://www.seeedstudio.com/wiki/GPRS_Shield_V2.0

- **Antenna interface:** expansión para poder añadir la antena externa.
 - **Serial port select:** selecciona el Puerto serial por hardware o por software como interfaz con Arduino.
 - **Hardware serial:** D0 y D1 de Arduino/Seeeduino.
 - **Software serial:** D7 y D8 de Arduino/Seeeduino.
 - **Status indicator:** indica si el módulo SIM900 está encendido.
 - **Power-on indicator:** indica si el escudo GSM/GPRS está encendido.
 - **Net indicator:** indica el estado del módulo SIM900, si está intermitente está listo para unirse a la red.
 - **GPIO, PWM and ADC of SIM900:** pines GPIO, PWM y ADC del módulo SIM900.
 - **Headsets interface:** interfaz 2 en 1 para micrófono y auricular.
 - **Power button:** enciende o apaga el SIM900.
- **Pines usados sobre Arduino** ⁴³
 - D0: utilizado como RX en el puerto Hardware Serial
 - D1: utilizado como TX en el puerto Hardware Serial
 - D7: utilizado como RX en el puerto Software Serial
 - D8: utilizado como TX en el puerto Software Serial

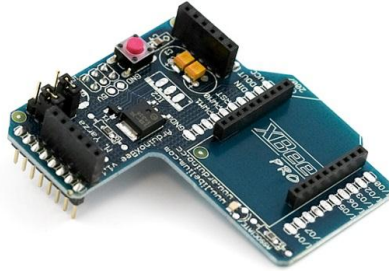
⁴² (SeeedStudio, 2014)

⁴³ Ibid

- D9: se utiliza como botón de encendido de software para el SIM900
- VIN: se utiliza para seleccionar la alimentación externa 12 V para el encendido del Arduino y GSM/GPRS Shield.

5.2.3 Xbee shield V1.1

Figura 19. Arduino Xbee Shield



Fuente: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoXbeeShield>

Xbee Shield es una placa que permite la comunicación entre el Arduino Uno y los módulos o radio Xbee fabricados por MaxStream. Este escudo o Shield es fabricado por Libelium y proporciona conectores macho y hembra para los pines digitales de 2 a 7 y las entradas analógicas de la placa Arduino y los pines digitales del 8 a 13 no quedan obstruidas por este escudo.⁴⁴

Este escudo también cuenta con dos puentes o jumpers para determinar si la comunicación de Xbee se hace con el microcontrolador a través de los pines de TX y RX o si se comunica directamente con el computador a través de cable USB del Arduino.⁴⁵

Esta placa se escoge debido a que la principal aplicación es la creación de redes de sensores inalámbricos.

⁴⁴ (Arduino.cc)

⁴⁵ Ibid

5.2.4 Radio Xbee S2

Figura 20. Radio Xbee Series 2



Fuente: <http://www.xbee.cl/diferencias.html>

Son módulos de comunicación inalámbrica basados en el protocolo zigbee. Para llevar a cabo la comunicación entre dos o más radios, se hace estrictamente necesario configurar un módulo como coordinador, el cual es el encargado de formar la red y asignar las direcciones, los demás se deben configurar como Router y End Device. Cuando se configura un módulo como Router este tiene la función de recibir y retransmitir las tramas de información a los End Device.⁴⁶

Este dispositivo se selecciona para que cumpla la función de recoger los datos provenientes de unas motas dotadas con sensores que monitorean el estado de algunas variables del suelo.⁴⁷

Se escoge trabajar con la serie 2 por algunas diferencias con la serie 1 como lo son la distancia entre los radios, la corriente, la potencia de transmisión, etc. En la siguiente tabla se muestran las diferencias entre los módulos serie 1 y serie 2:

Tabla 9. Diferencias entre Zigbee Series 1 - 2

	Xbee Series 1	Xbee Series 2
Indoor/Urban range	Up to 100 ft. (30m)	Up to 133 ft. (40m)
Outdoor RF line of sight range	Up to 300 ft. (100m)	Up to 400 ft. (120m)
Transmit Power Output	1 mW (0dbm)	2 mW (+3dbm)
RF Data Rate	250 Kbps	250 Kbps
Receiver Sensitivity	-92dbm (1% PER)	-98dbm (1% PER)
Supply Voltage	2.8 – 3.4 V	2.8 – 3.6 V
Transmit Current (typical)	45 mA (@ 3.3V)	40 mA (@ 3.3V)
Idle/Receive Current (typical)	50 mA (@ 3.3V)	40 mA (@ 3.3V)

⁴⁶ (Ingeniería MCI Ltda, 2009)

⁴⁷ Ibid

Power-down Current	10 uA	1 uA
Frequency	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz
Operating Temperature	-40 to 85 °C	-40 to 85 °C

Fuente: <http://www.xbee.cl/diferencias.html>

5.3 INTEGRACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL HARDWARE

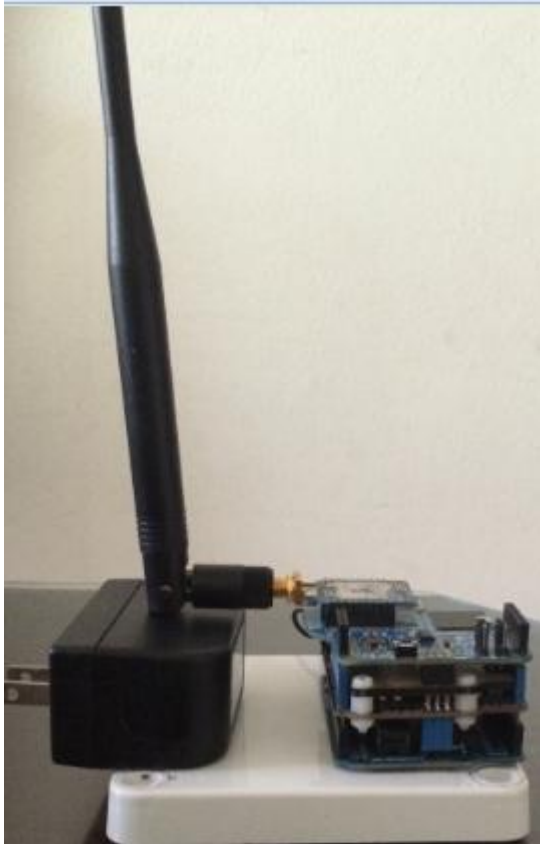
El hardware que se ha integrado para la adecuada comunicación de la red de sensores y la transmisión de datos, se basa en la construcción de un dispositivo encargado de recibir los datos, procesarlos y enviarlos hacia internet.

Es importante que este dispositivo tenga la capacidad de procesamiento debido a que se requiere dar solución a una problemática exigente y además contando que la cantidad de datos que se procesan y se transmiten puede ser escalables. Básicamente el dispositivo consta de la integración de varios módulos o tarjetas 100% compatibles con los elementos de la familia Arduino, un dispositivo radio y una fuente de energía, los cuales son:

- Tarjeta Arduino Uno (ATmega 328)
- Shield GSM/GPRS
- Shield Xbee
- Radio Xbee Serie 2
- Batería de 9v o Cargador de pared de 12v
- SIM CARD (Operador: Claro)

La siguiente figura permite al lector conocer el prototipo del módulo descrito anteriormente.

Figura 21. Dispositivo para la comunicación móvil celular



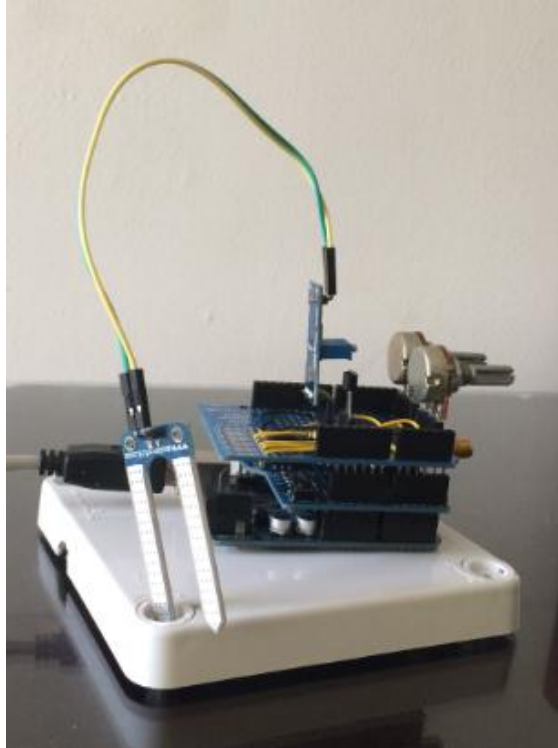
Fuente: Autores del proyecto

Para realizar las pruebas del funcionamiento de hardware y software del dispositivo mostrado en la imagen anterior se requiere montar una pequeña red de sensores, para lo cual también se requiere la integración de varios dispositivos como en el caso anterior. En este caso se realiza la construcción de los Nodos WSN que se comunican a través del protocolo Zigbee con el Nodo Coordinador que ya se mencionó. Los nodos que cumplen la función de Routers en la red de sensores inalámbricos se basan en:

- Tarjeta Arduino Uno (ATmega 328)
- Shield Xbee
- Radio Xbee Serie 2
- Potenciómetros (cumplen la función de un sensor de salida analógica)
- LM35 (sensor de temperatura)
- Sensor de humedad del suelo

En este caso se utilizan 2 o 3 potenciómetros para realizar una simulación del comportamiento de un sensor de salida analógica al momento de realizar las pruebas del sistema. A continuación se muestra en la Figura 22 el dispositivo que conforma un nodo de la red de sensores inalámbricos.

Figura 22. Dispositivo Nodo-Mote de la red de sensores



Fuente: 2 Autores del proyecto

5.4 CONSUMO DE DATOS MÓVILES

Cuando se realiza la comunicación del módem SIMCOM 900 del módulo GPRS con el Hosting Web, se hace por medio de una solicitud de HTTP. En este caso el módulo inicia la transacción HTTP y recibe un “acuse” por parte de la estación base de la red móvil cuando la trama de los datos ha sido enviada.

Debido a esta transacción HTTP se debe obtener el tamaño de la trama de los datos que se están transmitiendo al Hosting para calcular el consumo de los datos por parte del proveedor de internet que sería en este caso el operador móvil CLARO. Además se debe considerar que la transacción HTTP o envío de los datos se realiza cada 30 minutos.

Para obtener una aproximación al consumo de datos por parte del dispositivo de comunicación celular, se realiza una captura de datos con el software Wireshark en donde se filtró la captura para tráfico HTTP. Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente se utiliza el navegador Google Chrome para iniciar la transferencia de los datos mediante un computador donde está instalado el software e iniciar la captura de los datos, los resultados que arrojó la captura los podemos apreciar en la Figura 23 donde lo más importante para tener en cuenta es el tamaño de la trama que se transmitió.

Figura 23 Captura de trama HTTP por Wireshark

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
7	0.02494000	192.168.1.4	74.125.196.132	TCP	66	50894 > http [SYN] Seq=0 win=8192 Len=0
8	0.11119500	74.125.196.95	192.168.1.4	TCP	66	http > 50888 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 win=4
9	0.11134400	192.168.1.4	74.125.196.95	TCP	54	50888 > http [ACK] Seq=1 Ack=1 win=65536
10	0.12170900	74.125.196.132	192.168.1.4	TCP	66	http > 50893 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 win=4
11	0.12179300	192.168.1.4	74.125.196.132	TCP	54	50893 > http [ACK] Seq=1 Ack=1 win=65536
12	0.12380300	74.125.196.132	192.168.1.4	TCP	66	http > 50894 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 win=4
13	0.12388900	192.168.1.4	74.125.196.132	TCP	54	50894 > http [ACK] Seq=1 Ack=1 win=65536
14	0.13032500	69.64.43.79	192.168.1.4	TCP	58	http > 50890 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 win=1
15	0.13041400	192.168.1.4	69.64.43.79	TCP	54	50890 > http [ACK] Seq=1 Ack=1 win=64240
16	0.13149200	192.168.1.4	69.64.43.79	HTTP	525	GET /test/sensores.php?HUM=283&PH=423&PRES=245&TEMP=789&HUM2=378&PH2=523&PRES2=753&TEMP2=523&HUM3=165&PH3=
17	0.13581000	69.64.43.79	192.168.1.4	TCP	58	http > 50892 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 win=1
18	0.13595000	192.168.1.4	69.64.43.79	TCP	54	50892 > http [ACK] Seq=1 Ack=1 win=64240

Frame 16: 525 bytes on wire (4200 bits), 525 bytes captured (4200 bits) on interface 0
Ethernet II, Src: HonHaiPr_95:e5:17 (c4:46:19:95:e5:17), Dst: Comtrend_29:23:bd (64:68:0c:29:23:bd)
Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.1.4 (192.168.1.4), Dst: 69.64.43.79 (69.64.43.79)
Transmission Control Protocol, Src Port: 50890 (50890), Dst Port: http (80), Seq: 1, Ack: 1, Len: 471
Hypertext Transfer Protocol
GET /test/sensores.php?HUM=283&PH=423&PRES=245&TEMP=789&HUM2=378&PH2=523&PRES2=753&TEMP2=523&HUM3=165&PH3=
Host: www.contar.com.co\r\n
Connection: keep-alive\r\n
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,*/*;q=0.8\r\n
User-Agent: Mozilla/5.0 (Windows NT 6.1) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/35.0.1916.114 Safari
Accept-Encoding: gzip, deflate, sdch\r\n
Accept-Language: es-ES,es;q=0.8,en;q=0.6\r\n
\r\n

Fuente: Autores del proyecto

En la imagen anterior se puede observar que el tamaño de la trama o del paquete que se envía en la transacción HTTP es de 525 bytes (0.525 Kbytes). Teniendo en cuenta que se transmiten los datos cada 30 minutos, lo que sería igual al envío de 48 paquetes en 24 horas, entonces el consumo de datos por día estaría por el orden de:

$$(0.525 \text{ Kbytes}) * (48) = 25.2 \text{ Kbytes por día}$$

Lo cual se vería reflejado a:

$$(25.2 \text{ Kbytes}) * (30) = 756 \text{ Kbytes por mes}$$

De esta forma se obtiene el consumo de datos del módulo GSM/GPRS usando el Protocolo de Transferencia de Hipertexto.

5.5 CONSUMO DE ENERGÍA DE LOS DISPOSITIVOS

Abordando el tema del consumo de batería de los módulos que se utilizan para transmisión y recepción de los datos, se presentan las siguientes tablas donde se evidencia el consumo de cada elemento que conforma el nodo RX y los nodos TX. La primera tabla hace referencia al nodo “Coordinador”, que se encarga de recibir los datos de la red de sensores y transmitirlos a la web por la red móvil empleando el protocolo HTTP.

Tabla 10. Consumo de energía Nodo coordinador- Valores típicos de consumo en constante operación.

Elemento	Voltaje de operación (V)	Energía (mA)	Potencia (W)
Arduino UNO	9v	50 mA	0.45 W

Shield GSM/GPRS	5v	50 mA	0.25 W
Shield Xbee	5v	40 mA	0.2 W
Radio Xbee	3.3v	47 mA (Rx)	0.155 W
Potencia total			1.055 W = 0.001055 kW

Fuente: Autores del proyecto

A continuación se muestra la tabla donde se evidencia el consumo de potencia para los nodos “Routers” que en este caso transmiten la información.

Tabla 11. Consumo de energía Nodos Routers- Valores típicos de consumo en constante operación.

Elemento	Voltaje de operación (V)	Energía (mA)	Potencia (mW)
Arduino UNO	9v	50 mA	0.45 W
Shield Xbee	5v	40 mA	0.2 W
Radio Xbee	3.3v	220 mA (Tx)	0.726 W
Sensor LM35	5v	0.06 mA	0.0003 W
Sensor Higrometro	5v	0.08 mA	0.0004 W
Potencia total			1.383 W = 0.001383 kW

Fuente: Autores del proyecto

Los valores de voltajes de operación y consumo de energía representados en las tablas anteriores son valores nominales que se obtienen de las hojas de datos de los dispositivos, que se podrán encontrar en los anexos a este documento. De esta forma se calcula el valor de la potencia total que sería el consumo máximo de cada dispositivo.

En el caso de este proyecto el consumo de energía real de los dispositivos sería significativamente menor debido a que la transmisión de datos no es constante, solo se envían datos cada 30 minutos, además los radios normalmente se encuentran en modo Sleep cuando no están transmitiendo información.

6. DESARROLLO DEL SOFTWARE

En este capítulo se da a conocer el software que se ha desarrollado tanto para pruebas que se realizaron como para el producto final de este proyecto, para ello se hace necesario el desarrollo de varias aplicaciones teniendo en cuenta las etapas que se deben cumplir; como recibir los datos, procesarlos, enviarlos a través de la red móvil, almacenarlos en una base de datos y mostrarlos al usuario. En el desarrollo del software se debe tener en cuenta que una parte del software es la que realiza la interacción con el hardware, para ello se utilizan las placas de Arduino, estas placas asumen de un entorno de programación libre que permite integrar el hardware para la construcción de una aplicación de grandes prestaciones. En este caso se utiliza el entorno de programación de Arduino para la recepción de datos provenientes de la red de sensores y la transmisión de los mismos hacia internet utilizando la red móvil vía GSM/GPRS.

La otra parte del software es la encargada de recibir los datos en el servidor, alojarlos en la base de datos y finalmente presentación en forma gráfica de dichos datos al usuario final y/o al administrador del servidor, esto se logra a través de la integración de lenguajes como PHP, HTML y SQL.

HTML es un lenguaje de programación utilizado para desarrollo o creación de páginas web, este lenguaje de código abierto que funciona a través de etiquetas SGML (Estándar de Lenguaje de Marcado Generalizado) y a través de este podremos diseñar la página donde se van a mostrar en forma gráfica los datos de la red de sensores.

Por otra parte PHP (Procesador de Hipertexto) es un lenguaje que puede ser embebido dentro de las páginas HTML, donde en gran parte de este lenguaje se manejan sintaxis de C, Java y Perl; por medio de PHP se puede ofrecer a los usuarios páginas más dinámicas que permitan una mejor interacción entre estos y el servidor. Finalmente SQL (Lenguaje de Consulta Estructurado), es el lenguaje que permite insertar y realizar consultas que permitan recuperar información de una base de datos de forma rápida y sencilla; para lo cual se utiliza PostgreSQL, que es un sistema para gestión de bases de datos que funciona bajo licencia de código abierto, este utiliza el modelo cliente/servidor y se basa en el uso de multiproceso para garantizar la estabilidad del sistema.

Los lenguajes de programación escogidos para dar solución a los requerimientos de este proyecto se deben caracterizar por:

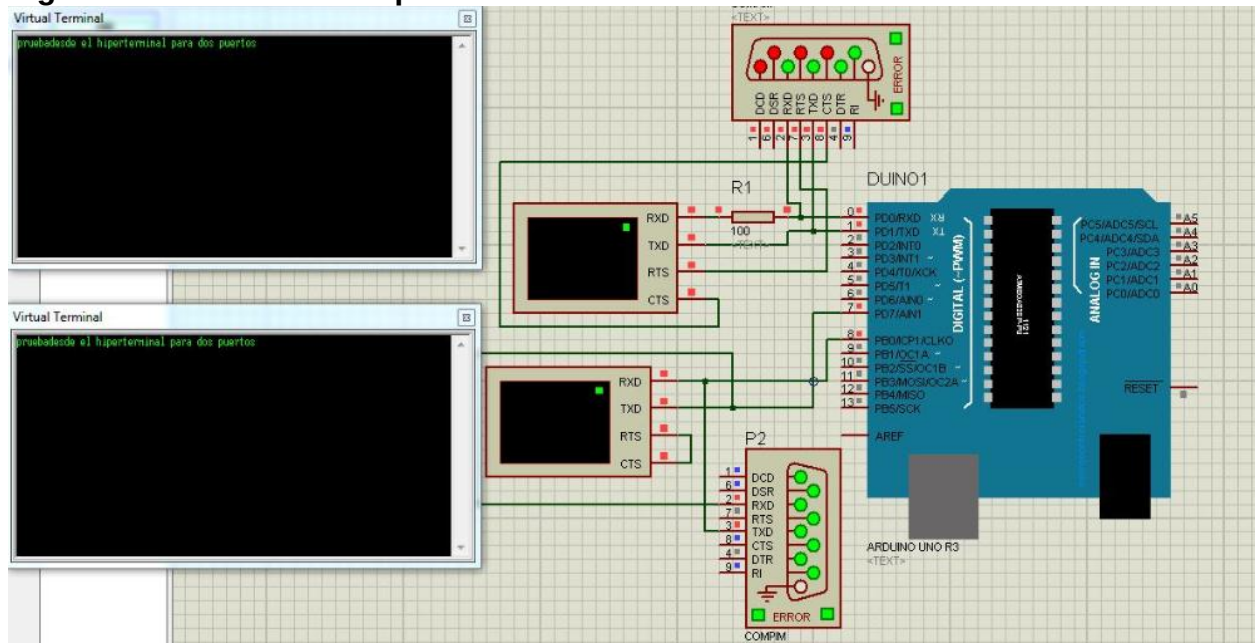
- Software libre para disminuir los costos del proyecto.
- Gran cantidad de información disponible tanto en la web como en medios físicos.
- Deben ser de código abierto para poder realizar cambios en la base del código según la necesidad que se tenga.
- Compatibilidad de 100% entre PostgreSQL y las páginas web desarrolladas con PHP.

6.1 DESARROLLO DEL SOFTWARE PARA PUERTOS SERIALES

Tanto la Xbee Shield como la GPRS shield se comunican con la tarjeta Arduino a través de puertos seriales diferentes, pero la placa de Arduino UNO con la cual se está trabajando solo cuenta con un puerto serial por hardware(pines 0-1),por este motivo se hace necesario trabajar con la librería **SoftwareSerial.h** para simular de una forma muy práctica la función de un puerto serie (Ver Anexo A), esta librería permite realizar una comunicación serial con un par de pines digitales del Arduino, y poder así tener dos o más puertos seriales en la misma placa.

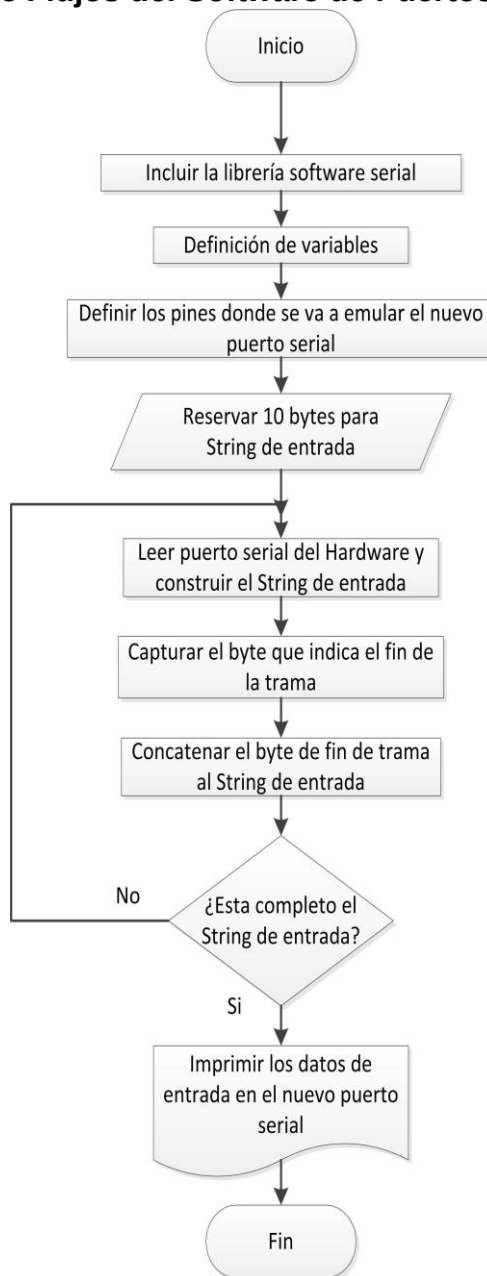
En este caso se realiza una prueba de funcionamiento de lo descrito anteriormente usando el software PROTEUS y es importante mencionar que esta es una solución que se utilizara para la comunicación entre los módulos que se tendrán en cuenta para la realización de este proyecto. A continuación se muestra una figura donde se utiliza el software mencionado anteriormente para realizar una simulación del funcionamiento del algoritmo realizado en Arduino para comunicación de los módulos a través de los puertos seriales y más adelante podrá observar el diagrama de flujos de este programa.

Figura 24. Simulación de puertos seriales en PROTEUS



Fuente: Autores del proyecto

Figura 25. Diagrama de Flujos del Software de Puertos seriales



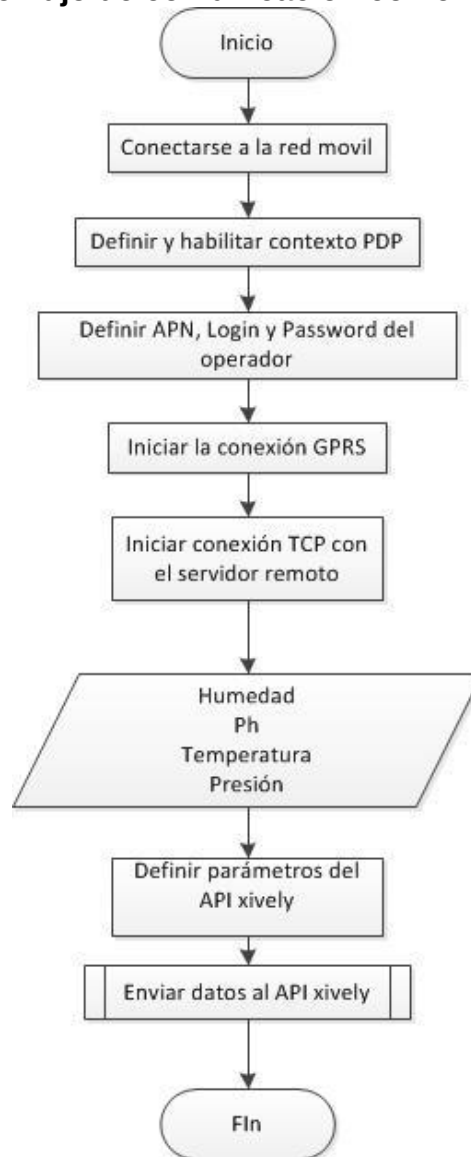
Fuente: Autores del proyecto

6.2 SOFTWARE DE PRUEBAS CON EL SERVIDOR PÚBLICO XIVELY

Xively es un servidor público en la nube que permite a muchos usuarios a nivel mundial almacenar volúmenes de datos, así como el acceso remoto para el monitoreo de dichos datos ya sea mediante representaciones gráficas, representación histórica de los datos almacenados, entre otras. Esta poderosa herramienta además cuenta con un amplio portafolio de servicios que permite integrar gran cantidad de hardware para generar aplicaciones.

En este caso se hace uso de este servidor para realizar pruebas enviando datos de una forma que se podría implementar para este caso, a continuación se muestra una parte esencial del algoritmo o código de programación desarrollado en Arduino para la transmisión de dato al servidor Xively.

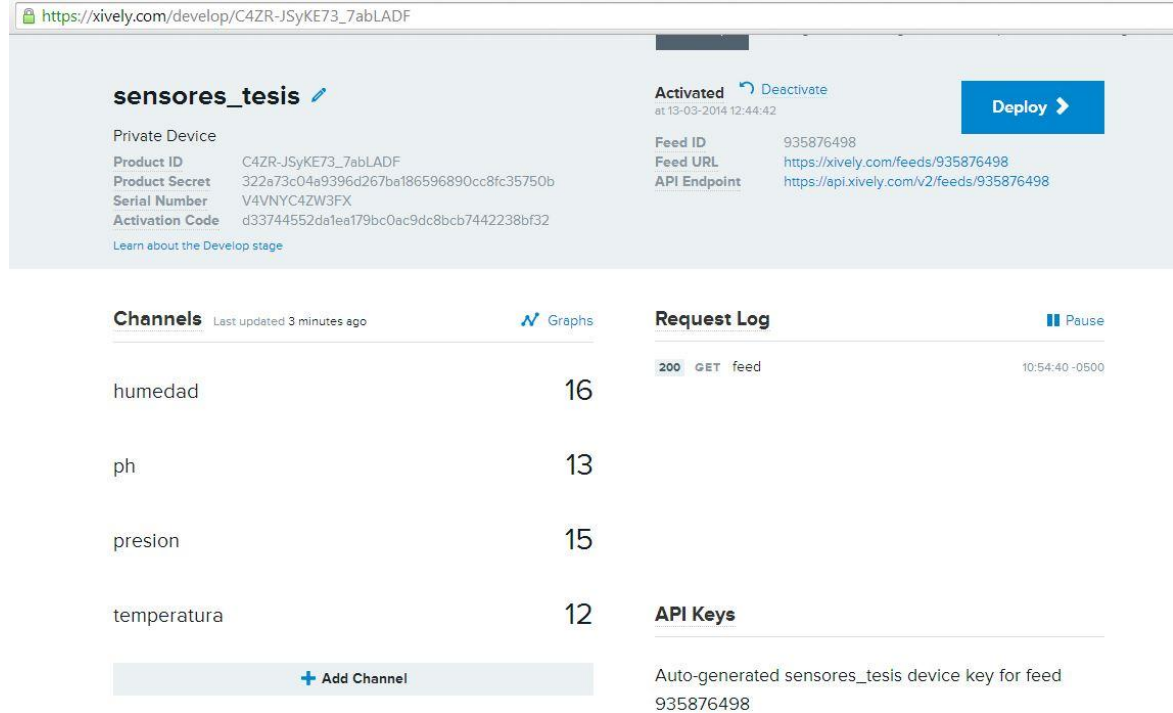
Figura 26. Diagrama de flujo de comunicación con el servidor de xively



Fuente: Autores del proyecto

Lo que se realiza con este fragmento del código es establece una conexión con el servidor a través del nombre o dirección IP y el puerto de este por medio del servicio TCP, luego de realizar la conexión se inicia la transmisión de los datos para 4 variables diferentes que son Humedad, PH, Temperatura y Presión.

Figura 27. Representación de datos enviados en el servidor de Xively



Fuente: Autores del proyecto basado en "https://xively.com"

Luego de enviar estos datos podemos ingresar por medio de un usuario y contraseña al servidor para poder observar la representación de los datos que el servido recibe. Esta representación se puede observar de forma gráfica como en la Figura anterior. En el (Anexo A) puede leer el algoritmo de programación para transmitir datos a Xively. En cuanto al servidor Xively solo es necesario crear una cuenta gratuita la cual tiene ciertas restricciones en comparación con las cuentas pagas, después de obtener la cuenta solo hay que definir las variables que se necesitan mostrar al usuario.

6.3 CONFIGURACIÓN DE MÓDULOS XBEE

Para realizar la configuración de los radios (Xbee) se debe tener instalado el software X-CTU, esta herramienta es desarrollada por el fabricante de los módulos y es la que permitirá establecer comunicación de los nodos que normalmente trabajan bajo la configuración de Router con el dispositivo que hace las veces de Coordinador.

Lo primero que se debe realizar para configurar los radios es conectarlo a un computador mediante la tarjeta Xbee Explorer, esta se muestra en la siguiente figura.

Figura 28. Tarjeta Xbee Explorer

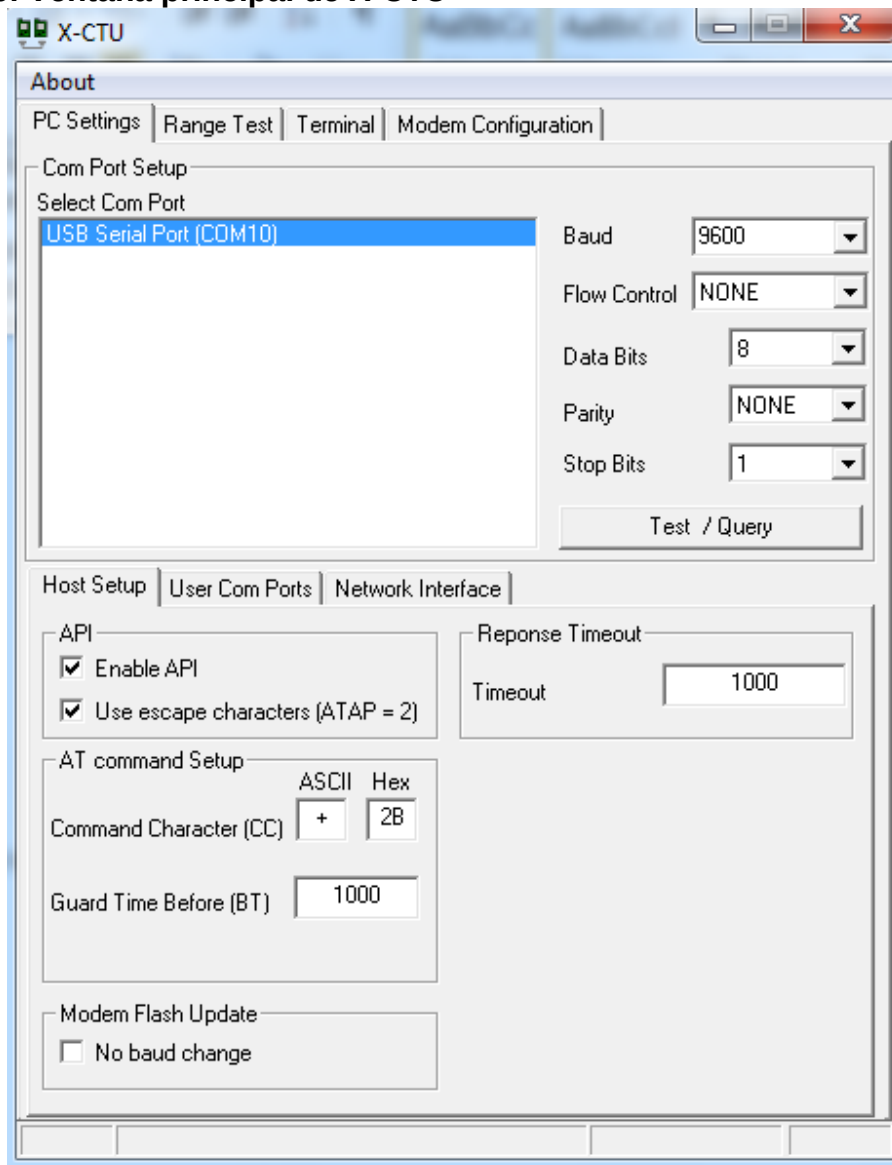


Fuente: <http://www.rhydolabz.com/wiki/?p=3408>

Una vez conectado el radio al computador, se ejecuta el programa X-CTU para poder definir parámetros de configuración en cada uno de los módulos. En la Figura 29, se observa que se habilitan dos casillas que hacen referencia al Modo API 2.

El modo API es una técnica basada en enviar y recibir tramas desde y hacia los puertos seriales de los dispositivos de transmisión y recepción, además el modo API permite cambiar los parámetros del Xbee sin entrar en modo comando, ver la dirección de la fuente en un paquete recibido y recibir la confirmación de entrega de paquetes en cada uno de los paquetes transmitidos. La principal diferencia entre API y API2 se debe a que en el modo de trabajo normal, es decir AP=1 la trama comienza con un carácter 0x7E y el modo de trabajo AP=2 se garantiza que el carácter 0x7E solo aparece en la cadena de datos para indicar el inicio de una trama; pero en caso de que alguno de los datos que se transmiten contiene este mismo valor "0x7E", el modo API2 realiza un proceso llamado secuencia de escape el cual consiste en reemplazar el valor 0x7E por 0x7D (carácter de escape) y realiza una operación XOR con los datos 0x7E y 0x20 dando como resultado el dato que se ha recibido.

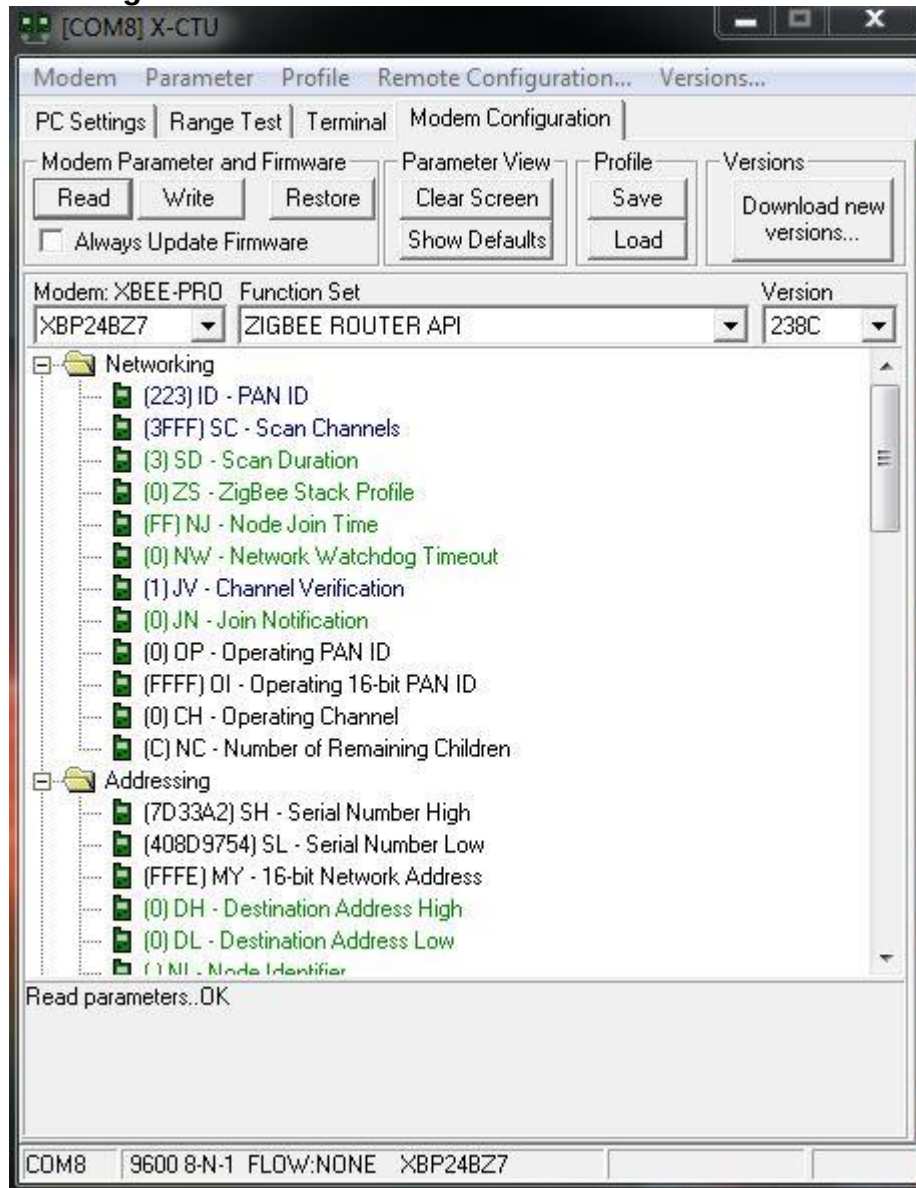
Figura 29. Ventana principal de X-CTU



Fuente: Autores del proyecto

Teniendo en cuenta que se están manejando dispositivo Router y Coordinador, a continuación se muestra una imagen donde se podrá apreciar los parámetros de configuración para el dispositivo Router. Este dispositivo hace referencia a los nodos de la red que transmiten la información de los sensores.

Figura 30. Configuración de módulo Transmisor X-CTU

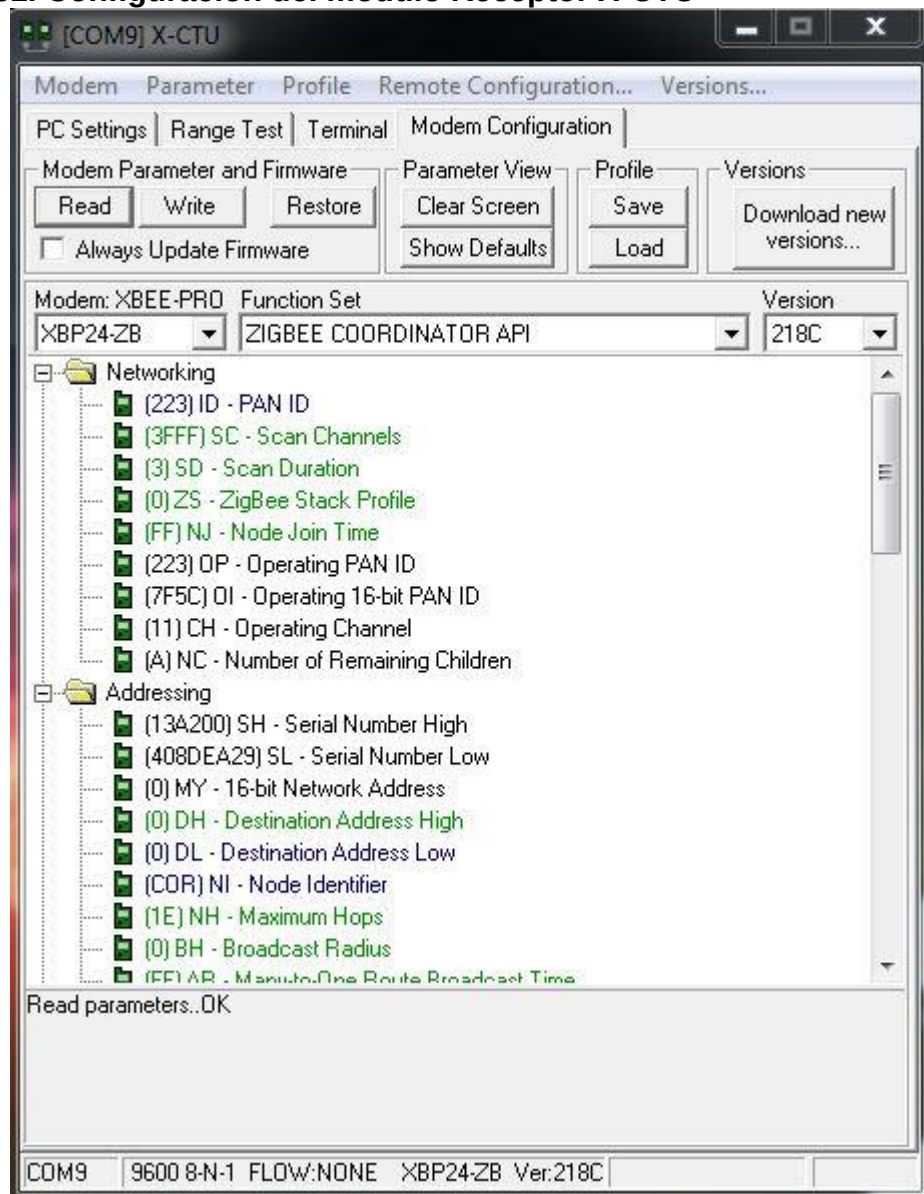


Fuente: Autores del proyecto

Los parámetros más relevantes en el caso de la configuración del Router sería; Function Set donde se especifica que este es un dispositivo ZIGBEE ROUTER API, PAN ID parámetro que debe coincidir en todos los dispositivos de la red (223), Channel Verification que debe ser (1) en todos los dispositivos de la red y finalmente Destination Address High y Low, en este caso son 0 debido a que estas direcciones se especifican en el microcontrolador.

Ahora se muestra la imagen donde se realiza la configuración del módulo encargado de recibir los datos de todos los nodos pertenecientes a la red y los parámetros que este debe llevar configurado.

Figura 31. Configuración del módulo Receptor X-CTU



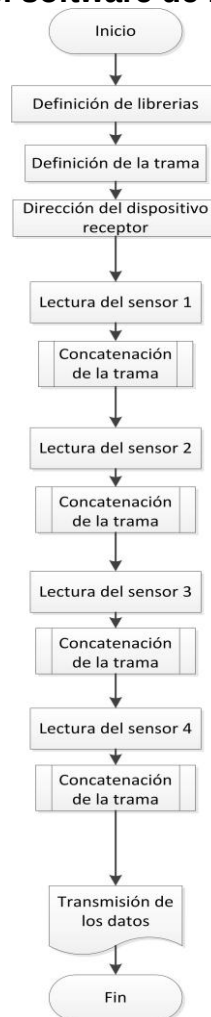
Fuente: Autores del proyecto

Se especifica que este módulo trabaja bajo el Function Set ZIGBEE COORDINADOR API, los parámetros PAN ID, Destination Address High y Destination Address Low deben coincidir con los parámetros del Router API. En cuanto a las direcciones de destino no se configuran en el radio porque esa información se configura mediante el software Arduino al momento de especificar la trama que se va a transmitir. En el (Anexo D) podrá observar cómo se definen las direcciones de destino de los dispositivos.

6.4 SOFTWARE DE LECTURA Y TRANSMISIÓN DE VARIABLES

Este software es el encargado de realizar la lectura analógica de cuatro sensores de variables ambientales conectadas a los pines de la tarjeta Arduino Uno. Esta tarjeta captura los valores de dichas variables con una resolución de 10 bits, por este motivo es necesario usar dos bytes para el muestreo de cada sensor y finalmente realizar la transmisión de esos datos al nodo coordinador de la red. Si desea ver el programa consulte (Anexo E).

Figura 32. Diagrama de flujo del software de lectura y transmisión de variables



Fuente: Autores del proyecto

6.5 SOFTWARE DEL NODO COORDINADOR PARA TRANSMISIÓN DE DATOS POR LA RED MÓVIL CELULAR

En el diseño de este código de programación es estrictamente necesario incluir dos librerías. La primera es `#include <XBee.h>` que es la encargada de crear los objetos tipo XBEE que permiten extraer de la trama de datos la información como la dirección de donde proviene y la carga útil de la trama, es decir, los valores de los sensores.

La segunda librería pero no menos importante es `#include <SoftwareSerial.h>`, la cual permite configurar 2 pines de la placa de Arduino para que funcionen como un puerto serial por software.

Este programa es el encargado dar instrucciones al microcontrolador ATmega328 de procesar las tramas provenientes de los nodos transmisores. Al iniciar el programa se declaran las variables que se van a emplear para realizar el procesamiento cuando se haga la captura de las trama de datos, la librería xbee al momento de recibir los datos distingue entre las 3 posibilidades del mensaje, que sea un paquete de datos correctos, un acuse de recibido o un mensaje de error.

Como los nodos transmisores están configurados como Routers, para garantizar que los datos lleguen al nodo coordinador es necesario que el programa identifique la dirección del radio del cual proviene el paquete, para evitar la duplicidad de información, por este motivo se declaran variables globales en donde se almacenan las direcciones de los radios transmisores, para posteriormente realizar la comparación con la dirección extraída de la trama que acaba de ser recibida.

En el momento en que se detecta que existe un paquete sin procesar, es decir el paquete que llego no es ni un acuse de recibido ni un mensaje de error, el programa procede a comparar la dirección de la trama recibida con la direcciones almacenadas en la variables, para saber de qué nodo proviene la información, una vez identificado el nodo se realiza el desentramado, se organizan y se almacenan estos datos, mientras se espera que lleguen los datos de los nodos faltantes.

Cuando el nodo A realiza el sensado de los datos, y los envía al nodo B y posteriormente este al nodo coordinador, la dirección de origen es la del nodo A, esto se logra por medio de la librería xbee que permite que en ese momento el radio del nodo 2 funcione en modo transparente es decir retransmitiendo el paquete al nodo de destino.

Una vez que todos los nodos han enviado sus paquetes y el programa los ha organizado, se procede a activar la función la función `void Enviaralservidor()` esta es la que enciende la tarjeta GPRS-SHIELD, envía los datos al Hosting Web y apaga la tarjeta lo que permite optimizar el consumo de energía.

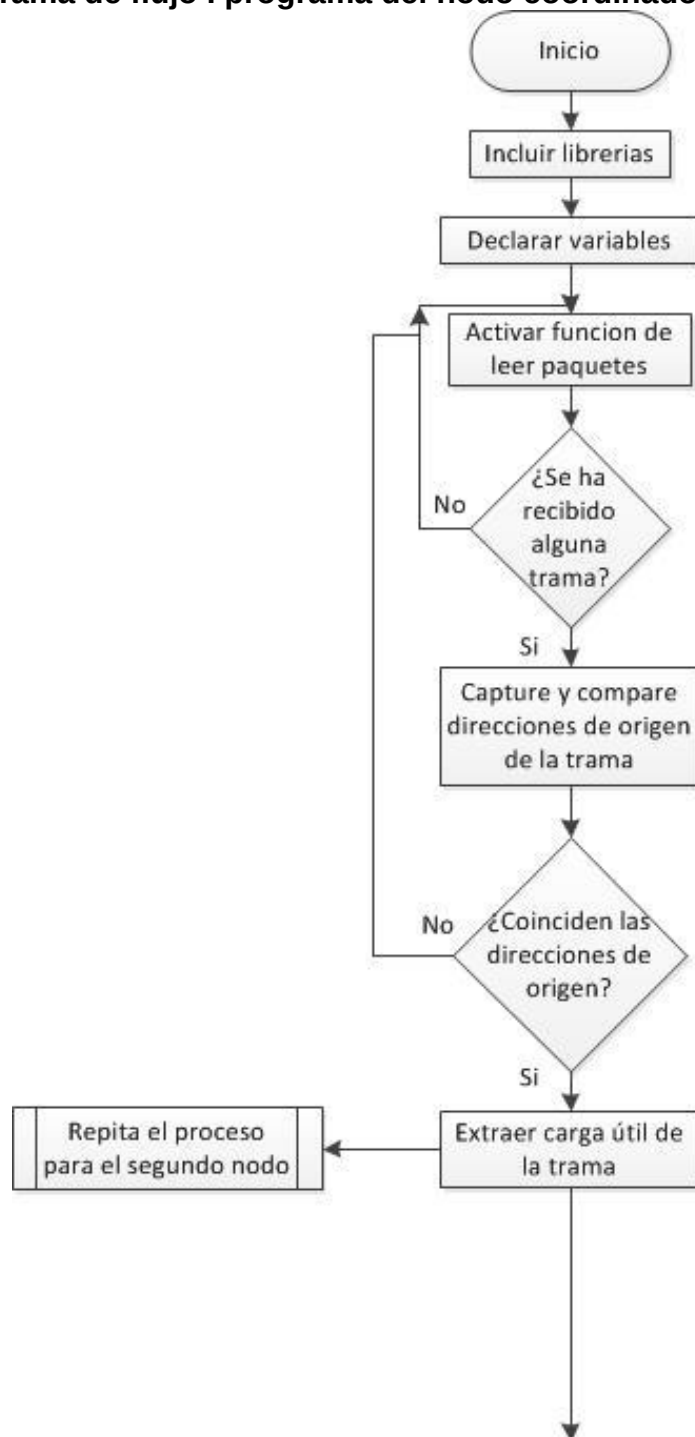
En el caso de alguno de los nodos falle y no envíe el paquete se descartan los datos de todos los nodos y vuela a esperar hasta que reciba los datos de los nodos, esto con el propósito de no graficar en la web datos de los sensores con errores en el día y la hora de la captura.

El registro de la tarjeta GPRS Shield a la red móvil y el envío de los datos se realiza por medio de comandos AT, por esta razón, es necesario incluir una subrutina que recibe el parámetro AT que se va a enviar, la respuesta y el tiempo que la tarjeta debe esperar por la respuesta antes de dar por hecho que se generó un error (timeout), este tiempo depende de cuánto emplee la red para devolver el mensaje con relación a la solicitud. El software espera por parte del módulo GPRS Shield un mensaje de éxito si la respuesta es diferente a la de éxito de inmediato se genera un mensaje de error.

En esta función luego de encender la placa, se configura la Shield para trabajar la conexión en el contexto PDP, seguido de esto se definen los parámetros del operador móvil (CLARO), como lo son el nombre del punto de acceso (APN), el usuario y la contraseña, después de verificar la conexión la red móvil se inicializa el Protocolo de Transferencia de Hipertexto(HTTP), y se realiza el armando de la trama con el formato de una URL en donde van incluidos los valores de las variables sensadas, se realiza una solicitud HTTP al servicio web, se finaliza el protocolo HTTP, se desactiva el contexto PDP, y se apaga la tarjeta.

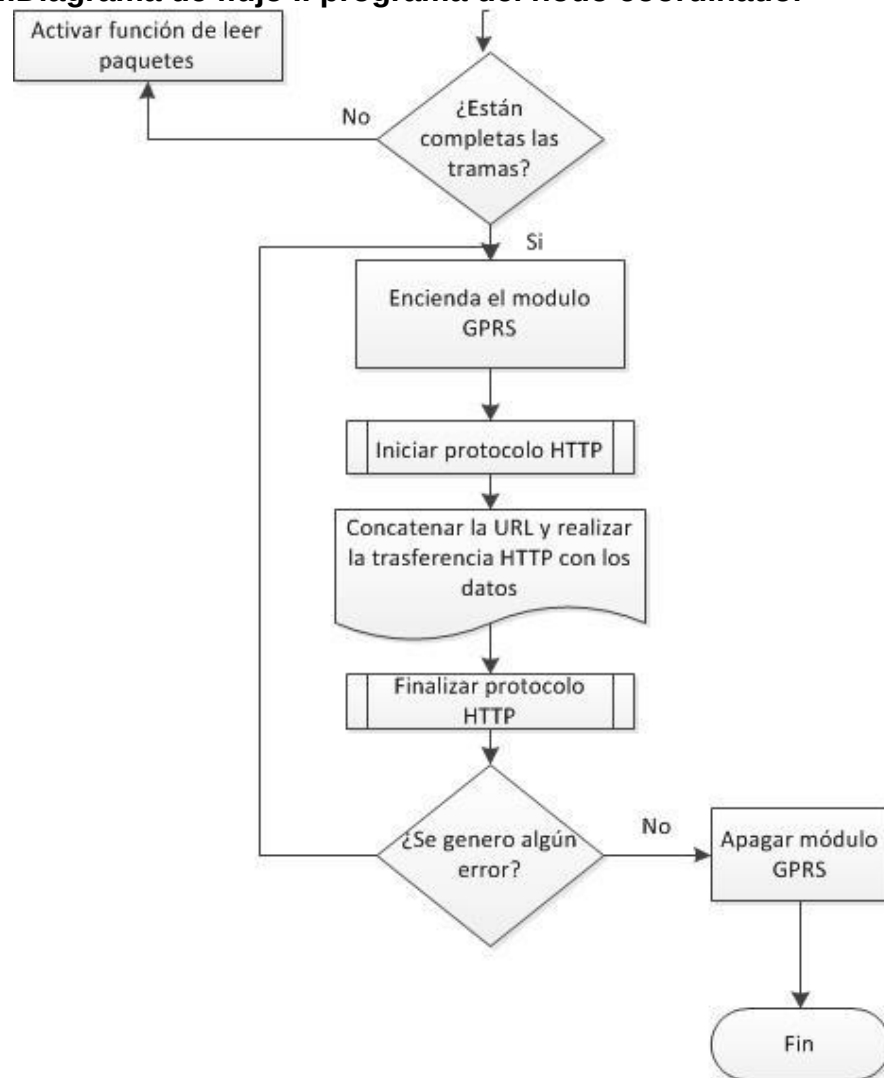
En caso de error el programa vuelve a realizar todo el proceso de void Enviaralserver() y aumenta el contador en uno, si este contador llega a tres la tarjeta se apaga y descarta estos datos, reinicia todas las variables y espera hasta que llegue los nuevos datos nuevos para volver a actuar. Cabe resaltar que los errores se pueden presentar debido a un fallo de la red móvil, que el GPRS Shield no detecte la tarjeta Sim, o que el modulo no este encendido. En las figuras 33 y 34 podrá observar el diagrama de flujos de este programa, para ver el código de programación consulte el (Anexo F).

Figura 33. Diagrama de flujo I programa del nodo coordinador



Fuente: Autores del proyecto

Figura 34. Diagrama de flujo II programa del nodo coordinador



Fuente: Autores del proyecto

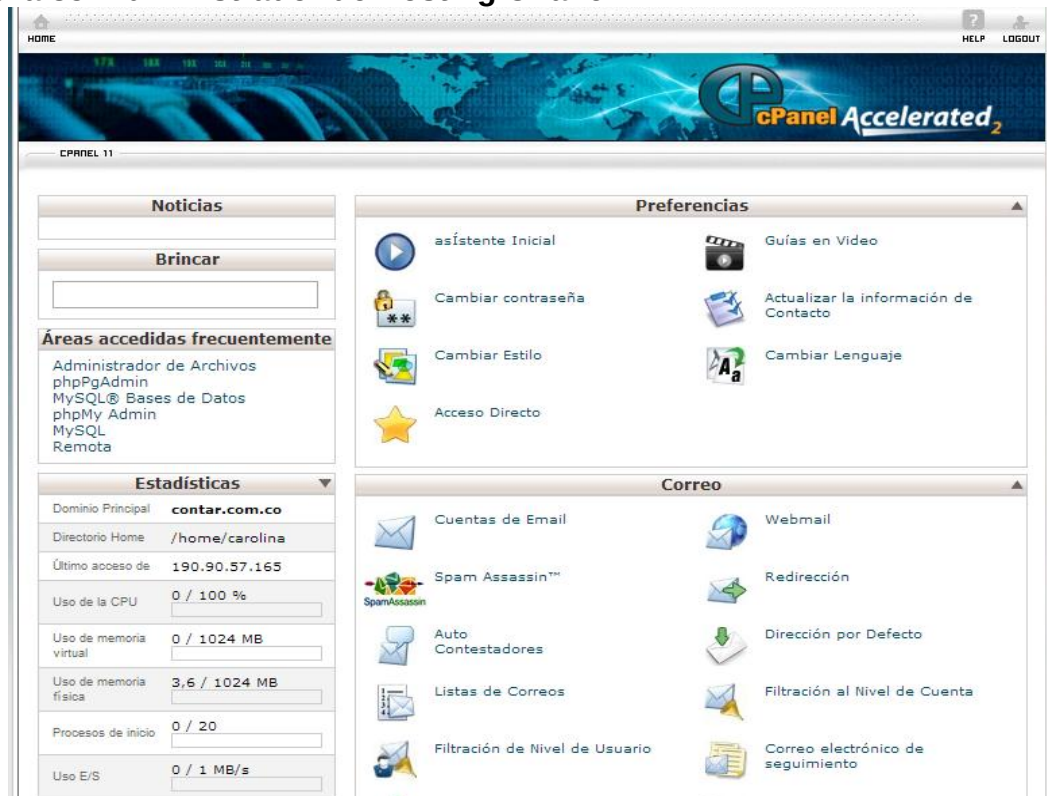
6.6 SOFTWARE DEL SITIO WEB

En la solución de este proyecto el aplicativo web ha sido diseñado mediante un Hosting, se hace uso de este servicio de hospedaje o alojamiento de datos en la red de internet puesto que este permite tener un dominio propio a donde se van a enviar los datos de la red de sensores del cultivo, además por medio del Hosting tenemos acceso a los servicios PHP, PostgreSQL para la gestión de una base de datos donde se almacenara toda la información proveniente de los nodos.

NOTA. Se está utilizando el administrador de Hosting o Alojamiento Web CPanel bajo el dominio “<http://www.contar.com.co/test>”.

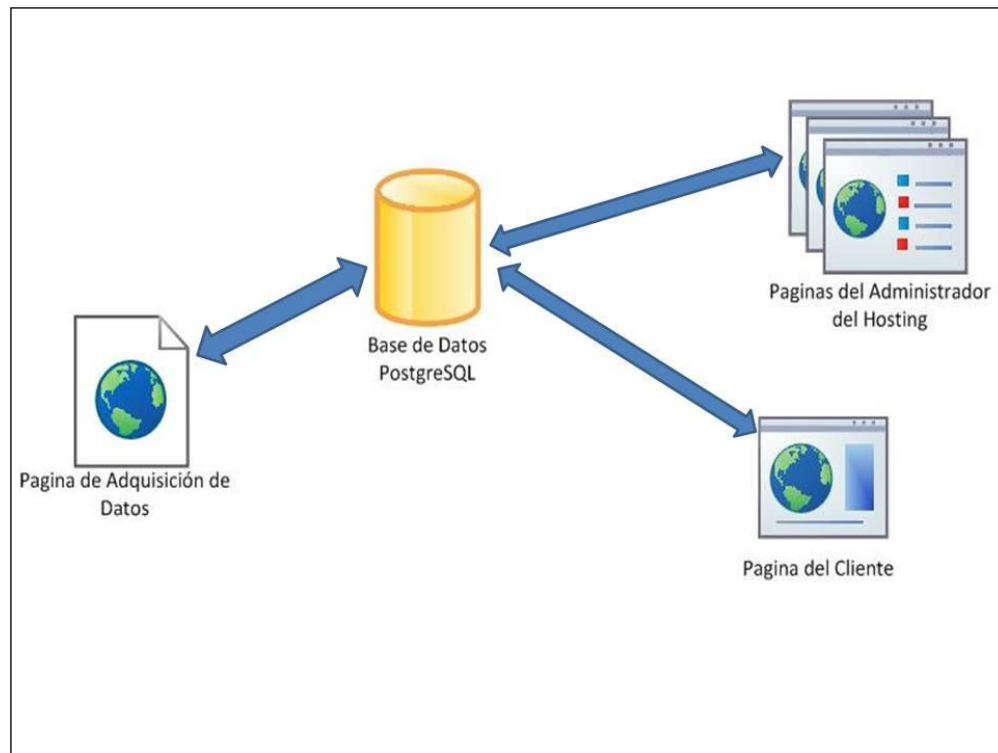
En la Figura 35 se muestra la página de inicio del Web Hosting donde se desarrolló el sitio Web, posteriormente en la Figura 36 podrá observar diagrama general de la estructura del sitio web con base de datos que se realizó para este proyecto.

Figura 35. Administrador de Hosting CPANEL



Fuente: Autores del proyecto

Figura 36. Estructura general del sitio Web



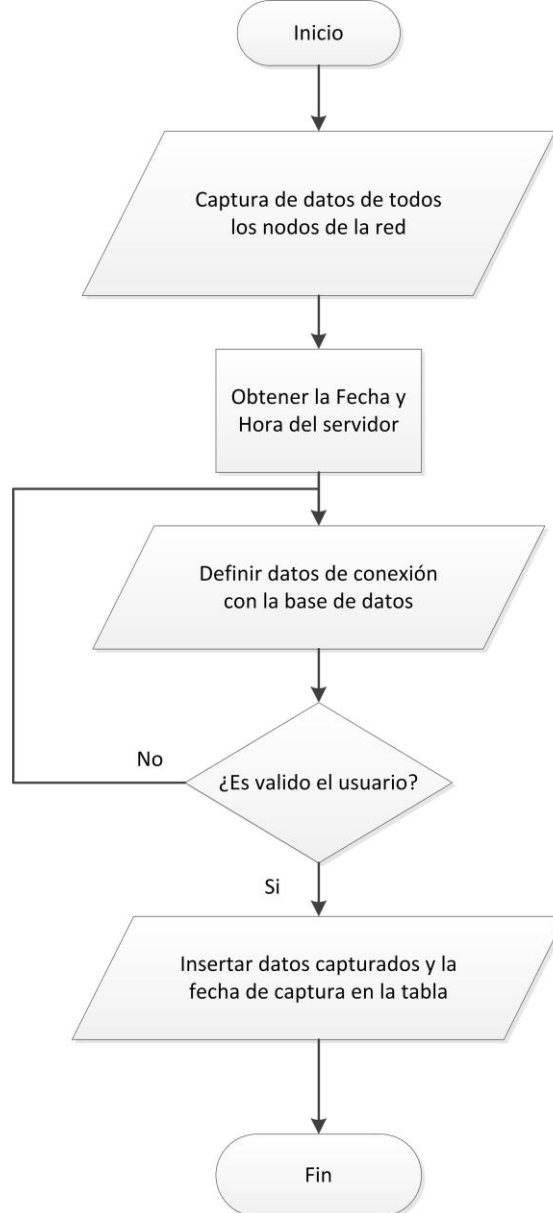
Fuente: Autores del proyecto

6.6.1 DESARROLLO DEL SOFTWARE PHP Y POSTGRESQL. Esta sección describe el desarrollo de software para que en el servidor se pueda gestionar la información de la base de datos y poder mostrarla a través de PHP en un dispositivo final.

Lo primero que se realiza es la captura de datos que se están recibiendo en la página web del servidor por medio del método GET, luego se debe hacer una cadena con los datos y la fecha en la que se reciben estos, establecer una conexión con la base de datos para insertar todos los valores capturados en la tabla a la cual pertenecen estos. En el DVD anexo a este proyecto se podrá observar cómo se realizó la creación de la base de datos y las tablas por medio de PostgreSQL que se encuentra en el Hosting.

En la Figura 37 podrá observar el diagrama de flujos del programa para capturar los datos enviados al sitio web y luego insertar esos datos a la tabla “wsn”. Si desea mirar el código de programación (ver Anexo C).

Figura 37. Diagrama de flujos de programación PHP y PostgreSQL 1



Fuente: Autores del proyecto

Otra parte importante del software PHP es donde se toman los datos de la tabla para mostrarlos mediante gráficas, este procesos se realiza de tal forma que una gráfica representa los datos de un nodo en donde se puede apreciar las diversas variables que pertenecen a este nodo. Las gráficas se realizan utilizando la JPGRAPH que es compatible con PHP.

En el momento de graficar los datos se incluye la librería JPGRAPH, se seleccionan de la tabla los últimos diez datos de cada variable o sensor, posteriormente se hacen unos arreglos PHP para la construir la gráfica.

El proceso descrito anteriormente se realiza varias veces, tantas como el número de nodos que existan en la red.

6.6.2 DESARROLLO DEL SITIO WEB. El sitio web que se ha desarrollado para este proyecto se basa en los lenguajes de programación PHP, HTML, javascript y librerías de AMcharts que se emplean para realizar las gráficas de los valores que representan los datos de una la red de sensores que a su vez se encuentran almacenados en una base de datos estructurada en postgresSQL, al igual que estilos CSS para que la interfaz de la página web tenga un diseño agradable y de fácil entendimiento para los usuarios. Observe en la Figura 38 la página de inicio del sitio web desarrollado.

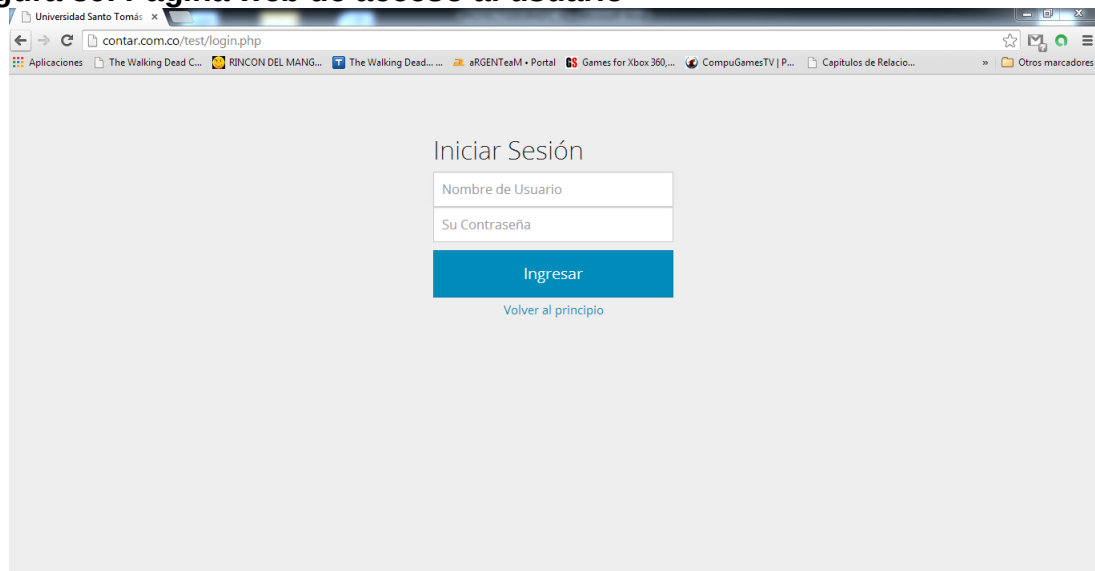
Figura 38. Sitio web de inicio



Fuente: Autores del proyecto

La página web está diseñada para que solo usuarios autorizados puedan acceder y visualizar la información de la red de sensores que se encuentra ubicada de la finca El Limonal. Cabe resaltar que solo los administradores del hosting web tienen acceso a realizar modificaciones en los campos de las tablas, tanto de usuarios como la tabla de los datos que son recibidos desde la red de sensores.

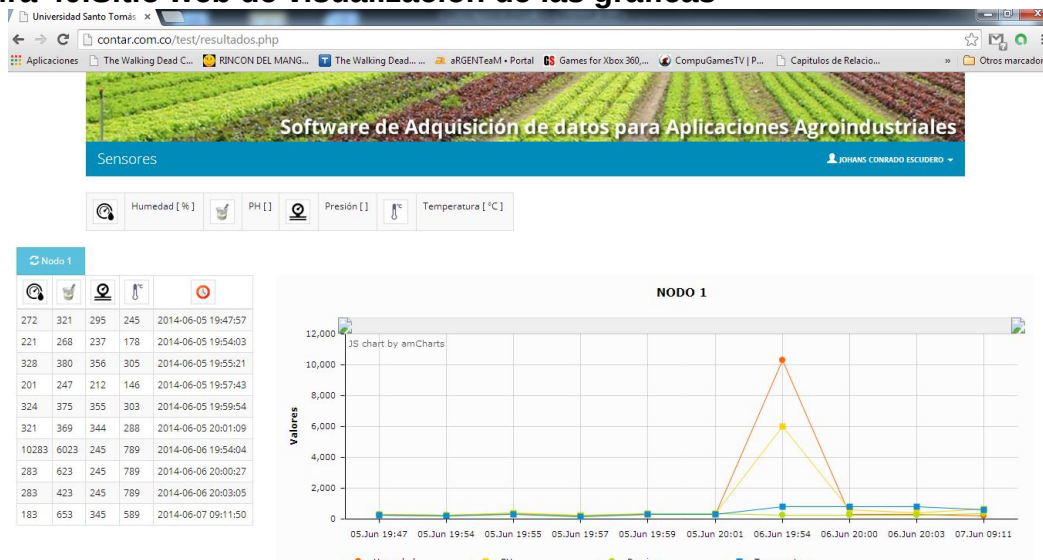
Figura 39. Página web de acceso al usuario



Fuente: Autores del proyecto

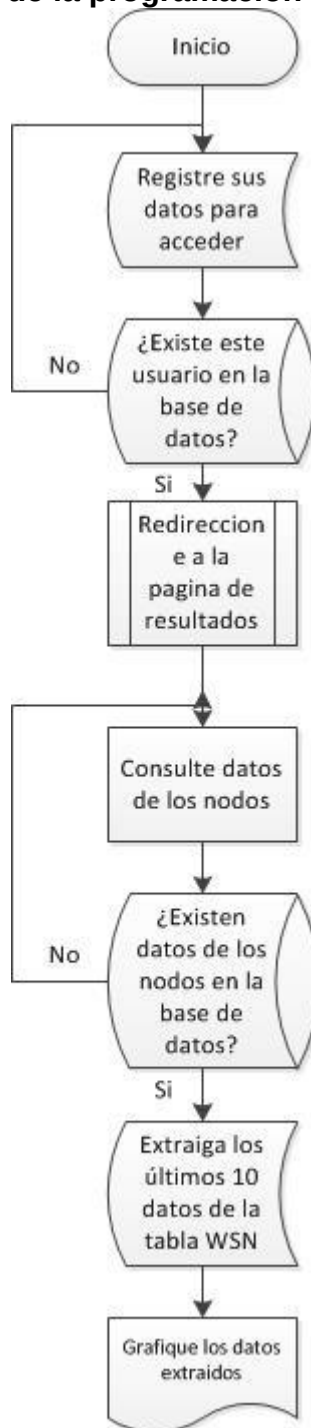
Para realizar las gráficas que representan la información se utiliza la librería AMcharts de javascript que soporta gran número de graficos como barras, columnas, líneas, entre otras. Esta librería es compatible con el lenguaje PHP y ofrce una forma dinámica de representar los valores de las variables. A continuación se muestra una imagen con la página de los resultados.

Figura 40. Sitio web de visualización de las graficas



Fuente: Autores del proyecto

Figura 41. Disgrama de flujo de la programación de la página Web



Fuente: Autores del proyecto

7. PRUEBAS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA

7.1 SOFTWARE DE PRUEBA AT COMMAND TESTER

AT command tester es una aplicación en línea basada en java para realizar pruebas y aprender a realizar la configuración de dispositivos de la tecnología GSM (GPRS, EDGE, UMTS, etc).

Esta herramienta facilita la posibilidad de identificar los comandos AT y la manera adecuada de utilizarlos para cumplir los objetivos del proyecto, además en el sitio web encontramos toda la información necesaria para utilizar estos comandos que son indispensables para programar sobre el módulo SIM 900.

En la siguiente imagen se aprecia el uso de AT command tester para iniciar una conexión del el dispositivo con la aplicación y luego con el servidor de M2M support por medio de TCP utilizando el puerto 80.

Figura 42. Uso de comando AT 1

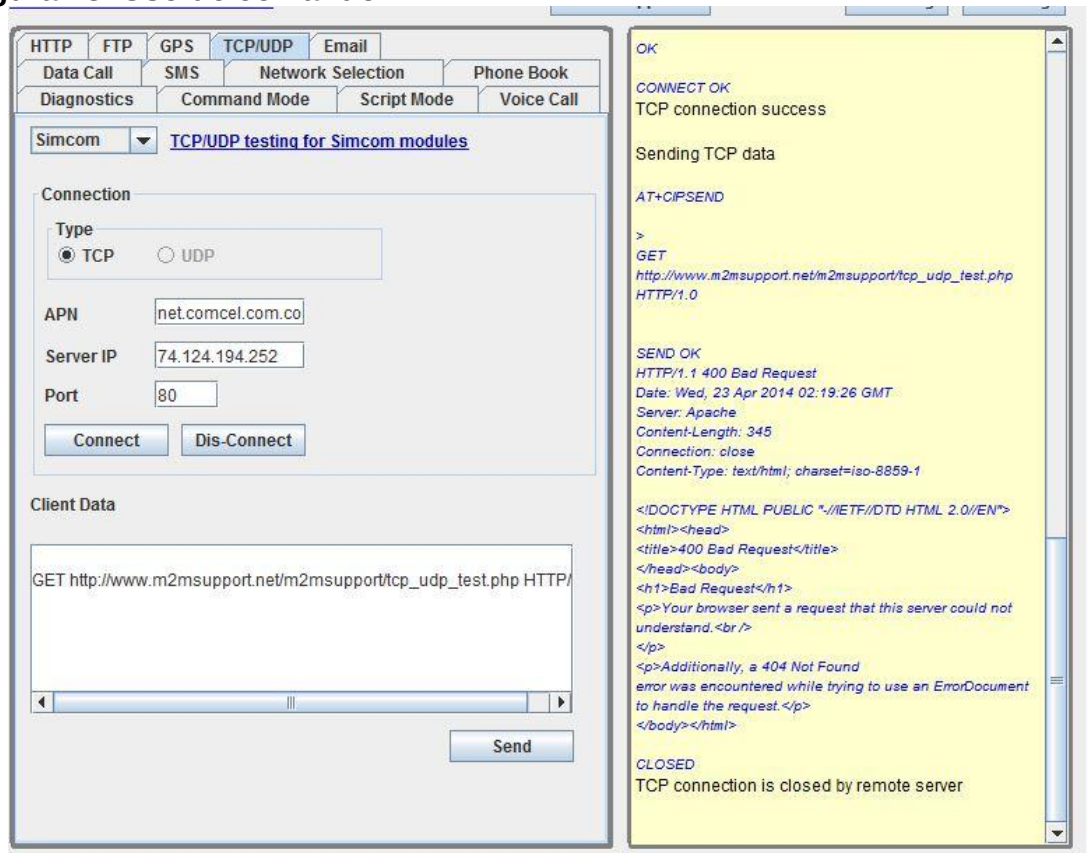
The screenshot displays the 'AT Command Tester' web application. The interface includes a top navigation bar with tabs for HTTP, FTP, GPS, TCP/UDP, and Email. Below this, there are sub-tabs for Data Call, SMS, Network Selection, and Phone Book. The 'TCP/UDP' tab is selected, and the 'Command Mode' sub-tab is active. The 'Simcom' dropdown menu is set to 'TCP/UDP testing for Simcom modules'. The 'Connection' section shows 'Type' set to 'TCP' (selected) and 'UDP' (unselected). The 'APN' field contains 'net.comcel.com.co', 'Server IP' is '74.124.194.252', and 'Port' is '80'. There are 'Connect' and 'Dis-Connect' buttons. The 'Client Data' section shows a text input field with the command 'GET http://www.m2msupport.net/m2msupport/tcp_udp_test.php HTTP/' and a 'Send' button. On the right side, a yellow log area displays the AT command execution results, including 'AT+CGACT?', '+CGACT: 1,0', '+CGACT: 3,0', 'OK', 'AT+CMEE=1', 'OK', 'Attaching to network...', 'AT+CGATT=1', 'OK', 'Setting up APN for TCP connection...', 'AT+CSTT="internet.comcel.com.co"', 'OK', 'APN setup for TCP connection successful..', 'Bring up GPRS Connection...', 'AT+CIICR', 'OK', 'GPRS Connection bring up sucessful..', 'AT+CIFSR', '181.151.35.20', 'AT+CIPSTART="TCP","74.124.194.252","80"', 'OK', 'CONNECT OK', 'TCP connection success', and 'Sending TCP data'.

Fuente: Autores del proyecto basado en
“<http://m2msupport.net/m2msupport/module-tester/>”

Es importante al momento iniciar esta aplicación en la pestaña de TCP/UDP saber que para simular el envío de datos por medio de TCP se debe digitar el APN que es característico de la red móvil por la cual se intenta conectar la dirección IP del servidor remoto al cual se van a enviar dichos datos, en número del puerto por el que se va a disponer del servicio.

También es importante llenar la casilla Client Data para digitar lo que se va a enviar al servidor. A continuación se puede apreciar en la imagen que al enviar los datos al servidor por el método GET se obtiene una respuesta del servidor.

Figura 43. Uso de comando AT 2



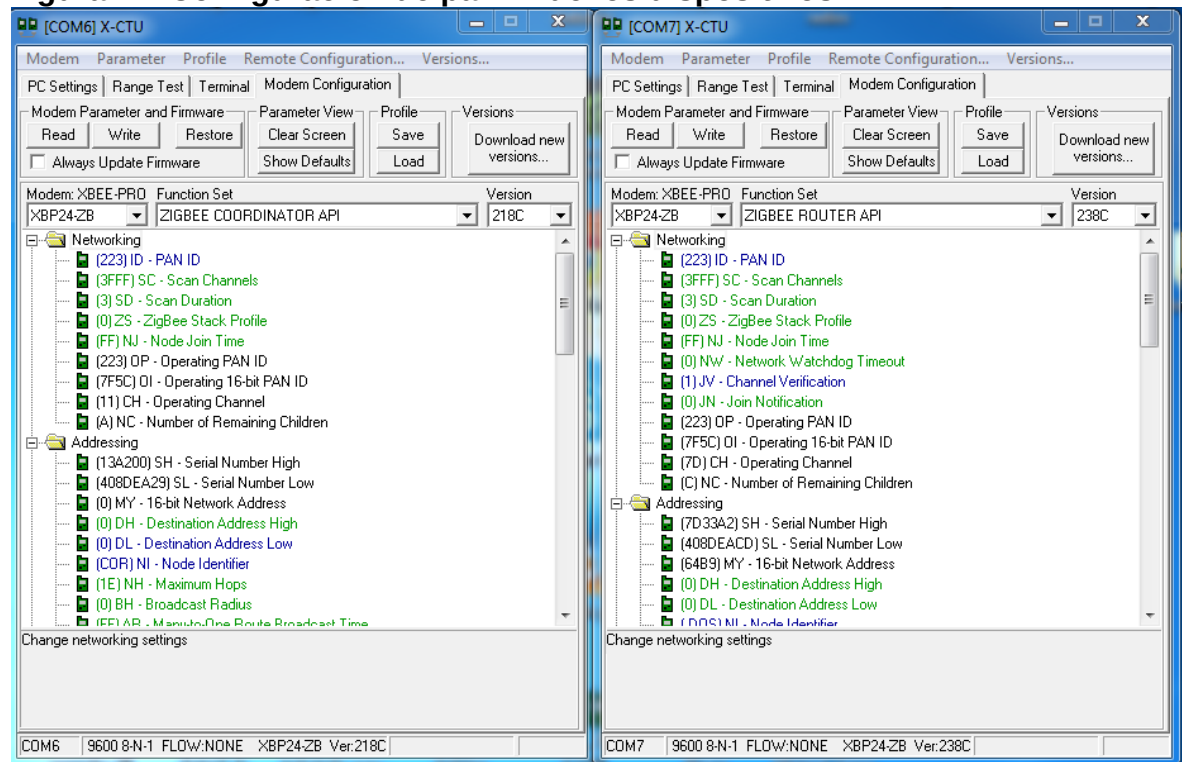
Fuente: Autores del proyecto basado en "
<http://m2msupport.net/m2msupport/module-tester/> "

A través de esta herramienta basada en java también es posible realizar prueba haciendo uso del protocolo HTTP para enviar datos al servidor tal y como se estaría implementando en este caso para dar solución a los objetivos propuestos de este trabajo de grado.

7.2 PRUEBAS DE COMUNICACIÓN DE RADIOS XBEE EN X-CTU

Al realizar las pruebas de comunicación con los radios es necesario tener un coordinador API, ya que este es el encargado de configurar la red y escoger el canal más adecuado para la comunicación con los demás dispositivos configurados como Routers API los cuales se asocian al tener el mismo PAN ID.

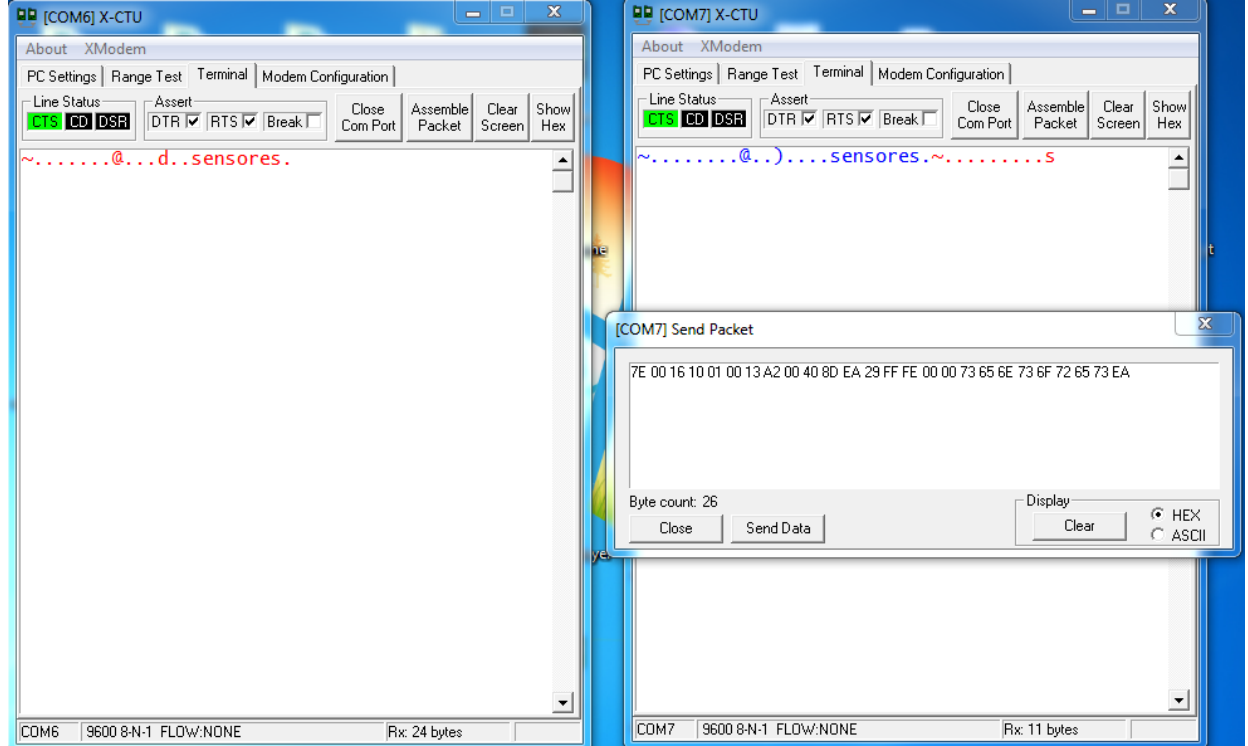
Figura 44. Configuración de pan ID de los dispositivos



Fuente: Autores del proyecto

Una vez configurados los radios el siguiente paso será comprobar que tengan comunicación, para ello se utiliza el terminal de puertos serial del software X-CTU, para enviar datos desde el Router hasta el coordinador. Como los módulos Xbee se están trabajando en modo api, se requiere armar una trama de datos en formato hexadecimal, con la siguiente estructura:

Figura 45. Estructura de la trama API2



Fuente: Autores del proyecto

Un byte que contiene el valor que indica el inicio de trama API (**7E**).

Dos bytes donde se especifique longitud de la trama (**00 16**).

Un byte que especifica el tipo de trama API (**10**).

Un byte que especifica el ACK que se debe recibir del coordinador, si la recepción exitoso (**01**).

Cuatro bytes con la dirección alta del radio al que se le envía los datos, en este caso la del coordinador (**00 13 A2 00**).

Cuatro bytes con la dirección baja del radio al que se le envía los datos, es decir la del coordinador (**40 8D EA CD**).

Dos bytes con la dirección corta del radio de destino, si no se conoce se puede colocar (**FF FE**).

Un byte con el número de saltos desde el router hasta el coordinador (**00**). La tarjeta arduino en conjunto con la librería xbee es la encargada de verificar y adicionar a la trama el número de saltos.

Un byte necesario en ceros (**00**).

Varios bytes que contienen los datos (depende de la cantidad de datos) que se quieren enviar. En este caso los valores hexadecimal de la palabra sensores representada en 8 bytes (**73 65 6E 73 6F 72 65 73**).

Un byte que contiene el valor de la suma de comprobación (**EA**). Generado por el microcontrolador el cual es un algoritmo de verificación de información recibida completa. El algoritmo utilizado por el protocolo ZIGBEE simplemente suma todos

los bytes de la trama partiendo desde el tipo de trama y luego coge el byte menos significativo del resultado y lo resta de FF.

7.3 PRUEBAS DE VALIDACIÓN DE LA LIBRERÍA XEEB DE ARDUINO

La librería Xbee sirve para proveer funcionalidad en la comunicación por el protocolo Zigbee entre módulos Xbee configurados en modo API o API2, ya sea utilizando radios serie 1 o para los radios serie 2. Esta librería incluye soporte para la una gran cantidad de tipos de paquetes, entre los cuales se destacan, transmisión/recepción, comandos AT locales y remotos, muestreos de entradas y salidas del módulo, además esta librería es de software libre, por lo cual puede ser modificada y distribuida bajo los términos de la licencia publica general (GNU).

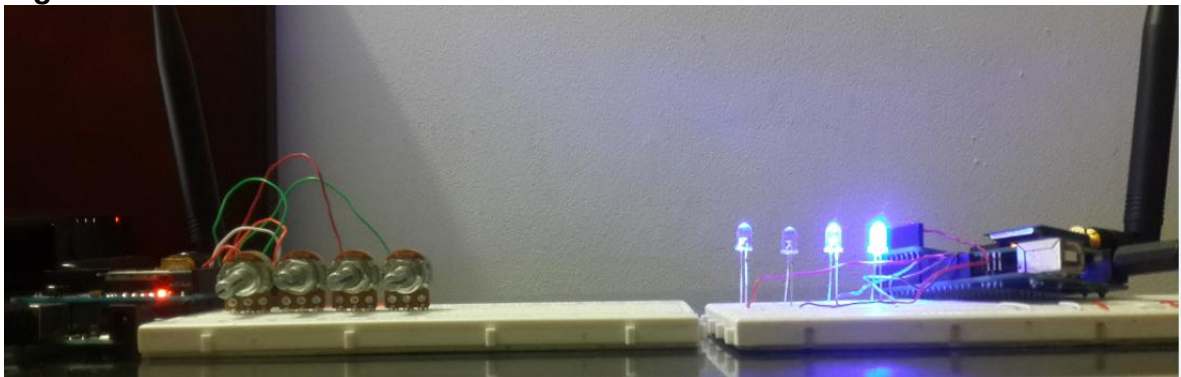
La práctica se realiza para validar el funcionamiento de la librería Xbee, en una comunicación punto a punto, para esta se tienen 2 nodos, donde el primero está configurado como Router API y el segundo coordinador API.

El nodo 1 cuenta con una tarjeta Arduino Uno, cuatro potenciómetros, una Xbee Shield y un radio Xbee serie 2 configurado como Router, este nodo tiene la función de realizar la lectura analógica del valor de los potenciómetros y armar una trama api para que pueda ser enviada por el radio de comunicación inalámbrica Xbee.

El nodo 2 al igual que el nodo 1 posee una tarjeta Arduino Uno, una Xbee Shield, un radio Xbee serie 2 configurado como Coordinador API, pero a diferencia del nodo uno este no cuenta con potenciómetros sino con cuatro diodos emisores de luz (Leds), este nodo es el encargado de recibir y desentramar los datos provenientes del nodo 1 y asignarle a cada Led el valor (voltaje) que se establece en cada potenciómetro del nodo transmisor.

En la Figura 46, se puede evidenciar el cambio en la iluminación de los Leds del nodo 2 dependiendo de los valores de los potenciómetros del nodo 1.

Figura 46. Pruebas de la librería Xbee de Arduino



Fuente: Autores del proyecto

7.4 PRUEBAS DE COMUNICACIÓN A DISTANCIA EN CAMPO (ENTORNO REAL)

Para validar la comunicación entre los nodos de la red de sensores inalámbricos implementada bajo el estándar IEEE 802.15.4 y el nodo coordinador de la red que en este caso es el que se encarga de transmitir los datos por la red móvil; se realizan pruebas en campo teniendo en cuenta que la distancia desde el cultivo hasta el punto de centralización de los datos es de aproximadamente 450 metros, lo cual no debería ser ningún inconveniente debido a que se implementa el uso de radios Xbee Pro S2B cuya máxima distancia es de 1500 metros, entendiendo que no es necesario utilizar dispositivos repetidores en este proyecto. A continuación en la Figura 47 se muestra la ubicación de la finca y la distancia hasta el cultivo.

Figura 47. Distancia entre el cultivo y el nodo de coordinador



Fuente: Rico Martínez Mónica, Gómez Corso José, 2012

Otro factor importante y que no es un inconveniente para la adecuada transmisión y recepción de los datos es la línea de vista que en este caso no existe debido a que hay una leve inclinación y que la zona está bastante poblada por árboles. Observe en las siguientes imágenes el resultado de las pruebas de distancia desde el cultivo al nodo coordinador. En la Figura 48 podrá observar los datos enviados por parte del Coordinador llegan de forma exitosa al servidor y se pueden observar desde la base de datos, prueba que se realizó durante un rango de aproximadamente 2 horas. En esta prueba resulta que la transmisión es exitosa pero algunos datos que se observan en la Figura 48 con el valor 0 son erróneos, inconveniente que se presenta en la comunicación Zigbee entre los dispositivos Xbee y que se soluciona y que en las pruebas siguientes que se realizan en condiciones de laboratorio se pueden evidenciar.

Figura 48. Tabla de los datos del Hosting

phpPgAdmin

<< Principio Previo 1 2 3

humedad1	ph1	presion1	temperatura1	humedad2	ph2	presion2	temperatura2	humedad3	ph3	presion3	temperatura3	hora_fecha
72	3	1	107	71	2	1	104	45	7	3	23	2014-06-08 16:01:59
375	367	352	357	473	359	384	447	15	16	127	159	2014-06-08 16:25:32
345	359	348	336	414	353	397	448	15	16	127	159	2014-06-08 16:26:46
760	507	892	61	493	376	428	499	15	16	127	159	2014-06-08 16:40:27
760	0	0	61	758	891	0	61	15	16	127	159	2014-06-08 17:26:27
760	0	0	59	759	892	0	60	15	16	127	159	2014-06-08 17:27:42
760	0	0	59	758	892	0	59	15	16	127	159	2014-06-08 17:29:17
760	0	0	58	758	892	0	60	15	16	127	159	2014-06-08 17:30:32
760	0	0	58	758	891	0	61	15	16	127	159	2014-06-08 17:32:06
760	0	0	59	757	892	0	60	15	16	127	159	2014-06-08 17:33:19
760	1023	1023	58	757	1022	1023	60	15	16	127	159	2014-06-08 17:34:59
760	1023	1023	59	758	1023	1023	59	15	16	127	159	2014-06-08 17:36:14
24	6	2	22	25	7	3	23	45	7	3	23	2014-06-08 17:39:53
24	6	2	22	25	7	3	23	45	7	3	23	2014-06-08 17:41:08
24	6	2	22	25	7	3	23	45	7	3	23	2014-06-08 17:42:23
24	6	2	22	25	7	3	23	45	7	3	23	2014-06-08 17:43:40
24	10	4	22	25	10	5	23	45	7	3	23	2014-06-08 17:44:57
24	10	4	22	25	10	5	23	45	7	3	23	2014-06-08 17:46:11
25	10	4	22	25	10	5	23	45	7	3	23	2014-06-08 17:47:36
24	10	4	22	25	10	5	23	45	7	3	23	2014-06-08 17:48:46
24	9	4	22	25	10	5	23	45	7	3	23	2014-06-08 17:51:22
24	10	4	22	25	10	5	23	45	7	3	23	2014-06-08 17:53:07
24	10	4	22	25	10	5	23	45	7	3	23	2014-06-08 17:54:24
24	10	4	22	25	10	5	23	45	7	3	23	2014-06-08 17:55:45
24	10	4	22	25	10	5	23	45	7	3	23	2014-06-08 17:56:56

25 fila(s)

<< Principio Previo 1 2 3

[Atrás](#) | [Expandir](#) | [Insertar](#) | [Refrescar](#)

Fuente: Autores del proyecto

Figura 49. Ubicación de nodo Router en cultivo



Fuente: Autores del proyecto

Figura 50. Ubicación del nodo coordinador



Fuente: Autores del proyecto

7.5 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO EN CONDICIONES DE LABORATORIO

Para verificar el funcionamiento del sistema que se ha implementado se realizan pruebas en condiciones de laboratorio y poder mostrar por medio de imágenes los resultados que se obtienen para pasar a concluir este proyecto. En esta parte es importante garantizar que luego de cierto tiempo (30 horas) el sistema no deja de transmitir los datos que recibe de la red de sensores.

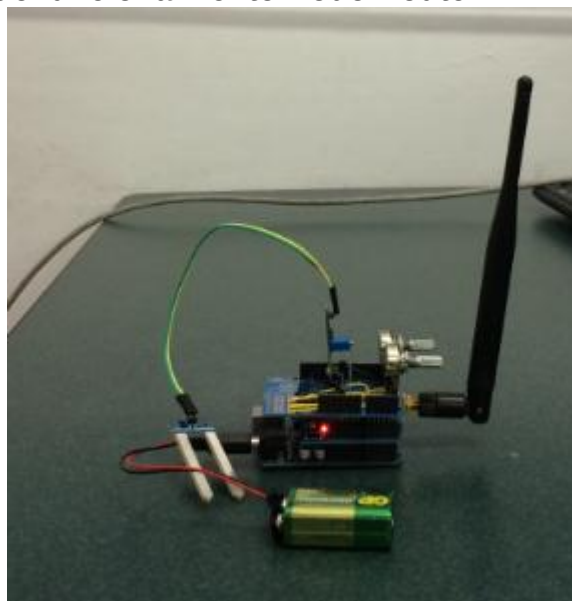
A continuación podrá observar las imágenes donde se ubican los dispositivos que integran la red de sensores ubicadas en puntos estratégicos del laboratorio de electrónica de la Universidad Santo Tomas.

Figura 51. Pruebas de funcionamiento Nodo Coordinador



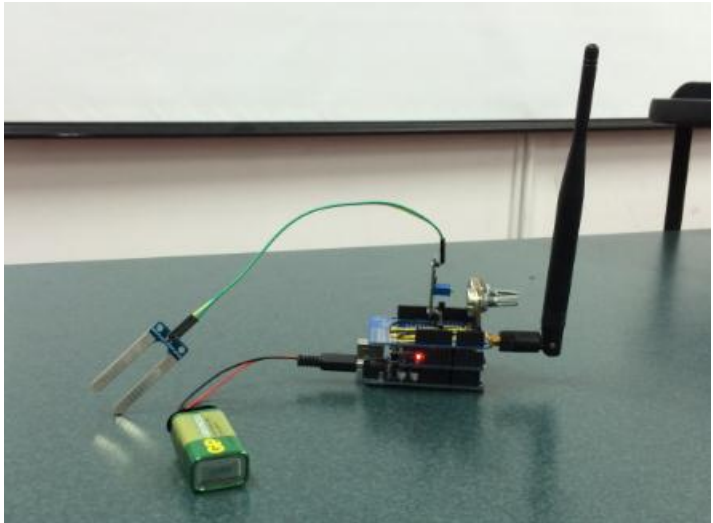
Fuente: Autores del proyecto

Figura 52. Pruebas de funcionamiento Nodo Router 1



Fuente: Autores del proyecto

Figura 53.Pruebas de funcionamiento Nodo Router 2



Fuente: Autores del proyecto

La Figura 54 muestra los resultados en la tabla y la gráfica del sitio web los datos recibidos para el nodo 1, véase en (Anexo G) las gráficas correspondientes a los otros nodos.

Figura 54.Pruebas de funcionamiento tabla y gráfica del Nodo 1



Fuente: Autores del proyecto

A continuación con las Figuras 55 y 56 se pretende evidenciar que luego de aproximadamente 30 horas los dispositivos no dejaron de transmitir datos lo cual

brinda garantías de que el sistema es 100% funcional y que no existen errores en la comunicación.

Figura 55. Pruebas de funcionamiento en un periodo de tiempo extenso 1

humedad1	ph1	presion1	temperatura1	humedad2	ph2	presion2	temperatura2	humedad3	ph3	presion3	temperatura3	hora_fecha
37	5	3	22	25	4	3	24	45	7	3	23	2014-06-06 19:49:33
37	4	3	22	25	4	5	24	45	7	3	23	2014-06-06 20:19:34
37	5	3	22	25	4	5	24	45	7	3	23	2014-06-06 20:49:30
37	7	4	21	25	4	5	24	45	7	3	23	2014-06-06 21:19:26
37	3	3	22	24	5	5	24	45	7	3	23	2014-06-06 21:49:20
37	2	5	21	24	7	5	24	45	7	3	23	2014-06-06 22:18:54
35	5	4	20	24	7	5	23	45	7	3	23	2014-06-06 22:48:45
35	5	4	20	24	3	5	23	45	7	3	23	2014-06-06 23:18:40
35	5	4	20	23	3	5	23	45	7	3	23	2014-06-06 23:48:41
34	5	4	19	23	3	5	22	45	7	3	23	2014-06-07 00:17:56
34	5	4	19	23	3	5	21	45	7	3	23	2014-06-07 00:48:12
34	5	4	19	37	3	5	21	45	7	3	23	2014-06-07 01:19:01
34	5	4	19	37	3	5	20	45	7	3	23	2014-06-07 01:48:56
33	5	4	19	37	3	5	20	45	7	3	23	2014-06-07 02:19:02
33	5	4	18	37	3	5	18	45	7	3	23	2014-06-07 02:49:12
33	5	4	18	37	3	5	18	45	7	3	23	2014-06-07 03:19:25
32	5	4	18	37	3	5	18	45	7	3	23	2014-06-07 03:49:40
32	5	4	18	37	3	5	18	45	7	3	23	2014-06-07 04:19:51
30	5	4	18	37	3	5	18	45	7	3	23	2014-06-07 04:50:01
30	5	4	18	37	3	5	18	45	7	3	23	2014-06-07 05:20:12
30	5	4	18	37	3	5	18	45	7	3	23	2014-06-07 05:50:23
30	5	4	19	38	3	5	19	45	7	3	23	2014-06-07 06:20:32
28	5	4	19	38	3	5	19	45	7	3	23	2014-06-07 06:50:45
28	5	4	20	38	3	5	19	45	7	3	23	2014-06-07 07:20:56
28	5	4	21	38	3	5	20	45	7	3	23	2014-06-07 07:51:05
27	5	4	21	38	3	5	20	45	7	3	23	2014-06-07 08:20:59
27	5	4	22	38	3	5	21	45	7	3	23	2014-06-07 08:50:56
27	5	4	23	38	3	5	21	45	7	3	23	2014-06-07 09:21:03
25	5	4	23	38	3	5	23	45	7	3	23	2014-06-07 09:51:14
25	5	4	24	38	3	5	23	45	7	3	23	2014-06-07 10:20:12

Fuente: Autores del proyecto

Figura 56. Pruebas de funcionamiento en un periodo de tiempo extenso 2

humedad1	ph1	presion1	temperatura1	humedad2	ph2	presion2	temperatura2	humedad3	ph3	presion3	temperatura3	hora_fecha
25	7	5	25	37	3	5	24	45	7	3	23	2014-06-07 10:50:32
25	6	5	25	36	3	5	23	45	7	3	23	2014-06-07 11:20:21
25	5	3	25	36	3	5	24	45	7	3	23	2014-06-07 11:50:34
24	4	3	26	36	5	5	24	45	7	3	23	2014-06-07 12:20:20
23	7	1	27	36	6	5	23	45	7	3	23	2014-06-07 12:50:05
23	3	1	27	36	4	5	25	45	7	3	23	2014-06-07 13:19:37
23	3	3	27	35	4	5	24	45	7	3	23	2014-06-07 13:49:50
23	3	3	27	35	3	5	26	45	7	3	23	2014-06-07 14:19:39
23	3	4	27	35	2	5	26	45	7	3	23	2014-06-07 14:49:31
23	3	4	27	35	2	5	26	45	7	3	23	2014-06-07 15:19:31
22	6	3	27	35	1	5	27	45	7	3	23	2014-06-07 15:49:35
22	5	3	27	35	5	5	25	45	7	3	23	2014-06-07 16:20:15
22	6	5	27	35	7	5	26	45	7	3	23	2014-06-07 16:50:05
22	5	3	25	35	10	5	26	45	7	3	23	2014-06-07 17:20:44
20	4	5	24	33	8	5	25	45	7	3	23	2014-06-07 17:50:35
20	4	3	22	33	7	5	25	45	7	3	23	2014-06-07 18:20:40
20	3	2	20	33	7	5	25	45	7	3	23	2014-06-07 18:50:55
20	4	1	20	33	7	5	25	45	7	3	23	2014-06-07 19:21:15
18	3	1	20	32	7	5	25	45	7	3	23	2014-06-07 19:51:31
18	5	5	20	32	6	5	23	45	7	3	23	2014-06-07 20:11:45
18	6	5	20	32	6	5	23	45	7	3	23	2014-06-07 20:51:35
18	5	3	20	32	6	5	20	45	7	3	23	2014-06-07 21:21:47
18	10	4	20	32	6	5	20	45	7	3	23	2014-06-07 21:51:30
18	10	4	20	32	6	5	18	45	7	3	23	2014-06-07 22:21:20
18	10	4	18	32	6	5	18	45	7	3	23	2014-06-07 22:51:10
18	10	4	18	30	6	5	18	45	7	3	23	2014-06-07 23:20:58
17	10	4	18	30	6	5	18	45	7	3	23	2014-06-07 23:48:59
17	10	4	18	30	6	5	18	45	7	3	23	2014-06-08 00:19:50
17	10	4	18	30	6	5	18	45	7	3	23	2014-06-08 00:49:54
17	10	4	18	30	6	5	18	45	7	3	23	2014-06-08 01:20:45

Fuente: Autores del proyecto

Finalmente estas pruebas arrojan un resultado positivo debido a que tanto la comunicación Zigbee como la transmisión GSM/GPRS es satisfactoria, los datos son almacenados de forma correcta en la base de datos y las gráficas en PHP muestran los valores reales que han sentido.

8. CONCLUSIONES

- El monitoreo de variables agroambientales permite conocer con mayor detalle los cambios y requerimientos del proceso, con el fin de mejorar y optimizar la producción agrícola. Se ha podido determinar que la tecnología GPRS, resulta siendo la más adecuada para el tipo de aplicación en la que se implementó en este caso, debido a que la cantidad y tamaño de los datos transmitidos no es demasiado alto el dispositivo buena respuesta en cuanto a velocidades de transmisión y ahorro de energía. En esta misma línea es importante resaltar que en muchas situaciones es la única opción para transmisión de datos, junto a posibilidad satelitales, por la ubicación de los cultivos (espacios remotos).
- El estado del arte y la base conceptual realizada ha permitido evidenciar la existencia de proyectos e iniciativas a nivel internacional y nacional que involucran el uso de la tecnología y las comunicaciones para el apoyo de los procesos agrícolas; proponiendo el mejoramiento en el monitoreo, seguimiento y control del mismo. Se determina que el aporte que desde las Telecomunicaciones se puede realizar en el mismo es muy destacado, desarrollando topologías, esquemas, algoritmos, entre otros aspectos para su correcta operación.
- El hardware de la familia Arduino utilizado en este proyecto brinda la capacidad de realizar modificaciones por ser Open Hardware, además permite facilidad y rapidez en cuanto a la programación del dispositivo debido a que no es necesario desconectar el microcontrolador, también ofrece una gran cantidad de información en la Web para el desarrollo por ser de Software Libre lo que permite el desarrollo de grandes funcionalidades en reducido tamaño de instrucciones de programación.
- La propuesta del proyecto ha elegido el uso de una solución Web para la visualización y almacenamiento de los datos monitoreados en el entorno agrícola. Esta estrategia permite que los administradores y/o dueños de las plantaciones puedan realizar monitoreo a distancia de los mismos, y con esto facilitar la toma de decisiones. Complementariamente, la iniciativa permite aumentar la cobertura geográfica de compartir información y a su vez contribuye a una rápida toma de decisiones.
- El prototipo piloto para la medición de variables agronómicas resulta una buena opción para la implementación en el campo colombiano, debido a que es de hardware abierto, software libre, fácil solución e implementación, además el sistema es viable económicamente por su bajo consumo de datos móviles, consumo de energía y gracias a que todo el hardware integrado es de bajo costo.
- Dado a que se realizaron pruebas de funcionamiento del prototipo se puede concluir que la comunicación tanto Zigbee como GPRS es fiable y satisfactoria, no se ve afectada por las condiciones del terreno en cuanto a

arborización e inclinación, no es necesario utilizar dispositivos repetidores, la cobertura de las redes móviles celulares en la zona es excelente.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Repositorio digital de la facultad de ingeniería UNAM.* (2012). Obtenido de Repositorio digital de la facultad de ingeniería UNAM: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/>
- Almarío Ospino, R., Ramón Valencia, B., & Ramón Valencia, J. (2011). Sistema de Adquisición de Datos para el Monitoreo de la Calidad del Agua a través de las Variables de pH, Conductividad, Temperatura y Oxígeno Disuelto. 1(17).
- Arduino.cc. (s.f.). *Arduino.cc*. Recuperado el 2014, de Arduino.cc: <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>
- Arduino.cc. (s.f.). *Arduino.cc/ArduinoXbeeShield*. Recuperado el 2014, de <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoXbeeShield>
- Arellano, Francisco; Huidobro, Mária; Gustafson, Niklas; Novosal, Natascha;. (2001). *GPRS: La nueva generación de telefonía móvil*. Madrid.
- Digi. (s.f.). *Soporte Digi*. Recuperado el 27 de Mayo de 2014, de <http://www.digi.com/support/kbase/>
- Doumenc, H. (2008). Estudio Comparativo de Protocolos de Encaminamiento en Redes Vanet. Madrid.
- Echenique, Yesirée; Rivero, Rafael;. (2012). Diseño y Desarrollo de un Módulo de Recolección, Almacenamiento y Transmisión de Datos a través de la Red Celular para Contadores Electrónicos Monofásicos de Energía Eléctrica. 27(4).
- Fernandez Barcell, M. (s.f.). *M. F. BARCELL*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2013, de <http://www.mfbarcell.es/conferencias/wsn.pdf>
- Fernández Martínez, Roberto; Orideres Meré, Joaquín; Martínez de Pisón Ascacíbar, Francisco; González Marcos, Ana; Alba Elías, Fernando; Lostado Lorza, Ruben; Pernía Espinoza, Alpha;. (2009). *Redes inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica*. Logroño: Universidad de la Rioja. Servicio de Publicaciones.
- Friedrich, Guillermo Rodolfo; Ardenghi, Jorge Raúl;. (2012). Evaluación de las Prestaciones de la Red GPRS para Aplicaciones de Monitoreo Remoto. Bahía Blanca.
- González Pazmín, F., Mosquera Luna, W., & Useche Ospinal, G. (2013). Diseño de una Red Inalámbrica de Sensores para Apoyar Actividades de Agricultura de Precisión en el Jardín Botánico de Cali. Santiago de Cali.
- Huidobro, J. M. (2004). *Manual de Telecomunicaciones*. Mexico, D.F.: Alfaomega.
- Ingeniería MCI Ltda. (2009). *Xbee.cl*. Recuperado el 2014, de <http://www.xbee.cl/diferencias.html>
- López Riquelme, J. A.; Soto, F.; Suardíaz, J.; Iborra, A.;. (2009). Red de Sensores Inalámbrica para Agricultura de Precisión. Cartagena-España.
- Marino Dodge, J. (2011). Reletría usando Redes de Datos de Telefonía Celular. 6(11).
- Rey, E. (1998). *Telecomunicaciones Móviles*. Barcelona: Marcombo.

- Rico Martínez Mónica, Gómez Corso José. (2012). *Sistema de monitoreo preventivo y correctivo inalámbrico de la capacidad de campo del suelo en un cultivo de ají*. Bucaramanga.
- Sánchez Webbar, J. A. (2005). Análisis y Estudio de Redes GPRS. Valdivia.
- SeeedStudio. (11 de Febrero de 2014). *SeeedWiki*. Recuperado el 2014, de http://www.seeedstudio.com/wiki/GPRS_Shield_V2.0
- Thayer Ojeda, L. (s.f.). *MCI Electronics*. Recuperado el 3 de Octubre de 2013, de <http://www.olimex.cl/index.php>
- Valverde Rebaza , J. C. (2007). *SECC Perú*. Recuperado el 10 de Octubre de 2013, de <http://www.seccperu.org/files/ZigBee.pdf>
- Varas Salazar, Z. (2013). Diseño de un Sistema Electrónico para Riego de Césped de Jardín Empleando un Sensor de Humedad de Suelos y comunicación Inalámbrica. Lima.
- Villón Valdiviezo, D. (2009). Diseño de una Red de Sensores Inalámbrica Para Agricultura de Precisión. Lima.

10. ANEXOS

Anexo A. Algoritmo propuesto para software de puertos seriales.

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial GPRS(7,8);
String inputString = "";
boolean stringComplete = false;
char inChar ;
void setup(){
  GPRS.begin(19200);
  Serial.begin(19200);
  inputString.reserve(10);
}
void loop(){
  while (Serial.available()){
    inChar = (char)Serial.read();
    inputString += inChar;
    if (inChar == '\n') {
      stringComplete = true;}}
  if (stringComplete) {
    GPRS.println(inputString);
    GPRS.println(inputString);
    delay(100);
    GPRS.println((char)26);
    delay(100);
    GPRS.println();
    delay(1000);}}
```

Anexo B. Algoritmo para software de pruebas con Xively.

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <String.h>
SoftwareSerial mySerial(7, 8);
void setup()
{
  mySerial.begin(9600);
  Serial.begin(9600);
  delay(500);
}
void loop()
{
  if (Serial.available())
    switch(Serial.read())
```

```

{
  case 'h':
    SubmitHttpRequest();
    break;
  case 's':
    Enviaraxively();
    break;
}
if (mySerial.available())
  Serial.write(mySerial.read());
}

void SubmitHttpRequest()
{ Serial.println("probando");
}

void Enviaraxively()
{
  mySerial.println("AT+CGATT=1");
  delay(4000);
  ShowSerialData();
  mySerial.println("AT+CGDCONT=1,\"IP\",\"internet.comcel.com.co\"");
  delay(3000);
  ShowSerialData();
  mySerial.println("AT+CGACT=1,1");
  delay(7000);
  ShowSerialData();
  mySerial.println("AT+CSTT=\"internet.comcel.com.co\",\"comcel \",\"comcel \"");
  delay(5000);
  ShowSerialData();
  mySerial.println("AT+CGATT?");
  delay(3000);
  ShowSerialData();
  mySerial.println("AT+CIICR");
  delay(4000);
  ShowSerialData();
  mySerial.println("AT+CIFSR");
  delay(2000);
  ShowSerialData();
  mySerial.println("AT+CIPSPRT=0");
  delay(3000);
  ShowSerialData();
  delay(2000);
  mySerial.println("AT+CIPSTART=\"tcp\",\"api.xively.com\",8081");
  delay(2000);
}

```

```

ShowSerialData();
mySerial.println("AT+CIPSEND");
delay(4000);
ShowSerialData();
String humedad = "16";//
String ph = "13";//
String temperatura= "12";//
String presion = "15";//
mySerial.print("{\"method\": \"put\", \"resource\": \"/feeds/935876498/\", \"params\":");
delay(200);
ShowSerialData();
mySerial.print(": {\", \"headers\": {\"X-PachubeApiKey\":");
delay(200);
ShowSerialData();
mySerial.print("
\"NQEeCU4PiyN3ielXUhHxRLHQbuYnQrN0wpk1uT8Dy8KVMOEi\", \"body\":");
delay(200);
mySerial.print(" {\"version\": \"1.0.0\", \"datastreams\": ");
delay(200);
ShowSerialData();
mySerial.println("{\"id\": \"presion\", \"current_value\": \"\" + presion + "\",");
delay(200);
ShowSerialData();
mySerial.println("{\"id\": \"humedad\", \"current_value\": \"\" + humedad + "\",");
delay(200);
ShowSerialData();
mySerial.println("{\"id\": \"ph\", \"current_value\": \"\" + ph + "\",");
delay(200);
ShowSerialData();
mySerial.println("{\"id\": \"temperatura\", \"current_value\": \"\" + temperatura +
\"\"}], \"token\": \"lee\"}");
delay(200);
ShowSerialData();
mySerial.println((char)26);
delay(5000);
mySerial.println();
ShowSerialData();
mySerial.println("AT+CIPCLOSE");
delay(100);
ShowSerialData();
mySerial.println("AT+CIPSHUT");
delay(100);
ShowSerialData();
}
void ShowSerialData()

```

```

{
    Serial.print("RES: ");
    while(mySerial.available() != 0)
        Serial.write(mySerial.read());
}

```

Anexo C. Algoritmo propuesto para software del sitio WEB.

```

<?php
$HUM=$_GET['HUM'];
$PH=$_GET['PH'];
$PRES=$_GET['PRES'];
$TEMP=$_GET['TEMP'];

$HUM2=$_GET['HUM2'];
$PH2=$_GET['PH2'];
$PRES2=$_GET['PRES2'];
$TEMP2=$_GET['TEMP2'];

$HUM3=$_GET['HUM3'];
$PH3=$_GET['PH3'];
$PRES3=$_GET['PRES3'];
$TEMP3=$_GET['TEMP3'];

$fecha=date("Y-m-d H:i:s");
$fecha2 = strtotime('-7 hour', strtotime($fecha)); // -7 horas
$fecha2 = date('Y-m-d H:i:s', $fecha2);
$cadena="INSERT INTO wsn values
('".$HUM."','".$PH."','".$PRES."','".$TEMP."','".$HUM2."','".$PH2."','".$PRES2."','".$TEMP2."','".$HUM3."','".$PH3."','".$PRES3."','".$TEMP3."','".$fecha2."')";
print($cadena);
$conexion = pg_connect("host=localhost port=5432 dbname=carolina_prueba
user=carolina password=carcar2013");
if (!pg_query($cadena))
if (!$conexion) {
    print("Connection Failed.");
    exit;
}
echo "la humedad es $HUM";
echo "EL PH es $PH";
echo "LA PRESION ES es $PRES";
echo "LA TEMPERATURA es $TEMP";

?>

```

Anexo D. Algoritmo propuesto para la lectura y transmisión de variables de la WSN.

```
#include <XBee.h>
XBee xbee = XBee();
uint8_t trama[]={0,0,0,0,0,0,0,0};
XBeeAddress64 addr64 = XBeeAddress64(0x13a200,0x408dea29);
ZBTxRequest zbTx = ZBTxRequest(addr64, trama, sizeof(trama));
ZBTxStatusResponse txStatus = ZBTxStatusResponse();
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  xbee.setSerial(Serial);
}
void loop() {
  // read the input on analog pin 0:
  int sensor1 = analogRead(A0);
  delay(50);
  trama[0] = sensor1 >> 8 & 0xff;
  trama[1] = sensor1 & 0xff;
  delay(100);

  int sensor2 = analogRead(A1);
  delay(50);
  trama[2] = sensor2 >> 8 & 0xff;
  trama[3] = sensor2 & 0xff;
  delay(100);

  int sensor3 = analogRead(A2);
  delay(50);
  trama[4] = sensor3 >> 8 & 0xff;
  trama[5] = sensor3 & 0xff;
  delay(100);

  int sensor4 = analogRead(A3);
  delay(50);
  trama[6] = sensor4 >> 8 & 0xff;
  trama[7] = sensor4 & 0xff;
  delay(100);
  xbee.send(zbTx);
  delay(30000);
}
```

Anexo E. Algoritmo propuesto para la transmisión de los datos por la red móvil celular.

```
#include <SoftwareSerial.h>
```

```

#include <String.h>
#include <XBee.h>
SoftwareSerial mySerial(7, 8);
int contador;
int error;
XBee xbee = XBee();
XBeeResponse response = XBeeResponse();
ZBRxResponse rx = ZBRxResponse();
ModemStatusResponse msr = ModemStatusResponse();
uint32_t NOD0_DIR_ALTA = 0x0013a200;
uint32_t NOD01_DIR_BAJA = 0x408d9754;
uint32_t NOD02_DIR_BAJA = 0x408deacd;
uint32_t dir2;
String servidor =
"AT+HTTTPARA=\"URL\", \"http://www.contar.com.co/test/sensores.php?";
String humedad1="", ph1="", presion1="", temperatura1="";
String humedad2="", ph2="", presion2="", temperatura2="";
String humedad3="15", ph3="16", presion3="127", temperatura3="158.5";
boolean tr1=false, tr2=false;
int error2;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  mySerial.begin(9600);
  xbee.begin(Serial);
}
void loop()
{
  contador=1;
  xbee.readPacket();
  if (xbee.getResponse().isAvailable()) {
    if (xbee.getResponse().getApiId() == ZB_RX_RESPONSE) {
      xbee.getResponse().getZBRxResponse(rx);
      dir2=rx.getRemoteAddress64().getLsb();
      if (tr1==false){
        if (dir2 ==NOD01_DIR_BAJA) {
          humedad1="", ph1="", presion1="", temperatura1="";
          int uno=rx.getData(0);
          int dos=rx.getData(1);
          int hum=((uno*256)+dos);
          humedad1+=hum;
          delay(100);
          int tres=rx.getData(2);
          int cuatro=rx.getData(3);
          int ph=((tres*256)+cuatro);

```



```

ph1+=ph;
delay(100);
int cinco=rx.getData(4);
int seis=rx.getData(5);
int presion=((cinco*256)+seis);
presion1+=presion;
delay(100);
int siete=rx.getData(6);
int ocho=rx.getData(7);
int temperatura=((siete*256)+ocho);
temperatura1+=temperatura;
delay(100);
delay(100);
tr1=true;
}}
if (tr2==false){
if (dir2==NODO2_DIR_BAJA) {
humedad2="",ph2="",presion2="",temperatura2="";
int uno1=rx.getData(0);
int dos1=rx.getData(1);
int hum=((uno1*256)+dos1);
humedad2+=hum;
delay(100);
int tres1=rx.getData(2);
int cuatro1=rx.getData(3);
int ph=((tres1*256)+cuatro1);
ph2+=ph;
delay(100);
int cinco1=rx.getData(4);
int seis1=rx.getData(5);
int presion=((cinco1*256)+seis1);
presion2+=presion;
delay(100);
int siete1=rx.getData(6);
int ocho1=rx.getData(7);
int temperatura=((siete1*256)+ocho1);
temperatura2+=temperatura;
delay(100);
tr2=true;
}
}

}
}

```

```

if(tr1==true && tr2==true){
servidor+="HUM="+humedad1+"&PH="+ph1+"&PRES="+presion1+"&TEMP="+temperatura1;
servidor+="&HUM2="+humedad2+"&PH2="+ph2+"&PRES2="+presion2+"&TEMP2="+temperatura2+"&HUM3="+humedad3+"&PH3="+ph3+"&PRES3="+presion3+"&TEMP3="+temperatura3+"\\\\";
Enviaralservidor();
if(error2==1){Enviaralservidor();contador++;
if(contador==3){loop(); }
}
}

}
void Enviaralservidor()
{
pinMode(9,OUTPUT);
digitalWrite(9,LOW);
delay(1000);
digitalWrite(9,HIGH);
delay(2000);
digitalWrite(9,LOW);
delay(4000);
contador=0;
delay(10000);
sendCommand("AT","OK",500);
sendCommand("AT+SAPBR=3,1,\"CTYPEV\", \"GPRS\\\", \"OK\",1000);
sendCommand("AT+SAPBR=3,1,\"APN\", \"internet.comcel.com.co\\\", \"OK\",1000);
sendCommand("AT+SAPBR=1,1,\"OK\",2000);
sendCommand("AT+HTTPIPINIT","OK",3000);
mySerial.println(servidor);
delay(6000);
sendCommand("AT+HTTPACTION=0","0,200,219",6000);
error2=error;
sendCommand("AT+HTTPTERM","OK",2000);
sendCommand("AT+SAPBR=0,1","OK",1000);
delay(100);
dir2=0;
tr1=false;
tr2=false;
delay(1000);
digitalWrite(9,LOW);
delay(1000);
digitalWrite(9,HIGH);
delay(2500);
digitalWrite(9,LOW);

```

```

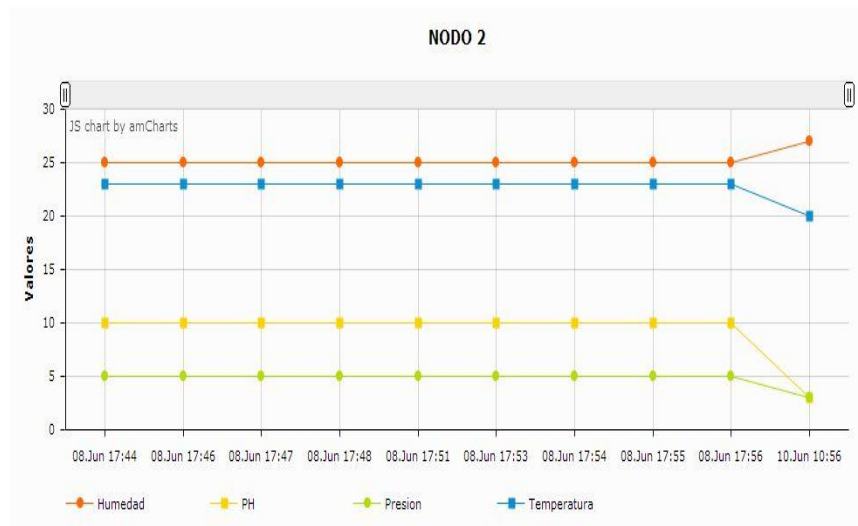
delay(15000);
servidor = "AT+HTTTPARA=\"URL\", \"http://www.contar.com.co/test/sensores.php
?";
}
int8_t sendCommand(char* comando, char* respuesta, unsigned int
tiempodeespera){
uint8_t x=0, error=0;
char response[100];
unsigned long previous;
memset(response, '\0', 100);
delay(100);
while(mySerial.available() > 0) mySerial.read();
mySerial.println(comando);
delay(3000);
x=0;
previous=millis();
do{
    if(mySerial.available() != 0){
        response[x]=mySerial.read();
        x++;
        if(strstr(response, respuesta) != 0)
        {
            error=1;
        }
    }
}
}

while((error == 0) && ((millis()-previous) < tiempodeespera));
return error;
}

```

ANEXO F. Pruebas de funcionamiento tabla y gráfica del Nodo 2

Nodo 2				
				
25	10	5	23	2014-06-08 17:44:57
25	10	5	23	2014-06-08 17:46:11
25	10	5	23	2014-06-08 17:47:36
25	10	5	23	2014-06-08 17:48:46
25	10	5	23	2014-06-08 17:51:22
25	10	5	23	2014-06-08 17:53:07
25	10	5	23	2014-06-08 17:54:24
25	10	5	23	2014-06-08 17:55:45
25	10	5	23	2014-06-08 17:56:56
27	3	3	20	2014-06-10 10:56:23



ANEXO G. Pruebas de funcionamiento tabla y gráfica del Nodo 3

Nodo 3				
				
45	7	3	23	2014-06-08 17:44:57
45	7	3	23	2014-06-08 17:46:11
45	7	3	23	2014-06-08 17:47:36
45	7	3	23	2014-06-08 17:48:46
45	7	3	23	2014-06-08 17:51:22
45	7	3	23	2014-06-08 17:53:07
45	7	3	23	2014-06-08 17:54:24
45	7	3	23	2014-06-08 17:55:45
45	7	3	23	2014-06-08 17:56:56
45	7	3	23	2014-06-10 10:56:23

