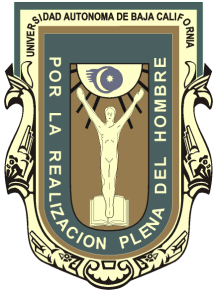


# Universidad Autónoma de Baja California

Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño



Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería



Sistema de alertas y control por medio de mensajes vía GSM  
para monitoreo de aplicaciones agrícolas

TESIS

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

MAESTRO EN INGENIERÍA

Presenta

**JOSÉ CARLOS GALLEGOS MARISCAL**

Ensenada, Baja California, Agosto del 2015.

**Universidad Autónoma de Baja California**

Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño

**Sistema de alertas y control por medio de mensajes vía GSM para  
monitoreo de aplicaciones agrícolas**

**TESIS**

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

**MAESTRO EN INGENIERÍA**

Presenta

José Carlos Gallegos Mariscal

Aprobada por:



Dr. Miguel Enrique Martínez Rosas

Director de Tesis



Dr. Manuel Moises Miranda Velasco

Miembro del Comité



Dr. Luis Horacio Martínez Reyes

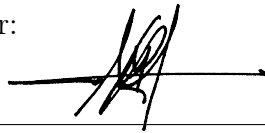
Miembro del Comité

**Ensenada, Baja California, Agosto del 2015.**

**Resumen** de la tesis de **José Carlos Gallegos Mariscal**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN INGENIERÍA del programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería (MYDCI) de la UABC. Ensenada Baja California, México, Agosto del 2015.

## **Sistema de alertas y control por medio de mensajes vía GSM para monitoreo de aplicaciones agrícolas**

Resumen Aprobado por:



---

Dr. Miguel Enrique Martínez Rosas

Director de Tesis

En este trabajo se presenta el diseño e implementación de un sistema concebido para el envío de alertas procedentes de una red de sensores y el control de un actuador, a través de la red GSM de telefonía celular utilizando un conjunto de sistemas embebidos. Se describe de manera general el principio de funcionamiento del sistema, así como la lógica empleada para el desarrollo del protocolo de comunicación entre los diferentes dispositivos que componen el sistema.

Como parte complementaria del trabajo se desarrollaron diversas placas de circuito impreso, tanto para los dispositivos finales, como para la interfaz sistema-computadora, con la finalidad de darle un sentido más práctico y evaluar el comportamiento del sistema en condiciones reales.

**Palabras Clave:** *GSM, WSN, Alertas, Control a distancia, Agricultura de precisión, SMS.*

# Dedicatoria

A Carolina Camacho Castro por su gran apoyo en esta etapa tan importante de mi vida, por todas las noches que estuviste a mi lado mientras yo trabajaba y por los sacrificios que tuviste que hacer para que yo pudiera tener mas tiempo para dedicarle a este trabajo de tesis, esto es posible gracias a ti.

A mis padres José C. Gallegos de Anda y Gladys Elizabeth Mariscal Angulo por ser un gran ejemplo y apoyarme a lo largo de mi vida, para poder ser y estar donde estoy. Ustedes que siempre han estado conmigo y me han educado para ser una persona integra y preparada para enfrentarse a cualquier reto que se presente. Gracias.

A mis hermanas Gladys Elizabeth y Paulina Abigail que están ahí para ayudarme y molestarme en todo momento.

A mi abuela Luz Aurora Angulo que desde pequeño estuvo a mi lado para cuidarme y ayudarme a crecer como individuo, gracias por todos los consejos otorgados.

A mis amigos que son la familia que se escoge, muchas gracias por todos los momentos que hicieron mas amena esta travesía y por el apoyo moral que siempre es necesario.

*"No solo no hubiera sido nada sin ustedes, sino con toda la gente que estuvo a mi alrededor desde el comienzo; algunos siguen hasta hoy.  
Gracias ... Totales."*

— Gustavo Cerati

*"Now I think that all of us are born with a hole in our hearts,  
and we go around looking for the people who can fill it."*

— Susannah Dean, Wolves of Calla

# Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento:

A mi director de tesis Dr. Miguel Enrique Martínez Rosas por todo el apoyo brindado, los consejos otorgados en todo momento y el tiempo dedicado para que este trabajo fuera posible.

A mis sinodales Dr. Manuel Moises Miranda Velasco y Dr. Luis Horacio Martínez Reyes por sus consejos, críticas y apoyo durante el desarrollo de esta tesis.

A mis compañeros y amigos María Guadalupe Lugo Ibarra, Cristóbal Antonio Ramírez Sánchez y Juan Alberto Gómez Liera por esas horas de trabajo y desvelo, también por todos los consejos y ayuda a la hora de realizar este trabajo.

A los miembros del laboratorio de CACIE por su apoyo en el desarrollo de los prototipos y los escenarios de prueba. Gracias por sus consejos y ayuda a lo largo de este trabajo.

A la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), su personal y los profesores, por sus atenciones, amabilidad y por las facilidades otorgadas para la realización de éste trabajo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico brindado.

# Índice general

<b>Índice general</b>	<b>I</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>v</b>
<b>Índice de tablas</b>	<b>VIII</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Planteamiento del problema . . . . .	3
1.1.1. Justificación . . . . .	4
1.2. Objetivos . . . . .	5
1.2.1. Objetivo general . . . . .	5
1.2.2. Objetivos específicos . . . . .	5
1.3. Secuencia de la tesis . . . . .	5
<b>2. Antecedentes</b>	<b>7</b>
2.1. Principales Variables Agrícolas . . . . .	10
2.2. Adquisición de variables agrícolas . . . . .	11
2.3. El estándar GSM . . . . .	15
2.3.1. Bases del sistema GSM . . . . .	15
2.3.2. Objetivos del sistema GSM . . . . .	16
2.3.3. Especificaciones del estándar GSM . . . . .	18
2.4. Protocolo GSM . . . . .	20

2.4.1.	Capa física	20
2.4.2.	Capa de Enlace de Red	21
2.4.3.	Capa de aplicación	22
2.4.4.	Arquitectura	25
2.4.5.	Seguridad	27
2.5.	Servicio de mensajes cortos (SMS)	28
2.5.1.	Arquitectura básica de SMS	28
2.5.2.	Protocolos para entrega de mensajes cortos	32
2.5.3.	Protocolos basados en texto	35
2.6.	El estándar IEEE 802.15.4	36
2.6.1.	Redes Inalámbricas de Área Personal	36
2.6.2.	Grupo de trabajo IEEE 802.15	36
2.6.3.	Especificaciones del estándar 802.15.4	37
<b>3.</b>	<b>Metodología</b>	<b>40</b>
3.1.	Sistema de envío de alertas por medio de mensajes utilizando GSM	40
3.1.1.	Servicio Local	41
3.1.2.	Servicio Móvil	44
3.2.	Módulo controlador del sistema basado en el microcontrolador ATmega328P	45
3.2.1.	Características ATmega328P	47
3.2.2.	Programación con GCC y Eclipse	48
3.2.3.	Plataforma Arduino	50
3.3.	Módulo SIM900	54
3.3.1.	Características del módulo SIM900	54
3.3.2.	Comunicación	55
3.3.3.	Modo SMS	57
3.3.4.	Mandos AT	58
3.3.5.	Configuración	66
3.4.	Módulo XBee	71

3.4.1.	Características de los módulos XBee . . . . .	71
3.4.2.	Programación . . . . .	72
3.4.3.	Modo Recibir/Transmitir . . . . .	72
3.4.4.	Modo Mando . . . . .	73
3.4.5.	Modo API . . . . .	73
3.4.6.	Configuración . . . . .	73
3.5.	Interacción entre el microcontrolador, el modulo SIM900 y el módulo XBee . . . . .	75
3.5.1.	Desarrollo . . . . .	76
3.5.2.	Configuración final del módulo SIM900 . . . . .	77
3.5.3.	Configuración final del módulo XBee . . . . .	77
3.5.4.	Programa controlador en lenguaje Arduino . . . . .	83
3.5.5.	Resultados . . . . .	84
3.6.	Plataforma Raspberry Pi . . . . .	85
3.6.1.	Instalación y configuración de Linux en RPi . . . . .	86
3.6.2.	Programas para Raspberry Pi . . . . .	89
3.6.3.	Manejador de bases de datos MySQL . . . . .	90
3.6.4.	Servidor seguro para mandos SSH . . . . .	97
3.7.	Presentación de la información de forma amigable al usuario . . . . .	99
3.8.	Sensores utilizados . . . . .	101
3.8.1.	Sensor de temperatura . . . . .	101
3.8.2.	Sensor de luz . . . . .	101
3.8.3.	Sensor de imagen . . . . .	102
3.9.	Actuadores . . . . .	105
3.10.	Diseño general de la comunicación . . . . .	107
3.10.1.	Trama general . . . . .	107
3.10.2.	Trama de acciones . . . . .	107
3.10.3.	Trama de alertas . . . . .	108
3.10.4.	Trama de envío de información . . . . .	109

<b>4. Pruebas y resultados</b>	<b>110</b>
4.1. Pruebas para el módulo SIM900 . . . . .	110
4.1.1. Prueba de señal y conexión . . . . .	110
4.1.2. Prueba de comunicación . . . . .	112
4.1.3. Prueba de envío de mensajes . . . . .	113
4.1.4. Prueba de recepción de mensajes . . . . .	113
4.2. Pruebas para el módulo XBee . . . . .	114
4.3. Pruebas de captura y envío de mensajes con el sistema y visualización de la información . . . . .	115
4.3.1. Monitoreo en proceso de maduración en ambiente controlado a menor escala . . . . .	116
<b>5. Conclusiones</b>	<b>117</b>
5.1. Conclusiones . . . . .	117
5.2. Aportaciones . . . . .	120
5.3. Trabajo a futuro . . . . .	120
<b>Bibliografía</b>	<b>122</b>

# Índice de figuras

1.1. Practicas empíricas en agricultura. . . . .	2
1.2. Cultivo de tomate en el valle de San Quintín. . . . .	3
2.1. Las WSN en la agricultura. . . . .	8
2.2. Termómetro para medir temperatura del suelo. . . . .	12
2.3. Tensiómetro de vacuómetro con cápsula cerámica roscada. . . . .	13
2.4. Medidor de humedad relativa. . . . .	14
2.5. pH-metro portatil de membrana. . . . .	14
2.6. Cobertura mundial de GSM en el 2014. . . . .	17
2.7. Arquitectura de la pila del protocolo GSM. . . . .	20
2.8. Trama de la capa 2 de GSM. . . . .	22
2.9. Arquitectura de señalización de GSM. . . . .	26
2.10. Arquitectura de seguridad en GSM. . . . .	27
2.11. Arquitectura de red de SMS. . . . .	29
2.12. SMS PDU. . . . .	31
2.13. Formatos de PDU para SMS, codificación de 7 y 8 bits. . . . .	32
2.14. Topologías permitidas en el estándar 802.15.4. . . . .	38
3.1. Diagrama general del sistema. . . . .	41
3.2. Diagrama a bloques de la WSN. . . . .	42
3.3. Diagrama a bloques del gateway. . . . .	43
3.4. Diagrama a bloques de la tarjeta controladora de actuadores. . . . .	43

3.5. Diagrama a bloques del servicio móvil. . . . .	44
3.6. Diagrama de pines del microcontrolador ATmega328P. . . . .	48
3.7. Placa de desarrollo de Arduino UNO. . . . .	50
3.8. Entorno de desarrollo de Arduino. . . . .	53
3.9. Modulo GSM/GPRS SIM900 de SIMCom. . . . .	54
3.10. Conexión de la interfaz serial en modo de módem completo. . . . .	56
3.11. Conexión de la interfaz serial en modo de módem nulo. . . . .	56
3.12. Sintaxis general del mando AT. . . . .	60
3.13. Módulo XBee. . . . .	71
3.14. Diagrama del sistema GSM - WSN. . . . .	75
3.15. Diagrama de flujo de la comunicación entre el Arduino y el SIM900. . . . .	77
3.16. Tarjeta de conexión XBEE-USB. . . . .	78
3.17. Pestaña principal de X-CTU. . . . .	78
3.18. Ventana emergente Test/Query. . . . .	79
3.19. Pestaña modem de X-CTU. . . . .	79
3.20. Configuración actual del radio. . . . .	80
3.21. Configuración de direcciones en X-CTU. . . . .	81
3.22. Prueba de comunicación entre XBee 1. . . . .	82
3.23. Prueba de comunicación entre XBee 2. . . . .	82
3.24. Eclipse, ambiente de desarrollo utilizado para el proyecto. . . . .	83
3.25. Primera prueba del sistema en funcionamiento. . . . .	84
3.26. Plataforma Raspberry Pi. . . . .	86
3.27. Captura de pantalla de la aplicación para Android. . . . .	100
3.28. Sensor de temperatura LM35. . . . .	101
3.29. Circuito típico para LM35. . . . .	102
3.30. Circuito típico para sensor de luz 9P5-1L. . . . .	102
3.31. Sensor de luz 9P5-1L. . . . .	103
3.32. Cámara Nikon D5100 utilizada en el experimento. . . . .	104
3.33. Caja de maduración utilizada en el experimento (Versión 1). . . . .	105

3.34. Placa de control de potencia utilizada en el experimento (Versión 1).	106
3.35. Trama general del sistema de comunicación.	107
3.36. Trama de acciones del sistema de comunicación.	108
3.37. Trama de alertas del sistema de comunicación.	108
3.38. Trama para envío de información del sistema de comunicación.	109
4.1. Envío de mensajes de texto SMS con ICQ.	112
4.2. Experimento para evaluar el envío de alertas SMS.	113
4.3. Experimento para evaluar la recepción de mandos por medio de mensajes SMS.	114
4.4. Montaje de cámara e iluminación.	115
4.5. Segunda versión del modulo controlador de actuadores.	116
4.6. Segunda version del gateway GSM (Utilizando GBoard).	116

# Índice de tablas

2.1. Tipos de TPDU . . . . .	30
2.2. Envío de mensajes cortos utilizando el modo de bloque. . . . .	34
2.3. Envío de mensajes cortos utilizando modo texto. . . . .	34
3.1. Estructura de datos de un mensaje SMS en modo PDU . . . . .	57
3.2. Códigos de error +CMS . . . . .	65
4.1. Relación distancia-potencia en la recepción XBee. . . . .	115

# Capítulo 1

## Introducción

Por siglos el sector agrícola se ha caracterizado por sus prácticas empíricas de labranza y observación de cultivos (Figura 1.1). Lo anterior generó situaciones como: pérdidas en la producción debido al uso inadecuado de pesticidas, plaguicidas y fertilizantes, así mismo se provocaron daños significativos a recursos naturales como agua y suelo, deteriorando la calidad de estos y afectando incluso la salud del ser humano. Como respuesta a estas necesidades en el sector, surge la revolución verde [Jie, 2010], que proporciona teorías para: el manejo integrado de plagas (MIP), manejo integrado de enfermedades (MID), agricultura de precisión, agronomía, agrometrología, tecnologías de monitoreo (espaciales y superficiales), entre otras.

Entre las principales aplicaciones tecnológicas de monitoreo se encuentran: crecimiento de cultivo, observación de plagas y enfermedades, control de inicio de siembra o cosecha, control del índice de densidad de población del cultivo y/o de la población que lo afecta, condiciones climatológicas (temperatura, humedad, presión atmosférica) y concentración de minerales en los recursos. Las redes inalámbricas de sensores (WSN por sus siglas en inglés) representan una de las principales herramientas utilizadas con mayor frecuencia en este sector, debido a la robustez de su comunicación, adaptabilidad, alcance de su infraestructura, su alto grado de integración y ahorro de energía de sus componentes. La comunicación que generan las WSN está orientada a la captura de información, no para el traslado de ésta a grandes

distancias. En respuesta a lo anterior el uso de las tecnologías WSN y el Sistema Global para las comunicaciones Móviles (del inglés Global System for Mobile communications, GSM, y originariamente del francés Groupe Spécial Mobile) como híbrido, representa una propuesta oportuna para el envío, procesamiento y posterior análisis de los datos obtenidos a través del monitoreo.



Figura 1.1: Practicas empíricas en agricultura.

En el presente trabajo se plantea el desarrollo de un híbrido entre las tecnologías WSN y GSM, como una alternativa para obtener la datos del cultivo en tiempo real, y enviarlos a un servidor remoto para su posterior procesamiento, de manera que permita el apoyo a la toma de decisiones, además de proporcionar alertas en situaciones de emergencia.

## 1.1. Planteamiento del problema

La zona del Valle de San Quintín ubicada en el municipio de Ensenada, Baja California, México, se mantiene una actividad agrícola significativa en cultivos protegidos (invernaderos), de los cuales se obtiene una gran variedad de frutos [CICESE, 2009]. Una gestión inadecuada de recursos como agua, uso de suelo, pesticidas, plaguicidas, fertilizantes y nutrientes, ha preocupado en tiempos recientes a los principales productores de la zona. En este contexto uno de los grandes problemas es la extracción desmedida de agua de pozo, esto provoca infiltración salina por su cercanía al océano pacífico [INEGI, 2007]. En respuesta a esta situación se propone generar el manejo integral de recursos por medio de tecnologías enfocadas a la agricultura de precisión [D'Antoni et al., 2012].



Figura 1.2: Cultivo de tomate en el valle de San Quintín.

### 1.1.1. Justificación

En Baja California, la agricultura representa una parte esencial de la economía de la región. La zona costera, que comprende los municipios de Tijuana, Rosarito y Ensenada, cuenta con 252,500 hectáreas susceptibles de cultivo. Entre los principales productos que se siembran, se encuentran: frijol, maíz, trigo, ajo, apio, berenjena, brócoli, calabacita, calabaza, cebolla, cebollín, chícharo, chile, cilantro, col, ejote, tomate (mostrado en la Figura 1.2), lechuga, papa, pepino, rábano, tomate, maíz, melón, sandía, zanahoria, cebada, sorgo, trigo, col de Bruselas, chile verde, cilantro, col, avena, espárrago, clavel, almendro, chabacano, ciruelo, dátil, durazno, limón real, manzano, membrillo, mandarina, nogal, olivo, peral, pistache y vid [CICESE, 2009].

La demanda de los diversos productos que se obtienen en este sector, establece un marco de referencia para incrementar las investigaciones y desarrollos tecnológicos. La obtención de información del desarrollo de los cultivos, representa la adquisición de sistemas autónomos emergentes para control de procesos. Por medio de estos sistemas es posible analizar en tiempo real la información que se genera en los cultivos.

Entre los principales sistemas de monitoreo de cultivos se puede mencionar el uso de WSN, sin embargo este tipo de redes no están diseñadas para el envío de información a grandes distancias y debido a esto se requiere tener el sistema de almacenamiento de información localizado en la cercanía de la zona que se desea monitorear. En respuesta a esta necesidad, se propone emplear el híbrido de WSN y GSM para adquirir los beneficios que ofrece WSN y cubrir sus limitantes, utilizando GSM. La cual ofrece mayor cobertura, debido a la instalación de nodos remotos, por medio de los cuales se accede a diversos dispositivos facilitando la gestión de datos.

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo general

*Implementar un enlace de comunicación entre redes de sensores y redes GSM para monitorear las variables ambientales y establecer un sistema de alarmas que apoyen el control de diversos cultivos.*

### 1.2.2. Objetivos específicos

- *Estandarizar una trama de comunicación para el envío de información desde el coordinador de la red de sensores hasta el sistema de procesamiento de información*
- *Crear un enlace de comunicación entre el coordinador de la red de sensores y el modem GSM/GPRS*
- *Implementar el algoritmo de envío de mensajes desde el modem GSM/GPRS*
- *Implementar el algoritmo de recepción de mensajes desde el modem GSM/GPRS*
- *Realizar un enlace entre la base datos del cultivo y el envío de mensajes*
- *Implementar un prototipo del sistema en circuito impreso*
- *Desarrollar una herramienta de software para visualizar el comportamiento de las variables medidas*

## 1.3. Secuencia de la tesis

Este trabajo está dividido en los siguientes capítulos:

**Capítulo 1** En éste capítulo se da una breve introducción del trabajo de tesis, se indica la justificación y los objetivos tanto general como específicos y la secuencia del trabajo.

**Capítulo 2** En el capítulo 2 se presenta el marco teórico, incluyendo definiciones y la descripción detallada de los elementos bajo estudio, así como las etapas que constituyen un sistema genérico de comunicación basado en GSM y redes inalámbricas de sensores.

**Capítulo 3** En el capítulo 3 se describe el diseño e implementación del sistema de comunicación, se incluye la información considerada para la construcción física del sistema y el desarrollo de los algoritmos que son utilizados en cada etapa del mismo.

**Capítulo 4** En éste capítulo se presentan los resultados obtenidos en la aplicación práctica del sistema desarrollado, se indican las condiciones en que fueron realizadas las pruebas y se da una interpretación de las mismas.

**Capítulo 5** Finalmente, en este capítulo se dan las conclusiones del trabajo.

# Capítulo 2

## Antecedentes

Las WSN emergieron como un nuevo elemento en el ecosistema de la tecnología de información y como un rico dominio de una activa investigación, por lo que se considera una valiosa herramienta para el desarrollo de aplicaciones en diversos sectores; salud, medio ambiente, agropecuario, industrial, académico entre otros. Las WSN en el sector agrícola se utilizan principalmente para: el monitoreo y análisis de condiciones fisiológicas del cultivo, manejo integrado de suelo: propiedades físicas (porosidad, densidad, entre otros), propiedades químicas (presencia o ausencia de micronutrientes y macronutrientes) [Murillo et al., 2012]. Así mismo se consideran situaciones como, disponibilidad de agua, pérdidas por infiltración, contaminación, etcétera. A partir del año 2001 las WSN se establecieron entre las diez tecnologías emergentes a corto plazo, las cuales generarían un impacto en la economía de cualquier país [van der Werff, 2004].

La introducción de las tecnologías WSN al sector agrícola (Figura 2.1), incrementa los costos de producción. Sin embargo, representan un monto simbólico debido a que la inversión se aplica en una sola ocasión.

Entre los beneficios tecnológicos que ofrecen las WSN, se encuentran, el bajo consumo de energía, alto grado de integración, interconectividad, flexibilidad del sensado, movilidad, bajo costo comparado con otros sistemas de monitoreo inalámbrico, precisión y confianza en



Figura 2.1: Las WSN en la agricultura.

el monitoreo del cultivo [Nasirudin et al., 2011]. Esta información posibilita el desarrollo de pronósticos y da una visión general del rendimiento del cultivo. Las lecturas obtenidas del equipo de monitoreo, se procesan para ofrecer una disponibilidad de la información sobre sitios específicos y en intervalos de tiempo relativamente cortos, lo que hace posible evaluar densidades óptimas de siembra, estimación de cantidad de fertilizante, predicción de la producción en diversas áreas de interés. Lo anterior se encuentra en el contexto de agricultura de precisión, es decir, la posibilidad de observar, medir y controlar las prácticas distintas partes de un mismo cultivo [Murillo et al., 2012].

Las WSN proveen una distancia limitada para el traslado de información entre los nodos de un sistema de monitoreo inalámbrico, esto implica que el equipo de almacenamiento de los datos se fije muy cerca del equipo de monitoreo. Por otra parte en campo abierto y por ubicación geográfica y estratégica del cultivo es difícil el acceso a la información por otros medios de comunicación como internet. Como respuesta a esta situación, se hace uso de tecnologías inalámbricas tales como: IEEE802.11b, IEEE802.11e, servicio general de paquetes vía radio ó

GPRS (General Packet Radio Service), GSM, etcétera [Wang et al., 2006].

El sistema global para las comunicaciones móviles (GSM por sus siglas en inglés), ofrece beneficios como; contar una amplia cobertura, compatibilidad con otras tecnologías, seguridad aceptable y velocidad suficiente para el envío de información recolectada por una red de sensores [Wang et al., 2011]. Por lo anterior, las WSN se consolidan como un método efectivo para la adquisición de información de forma inalámbrica, ofreciendo ventajas en la alta densidad de la información, rango amplio entre la comunicación entre nodos, así como la propiedad de adaptarse a condiciones dinámicas. Por lo que el híbrido WSN y GSM son sistemas que manejan pequeñas cantidades de información y tienen un tiempo relativamente pequeño de respuesta, crean un método económico y razonable de transmitir información a larga distancia [Hu et al., 2012].

Los desarrollos tecnológicos generados alrededor de GSM y WSN, radican principalmente en regiones que destacan por grandes zonas rurales, como en Asia, donde las prácticas agrícolas representan su fuente primaria de ingresos, y la escasez de agua, la falta de energía, la presencia de plagas y enfermedades que azotan los cultivos, son situaciones que se presentan de forma frecuente. Existe otro tipo de situaciones, como la irrigación y la falta de energía eléctrica que se presenta en la India, lo cual merma la producción de este país [Vishwakarma and Choudhary, 2011]. La calidad de agua y contaminación ha requerido de monitoreo especial en Malasia. Por otra parte en Taiwan y China se han desarrollado sistemas de monitoreo para predecir el azote de plagas como la mosca de fruta, insecto que con su presencia genera grandes pérdidas para los agricultores [Jiang et al., 2008]. Entre las investigaciones más recientes destacan el uso del híbrido WSN y GSM desarrollado en Colombia para el sector salud, atendiendo de forma oportuna situaciones de monitoreo de signos vitales como ECC, temperatura corporal, frecuencia cardiaca y presión arterial [Murillo et al., 2012]. En Mexico se han creado sistemas capaces de dar soporte a la toma de decisiones en cultivos a campo abierto y cultivos protegidos (invernaderos) [Cardenas Tamayo et al., 2010].

## 2.1. Principales Variables Agrícolas

Los cultivos se encuentran rodeados de diferentes parámetros y factores. Estas variables son relevantes con el tipo de cultivo que se está manejando ya sea campo abierto o protegido. Debido a que este trabajo de tesis no se enfoca en tomar en cuenta todos los tipos de variables existentes para un cultivo específico, se tomarán en cuenta las variables más importantes que se encuentran en la mayoría de cultivos y que se relacionen directamente con una medición simple y eficaz para su posterior utilización en el sistema de comunicación y control.

De acuerdo con [M.G. et al., 2010] los factores de control que se deben de tomar en cuenta para los dos tipos de cultivos son; temperatura y humedad del suelo, la calidad del agua, así como la temperatura y humedad ambiental.

A continuación se describen algunas de estas variables:

### **Temperatura**

Uno de los libros más importantes en viticultura asegura que “el único factor climático que ha probado ser de predominante importancia (para la calidad del vino) es la temperatura” [Winkler et al., 1975].

Cualquier sitio debe tener suficientes “unidades de acumulación térmica” ó “día de grados crecientes” para el cultivo seleccionado. Estas dos frases son la forma corta de mencionar uno de los factores más significativos en un sitio de agricultura. Como por ejemplo, en el caso de los viñedos, esta característica es la temperatura sobre la línea base de 10°C que el sitio acumula en la temporada de crecimiento (No hay crecimiento real del fruto si no se llega a esta línea base. Cada cultivo tiene su propia línea base característica) [Beckwith et al., 2004].

### **Humedad relativa**

La cantidad de vapor de agua contenida en el aire, en cualquier momento determinado, normalmente es menor que el necesario para saturar el aire. La humedad relativa es el porcentaje de la humedad de saturación, que se calcula normalmente en relación con la densidad de

vapor de saturación [[Adamchuk et al., 2004](#)].

La humedad relativa es la cantidad de humedad en el aire, comparado con la que el aire puede “mantener” a esa temperatura. Cuando el aire no puede retener toda la humedad, entonces se condensa como rocío.

### **Calidad del agua**

La calidad del agua y el pH son a menudo mencionados en la misma frase. El pH es un factor muy importante, porque determinados procesos químicos solamente pueden tener lugar a un determinado pH. Por ejemplo, las reacciones del cloro solo tienen lugar cuando el pH tiene un valor de entre 6,5 y 8.

El pH es un indicador de la acidez de una sustancia. Está determinado por el número de iones libres de hidrógeno ( $H^+$ ) en una sustancia. La acidez es una de las propiedades más importantes del agua. El agua disuelve casi todos los iones. El pH sirve como un indicador que compara algunos de los iones más solubles en agua.

## **2.2. Adquisición de variables agrícolas**

Para la medición de estas variables en los diferentes tipos de cultivos son utilizados diversos mecanismos, tanto electrónicos como manuales. Para facilitar un ecosistema de tecnología en el desarrollo del cultivo se han utilizado técnicas electrónicas para la adquisición de los datos. Esto quiere decir sensores con su respectivo acondicionamiento de señal y en los últimos años una etapa de radio frecuencia completando un dispositivo que puede integrarse a una red de sensores [[Giacomin and Vasconcelos, 2006](#)].

A continuación se describirán algunos de los dispositivos utilizados para medir las variables agrícolas [[He, 2009](#)]:

### **Termómetro**

Es un instrumento para medir e indicar el valor de la *temperatura*, de manera típica consiste

de un tubo delgado de cristal con graduaciones como se muestra en la Figura 2.2, el cual se encuentra herméticamente sellado y tiene en su extremo un bulbo que contiene mercurio o alcohol, este se expande y contrae en el tubo con el calor y el frío respectivamente.



Figura 2.2: Termómetro para medir temperatura del suelo.

### **Tensiómetro**

Tensiómetro significa literalmente “medidor de tensión” (Figura 2.3). Para absorber el agua del suelo, la planta tiene que superar la tensión de succión del suelo. Esta tensión se mide por el tensiómetro para indicar si en el suelo existe suficiente humedad disponible para la planta.

Un tensiómetro consiste de un medidor de vacío y un tubo sellado con una capa de cerámica porosa. La capa de cerámica simula movimiento del agua a través del suelo. Cuando la tierra alrededor de la taza de cerámica se seca, el agua es arrastrada fuera del tubo sellado, y la lectura del medidor sube. Mientras más seco se encuentra el suelo, más alta será la lectura del tensiómetro. Cuando el suelo se moja, el agua entra en el tubo, reduciendo la lectura casi a cero [Adamchuk et al., 2004].

### **Instrumentos de medición para humedad relativa**

Un higrómetro (Figura 2.4) es un instrumento que se usa para la medir el grado de humedad del aire, o un gas determinado, por medio de sensores que perciben e indican su variación.



Figura 2.3: Tensiómetro de vacuómetro con cápsula cerámica roscada.

El higrómetro de condensación se emplea para calcular la humedad atmosférica al conseguir determinar la temperatura a la que se empaña una superficie pulida al ir enfriándose artificialmente y de forma paulatina dicha superficie.

El higroscopio utiliza una cuerda de cabellos que se tuerce con mayor o menor grado según la humedad ambiente. El haz de cabellos desplaza una aguja indicadora que determina la proporción de la mayor o menor humedad, sin poder llegar a conocer su porcentaje.

El higrómetro de absorción utiliza sustancias químicas higroscópicas, las cuales absorben y exhalan la humedad, según las circunstancias que los rodean.

El higrómetro eléctrico está formado por dos electrodos arrollados en espiral entre los cuales se halla un tejido impregnado de cloruro de litio acuoso. Si se aplica a estos electrodos una tensión alterna, el tejido se calienta y se evapora una parte del contenido de agua. A una temperatura definida, se establece un equilibrio entre la evaporación por calentamiento del tejido y la absorción de agua de la humedad ambiente por el cloruro de litio, que es un material muy higroscópico. A partir de estos datos se establece con precisión el grado de humedad [KESKIN, 2008].

### **pH-Metro**

Es un instrumento que tiene un sensor (electrodo) que utiliza el método electroquímico para medir el pH de una disolución (Figura 2.5). La determinación de pH consiste en medir el



Figura 2.4: Medidor de humedad relativa.

potencial que se desarrolla a través de una fina membrana de vidrio que separa dos soluciones con diferente concentración de protones. En consecuencia se conoce muy bien la sensibilidad y la selectividad de las membranas de vidrio por medio del pH.



Figura 2.5: pH-metro portátil de membrana.

## 2.3. El estándar GSM

### 2.3.1. Bases del sistema GSM

Debido al gran número de distintos sistemas analógicos utilizados en Europa para comunicación, la situación que se presentaba desde el punto de vista de un subscriptor, no era ideal. La necesidad de alojar un número creciente de usuarios y establecer compatibilidad con la evolución de redes fijas a sistemas digitales, llevo a la Conference Europeenne des Post et Telecommunications (CEPT) a establecer un "Grupo Especial Mobile"(GSM por sus sigla en inglés) en 1982. El trabajo del grupo se convirtió en el sistema GSM de hoy en día [Pankaj, 2009].

La tarea del grupo fue desarrollar un estándar uniforme para radio digital móvil en Europa. El resultado fue un estándar para banda angosta de transmisión de voz digital en la banda de los 900Mhz. Un Memorando de Entendimiento, con respecto a la construcción de un sistema digital de radio móvil, fue firmado por representantes de las administración de telecomunicaciones en 14 países Europeos en 1987. Estos firmantes, junto con diversos productores Europeos, se comprometieron a iniciar el servicio en las redes correspondientes a garantizar el suministro de la infraestructura necesaria para mediados de 1991. El estándar GSM se encuentra hoy en día bajo el control del Instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeo (ETSI por sus siglas en inglés).

Originalmente diseñado como un estándar móvil digital Europeo, GSM se ha expandido fuera de su campo de acción original. Las redes GSM actualmente operan en Europa, el medio oriente, África, y la región del pacifico. Se puede decir que es una red internacional.

Incluso antes de que las primeras redes GSM entraran en operación en 1992, estaba claro que la gran capacidad de GSM no seria suficiente para cubrir la demanda de los servicios de telefonía móvil. Como resultado de esto, fue puesto a disposición para los servicios móviles digitales en Europa un grupo adicional de frecuencias (75 MHz en la banda de los 1800 MHz). Esto era tres veces el ancho de banda asignado de manera previa (25 Mhz en la banda de los

900 Mhz).

Un nuevo estándar, llamado GSM-1800 (Sistema Celular Digital), fue establecido para la nuevas frecuencias. El estándar GSM-1800 utiliza prácticamente todas las especificaciones GSM (lo que significa que los componentes GSM pueden ser utilizados en redes GSM-1800). Solo las estaciones transeptoras radio base, y los teléfonos móviles, necesitan una especificación diferente[Pankaj, 2009].

Para finales del año 1994 se habían implementado y lanzado capacidades de transmisión de datos, siendo estas capacidades agregadas a las redes que ahora eran 69 en un total de 43 países. Tan solo 5 años después se lanzo un protocolo dentro de GSM llamado Wireless Application Protocol (WAP) para transmisión de datos a más alta tasa de transmisión, para estas alturas la red GSM contaba con 260 millones de suscriptores en 130 países [Pankaj, 2009].

El mayor avance en cuanto a estándar de comunicación de datos para GSM en su primera etapa fue el lanzamiento en 2000 del General Packet Radio Service que sustituía a WAP en comunicación de datos. El lanzamiento de este sistema marco un gran avance en el desarrollo de las redes GSM y a partir de entonces se le conoció como GSM 2G o simplemente 2G indicando una segunda generación de GSM [Pankaj, 2009]. Para el año 2014 la cobertura de GSM sería prácticamente todo el planeta, un mapa de la cobertura mundial en ese año es mostrada en la Figura 2.6.

### 2.3.2. Objetivos del sistema GSM

Las especificaciones de las interfaces GSM son preparadas por el ETSI. GSM utiliza Acceso Multiple por División e Tiempo (Time Division Multiple Access -TDMA- por sus siglas en inglés) para compartir recursos de radio frecuencia entre múltiples usuarios. Se provee al usuario con un Modulo de Identidad del Subscriptor (SIM por sus siglas en inglés) para almacenar datos relacionados con el subscriptor y se permita la movilidad de estos independiente de la terminal que es utilizada [Paul and Shah, 1997].

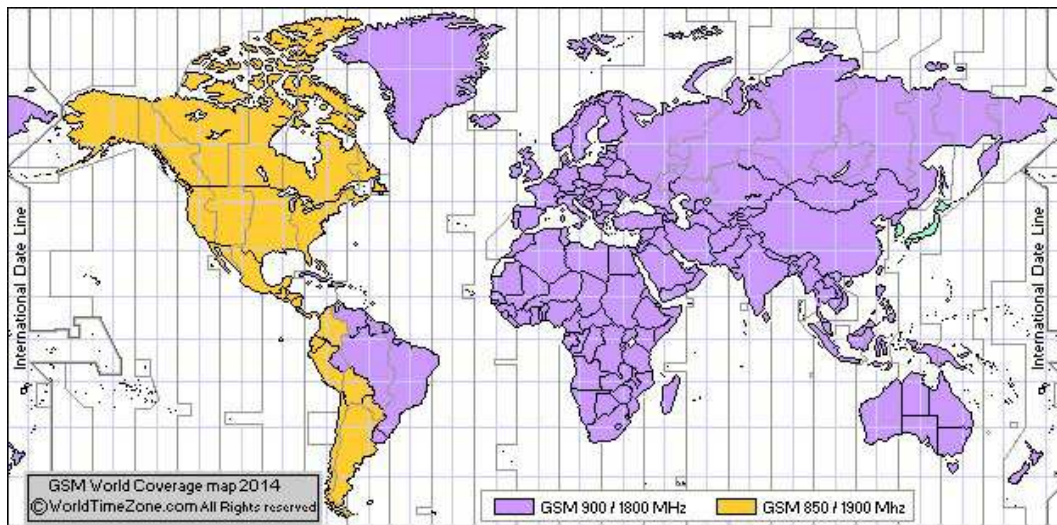


Figura 2.6: Cobertura mundial de GSM en el 2014.

Siendo un estándar pan-europeo, GSM requiere la disponibilidad de un espectro común en todos los países, la comisión europea promulgo una directiva donde se le requirió a los estados miembros que reservaran las frecuencias en la banda de los 900Mhz para GSM.

Con el estándar GSM los usuarios tendrían acceso a las redes de diferentes países, utilizando el mismo equipo y número telefónico para realizar y recibir llamadas a donde quiera que fueran. Esto contrastó con la situación existente, en donde diferentes redes analógicas, utilizando diferentes estándares, se encontraban en operación en cada país.

El estándar GSM tenia como objetivo crear un gran mercado único para las redes móviles telefónicas, y para los teléfonos mismos. Esto estimularía la industria de telecomunicaciones Europea, promoviendo una competencia libre entre proveedores, y llevando el sistema en general a proporcionar un servicio a bajo costo.

La tecnología digital de GSM es por lo menos tres veces más eficiente en el uso de espectro de radio frecuencia que la redes analógicas [McCann, 1991]; y es por esto que puede albergar hasta tres veces la cantidad de usuarios de estas. A como fueron creciendo las redes analógicas por sobre todas las expectativas a finales de los 1980's, la necesidad de la capacidad extra de GSM se hizo más urgente.

Para los operadores de red, un aspecto importante del estándar GSM fue la estandarización de los componentes de red, y las interfaces entre ellos. La mayoría de las redes analógicas eran sistemas propietarios y tenían que ser comprados de un mismo proveedor para que funcionaran correctamente como red. GSM permitiría a los operadores comprar diferentes componentes para la red, sabiendo que no existirían problemas de compatibilidad.

Siendo una red digital, que utiliza técnicas de encriptado avanzado, la red GSM se encuentra bien protegida contra ataques de “eavesdropping”(infiltrarse en la comunicación y escucharla), un temor importante para muchos usuarios de negocios en las redes analógicas.

Un número suplementario de servicios fueron incluidos con el estándar GSM. Aquellos que se encuentran disponibles actualmente, o que están siendo incluidos en la mayoría de las redes y que incluyen: re-direccionamiento de llamadas, aviso de cargos de consumo, bloqueo de llamadas, conferencias y sistemas de mensajería corta (SMS por sus siglas en inglés).

El servicio SMS, permite enviar mensajes de texto cortos entre terminales GSM. También está disponible la transmisión de datos y de fax a velocidades de hasta 9.6 Kb/s, permitiendo a los usuarios GSM enlazar sus teléfonos con computadoras portátiles, y así, enviar y recibir fax y archivos de datos, como lo hacen una computadora fija y un módem.

### 2.3.3. Especificaciones del estándar GSM

Como se ha mencionado de manera previa, el sistema GSM utiliza dos bandas de 25 MHz, una entre 890-915 MHz y la otra entre 935-960 MHz para las bandas de transmisión y recepción de sistemas móviles respectivamente; Utiliza dúplex por división de frecuencia (FDD por sus siglas en inglés) y acceso múltiple por división de tiempo (TDMA por sus siglas en inglés). Las bandas de recepción y transmisión están divididas en 128 canales cada una con 200 KHz de ancho de banda. Cada canal se comparte hasta con ocho usuarios [Gu and Peng, 2010].

En terminología celular e inalámbrica, los tres tipos principales de acceso múltiple utilizados para dividir el espectro de radio frecuencia entre los radios celulares y las estaciones

móviles son:

- Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA): Cada llamada es transportada por un canal de frecuencia diferente.
- Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA): Cada canal de frecuencia es dividido a su vez en un grupo de ranuras de tiempo; cada ranura de tiempo lleva datos de una llamada.
- Acceso Múltiple por División de Código (CDMA): Se utiliza tecnología de espectro esparcido, en el cual las señales de radio asociadas con una llamada se esparcen a través de un amplio espectro de frecuencia (1.25 MHz). Cada llamada en el espectro es diferenciada de otras llamadas en el mismo espectro asignando un código a cada señal de llamada. En la terminal receptora (estación móvil o célula), la señal de la llamada específica es aislada decodificando toda la señal recibida utilizando el código asignado a la señal de la llamada.

Las dos técnicas de multicanalización utilizadas en redes celulares e inalámbricas son:

- Duplexado por División de Frecuencia (FDD): En FDD se utilizan dos bandas de frecuencia simétricas, una contiene los canales de subida y la otra los canales de bajada.
- Duplexado por División de Tiempo (TDD): TDD significa que el enlace de subida de la llamada de voz es multicanalizado en tiempo en el mismo canal de frecuencia que el enlace de bajada.

En el sistema GSM, se utiliza TDMA en combinación con FDMA; el uso de cada canal de radio es dividido en múltiples (ocho) ranuras de tiempo, y a cada usuario se le asigna una combinación de frecuencia y ranura de tiempo. Además, se utiliza la técnica FDD, esto es dos bandas simétricas en frecuencia, una banda contiene los canales del enlace de subida y otro los canales del enlace de bajada.

## 2.4. Protocolo GSM

La pila (“stack” en inglés) del protocolo para GSM sigue los conceptos básicos de modelo OSI de 7 capas por lo que es una arquitectura por capas [Appleton, 1998]. La relación entre las capas del modelo OSI y aquellas en GSM son descritas en las secciones subsecuentes así como un resumen de las funciones realizadas por cada capa. La pila del protocolo GSM se muestra en la Figura 2.7.

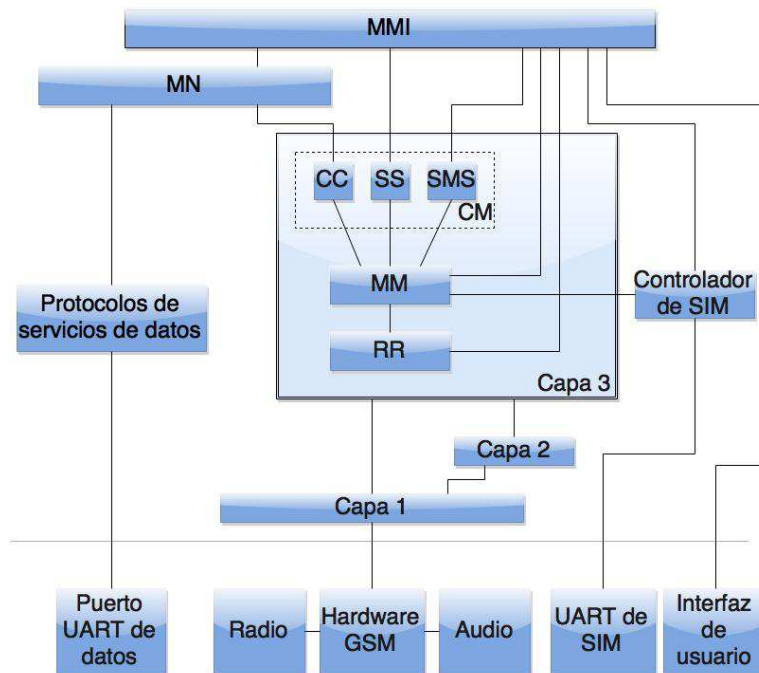


Figura 2.7: Arquitectura de la pila del protocolo GSM.

### 2.4.1. Capa física

En el modelo OSI, la capa inferior corresponde a la capa física. Esta representa la conexión física entre dispositivos. En el nivel más bajo, la capa física es la conexión de radio frecuencia entre la estación móvil y la estación base, esto además incluye el radio y el soporte físico de la banda base que hace esta conexión posible.

La capa 1 de GSM normalmente se entiende como el software de control que controla el radio y el soporte físico de banda base (la capa física). En el modelo OSI esto corresponde más bien a la función de control de acceso al medio (MAC por sus siglas en inglés, que es parte de la capa 2 del modelo OSI). Sin embargo, algunas veces el término “capa 1” incluye además el software de procesamiento de señal responsable de la ecualización, codificación y decodificación del canal entre otras acciones [[Appleton, 1998](#)].

Tradicionalmente la pila del protocolo se implementa en un CPU (Unidad Central de Procesamiento por sus siglas en inglés) y el procesamiento de la señal en un DSP (Procesador Digital de Señales por sus siglas en inglés). Sin embargo, existen un número de implementaciones que utilizan un procesador de alto rendimiento con grupo de instrucciones RISC (Computador con Conjunto de Instrucciones Reducidas por sus siglas en inglés) o un CPU con un co-procesador similar a un DSP, donde las funciones de control y procesamiento de señales se encuentran integradas.

### 2.4.2. Capa de Enlace de Red

La capa uno realiza una operación de multicanalización en el acceso físico al canal de radio y provee un número de canales lógicos que pueden ser utilizados para señalización. La capa 2 es responsable de establecer el enlace de datos en estos canales lógicos para permitir una transmisión confiable de mensajes de señalización de capa 3. Esta corresponde a la capa de enlace de datos (capa 2) del modelo OSI.

La capa 2 puede operar en dos modos:

- Modo sin reconocimiento (No-ACK). Utilizado para datos de difusión donde el reconocimiento es no posible y en reportes de medición donde el reconocimiento es no esencial.
- Modo con reconocimiento (ACK). Usado para todas las conexiones donde la transmisión confiable de mensajes de capa 3 es importante (ej. configuración de llamada).

La capa 2 opera intercambiando tramas de longitud fija entre dos iguales de capa 2 (uno en la MS - Mobile Station - y uno en el BTS -Base Transceiver Station -). La estructura de la trama es mostrada en la Figura 2.8.

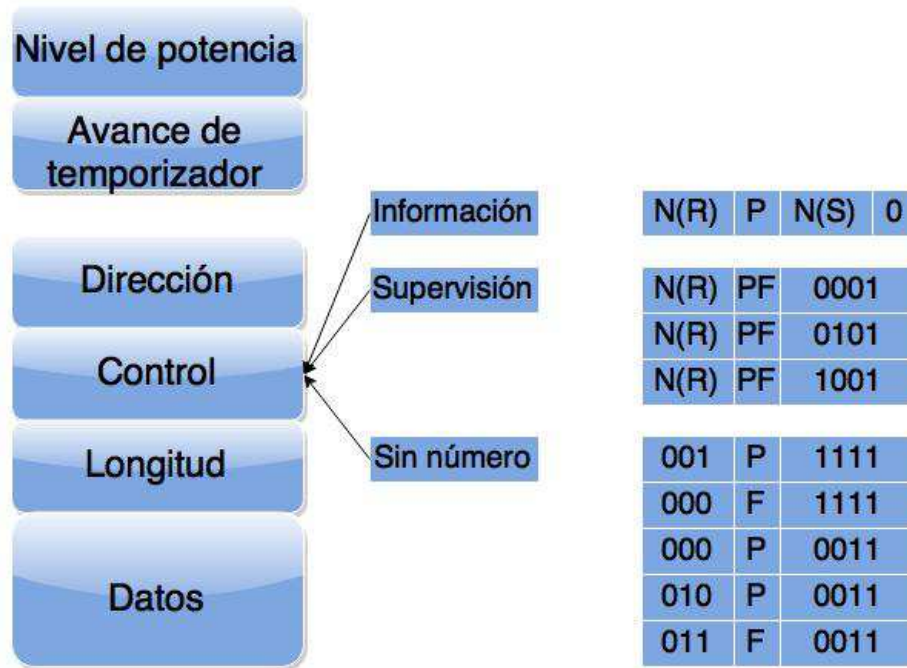


Figura 2.8: Trama de la capa 2 de GSM.

El campo de dirección permite conexiones separadas a la capa 3 para señalización normal y mensajes cortos.

El campo de control distingue entre diferentes primitivas de capa 2. Estas habilitan un enlace para ser establecido y terminado, permiten recuperación de errores, y añaden contadores de trama que permiten la retransmisión de tramas erróneas.

### 2.4.3. Capa de aplicación

La capa 3 es subdividida en varias tareas separadas. Estas no hacen seguimiento del modelo OSI de manera precisa, pero comprenden todas las funcionalidades entre la capa 2 y la capa de aplicación.

## Controlador de recursos de radio

El controlador de recursos del radio (RR) es responsable de controlar los aspectos relacionados con la conexión de radio frecuencia entre la estación móvil y la estación base. Es la parte de la capa 3 que esta más acoplada con las capas inferiores. Existe una conexión directa entre el RR y la capa 1 a través del cual controla el estado de la capa 1 para realizar las siguientes funciones:

- Asignación de canal y liberación de este.
- Cambio de canal.
- Modo de canal y cifrado.
- Entrega entre estaciones base.
- Frecuencia de uso, re-asignación, saltos.
- Reportes de medida.
- Control de potencia y avance de temporizador.

Ademas, el RR es responsable del encaminamiento de los mensajes de la capa 3 recibidos por la capa 2 o capa 1, a la parte correcta de la capa 3 por medio del campo de discriminación de protocolo en el mensaje.

## Controlador de movilidad

El controlador de movilidad (MM) es responsable de manejar los aspectos relacionados con la movilidad de la estación móvil.

- Actualización de la localización cuando la estación móvil se mueve a una nueva localidad.
- Ligar / desligar cuando la terminal se enciende o apaga.

- Autenticación en conjunto con el controlador de SIM.
- Manejar el número de identificación temporal (TMSI - Temporary Mobile Subscriber Identity -) en conjunto con el controlador de SIM.
- Responder a las peticiones de identificación (IMSI - International Mobile Subscriber Identity - e IMEI - International Mobile station Equipment Identity -) de la red.

### **Controlador de conexión**

El Controlador de conexión (CM) se divide en tres tareas: control de llamadas, servicios complementarios y servicio de mensajes cortos.

El control de llamadas (CC) es responsable de:

- Establecer la llamada (originada por la estación móvil y terminada por la estación móvil).
- Modificación en llamada del tipo de llamada (voz/datos).
- Restablecimiento de la llamada si la llamada se cae (si es permitido por la red).
- La transmisión del DTMF (Dual-tone Multi Frequency) por señalización en vez de tonos en banda.

Los servicios complementarios (SS) son responsables de proveer servicios como el bloqueo de llamas, re-direccionamiento de llamadas, llamadas en conferencia, entre otros, en conjunto con la red.

El servicio de mensajes cortos (SMS) es responsable de la transmisión y recepción de mensajes cortos punto-a-punto y además de la recepción de mensajes cortos de difusión.

### **Red móvil**

La red móvil (MN) provee una interfaz no específica de GSM entre la pila del protocolo y la capa aplicación. Maneja todas las funciones específicas de GSM requeridas por la pila del

protocolo.

### Controlador de interfaz SIM

El controlador de interfaz del Módulo de Identidad del Subscriptor (Subscriber Identity Module -SIM- por sus siglas en inglés) es responsable de comunicarse con la tarjeta SIM a nivel de procedimientos, aunque las transacciones iniciales son normalmente manejadas por el controlador del SIM. Este es activado por petición del MM o el MMI para realizar las siguientes funciones:

- Realizar el algoritmo de autenticación en la SIM usando una semilla aleatoria dada (RAND) y regresar los parámetros de autenticación de respuesta firmada (Signed Response -SRES-) y la llave cifrada Kc.
- Manejo del PIN.
- Almacenamiento y recuperación de datos (ej. SMS y contactos).

#### 2.4.4. Arquitectura

Los tres principales subsistemas de la arquitectura de la red GSM son Subsistema Estación Base (BSS), Subsistema de Red y Conmutación (NNS), y Subsistema de Soporte de Operaciones (OSS). La estación móvil (MS) es también un subsistema, pero usualmente es considerada como parte del BSS para propósitos de arquitectura [Gu and Peng, 2010].

Aunque la estación móvil contiene todas las capas descritas arriba, sus partes correspondientes del lado de la red se distribuyen, como se muestra en la Figura 2.9, entre la estación base transceptora (BTS), la estación base controladora (BSC) y el centro de conmutación móvil (MSC) [Appleton, 1998].

Existen tres interfaces en la red:

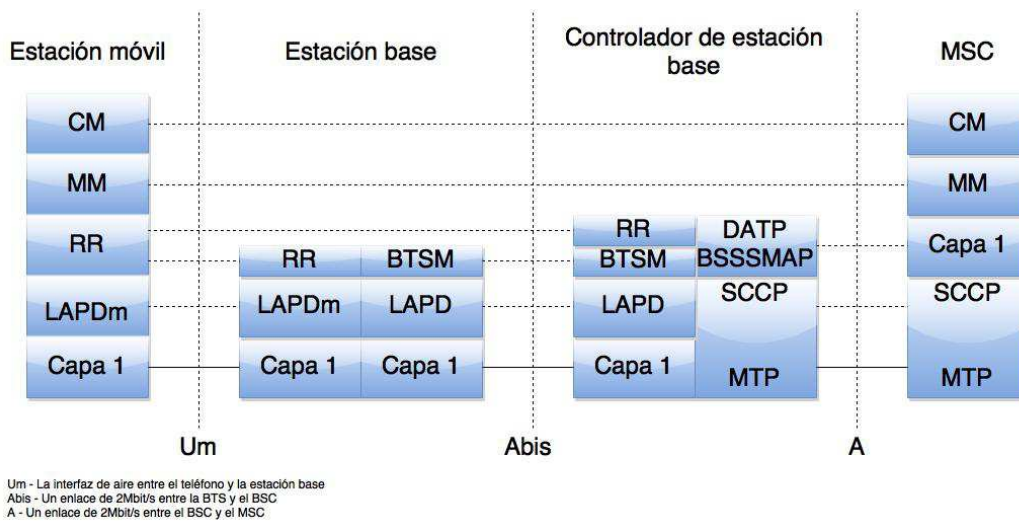


Figura 2.9: Arquitectura de señalización de GSM.

- Um.- La interfaz de aire entre la estación móvil y la BTS.
- Abis.- Un enlace de 2Mb/s entre la BTS y el BSC.
- A.- Un enlace de 2Mb/s entre la BTS y el BSC.

Cada enlace tiene su correspondiente parte en la capa física y en la capa de enlace de datos, lo que le permite una transmisión confiable de mensajes de capa 3 entre la MS y las otras entidades, así como controlar los mensajes entre los elementos de la red.

El controlador de recursos del radio, se encuentra dividido entre el BSC y la BTS. EL BSC maneja la asignación de los canales de radio provistos por la BTS (ej. asignación de frecuencias, ranuras de tiempo y subcanales, y la entrega de estaciones móviles entre dos BTS). La BTS controla los canales a bajo nivel, por ejemplo control del temporizador de avance y entrega de reportes de medición. El controlador de movilidad y control de llamadas es manejado por el MSC. La entrega de estaciones móviles entre BSC es manejado por el MSC [Appleton, 1998].

Así pues la correlación entre las partes de la pila del protocolo en el teléfono celular y en las entidades de red es:

Controlador de conexión y controlador de movilidad  $\longleftrightarrow$  MSC. Controlador de recursos del radio  $\longleftrightarrow$  BSC. Capa 1  $\longleftrightarrow$  BTS.

### 2.4.5. Seguridad

Es de suma importancia en las características de seguridad de la red GSM más que en los aspectos de enlace de radio, la arquitectura detallada (mostrada en la Figura 2.10), codificación de voz o codificación de canal [Gu and Peng, 2010]. Autenticación y seguridad son completamente descritas en el proyecto de seguridad GSM (GSMSEC). Los mecanismos de seguridad son únicamente definidos para la interfaz de aire. La red fija se supone que es segura y esta es manejada por los proveedores de red.

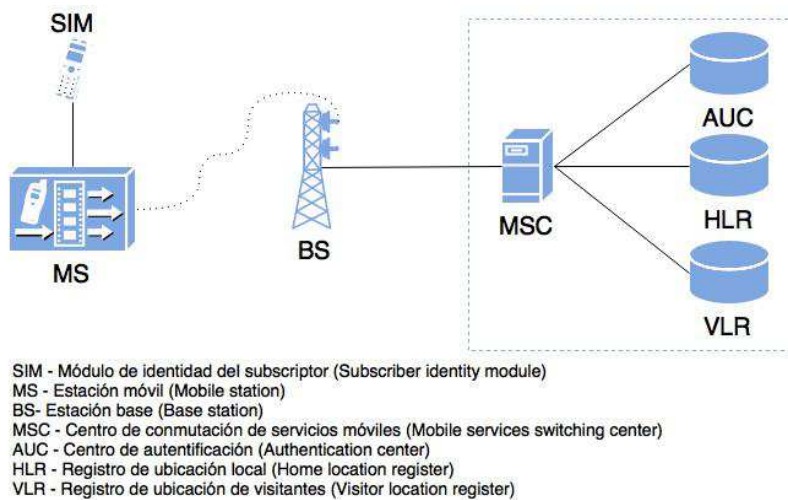


Figura 2.10: Arquitectura de seguridad en GSM.

Ya que el medio (radio) puede ser accedido por quien sea, la autenticación de los usuarios es un elemento importante para una red móvil. La autenticación involucra dos factores, la tarjeta SIM en el dispositivo móvil, y el centro de autenticación (AUC). A cada suscriptor se le otorga una llave secreta, una copia de la cual es almacenada en SIM y la otra en el AUC.

Otro nivel de seguridad es introducido en el equipo móvil por si mismo, al contrario del suscriptor móvil. Como se menciona antes, cada terminal GSM es identificada por un único

numero Identificador Internacional de Equipo Móvil (IMEI). Una lista de los IMEI en la red es almacenada en el registro de identidad de equipos (EIR).

## 2.5. Servicio de mensajes cortos (SMS)

Uno de los servicios más importantes en el sistema GSM hoy en día, en términos de popularidad en el lado del usuario así como en términos de ganancia del lado del proveedor, es la capacidad de enviar y recibir mensajes cortos a la estación móvil. Este servicio tenía estipulado para ser ofrecido en la tercera fase (E3) al final de 1996 en todas las redes GSM. TS21 es la versión punto-a-punto de SMS, el que permite a una sola estación enviar un mensaje de hasta 160 caracteres. De igual forma, TS22 ha sido definido como una implementación opcional de la capacidad de enviar mensajes cortos desde una MS. La combinación de SMS con otros servicios (ej. sistemas de bandeja de correos con notificación automática de mensajes nuevos), claramente muestra como los servicios ofrecidos por las redes GSM van más allá de los servicios ofrecidos por las redes fijas [Eberspächer et al., 2008].

También existe la versión de difusión, un mensaje es transmitido a todos los dispositivos activos o estaciones móviles (MS) presentes en una celda que tenga la capacidad de recibir mensajes cortos y están suscritos a este servicio de información particular. Este servicio es solo en una dirección, y no existe confirmación de recepción. Puede enviar hasta 93 caracteres de 7-bits o 82 caracteres de 8-bits, es típico que se usen estos mensajes para transmitir condiciones de trafico, estados del clima, estado de las acciones en el mercado, entre otras cosas [Peersman et al., 2000].

### 2.5.1. Arquitectura básica de SMS

Los componentes principales de la arquitectura de red de SMS son mostrados en la Figura 2.11.

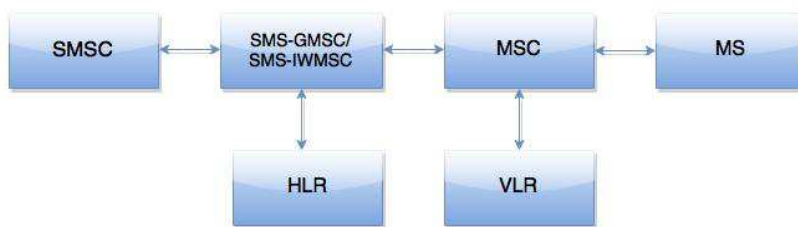


Figura 2.11: Arquitectura de red de SMS.

Cuando se encaminan mensajes cortos originados en el móvil, el centro de mensajes cortos (SMSC) reenvía el mensaje corto a la puerta de enlace de mensajes cortos (SMS-GSMC). El SMS-GSMC pide al registro de localidades (HLR) información de encaminamiento y envía el mensaje al MSC. El MSC entrega el mensaje corto a la MS. Por otra parte, cuando se encamina un mensaje terminado en móvil, la MS lo dirige al SMSC requerido de acuerdo a su título global. Si se requiere hacer itinerancia internacional la red publica limitada móvil (PLMN) visitada encaminará el mensaje al MSC de inter-funcionamiento de SMS (SMS-IWMSC) apropiado.

El SMSC identifica cada mensaje añadiéndole un sello de tiempo en el campo SMS-DELIVER-TP-SCTS. La llegada del mensaje al SMSC es precisa al segundo. Es responsabilidad de los SMSCs el asegurar que dos o más mensajes que llegan en el mismo segundo tengan diferentes sellos de tiempo.

La MS debe ser capaz de recibir/enviar un mensaje corto TPDU (Unidad de datos del protocolo de transporte), y regresar un reporte de recepción en caso de que la recepción se realice de manera satisfactoria. También es responsable de notificar a la red cuando tiene capacidad de memoria para recibir uno o más mensajes, esto si es que previamente rechazó un mensaje corto por que su capacidad en memoria fue excedida.

### Tipos de Unidades de Datos de SMS

Existen seis tipos de TPDU en la capa de transferencia de mensajes cortos (SM-TL), como se lista en la tabla 2.1. Los elementos de los tipos de TPDU; SMS-Entrega y SMS-Envío, se muestran en la Figura 2.12. Los campos principales de la TPDU son descritos en este documen-

SMS-Entrega	Transporte de un mensaje desde el SMSC a la MS
SMS-Reporte de entrega	Transporte de la causa del fallo
SMS-Envío	Transporte del mensaje de la MS al SMSC
SMS-Reporte de envío	Transporte de la causa del fallo
SMS-Reporte de estado	Transporte del reporte de estado del SMSC a la MS
SMS-Comando	Transporte del comando desde la MS al SMSC

Tabla 2.1: Tipos de TPDU

to, de cualquier forma, para una descripción más completa es necesario consultar la referencia del documento GSM 03.40 [[Institute European Telecommunications Standards, 1996](#)].

**Esquema de codificación de datos:** El campo de esquema de codificación de datos (TP-DCS) es usado para identificar el esquema de codificación utilizado para los datos del usuario, el cual puede ser de 7-bits u 8-bits, e inclusive unicode, como es definido en GSM 3.38.

**Periodo de validación:** El campo de TP-VP contiene un elemento de información que habilita a una MS a especificar un periodo de validación para el mensaje corto que esta siendo enviado. El valor especifica cuanto tiempo garantizará un SMSC la existencia del mensaje antes de su entrega al receptor.

**más mensajes para enviar:** El SMSC utiliza el campo TP-MMS para informar a una MS que uno o más mensajes están esperando para ser entregados.

**Encabezado indicador de datos de usuario:** El campo de un (1) bit TP-UDHI indica si el TP-UD incluye un encabezado adicional ademas del mensaje.

**Identificador de protocolo:** El TP-PID es utilizado por la MS o el SMSC para identificar el protocolo de capa superior que esta siendo utilizado para interconexión de redes con algún tipo de dispositivo de telemática (telefax, ermes, etc.).

**Datos del usuario:** El campo TP-UD es utilizado para llevar el mensaje. Puede almacenar hasta 140 octetos de datos para SMS punto-a-punto, junto con un encabezado dependiente

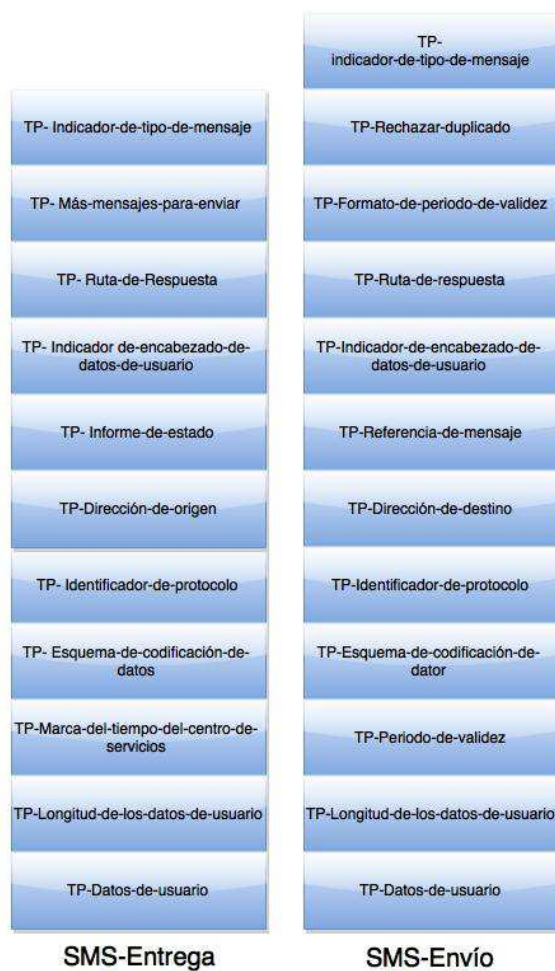


Figura 2.12: SMS PDU.

del campo TP-UDHI. La cantidad de espacio tomado por el encabezado reduce la cantidad de datos que puede transportar el PDU. La Figura 2.13 muestra una representación de la forma de un TP-UD para esquemas de 7 y 8 bits.

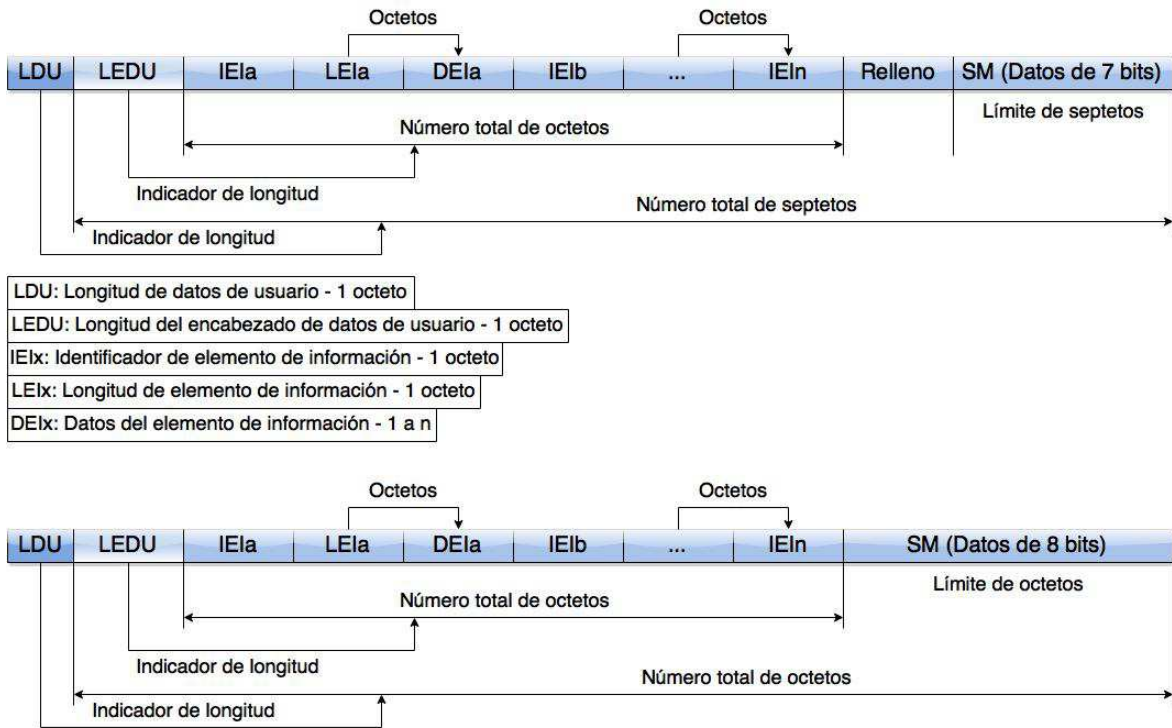


Figura 2.13: Formatos de PDU para SMS, codificación de 7 y 8 bits.

### 2.5.2. Protocolos para entrega de mensajes cortos

El ETSI especifica los protocolos para envío de mensajes como parte del estándar GSM. Esta especificación define tres protocolos para la transferencia de SMS entre una MS y un equipo terminal (TE) vía una interfaz asíncrona. Los protocolos claramente se traslapan en funcionalidades, y no es claro porque fueron definidos los tres dentro del estándar [Peersman et al., 2000].

## Modo de bloque

El modo de bloque es un protocolo binario el cual encapsula el SMS PDU utilizado para transferir el mensaje entre la MS y el SMSC especificado por el estándar GSM 03.40. Este protocolo incluye detección de errores y esta preparado para su utilización donde el enlace entre la aplicación y el teléfono esta sujeto a errores. Será de uso particularmente especial donde se requiera el control de dispositivos remotos. La aplicación tiene que construir una cadena binaria incluyendo el encabezado y el PDU del mensaje.

Una vez que la aplicación a pedido al teléfono que entre en modo de bloque, a partir de ese momento un grupo de funciones esta disponible:

- Enviar mensaje corto.
- Eliminar mensajes del teléfono.
- Listar los mensajes del teléfono.
- Transferir todos los mensajes o uno solo desde el teléfono a la aplicación.
- Configurar el teléfono para que la aplicación sea notificada cada vez que un nuevo mensaje corto sea recibido.

Cada uno de estos mandos contiene un numero de elementos predefinidos como se describe en la especificación. Como ejemplo, el formato del mando “Insertar Mensaje” utilizado para enviar un mensaje y está descrito en la tabla [2.2](#).

## Modo texto

El modo texto es un protocolo con base en caracteres, que se basa en el conjunto de comando AT modificado para GSM. Este modo es característico de terminales no inteligentes o emuladores de terminales, y para software de aplicación construido con estructuras de comando. La aplicación pasa el mensaje en texto plano al teléfono que construye el TPDU (tabla

Elemento de información	Significado	Tamaño (bytes)
Tipo de mensaje	Tipo de SMS: El valor definido en la especificación en 0x07	1
Tipo de inserción	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Almacenar en teléfono</li> <li>2. Enviar</li> <li>3. Guardar y enviar</li> </ol>	1
Dirección de destino	direccion del destino como se define en GSM 04.01	1 - 12
SMS-TPDU	Según se define en GSM 03.40	Máximo 140

Tabla 2.2: Envío de mensajes cortos utilizando el modo de bloque.

AT+CMGS="44976123456"<CR> Este es un mensaje <CR> Z	Envía un mensaje al número 44976123456.
+CMGS=3  OK	Mensaje aceptado por el teléfono con la referencia número 3.

Tabla 2.3: Envío de mensajes cortos utilizando modo texto.

2.3). Esto indica que el modo texto ofrece mucho menos funcionalidad que el modo de bloque o el modo PDU. El modo texto no pasa los mensajes recibidos a la aplicación automáticamente (solo los notifica).

## Modo PDU

El modo PDU es muy similar al modo texto, excepto que deja a la aplicación la responsabilidad de construir el TPDU del mensaje. Este modo añade a la conveniencia del conjunto de comando AT, la posibilidad de construir mensajes con PDU más sofisticado (Ej. permitiendo

que datos binarios sean transmitidos no solo texto).

### 2.5.3. Protocolos basados en texto

Usualmente estos protocolos son propietarios y se desarrollan como una interfaz del SMSC del operador de redes celulares. La ventaja de los protocolos basados en texto es que el usuario no tiene la necesidad de algún cliente especial para enviar mensajes; ellos pueden marcar al centro de mensajes apropiado utilizando un software de emulación de terminal y enviar mensajes cortos utilizando las diferentes opciones ofrecidas. La tabla 2.1 describe el proceso de envío de un mensaje corto utilizando el protocolo basado en texto Telenote.

Listing 2.1: Envío de mensajes cortos utilizando Telenote.

```
1 PLEASE ENTER THE MOBILE NUMBER IN
2 INTERNATIONAL FORMAT , E.G.
3 44385XXXXXX , FOLLOWED BY RETURN , (OR
4 RETURN TO QUIT)
5
6 >44374164828
7
8 PLEASE TYPE YOUR TELENOTE , (MAXIMUM
9 160 CHARACTERS) , FOLLOWED BY RETURN .
10
11 >Este es un mensaje de texto
12
13 MESSAGE ACCEPTED
```

## 2.6. El estándar IEEE 802.15.4

### 2.6.1. Redes Inalámbricas de Área Personal

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

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

### 2.6.2. Grupo de trabajo IEEE 802.15

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

- 802.15.1: O también llamado "Bluetooth", el cual posibilita la transmisión de datos como voz dentro de la frecuencia de los 2.4 GHz. Esta orientados a dispositivos como asistentes personales digitales, auriculares, reproductores de audio, teléfonos celulares etcétera.
- 802.15.2: Denominado también Coexistencia, dado que estudia los posibles problemas de la utilización de la bandas de frecuencias no reguladas.

- 802.15.3: Regula las Redes Inalámbricas de alta velocidad (11-55 Mbps). Esta enfocado a la transmisión de contenido multimedia.
- 802.15.4: Trata las Redes Inalámbricas con tasas de transmisión bajas pero con optimización de energía.
- 802.15.4: Redes de malla para las WPAN.

### 2.6.3. Especificaciones del estándar 802.15.4

El estándar IEEE 802.15.4 define el protocolo para la comunicación de datos entre dispositivos usando una tasa de transmisión de datos baja, bajo consumo de energía y baja complejidad en la transmisión en una red personal inalámbrica [Ieee, 2007].

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

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

- Tasas de transferencia para transmisión de datos de 250 Kb/s, 100Kb/s, 40 Kb/s, y 20 Kb/s.
- Topología de red tipo estrella y punto a punto.
- Para las direcciones de red permite longitudes de direccionamiento de 16 bits (Cortas) y 64 bits (Largas).
- Asignación opcional de ranuras de tiempo garantizadas (GTS).
- Acceso al canal tipo Acceso Múltiple con Detección de Portadora y Evitación de Colisiones (CSMA-CA).
- Bajo consumo de energía.

- Detección de energía (ED).
- Indicador de calidad de enlace (LQI).
- 49 canales disponibles, 16 canales están en la banda de los 2450 MHz, 30 canales en la banda de los 915 MHz, y 3 canales en la banda de los 868 MHz.

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

Topología de red: Dependiendo de la aplicación se puede operar en dos diferentes topologías, la topología de estrella y la topología punto a punto, ambas topologías se muestran en la Figura 2.14.

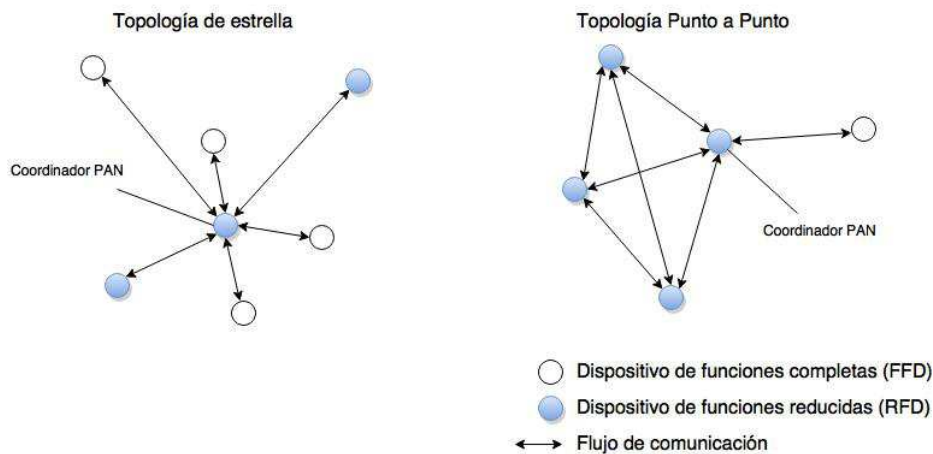


Figura 2.14: Topologías permitidas en el estándar 802.15.4.

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

## Arquitectura

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

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

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

La subcapa del estándar 802.2 [[Committee, 2002](#)] define las características de la interfaz uniforme al usuario del servicio de enlace de datos a través de la subcapa Servicio Especifico de Convergencia (SSCS por sus siglas en inglés, ServiceSpecific Convergence Sublayer).

# Capítulo 3

## Metodología

### 3.1. Sistema de envío de alertas por medio de mensajes utilizando GSM

A continuación se describirá el sistema de desarrollo para realizar el envío de alertas e información por medio de mensajes vía GSM, así como la recepción de mensajes para realizar acciones dentro de la red.

El sistema se encuentra dividido en dos componentes principales tal como se muestra en la Figura 3.1; un servicio local y un servicio móvil. El servicio local se encuentra constituido por la red de sensores (no es parte del alcance de este trabajo), el gateway WSN-GSM basado en la plataforma Raspberry Pi y el módem GSM controlado por un sistema Arduino. Por otro lado tenemos el servicio móvil constituido por una aplicación desarrollada en Android para la visualización de la información.

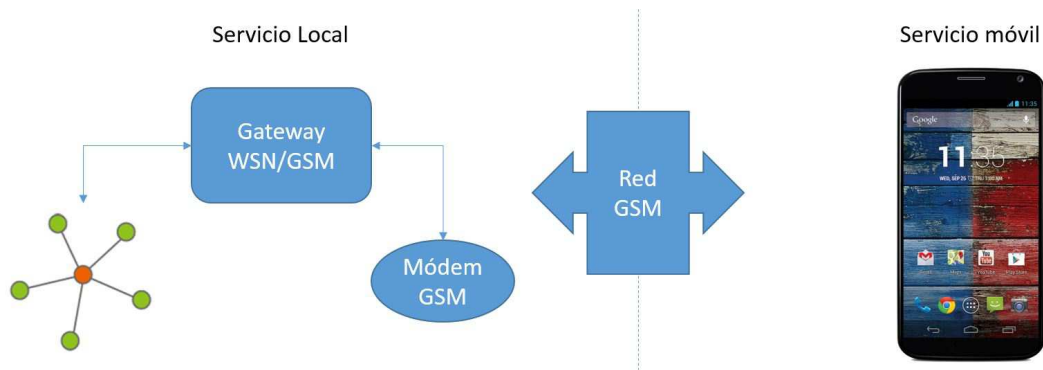


Figura 3.1: Diagrama general del sistema.

### 3.1.1. Servicio Local

Esta parte del sistema se encarga de manejar los eventos provenientes de la red de sensores o de la red GSM. Dentro del sistema interactúan tanto elementos de hardware; sensores, elementos de radio frecuencia, actuadores, controladores y fuentes de alimentación, como de software; controlador del gateway, firmware del módem, firmware de la red de sensores, software para adquisición de datos y del controlador del sistema. A esta etapa corresponde la mayor parte del trabajo de investigación realizado en la tesis y se utilizaron elementos externos tales como la red de sensores, para corroborar resultados y hacer pruebas en ambientes reales en donde se evaluarán las condiciones de operación adversas a las que se sometió el sistema.

#### Sensores

Un sensor, es un dispositivo que trata de emular alguno de los sentidos humanos, en el caso de un sensor electrónico, éste es diseñado para percibir estímulos físicos del mundo real y transformarlos en una señal electrónica, que a su vez, podemos cuantificar y manipular, tanto por medio de circuitería como de programación. Los sensores por lo general necesitan de un acondicionamiento de la señal que otorgan, de manera que la información captada sea transferida de la forma más adecuada hacia los diferentes sistemas en los cuales se desplegara esta información (pantallas, LEDs, bocinas, indicadores de aguja, entre otros). Entre los diferentes

sensores que se utilizaron para probar este sistema se encuentran: Sensores de temperatura, sensores de luminosidad, sensores de imagen y sensores de pH.

### Red de sensores

Esta red esta formada por múltiples nodos, cada nodo es un componente por si mismo y esta formado por diferentes elementos como es mostrado en la Figura 3.2, ademas cada nodo contiene uno o más sensores, estos nodos se encuentran interconectados de tal manera que se obtiene la información de cada uno de los sensores y se encarga de transmitir esta información hasta un nodo coordinador que la entrega al gateway para ser evaluada, procesada y almacenada. Desde el gateway se pueden tomar decisiones de acuerdo a la información recibida y enviar una alerta utilizando el sistema propuesto en este trabajo.

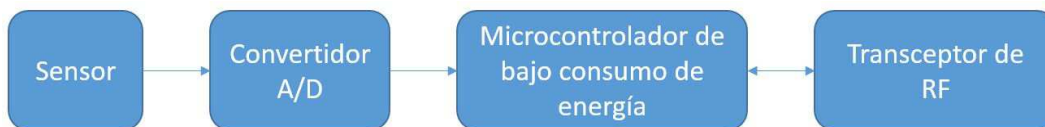


Figura 3.2: Diagrama a bloques de la WSN.

### Gateway WSN-GSM

Este elemento se encarga de recopilar la información recibida por el coordinador de la red de sensores, se encuentra formado por componentes que se comunican con la red de sensores y con la red GSM como es mostrado en la Figura 3.3, una de sus funciones es almacenar la información en una base de datos y dejarla a disposición de otros protocolos de comunicación, tales como WiFi, ethernet o en este caso, GSM al cual el gateway se conecta por medio de un módem GSM/GPRS.

Otra de la funciones del gateway es hacer uso de la información recabada y de los mandos recibidos por el módem GSM e incluso algunos sensores conectados a él para tomar decisiones

y actuar de manera correspondiente, ya sea enviar algún mensaje a través de la red de sensores o una alerta por medio de la red GSM.

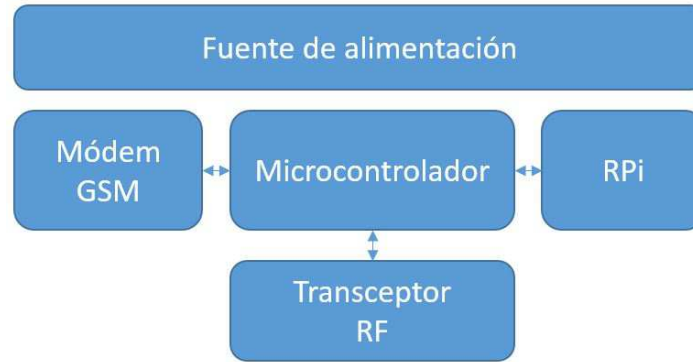


Figura 3.3: Diagrama a bloques del gateway.

### Tarjeta controladora de actuadores

En el sistema local se cuenta con un controlador de elementos externos al sistema de comunicación (mostrado en la Figura 3.4), la evaluación del controlador se realizó por medio de una tarjeta con cuatro actuadores (relevadores, solenoides, etc.), cuenta además con un canal de comunicación por medio de un radio 802.15.4 hacia el gateway, el cual le permite recibir las instrucciones para encender o apagar algún dispositivo asignado a uno de los actuadores.

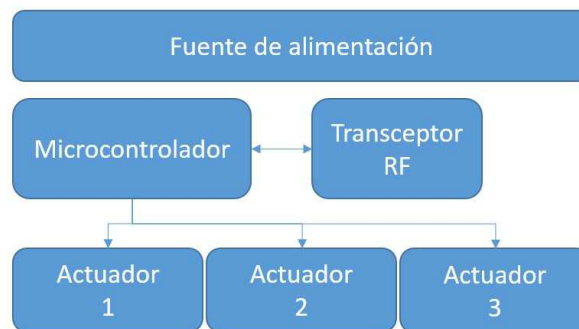


Figura 3.4: Diagrama a bloques de la tarjeta controladora de actuadores.

### 3.1.2. Servicio Móvil

En esta parte del sistema se encuentra una etapa de despliegue de datos al usuario (mostrado en la Figura 3.5), de esta manera el usuario puede interactuar con las alertas recibidas desde el cultivo o realizar una acción de manera remota por medio de la tarjeta controladora de actuadores.

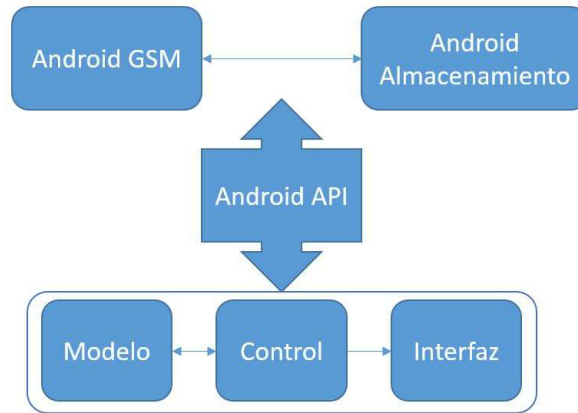


Figura 3.5: Diagrama a bloques del servicio móvil.

#### Interfaz

Para una adecuada interacción con el usuario, es necesario contar con una interfaz amigable para la recepción y visualización de alertas (ó información) enviadas desde la red de sensores del cultivo. La aplicación se encarga de proporcionar la información requerida por el usuario de manera directa, ya que elimina la necesidad de decodificar los mensajes recibidos.

#### Control de acciones a distancia

Por otro lado, se cuenta con la interfaz que permite visualizar las acciones que se pueden tomar en el cultivo, esta parte se encuentra directamente relacionada con la interacción entre la tarjeta controladora de actuadores y la etapa de la aplicación móvil desde donde se pueden enviar los mandos para cambiar el estado de la tarjeta.

## 3.2. Módulo controlador del sistema basado en el microcontrolador ATmega328P

Una de las limitaciones del radio con el que se cuenta para la comunicación GSM reside en que solo es capaz de actuar en función de los mandos recibidos a través del puerto serial. Por lo tanto, es necesaria la utilización de un microcontrolador que cuente con al menos dos puertos seriales, uno de los cuales sirve para la comunicación con el radio GSM y el otro para la comunicación con el gateway. En realidad es deseable disponer de un puerto serial extra para la comunicación con el radio 802.15.4.

Algunas características fundamentales que debe cumplir en controlador para el desarrollo de este proyecto se en listan a continuación:

- **Bajo costo.** El microcontrolador seleccionado debe ser de bajo costo para no incrementar la inversión dentro del cultivo a la hora de implementar un sistema de automatización completo.
- **Bajo consumo.** También se debe de contar con opciones de bajo consumo en caso de que el dispositivo tenga que ser portátil, de esta manera se ahorra batería para su funcionamiento y costo de mantenimiento.
- **Temporizador** Es importante mantener ciertas tareas dentro del microcontrolador calendarizadas, es por esto que para simular programas de tiempo real o al menos, que en parte funcione en tiempo real, debemos contar con temporizador.
- **Interrupciones.** Algunos módulos requieren operar por medio de interrupciones, entre estos módulos se encuentran: los de comunicaciones, los convertidores analógico-digital y digital-analógico, los temporizadores y algunos puertos de entrada/salida. Sobre todo para tareas asíncronas como la comunicación serial, donde no tenemos la seguridad de cuando responderá el dispositivo receptor y no podemos gastar recursos del microcontrolador esperando a que lo haga, es importante contar con interrupciones para recibir

datos y seguir con la ejecución normal del programa.

- **Memoria.** Debe contar con una memoria adecuada, que pueda contener en memoria de acceso aleatorio (RAM por sus siglas en inglés), también llamada memoria volátil, tanto las variables para las tareas a ejecutar, así como los búfer de datos recibidos de las comunicaciones. Debe tener la capacidad suficiente de memoria de solo lectura (ROM por sus siglas en inglés) para almacenar el programa que hará el módem GSM posible.
- **Puertos de entrada/salida.** Para el desarrollo de este módulo además de contar con los puertos necesarios para la comunicación con los diferentes periféricos, debe contar con algunos puertos disponibles en caso de que se decida mostrar algún tipo de interfaz al usuario, por ejemplo, para la comunicación con una pantalla de cristal líquido (LCD) se requiere contar por lo menos con 7 salidas digitales.
- **Módulos de comunicación.** Como se ha mencionado antes, es importante contar con al menos 2 puertos de comunicación serial. Estos se utilizarán en la comunicación con el radio GSM, con el gateway, y un tercer puerto se puede utilizar para comunicación con el radio 802.15.4.
- **Recursos adicionales.** Es de suma importancia que el microcontrolador seleccionado cuente con una gran comunidad de usuarios. Esto facilita el desarrollo del sistema, así como la resolución rápida de problemas.
- **Placas de desarrollo.** Es conveniente que para el microcontrolador seleccionado se encuentren diversas plataformas de desarrollo, de esta manera se asegura la disponibilidad de las mismas y se facilita el desarrollo al ser manejado en más presentaciones para diferentes tipos de proyectos. Y esto contribuye al crecimiento de la comunidad de desarrollo.

Por estas razones se decidió seleccionar el microcontrolador ATmega328P, ya que es una buena opción en el mercado, a un precio asequible y que cumple con las características requeridas y las supera con creces. Además, es de fácil acceso ya que se encuentra disponible con

los principales distribuidores de componentes electrónicos y cuenta con una gran cantidad de desarrolladores gracias a la plataforma Arduino.

### 3.2.1. Características ATmega328P

A continuación se describen algunas características del microcontrolador de Atmel modelo ATmega328P cuyo diagrama de terminales se muestra en la Figura 3.6 [Atmel, 2014]:

- **Memoria flash (ROM)**→ Cuenta con 32kB de ROM.
- **Número total de terminales**→ Tamaño estándar con 32 terminales.
- **Frecuencia de operación**→ Puede operar con una frecuencia de hasta 20MHz.
- **CPU**→ La unidad central de procesamiento es de tipo RISC de 8-bit.
- **Puertos de entrada/salida**→ Cuenta con 23 puertos de entrada/salida.
- **Interrupciones**→ Además de contar con interrupciones para sus módulos internos cuenta con 24 tipos de interrupciones para ejecutarse de manera externa.
- **SPI**→ Contiene dos módulos para comunicación serial con periféricos.
- **TWI**→ Cuenta con 1 módulo de comunicación de 2 cables, también conocido como I2C.
- **UART**→ Tiene un módulo para comunicación serial UART, y se puede expandir hasta 2 más por medio de software.
- **ADC**→ Cuenta con 8 canales de convertidores analógico-digital, con una resolución de 10-bit y una velocidad de 15Ksps.
- **Comparador**→ Tiene 1 comparador analógico.
- **Temperatura**→ Cuenta con un sensor interno de temperatura.
- **Memoria SRAM**→ Cuenta con 2kB de RAM, la cual es suficiente para las tareas a ejecutar.

- **Memoria EEPROM**→ Además de la RAM cuenta con 1kB de memoria no volátil.
- **picoPower**→ Cuenta con tecnología para ahorro de energía, esto indica que puede entrar a un modo de bajo consumo.
- **Temperatura de operación**→ Opera de los  $-40^{\circ}\text{C}$  o a los  $85^{\circ}\text{C}$ .
- **Voltaje de operación**→ Puede trabajar con voltajes desde 1.8 hasta 5.5.
- **Temporizadores**→ Tiene 3 módulos temporizadores, 2 de 8-bit y 1 de 16-bit.
- **PWM**→ Cuenta con 6 canales para modulación por ancho de pulso.
- **RTC**→ Puede hacer uso de un reloj de tiempo real a 32kHz, ideal para hacer contabilización de segundos transcurridos.

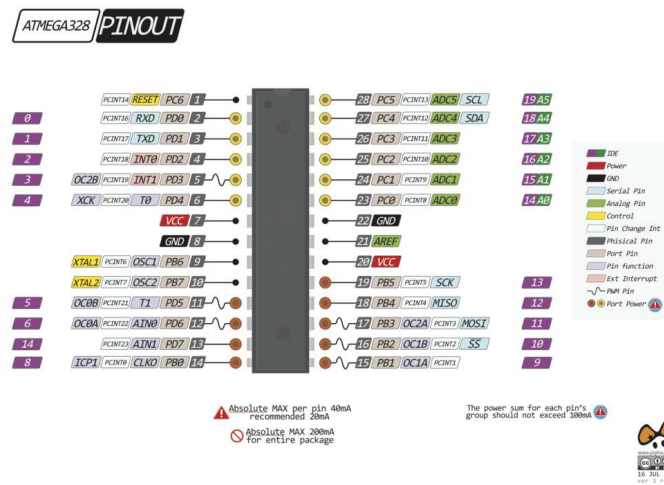


Figura 3.6: Diagrama de pines del microcontrolador ATmega328P.

### 3.2.2. Programación con GCC y Eclipse

El microcontrolador ATmega328P pertenece a la familia AVR del fabricante Atmel y gracias a esto, puede hacer uso de diferentes librerías libres para desarrollo en otros lenguajes de programación como lo es C [Fryza, 2007].

Por otro lado, la librería AVR-Libc [Group, 2005] es un proyecto de software libre cuyo objetivo es proveer un librería de C estándar de alta calidad para uso con el compilador GCC en los microcontroladores AVR de Atmel. Junto con otras librerías como lo es AVR-Binutils y AVR-GCC forman el toolchain de desarrollo para el ATmega328P.

Aunado a esto se cuenta con la interfaz de desarrollo Eclipse [Draxler et al., 2014]. El entorno de desarrollo Eclipse es un grupo de herramientas para desarrolladores de software. Es por ello que diversos grupos asociados con el son arquitectos, ingenieros, desarrolladores, entre otros especialistas del software altamente entrenados. Un grupo de personas de este tipo ha creado una serie de aditamentos para este software en el cual es posible utilizar las características del compilador de C para dispositivos AVR, con las ventajas de una interfaz para desarrollo rápido de software.

## Depuración con Eclipse

El depurador de Eclipse permite al desarrollador realizar animación de programación (también llamado paso-a-paso), esto al establecer diferentes puntos de ruptura dentro del programa [Alsallakh et al., 2012]. Los puntos de ruptura permiten pausar la ejecución del programa cuando un lugar específico del código es alcanzado, cuando una condición específica se cumple, o cuando se accede a una variable específica.

Existen diversos métodos de utilizar el depurador de Eclipse para depurar código hecho para el ATmega328P, algunas de las más comunes son:

- Utilizando un simulador de software.
- Utilizando un conector JTAG (acronimo de Joint Test Action Group) utilizado para depuración en hardware.

La primera consiste en utilizar un simulador de los módulos contenidos en el controlador ATmega328P, y de esta manera hacer creer al depurador de Eclipse que esta manejando hardware real. La otra opción consiste en utilizar el hardware como tal, esto a través de una

interfaz llamada JTAG, la cual permite la comunicación del depurador de Eclipse y los módulos dentro del controlador ATmega328P.

### 3.2.3. Plataforma Arduino

Arduino es una plataforma libre para construcción y programación de dispositivos electrónicos [Badamasi, 2014]. Puede enviar y recibir información a la mayoría de dispositivos, e incluso utilizar Internet para enviar un mando a algún dispositivo específico. Utiliza una placa de circuito impreso llamada Arduino Uno (Figura 3.7) basada en el microcontrolador ATmega328P, y un lenguaje de programación (versión simplificada de C++) para programar la placa.

En la actualidad Arduino es una plataforma muy utilizada debido a que es amigable al usuario y además cuenta con configuraciones fáciles de utilizar. A diferencia de otras placas de circuitos programables, el Arduino no tiene la necesidad de utilizar una placa externa para cargar nuevo código al microcontrolador, hace uso de un cable USB para cargar los programas, además el Arduino es programado en una versión simplificada de C++, lo que facilita su aprendizaje para desarrollar aplicaciones sobre la plataforma, aunado a que proporciona funciones que hacen a más sencillo el uso de los módulos del microcontrolador.

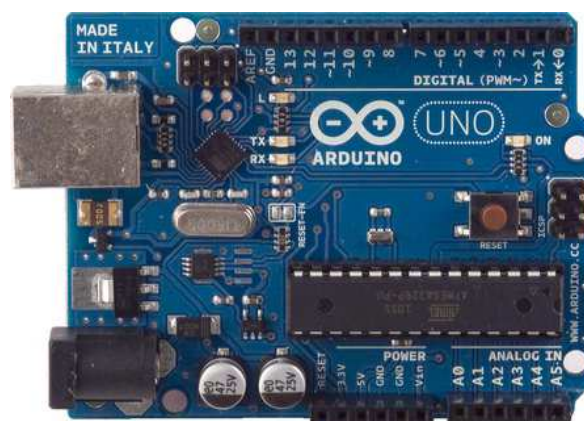


Figura 3.7: Placa de desarrollo de Arduino UNO.

La placa de desarrollo de Arduino está formada por los siguientes componentes:

- **Conector USB:** Esta puede ser llamada la primera parte del Arduino ya que es usado para cargar el programa al microcontrolador y cuenta con una fuente de poder regulada de 5V que alimenta la placa Arduino.
- **Fuente de alimentación externa:** Esta es usada únicamente para energizar la placa y cuenta con un voltaje regulado de 9 a 12V, se utiliza mayormente en caso de que el USB no provea la potencia suficiente para lo que se tiene conectado al circuito.
- **Botón de reinicio:** Este botón reinicia la placa en caso de ser necesario.
- **Microcontrolador:** Este es el dispositivo que recibe y envía información o mandos al circuito respectivo, nuestra placa hace uso del Atmel ATmega328P.
- **Pines analógicos (0-5):** Estos son los pines de entrada analógica numerados del A0 al A5.
- **Pines digitales de E/S:** Estos son los pines digitales de entrada/salida y se encuentran numerados del 2 al 13.
- **Programador “In-Circuit”:** Esta es otra forma de cargar el programa al microcontrolador, esto también se puede lograr utilizando los pines Tx como salida y Rx como entrada.
- **Pines de voltaje:** La tarjeta cuenta con pines de 3.3V y 5V, así como un pin para el voltaje proveniente de la alimentación externa.

## Entorno de desarrollo Arduino

El entorno de desarrollo es un conjunto de instrucciones que informa al hardware que hacer y como hacerlo. El entorno de desarrollo se divide en tres partes principales como es mostrado en la Figura 3.8.

1. **Área de mandos:** Esta es el área donde tiene elementos de menú como Archivo, Editar, Sketch, Herramientas, Ayuda e iconos como Verificar, Cargar, Nuevo, Abrir, Guardar

y Monitor Serial utilizado para enviar y recibir datos entre el Arduino y el entorno integrado de desarrollo (IDE por sus siglas en inglés).

2. **Área de texto:** Aquí es donde se escribe el código que utiliza una versión simplificada del lenguaje de programación C++, lo que hace más sencilla la escritura de programas, que también es llamado Sketch. Cuando se escribe código para Arduino se deben tener al menos dos cosas:

- La función “setup”: Antes de esta función se declaran e inician las variables a utilizar, posteriormente se ejecuta esta función. En la función “setup” es donde se establecen condiciones iniciales del programa y se ejecuta código preliminar una sola vez.
- La rutina “loop”: Esta es la rutina que ejecuta el código principal una y otra vez.

3. **Área de mensajes:** Aquí se muestran mensajes enviados por el IDE, principalmente se muestran mensajes de compilación y carga del código.

## Prestaciones de Arduino

Existe un conjunto de ventajas que favorecen la elección de la plataforma de desarrollo Arduino sobre el microcontrolador simple. Por un lado se tiene la ventaja del desarrollo rápido, es decir, Arduino toma una gran parte de la complejidad y dificultad de poner en marcha los módulos del microcontrolador permite enfocar el trabajo en el diseño de la aplicación. Además la plataforma de desarrollo Arduino cuenta con una gran comunidad de usuarios que están dispuestos a ayudar en caso de encontrar algún problema durante la utilización de la misma. Para productos reales o pruebas de concepto (tal como el trabajo presentado en esta tesis), no es mayor problema realizar una placa personalizada de menor costo, menor tamaño y con mayor ahorro de energía que una placa estándar de Arduino. Incluso utilizando esta plataforma, por su facilidad de aprendizaje, se habilita la oportunidad de que terceras personas tomen el proyecto final en sus manos y agreguen funcionalidades o lo tomen como base para diseñar un sistema con mayores funcionalidades.

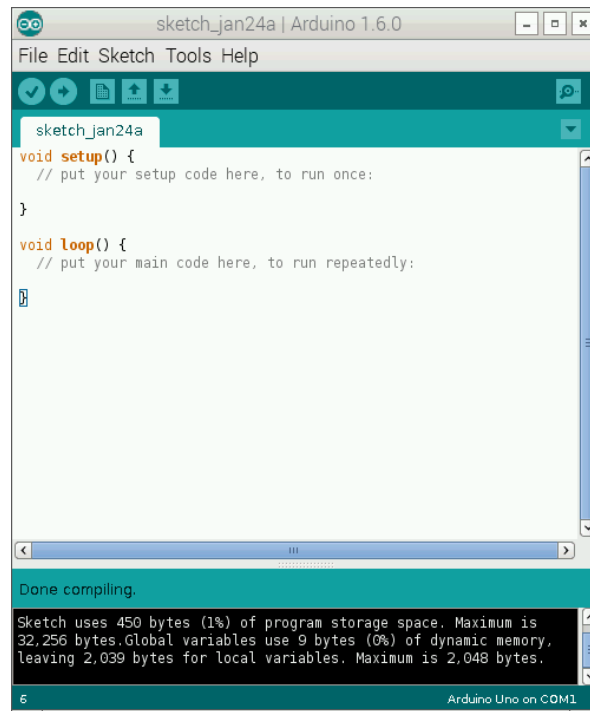


Figura 3.8: Entorno de desarrollo de Arduino.

Por otro lado en caso de que sea necesario utilizar el microcontrolador subyacente también existen beneficios como un código más rápido y la posibilidad de realizar optimizaciones al hardware. Esto es útil si se desea crear un producto para venta al público o más robusto con garantía de que funcionará en ambientes hostiles. Esto queda fuera del alcance de este trabajo y es por eso que se optó por utilizar la plataforma Arduino.

### 3.3. Módulo SIM900

El módulo SIM900 mostrado en la Figura 3.9, es un dispositivo GSM/GPRS ultra-compacto producido por SIMCom. Es un componente GSM/GPRS de cuatro bandas en un chip de montaje superficial diseñado con base en el chip ARM926EJ-S, lo que le permite contar con el beneficio de dimensiones reducidas y proporcionar soluciones a un costo/efectividad adecuado [SIMCom, 2013b].



Figura 3.9: Modulo GSM/GPRS SIM900 de SIMCom.

#### 3.3.1. Características del módulo SIM900

Como característica principal se menciona su interfaz estándar con la industria, el SIM900 opera en las bandas GSM/GPRS de 850/900/1800/1900MHz y entrega voz, SMS, datos, y Fax, todo esto en un tamaño compacto y con un bajo consumo de energía. Con una configuración pequeña de 24mm x 24mm x 3mm, SIM900 puede ser colocado en la mayoría de las aplicaciones con requerimientos de espacio de aplicaciones M2M (maquina a maquina), especialmente en diseños con restricciones de dimensiones (delgadas y compactas) [SIMCom, 2013b].

Entre las características principales del SIM900 se encuentran las listadas a continuación [SIMCom, 2012]:

- Cuatro bandas 850/900/1800/1900 MHz.

- GPRS multi-ranura 10/8.
- Estación móvil GPRS clase B.
- Cumple con GSM fase 2/2+.
  - Clase 4 (2W @ 850/900MHz).
  - Clase 1 (1W @ 1800/1900MHz).
- Soporte para cancelación de interferencia de una sola antena (SAIC).
- Dimensiones 24 \* 24 \* 3 mm.
- Peso: 3.4g.
- Control vía mando AT(GSM 07.07, 07.05 y SIMCOM mandos AT aumentados).
- Juego de herramientas de aplicación SIM.
- Rango de voltaje de alimentación de 3.2 a 4.8V.
- Bajo consumo: 1.0mA (en modo dormido)
- Temperatura de operación de -40°C a +85°C.

### 3.3.2. Comunicación

El modulo SIM900 puede ser usado utilizando mandos AT a través de una interfaz serial [SIMCom, 2013a]. Este módulo está diseñado como un equipo de comunicación de datos (DCE), es decir, provee un puerto serial de módem completo el cual es usado para la lectura/escritura de los mandos AT. El puerto serie contiene líneas de transmisión y recepción (TXD y RXD), líneas de control de flujo por hardware (RTS y CTS), líneas de estado (DTR, DCD y RI). El puerto serial cumple con una interfaz de 2.8V.

Cuando el modulo es usado en modo de módem completo para transmisión de datos, todas las líneas de señal deben ser conectadas. La Figura 3.10 muestra la conexión entre el modulo y el cliente (DTE) en modo módem.

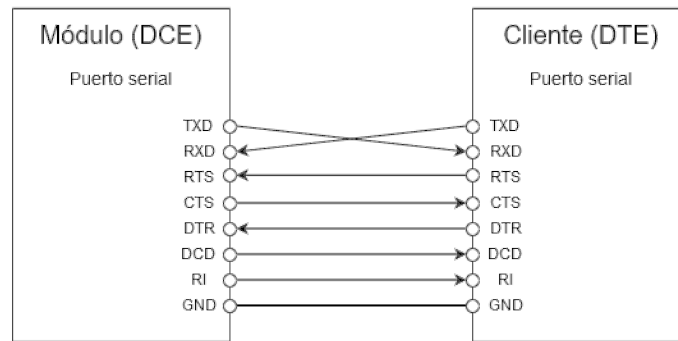


Figura 3.10: Conexión de la interfaz serial en modo de módem completo.

Cuando el módulo es usado en modo de módem nulo (sin handshaking) para transmisión de datos, solo las líneas TXD y RXD se utilizan en la aplicación del usuario, los demás pines seriales deben mantenerse abiertos. La Figura 3.11 muestra la conexión entre el módulo y el cliente (DTE) en modo de módem nulo.

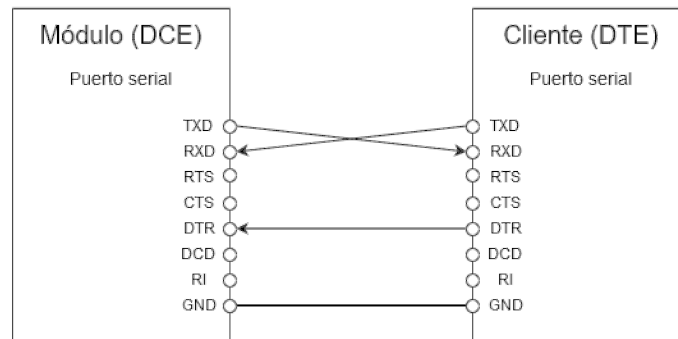


Figura 3.11: Conexión de la interfaz serial en modo de módem nulo.

**Nota:** La señal DTR debe ser puesta a bajo nivel cuando el cliente este enviando datos al modulo. Si DTR no se conecta al cliente, entonces deberá ser puesta a tierra por medio de una resistencia de  $10k\Omega$ .

### 3.3.3. Modo SMS

La especificación SMS define dos modos de operación para cualquier dispositivo móvil, estos son modo texto y modo PDU (Protocol Data Unit). El modo en que opera un dispositivo móvil determina la sintaxis de algunos mandos AT y el formato de respuesta después de la ejecución. En general, el modo PDU es más utilizado por módems GSM/GPRS y teléfonos móviles que el modo texto.

#### Modo Texto

El modo texto trata los mensajes como cadenas de caracteres en formato ASCII, es la manera más sencilla de enviar mensajes de manera automática más allá de que la codificación de los caracteres las hace el propio modulo SIM900.

#### Modo PDU

El modo PDU trata el mensaje SMS como una cadena en octetos hexadecimales o semiocetos decimales, de cuya codificación resulta el SMS en modo texto. La ventaja de modo PDU respecto al modo texto es que en modo texto la aplicación queda limitada a la opción de codificación que se haya preestablecido, en modo PDU se puede implementar cualquier codificación.

La cadena PDU no solo contiene el mensaje, sino que lleva información del centro de servicio SMS (+CSCA?), hora de llegada, tipo de mensaje, información sobre el que envía el SMS, vigencia del SMS, número de caracteres, tipo de llamada, tipo de alfabeto usado, etcétera.

La estructura de datos de un mensaje en modo PDU se muestra en la Tabla 3.1.

SMSC	Tipo PDU	DD	PID	NR	COD	PV	LD	Datos
------	----------	----	-----	----	-----	----	----	-------

Tabla 3.1: Estructura de datos de un mensaje SMS en modo PDU

- SMSC: Dirección Centro de Servicio.
- Tipo PDU: Tipo Protocolo de la Unidad de Datos.
- DD: Dirección destino.
- PID: Protocolo Identificación.
- NR: Número de referencia.
- COD: Codificación trama de datos.
- PV: Periodo de Vigencia del SMS.
- LD: Longitud de la cadena de datos.
- Datos: El contenido del mensaje ya codificado a 7 bits.

### 3.3.4. Mandos AT

Muchos de los mandos que son utilizados para controlar un módem dial-up (de marcado telefónico), tales como: ATD (Marcar), ATA (Contestar), ATH (Tomar control) y ATO (Regresar al estado activo), también son soportados por los módem GSM/GPRS y teléfonos móviles. Además de este conjunto de mandos AT común, los módem GSM/GPRS soportan un conjunto de mandos AT que son exclusivos de la tecnología GSM, esto incluye mandos relacionados con SMS tales como: AT+CMGS (Enviar mensaje SMS), AT+CMSS (Enviar mensaje SMS almacenado), AT+CMGL (Lista mensajes SMS) y AT+CMGR (Lee mensajes SMS).

Se debe notar que el prefijo “AT” es la forma de informar al módem que una línea de mando está iniciando. No es parte del nombre del mando en sí. Por ejemplo, D es el nombre del mando en ATD y +CMGS es el nombre del mando AT siguiente: AT+CMGS. De cualquier manera, en algunas bibliografías se usa de forma intercambiable como el nombre de un mando AT.

A continuación se enlistan algunas de las cosas que se pueden hacer con mandos AT usando un módem GSM/GPRS:

- Obtener información del módem GSM/GPRS. Por ejemplo, el nombre del productor (+CGMI), número de modelo (+CGMM), número de IMEI (+CGSN) y versión del firmware (+CGMR).
- Obtener información del suscriptor. Por ejemplo, MSISDN (+CNUM), y número IMSI (+CIMI).
- Obtener el estado actual del módem GSM/GPRS. Por ejemplo, estado del registro de la red móvil (+CREG), calidad de la señal (+CSQ), nivel de carga de la batería y estado de carga de la batería (+CBC).
- Establecer una conexión de datos o de voz a un módem remoto (ATD, ATA, etc).
- Enviar y recibir un fax (ATD, ATA, +F\*).
- Enviar (+CMGS, +CMSS), leer (+CMGR, +CMGL), escribir (+CMGW) o eliminar (+CMGD) mensajes SMS y obtener notificaciones de mensajes recibidos (+CNMI).
- Leer (+CPBR), escribir (+CPBW), o buscar (+CPBF) entradas en los contactos.
- Tareas relacionadas con la seguridad, tales como abrir/cerrar candados (+CLCK), comprobar si algún candado está puesto, y cambiar contraseñas (+CPWD).
- Controlar la presentación de códigos de resultado / mensajes de error de mandos AT. Por ejemplo, se puede controlar cuando habilitar algunos errores de mensaje (+CMEE) y cuando los mensajes de error deben de ser desplegados en formato numérico o en formato extendido (+CMEE=1 o +CMEE=2).
- Obtener o cambiar la configuración del módem GSM/GPRS. Por ejemplo, cambiar la red GSM (+COPS), tipo de servicio portador ((+CBST), parámetros del protocolo de enlace del radio (+CRLP), dirección del SMSC (+CSCA) y almacenamiento de mensajes SMS (+CPMS).

- Respalidar y restaurar configuraciones de módem GSM/GPRS. Por ejemplo, respaldar (+CSAS) y restaurar (+CRES) ajustes relacionados con los mensajes SMS como la dirección del SMSC.

Se debe tener en consideración, que algunos mandos AT deben contar con el soporte del proveedor de la red. Por ejemplo, SMS sobre GPRS puede ser habilitado en algunos módem GPRS con el mando +CGSMS. Pero si el operador de la red no tiene soporte para la transmisión de SMS sobre GPRS, no se puede utilizar esta característica.

### Sintaxis general de mandos AT extendidos

Los mandos básicos son los mandos AT que no comienzan con “+”. Por ejemplo, D (Dial), A (Answer), H (Hook control) y O (Return to online data state) son mandos básicos. Los mandos AT extendidos son aquellos que inician con “+”. Todos los mandos AT GSM son mandos extendidos. Por ejemplo, +CMGS (Send SMS message), +CMSS (Send SMS message from storage), +CMGL (List SMS messages) and +CMGR (Read SMS messages) son mandos extendidos, en la Figura 3.12 se muestra la sintaxis general de los mandos AT.

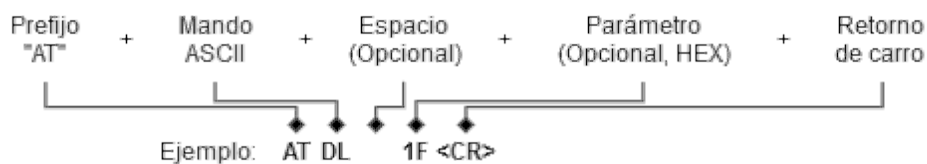


Figura 3.12: Sintaxis general del mando AT.

La sintaxis general de los mandos AT extendidos es muy directa. Las reglas de sintaxis se muestran a continuación. La sintaxis de los mandos AT básicos es un poco diferente. No se cubrirá la sintaxis de los mandos AT básicos ya que en éste trabajo la comunicación se realizará a través mensajes tipo SMS y todos los mandos AT para comunicación SMS son extendidos.

**Regla de sintaxis 1** Todas las líneas de mando deben comenzar con “AT” y terminar con un retorno de carro. (Se utiliza <CR> para representar un retorno de carro). Ejemplo: Para mostrar una lista de todos los mensajes sin leer que se encuentran en el espacio de almacenamiento, se escribe “AT”, luego el mando AT extendido “+CMGL”, y finalmente el carácter de retorno de carro, es decir:

```
1 AT+CMGL<CR>
```

**Regla de sintaxis 2** Una línea de mando puede contener más de un mando AT. Solo el primer mando AT debe tener el prefijo “AT”. Una cadena de mandos AT en la misma línea de mandos deben ser separados con punto y coma. Ejemplo:

```
1 AT+CMGL ; +CGMI <CR>
```

Si los dos mandos AT contienen el prefijo “AT”, puede ocurrir un error en la comunicación. Se deben evitar mandos como el siguiente:

```
1 AT+CMGL ; AT+CGMI <CR>
```

**Regla de sintaxis 3** Una cadena debe encerrarse entre comillas dobles. Ejemplo:

```
1 AT+CMGL=" ALL " <CR>
```

**Regla de sintaxis 4** Respuestas de información y códigos de resultados, siempre comienzan y terminan con un retorno de carro <CR> y un carácter de avance de línea <LF>. Ejemplo:

```
1 <CR><LF>Nokia<CR><LF>
```

```
2 <CR><LF>OK<CR><LF>
```

En la especificación de SMS, todos los mandos AT están en letras mayúsculas. De cualquier manera, muchos módem GSM/GPRS y teléfonos móviles permiten escribir mandos AT en mayúsculas y minúsculas. Por ejemplo, en un equipo Nokia 6021, los mandos AT son indistintos

para mayúsculas o minúsculas (case-insensitive) y las siguientes dos líneas de mando son equivalentes:

```
1 AT+CMGL<CR>  
2 at+cmgl<CR>
```

## Códigos de resultados de mandos AT

Los códigos de resultados son mensajes enviados desde el módem GSM/GPRS para proveer de información acerca de la ejecución de los mandos AT y la ocurrencia de un evento. Dos tipos de códigos de resultados son útiles cuando se están manejando mandos AT para enviar mensajes por SMS:

- Códigos de resultado final
- Códigos de resultado no solicitados

Un código de resultado final marca el fin de una respuesta de un mando AT. Es un indicador de que el módem GSM/GPRS a terminado de ejecutar una línea de mando. Dos códigos de resultado final son frecuentes: OK y ERROR. Solo un código de resultado final sera regresado por cada línea de mando. Por lo que, no se verán los dos códigos OK y ERROR en la misma respuesta. El código de resultado final OK indica que una línea de mando a sido ejecutada de forma exitosa por el módem GSM/GPRS. El código de resultado final ERROR indica que un error ocurrió cuando el módem GSM/GPRS trato de ejecutar la línea de mando, a continuación se indican las causas comunes de error:

- La sintaxis de la línea de mando es incorrecta.
- Un valor especificado para cierto parámetro es invalido.
- El nombre del mando AT esta deletreado de manera incorrecta.
- El módem GSM/GPRS no soporta uno o más de los mandos AT, parámetros de mando o valores de parametro en la cadena de línea de mando.

Existe un código de resultado final específico para mandos AT que tienen que ver con SMS, es es +CMS ERROR. Este notifica acerca de una falla en el servicio. Un código de error se provee al programador para que compruebe las causas de la falla del servicio. En la parte inferior se muestra una lista de los mandos AT para SMS que pueden dar como salida un código de resultado final +CMS ERROR:

- +CMGC (nombre del mando: Enviar mando)
- +CMGD (nombre del mando: Eliminar mensaje)
- +CMGL (nombre del mando: Listar mensajes)
- +CMGR (nombre del mando: Leer mensajes)
- +CMGS (nombre del mando: Enviando mensaje)
- +CMGW (nombre del mando: Escribir mensaje en memoria)
- +CMSS (nombre del mando: Enviar mensaje a almacén)
- +CNMA (nombre del mando: Reconocimiento de nuevo mensaje a ME/TA)
- +CNMI (nombre del mando: Indicador de nuevo mensaje a TE)
- +CPMS (nombre del mando: Almacenamiento de mensaje preferido)
- +CRES (nombre del mando: Restablecer ajustes)
- +CSAS (nombre del mando: Respalda ajustes)
- +CSMS (nombre del mando: Seleccionar servicio de mensaje)

La sintaxis del código de resultado final +CMS ERROR es:

1

```
<CR><LF>+CMS ERROR: codigo_de_error<CR><LF>
```

En la Tabla 3.2 se enlistan algunos de los códigos de error +CMS y sus significados.

Código de error +CMS	Significado
300	Falla del equipo móvil. Equipo móvil se refiere al dispositivo móvil que se comunica con la red inalámbrica. Usualmente es un teléfono móvil o un módem GSM/GPRS. La tarjeta SIM esta definida como una entidad independiente y no es parte del dispositivo móvil.
301	El servicio SMS del dispositivo móvil esta reservado.
302	La operación que se espera del mando AT no esta permitida.
303	La operación que se espera del mando AT no esta soportada.
304	Uno o más valores de parámetro asignados al mando AT son inválidos (Modo PDU).
305	Uno o más valores de parámetro asignados al mando AT son inválidos (Modo texto).
310	No se encuentra la tarjeta SIM.
311	La tarjeta SIM requiere un código PIN para funcionar. El mando AT +CPIN se puede utilizar para enviar el PIN a la tarjeta SIM.
312	La tarjeta SIM requiere un PH-SIM PIN para operar El mando AT +CPIN se puede utilizar para enviar el PH-SIM PIN a la tarjeta SIM.
313	Falla de la tarjeta SIM.
314	La tarjeta SIM esta ocupada.
315	La tarjeta es SIM equivocada.
316	La tarjeta SIM requiere un PUK para operar. El mando AT +CPIN se puede utilizar para enviar el PUK a la tarjeta SIM.
320	Falla de la memoria o del almacenamiento de mensajes.

321	El índice asignado a la memoria/almacenamiento de mensajes con el mando AT es inválido.
322	La memoria/almacenamiento de mensajes no tiene espacio.
330	La dirección del SMSC es desconocida.
331	Sin servicio de red disponible.
332	Termino el tiempo de espera de la red.
340	No hay necesidad de enviar un mensaje de reconocimiento por el mando AT+CNMA.
500	Un error desconocido ocurrió.

Tabla 3.2: Códigos de error +CMS

También existen códigos de resultado no solicitados, estos son mensajes del módem GSM/GPRS para proveer información sobre la ocurrencia de un evento. Por ejemplo, se puede utilizar el mando AT +CNMI para pedirle al módem GSM/GPRS que envíe el código de resultado no solicitado "+CMTF" a la PC cada vez que un nuevo mensaje SMS es recibido desde el SMSC.

Aquí se encuentran los códigos de resultado no solicitados relacionados con los mensajes SMS:

- +CDS: Un módem GSM/GPRS usa el código +CDS para enviar un nuevo reporte de estado SMS a la PC.
- +CDSI: Este código se utiliza para notificar al PC que un nuevo reporte de estado a sido revivido y manda la localidad de memoria donde se encuentra.
- +CMT: Este código es utilizado para enviar un mensaje SMS recibido a la PC.
- +CMTI: Este código se utiliza para notificar al PC que un nuevo mensaje a sido recibido por el módem y manda la localidad de memoria donde se encuentra almacenado.

## Operaciones con mandos AT

Existen cuatro tipos de operaciones con mandos AT:

- Prueba. Una operación de prueba se utiliza para probar si ciertos mandos AT son soportados por el módem GSM/GPRS.
- Ajuste. Una operación de ajuste es usada para cambiar los ajustes utilizados por el módem GSM/GPRS para ciertas tareas.
- Leer. Una operación de leer es usada para adquirir los ajustes actuales usados por el módem GSM/GPRS.
- Ejecución. Una operación de ejecución es usada para realizar una acción o adquirir información/estado del módem GSM/GPRS.

### 3.3.5. Configuración

En las subsecuentes secciones se muestra la configuración del modulo SIM900 para el envío y recepción de mensajes SMS.

#### Configuración de SIM900 para envío de mensajes en modo texto

La configuración para envío de SMS del modulo SIM900 consiste en:

- Entrar modo de envío de mensajes.
- Establecer modo texto para el envío de mensajes.
- Introducir el número al que se enviara el mensaje.
- Por ultimo, enviar el mensaje.

## Prueba de envío de SMS

A continuación se muestra el procedimiento para enviar un mensaje desde un programa terminal:

```
1  AT
2  OK
3  AT+CMGF=1
4  OK
5  AT+CMGW="+85291234567 "
6  > A simple demo of SMS text messaging.
7  +CMGW: 1
8
9  OK
10 AT+CMSS=1
11 +CMSS: 20
12
13 OK
```

- Línea 1: “AT” es enviado al módem GSM/GPRS para probar la conexión. El módem GSM/GPRS retorna el código de resultado “OK” (línea 2), lo cual significa que la conexión entre la terminal y el módem GSM/GPRS funciona bien.
- Línea 3: El mando +CMGF es utilizado para instruir al módem GSM/GPRS que opere en SMS modo texto. El código de retorno “OK” (línea 4), indica que el mando se ejecutó de manera exitosa.
- Línea 5 y 6: El mando AT +CMGW es utilizado para escribir el mensaje de texto al área de almacenamiento de mensajes del módem GSM/GPRS. “+526461234567” es el número de teléfono móvil del receptor. Después de escribir el número del receptor, se deberá introducir un retorno de carro. El módem GSM/GPRS tomara el retorno de carro y enviara “>” es entonces cuando se puede escribir el contenido del mensaje “Una simple

demostración de un SMS de texto.”. Cuando se termine se inserta el carácter“ctrl+z” del teclado.

- Línea 7: “+CMGW: 1” nos dice que el índice asignado al mensaje de texto SMS es 1. Esto indica la localidad del mensaje de texto en la memoria de almacenamiento de mensajes.
- Línea 9: El código de resultado “OK” indica que la ejecución del mando AT “+CMGW” fue satisfactoria.
- Línea 10: El mando AT +CMSS es utilizado para enviar el mensaje de texto desde el almacenamiento del módem GSM/GPRS. "1.<sup>es</sup> el índice del mensaje obtenido en la línea 7.
- Línea 11: “+CMSS: 20” Indica el número de referencia asignado al mensaje de texto SMS.
- Línea 13: El código de resultado “OK” indica la que la ejecución del mando AT +CMSS fue satisfactoria.

### **Configuración de SIM900 para lectura de mensajes**

La siguiente lista de elementos, indica el procedimiento relacionado con la recepción y lectura de mensajes SMS:

- Indicación de mensaje nuevo (+CNMI).
- Listado de mensajes (+CMGL).
- Lectura de mensajes (+CMGR).
- Reconocimiento de mensaje nuevo (+CNMA).

## Prueba de lectura de mensajes

A continuación se muestra un ejemplo que muestra el procedimiento para recibir un mensaje desde un programa terminal por medio de mando AT:

```
1 AT
2 OK
3 AT+CMGF=1
4 OK
5 AT+CMGL="ALL"
6 +CMGL: 1,"REC READ","+526461484750",,"15/06/14,00:30:29+32"
7 Hola, bienvenido a la prueba de lectura de SMS.
8 +CMGL: 2,"REC READ","+526461484750",,"15/06/14,00:32:20+32"
9 Una demostración sencilla de mensajes SMS.
10
11 OK
```

Aquí encontramos una descripción de lo que se hace en el ejemplo anterior:

- Línea 1: “AT” es enviado al módem GSM/GPRS para probar la conexión. El módem GSM/GPRS envía de regreso el código de resultado “OK” (línea 2), lo cual significa que la conexión entre el programa y el módem GSM/GPRS funciona de manera correcta.
- Línea 3: El mando AT “+CMGF” es utilizado para instruir al módem GSM/GPRS que opere en SMS modo texto. El código de resultado “OK” es regresado (línea 4), lo cual indica que el mando “AT+CMGF=1” se a ejecutado de manera satisfactoria. Sí el código de resultado “ERROR” es regresado, es probable que el módem GSM/GPRS no soporta el modo texto para SMS. Para confirmar, se teclea “AT+CMGF=?” en el programa terminal. Sí la respuesta es “+CMGF: (0,1)” (0 = Modo PDU y 1 = modo texto), entonces el modo texto es soportado por el módem. Sí la respuesta es “+CMGF: (0)”, entonces el modo texto no esta soportado.
- Líneas 5-9: El mando “+CMGL” es utilizado para listar todos los mensajes SMS en el

sistema de almacenamiento del módem GSM/GPRS. Tenemos dos mensajes de texto SMS en el almacenamiento de mensajes: “Hola, bienvenido a la prueba de lectura de SMS.” y “Una demostración sencilla de mensajes SMS.” “+526461484750” es el número de teléfono del transmisor, para este caso en particular, mi número de teléfono. Los mensajes “15/06/14,00:32:20-32” y “15/06/14,00:30:29-32” indican cuando fue recibido por el SMSC el mensaje de texto SMS . “-32” es la zona de tiempo. Note que las unidades están en cuarto de hora. Así que, -32 indica GMT-8 horas, ya que 32 cuartos de hora son 8 horas. “REC READ” indica que los dos mensajes fueron leídos previamente.

- Línea 11: El código de resultado “OK” indica que la ejecución del mando AT “+CMGL” fue satisfactoria.

## 3.4. Módulo XBee

El componente de radio frecuencia de nombre Xbee es un modulo desarrollado por la compañía Digi International, el modulo esta diseñado para poder comunicarse con otros dispositivos que utilicen el estándar IEEE 802.15.4 de redes de área personal. En la Figura 3.13 se muestra el módulo XBee. Estos módulos operan bajo dos modos; modo AT y modo API. Para su programación se utiliza la herramienta X-CTU o bien desde cualquier dispositivo inteligente con interfaz serial (microcontrolador, computadora embebida, etcétera)[[Digi International, 2006](#)].



Figura 3.13: Módulo XBee.

Este dispositivo soporta las arquitecturas de comunicación de tipo: punto a punto, punto a multipunto (estrella) o malla si es utilizado con el protocolo de capa de aplicación ZigBee.

### 3.4.1. Características de los módulos XBee

- Alcance de hasta 100m en línea de visión para los módulos XBee y de hasta 1.6km para los módulos del tipo XBee Pro.
- 9 puertos de entrada/salida analógicos y digitales.

- Soporta modo de bajo consumo, 50mA cuando se encuentra en funcionamiento y hasta 10uA cuando esta en modo de dormir (sleep mode).
- Comunicación por interfaz de tipo serial.
- La cantidad máxima de direcciones es de 65,000 para cada uno de los 16 canales disponibles. Esto indica la capacidad de dispositivos soportados por la red.
- Fácil modo de configuración mediante mando AT.

Existen dos series diferentes en los módulos; serie 1 y serie 2. La principal diferencia entre estas series es el uso de un chipset y protocolo de comunicación en capa física diferentes.

### 3.4.2. Programación

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

### 3.4.3. Modo Recibir/Transmitir

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

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

### 3.4.4. Modo Mando

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

Para poder interactuar en este modo se debe ingresar el mando +++ a lo cual el modulo responderá con un “OK”. Todos los mandos se pueden consultar para la serie 1 de XBee dentro de la sección 3 RF Module Configuration [[Digi International, 2006](#)], para la serie 2 en la sección 10 Xbee Command Reference Tables de [[Digi International, 2006](#)].

### 3.4.5. Modo API

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

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

### 3.4.6. Configuración

Mediante los mandos AT definidos en [[Digi International, 2006](#)] se puede configurar el direccionamiento dentro de la red.

## Direccionamiento

Los módulos XBee permiten dos tipos de direccionamiento, el de 16 bits y el de 64 bits. Estas dos tipos de direccionamiento también son conocidos como direccionamiento Corto o Largo. La principal diferencia entre los dos direccionamientos es la gran cantidad de direcciones que se pueden obtener mediante el uso del direccionamiento largo.

El mando **MY** es el que define el direccionamiento corto, el rango se encuentra entre 0x0000 ó 0xFFFE, para definir una dirección corta se usaría de la forma ATMY1234. El mando **DL** define la dirección de 16 bits la cual será el destino dentro de la red. El intervalo debe estar entre 0x0 y 0xFFFE. Para el direccionamiento de 64 bits o largo el número 0xFFFF y 0xFFFE se usa con el mando MY, de esta forma se desactiva el modo corto y se habilita el uso de la dirección de 64 bits. En este direccionamiento ya no se puede definir la dirección dado que se asigna automáticamente (Dirección IEEE propia de cada modulo).

### 3.5. Interacción entre el microcontrolador, el módulo SIM900 y el módulo XBee

Ya que en este proyecto se plantea utilizar el puente GSM-WSN para monitorear el cultivo de manera remota, los módulos XBee sirven para la comunicación con la red de sensores que en este caso especial solo incluye al módem GSM y a la tarjeta controladora de actuadores. A su vez, la etapa de GSM involucra parte del servicio local y el servicio remoto. Como parte del proceso de prueba los sensores son conectados directamente a la plataforma Raspberry Pi. En la Figura 3.14 se muestra el diagrama general del sistema GSM - WSN.

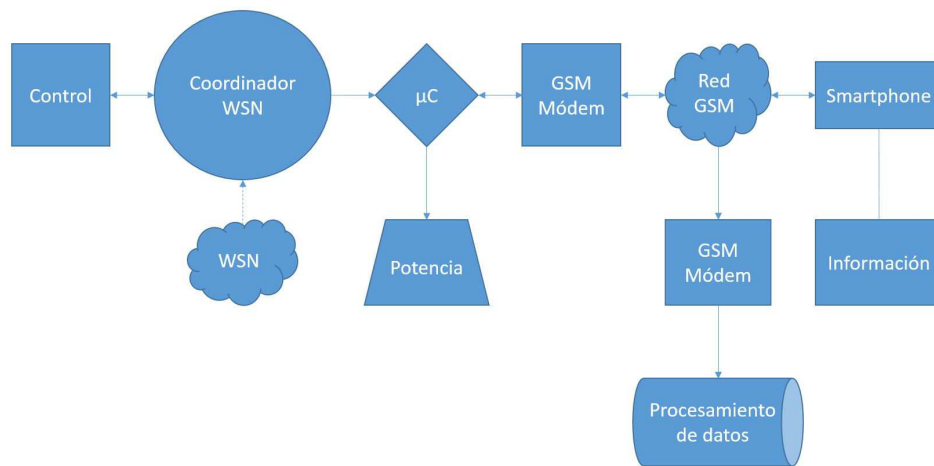


Figura 3.14: Diagrama del sistema GSM - WSN.

Teniendo en cuenta estos objetivos, el comportamiento del puente es el siguiente:

- Establecer comunicación por medio de UART entre el microcontrolador (MC) y el módulo SIM900.
- Establecer comunicación por medio de UART entre el MCU y el módulo XBee.
- El sistema embebido RPi recibe datos de los sensores y los almacena en una base de datos.

- Si se presenta una anomalía, se cuenta con una secuencia de mandos (“script”) dentro del sistema que se encarga de notificar al modulo GSM para enviar una alerta.
- Los números almacenados en una base de datos o en su defecto almacenados en la memoria no volátil del modulo GSM son los que recibirán esta alerta.
- Los mensajes son comunicados al modulo SIM900 y transmitidos por medio del sistema GSM hasta el servicio remoto.
- Si el servicio remoto decide ejercer una acción, este envía un mensaje a través del sistema GSM desde el servicio remoto hasta el módem GSM en el servicio local.
- El modulo SIM900 alerta al MC de un nuevo mensaje y se lo cede.
- El MC interpreta el mensaje y transmite los mandos necesarios por medio del modulo XBee al RPi.
- El RPi a su vez envía estos mandos por medio de su modulo XBee a la tarjeta controladora de actuadores.
- Por último esta tarjeta realiza la operación indicada.

### 3.5.1. Desarrollo

Después de estudiar las hojas de especificaciones y los manuales de referencia para las tarjetas de entrenamiento de Arduino, Raspberry Pi y SIM900, así como, los programas y literatura de ejemplo que se incluye para cada uno de estos. Se establecieron los siguientes objetivos: comunicar las 2 terminales GSM (El SIM900 y un teléfono celular) de manera bidireccional, implementar un algoritmo de recepción y envío de mensajes SMS, leer la base de datos para el envío de mensajes y realizar un prototipo del sistema en circuito impreso. A continuación se describen las configuraciones principales para cumplir con los objetivos establecidos en cada uno de los módulos.

### 3.5.2. Configuración final del módulo SIM900

El modulo puede recibir los mandos para su configuración de envío y recepción de mensajes en cualquier instante, toda su configuración se realiza al momento de una transacción y mediante el sistema controlador implementado en Arduino. En la Figura 3.15 se presenta el diagrama de flujo de la comunicación entre el ARduino y el modulo SIM900.



Figura 3.15: Diagrama de flujo de la comunicación entre el Arduino y el SIM900.

### 3.5.3. Configuración final del módulo XBee

La configuración de los módulos XBEE se realizó con el programa X-CTU. La configuración de los módulos XBee de diferente versión no difieren mucho entre sí. En este caso se usarán módulos Serie 2. El primer paso en la configuración es conectar el módulo XBee a través de la tarjeta XBEE-USB mostrada en la Figura 3.16.

Una vez que se tiene el módulo XBee Serie 2 conectado a la computadora, se ejecuta el X-CTU. En la pestaña principal (Figura 3.17) de la aplicación se muestra el puerto COM en el que se encuentra conectado el dispositivo, este no se modificará aun si el modulo se conecta en un puerto diferente.

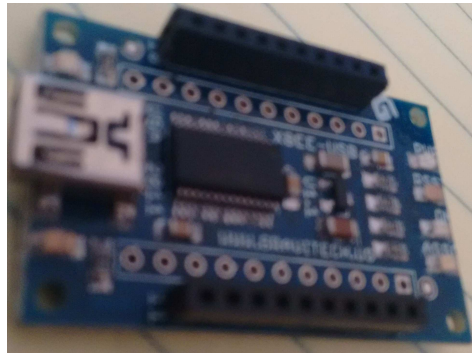


Figura 3.16: Tarjeta de conexión XBEE-USB.

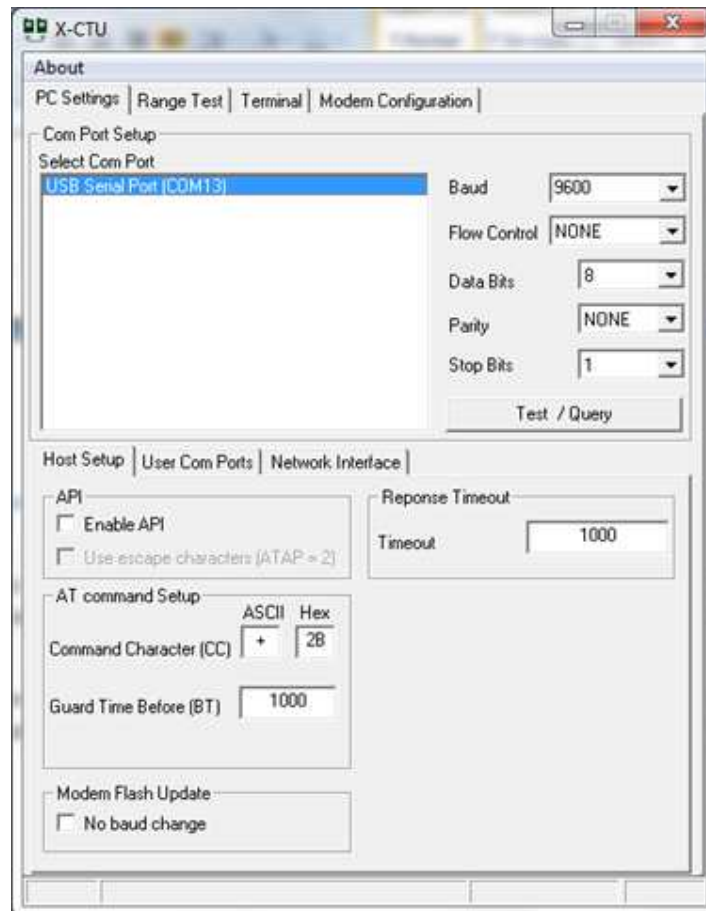


Figura 3.17: Pestaña principal de X-CTU.

Para verificar que el dispositivo está listo para usarse, se realiza un test de conexión. Basta con presionar el botón “Test/Query”. Si todo está en orden, aparecerá una ventana emergente (Figura 3.18) que muestra detalles del dispositivo, como el estado, versión de firmware y número de serie, el cual también se puede encontrar impreso en una etiqueta debajo del módulo XBee. Éste último dato será importante en el futuro. Clic en “OK” para cerrar.



Figura 3.18: Ventana emergente Test/Query.

Existen dos formas de configurar el XBee, una es por medio de mandos en una terminal para comunicación serial, la otra es realizara gráficamente. Por su simplicidad se usará únicamente la segunda opción.

Para comenzar se accede a la pestaña “Modem Configuration” (Figura 3.19), esta contiene varios botones que serán explicados con detalle a continuación.

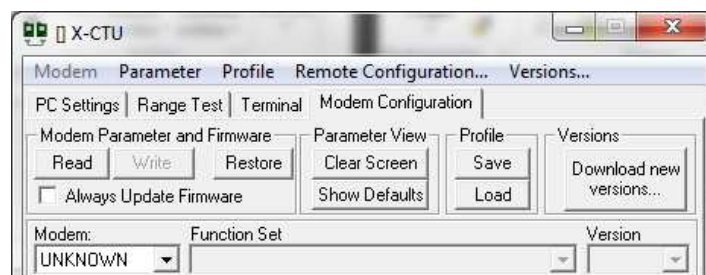


Figura 3.19: Pestaña modem de X-CTU.

Para poder acceder a la configuración actual del radio y hacer modificaciones a la misma, se lee desde el propio módem, haciendo clic en “Read”. Se despliega la información correspondiente en la ventana como se muestra en la Figura 3.20.

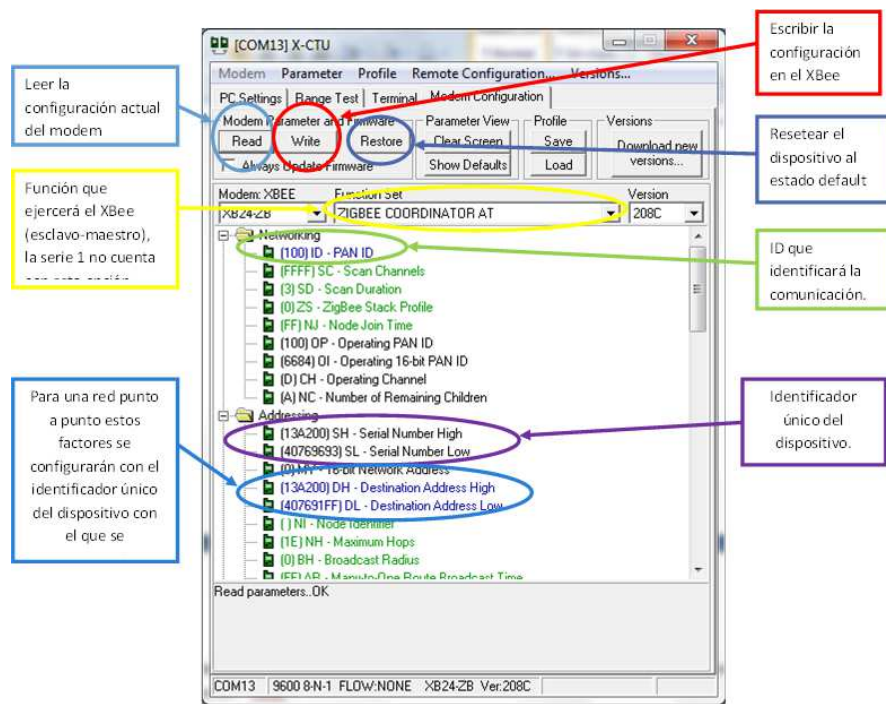


Figura 3.20: Configuración actual del radio.

Después de leer el XBee se procede a configurar el PAN ID (Red de Área Personal) para personalizar la red dentro de la cual el módulo estará recibiendo o transmitiendo información; el número colocado debe ser hexadecimal y en un rango de 0 - FFFFFFFF para Series 2 (en el caso de las Series 1 el rango es de 0 - FFFF), cualquier XBee que se requiera conectar en esta red deberá contener el mismo identificador. En este ejemplo se colocó el número 100.

En el apartado “Function Set” se selecciona el papel que ejercerá el XBee en la red, un XBee deberá ser el maestro o coordinador, y uno o varios XBee fungirán como esclavos o “Routers” (la Serie 1 no tiene esta cualidad y no hay necesidad de configurar su función).

La configuración del modo AT o API se selecciona de acuerdo a los requerimientos necesarios para la comunicación que se desee implementar (en el modo AT, la información o los datos se envían bit a bit, por el contrario en el modo API la información se envía en pequeños paquetes de datos), en este caso ese tipo de configuración es indiferente ya que se trata de la

comunicación punto a punto.

El siguiente paso es configurar las direcciones de destino para la comunicación de los XBee, utilizando los números de serie de cada módulo. Dentro de la sección “Addressing” localice las opciones “Serial Number High/Low” estos números son los que identifican a cada dispositivo. A las direcciones de destino del XBee maestro o “coordinador” se le asignan las direcciones SH y SL correspondientes al XBee esclavo o “Router”.

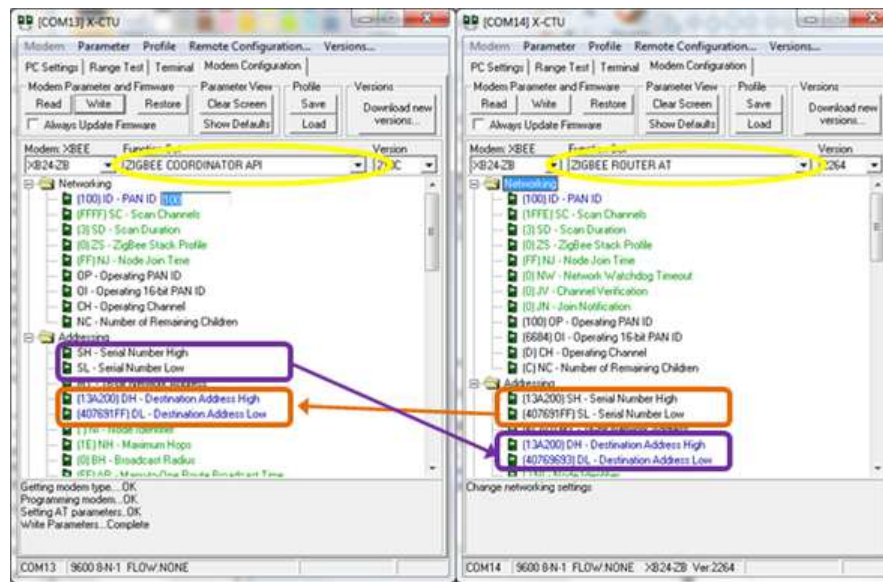


Figura 3.21: Configuración de direcciones en X-CTU.

De manera inversa se asignan las direcciones correspondientes en dirección esclavo-maestro como se muestra en la Figura 3.21.

Después de realizar estos pasos la configuración de ambos XBee está terminada y se puede empezar a trabajar con ellos.

Para verificar que la comunicación es correcta, basta con probar la comunicación por medio de la pestaña “Terminal” enviando cualquier mensaje, como se muestra en las Figuras 3.22 y 3.23.

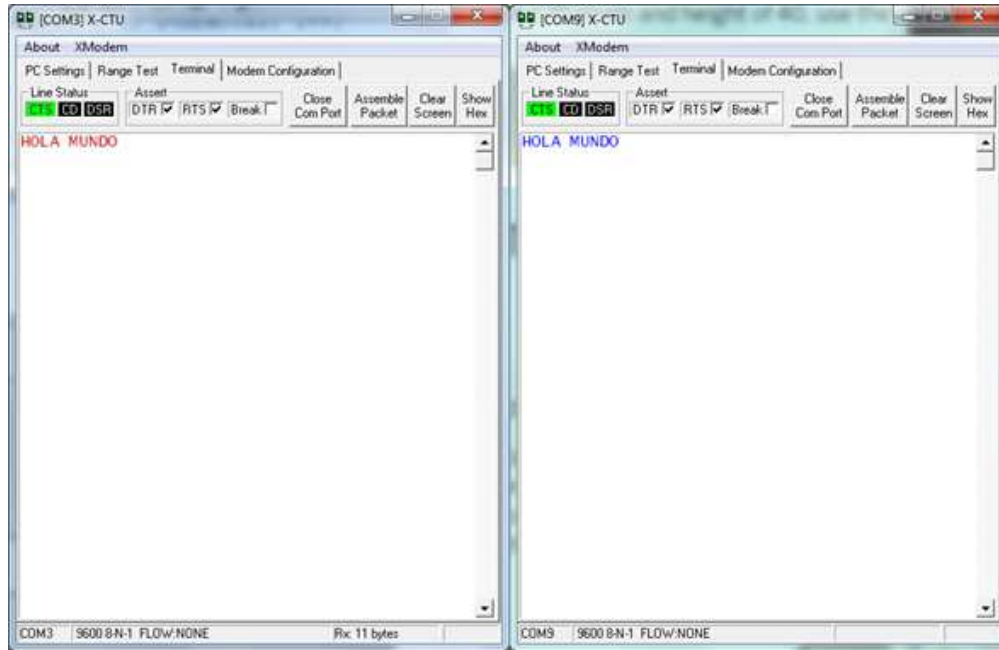


Figura 3.22: Prueba de comunicación entre XBee 1.

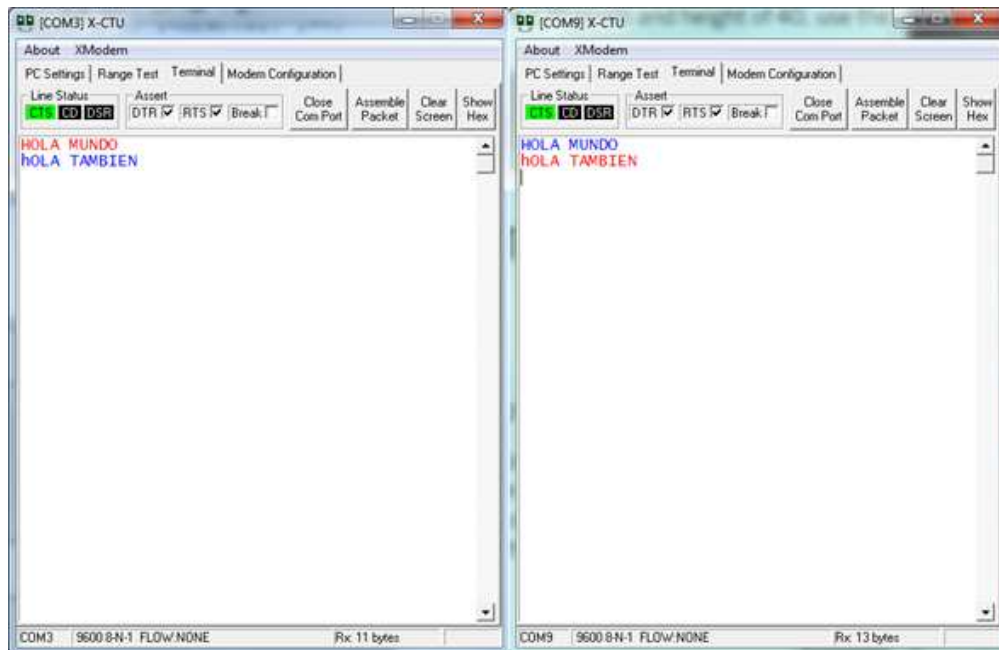


Figura 3.23: Prueba de comunicación entre XBee 2.



### 3.5.5. Resultados

Una de las pruebas con el sistema desarrollado en Arduino y los módulos XBEE fue recibir un mensaje desde una terminal móvil, este contiene una serie de caracteres que se interpretan acorde con el protocolo elaborado para este proyecto que se describirá más adelante. Estos caracteres le indican al sistema Arduino activar un interruptor conectado a través del modulo XBee de manera remota, el cual puede estar controlando un abanico, una bomba de agua, ó inclusive un simple dispositivo emisor de luz, este experimento se muestra en la Figura 3.25.



Figura 3.25: Primera prueba del sistema en funcionamiento.

## 3.6. Plataforma Raspberry Pi

La plataforma Raspberry Pi es una computadora de bajo costo, del tamaño de una tarjeta de crédito que se conecta a un monitor ó a una televisión, y puede utilizar además un teclado estándar y un ratón. Es un pequeño dispositivo que hace posible el alcance de la computación a personas de todas las edades, y enseñarles como programar en lenguajes como Scratch y Python. Es capaz de realizar todas las actividades que se esperan de una computadora, desde buscar en Internet y reproducir vídeo en alta definición, hasta realizar hojas de calculo, y jugar vídeo juegos [[Raspberry Pi Foundation, 2012](#)].

Ademas, el Raspberry Pi puede interactuar con el mundo exterior, y ha sido utilizado en un amplio rango de proyecto, desde reproductores musicales y detectores de pares, hasta estaciones meteorológicas y jaulas de pájaros con cámaras infrarojas.

El Raspberry Pi utiliza un sistema en chip (SoC por sus siglas en inglés); un procesador ARM a 700MHz que maneja las tareas computacionales básicas - entradas, salidas y cálculos; y contiene ademas una unidad de procesamiento de vídeo Videocore 4. Estos procesadores combinan capacidad de procesamiento y multimedia en una pequeña carcasa. Estos no utilizan demasiada energía y mantiene la computadora a temperatura relativamente baja.

El modelo original, mostrado en la Figura 3.26, cuenta con 512MB de RAM, 2 puertos USB y un puerto ethernet [[Andrews, 2013](#)]. El modelo más económico tiene 256MB de RAM, un puerto USB y no cuenta con conexión ethernet. Los sistemas operativos disponibles para esta plataforma son principalmente distribuciones de Linux, aunque existen otros sistemas operativos no-Linux, por ejemplo RiscOS. Linux tiene pequeñas demandas de memoria, así que es posible correr un sistema operativo completamente funcional sin un almacenamiento permanente. De manera frecuente Linux incluye lenguajes de programación ya instalados; Scratch y Python funcionan al máximo de su capacidad en Raspberry Pi.

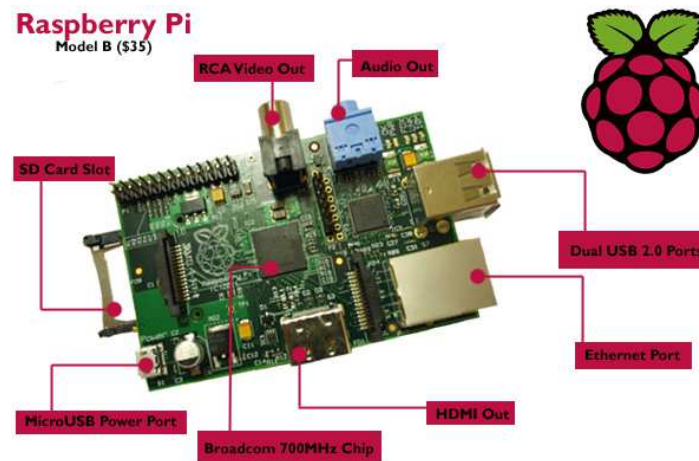


Figura 3.26: Plataforma Raspberry Pi.

### 3.6.1. Instalación y configuración de Linux en RPi

Ya que el sistema operativo mejor soportado por Raspberry Pi es aquel que se basa en el núcleo de Linux. Se describirán los pasos necesarios para instalar la distribución Raspbian en la plataforma. Esta distribución fue elegida al ser una distribución basada en Debian y ser distribuida por los creadores de la plataforma.

Para instalar un sistema operativo en una tarjeta SD para Raspberry Pi, es necesario contar con otra computadora, de preferencia con sistema Linux, y un lector de tarjetas SD.

#### Descargando la imagen

Los archivos “imagen” oficiales de los sistemas operativos recomendados para Raspberry Pi están disponibles para su descarga desde el sitio <https://raspberrypi.org/>, Existen distribuciones alternativas que se distribuyen por vendedores externos.

Desde esta pagina se descarga la imagen llamada Raspbian basada en a distribución de Linux Debian Wheezy. Después de descargar la imagen se descomprime el archivo `*.zip`, al descomprimirlo se obtiene el archivo imagen `*.img` que se debe escribir en la tarjeta SD.

## Transferir la imagen a la tarjeta SD

Con el archivo de imagen de la distribución seleccionada, se utilizara una herramienta de escritura para instalarla en al tarjeta SD, esta herramienta es proveída por el sistema operativo Linux del host.

Se debe tomar en cuenta que el uso de la herramienta `dd` sobrescribirá cualquier partición en la maquina host. Si se especifica el dispositivo incorrecto en la instrucciones que se muestran a continuación se podría borrar la partición principal de Linux. Por lo que se recomienda, proceder con sumo cuidado.

- Ejecutar `df -h` para ver los dispositivos montados actualmente.
- Si su computadora tiene ranuras para tarjeta SD, se debe de colocar una tarjeta en este momento. Si no, inserte la tarjeta en el lector de tarjetas SD, y conecte el lector a la computadora.
- Ejecutar `df -h` de nuevo. El dispositivo nuevo de la lista es el de la tarjeta SD. La columna de la izquierda indica el nombre del dispositivo SD; será listado algo como `/dev/mmcblk0p1` o `/dev/sdd1` . La ultima parte (p1 o 1 respectivamente) es el número de partición, pero lo que nosotros deseamos es escribir a la tarjeta SD completa, no solo a una partición. Debido a esto, se debe eliminar esa parte del nombre (obteniendo, por ejemplo, `/dev/mmcblk0` o `/dev/sdd` ) como el dispositivo para la tarjeta SD completa. Note que la tarjeta SD puede aparecer más de una vez en la salida del mando `df` ; hará esto si se a escrito una imagen de Raspberry Pi a la tarjeta SD, esto es debido a que las imágenes SD de Raspberry Pi contienen más de una partición.
- Ahora que se sabe el nombre del dispositivo, se necesita desmontar del sistema, de manera que lo archivos que contiene no se puedan leer ni escribir a la tarjeta SD mientras se esta copiando la imagen SD.
- Ejecutar el mando `umount /dev/sdd1` reemplazando `sdd1` con el que sea el nombre de la tarjeta SD (incluyendo el número de particion), hacer esto para todas las particiones

existentes en la tarjeta SD.

- En la ventana del terminal, se graba la imagen a la tarjeta SD con el mando indicado en la parte inferior, asegurándose de reemplazar el argumento del archivo de entrada `if=` con la ruta al archivo `*.img` de la imagen, y en texto `/dev/sdd` en el argumento del archivo de salida `of=` con el nombre de dispositivo correcto. Esto es muy importante, ya que se pueden perder archivos del disco duro si se indica el nombre de dispositivo incorrecto. Se debe asegurar que el nombre del dispositivo sea el nombre de toda la tarjeta SD como se describió anteriormente, no solo una partición de esta; por ejemplo `sdd` , no `sdds1` o `sddp1` ; ó `mmcblk0` , ni `mmcblk0p1` .

```
1 $ dd bs=4M if=2015-05-05-raspbian-wheezy.img of=/dev/sdd
```

- Note que el tamaño del bloque está puesto a `4M` esto funcionará la mayoría de las veces; en caso de que no opere correctamente, se puede intentar con `1M` , aunque esto tomará más tiempo.
- También note que si no ha iniciado sesión como administrador tendrá que ejecutar estos mandos con el prefijo `sudo` .
- El mando `dd` no muestra información alguna de su progreso, por lo que podría parecer congelado; puede tomar más de 5 minutos en terminar de escribir a la tarjeta SD. Si su lector de tarjetas tiene un LED este puede parpadear durante el proceso de escritura. Para ver el progreso de la operación de copiado puede ejecutar el mando `pkill -USR1 -n -x dd` en otro terminal; puede ser que no se muestre el progreso de manera inmediata debido aun retraso en el buffer.
- En vez de `dd` se puede usar `dcfldd` ; dará un reporte del progreso sobre que tanto se ha escrito.
- Se puede comprobar lo que ha sido escrito a la tarjeta SD ejecutando el mando `dd` para guardar una imagen de regreso al disco duro, truncando la imagen a un tamaño igual al original , y después ejecutando `diff` (o `md5sum` ) en las dos imágenes.

- La tarjeta SD podría ser más grande que la imagen original, y `dd` hará una copia de la tarjeta completa. Debemos por lo tanto truncar la nueva imagen al tamaño de la imagen original. Es necesario asegurarse de reemplazar el argumento del archivo de entrada `if=` con el nombre del dispositivo correcto. `diff` debe reportar que los archivos son idénticos.

```
1 $ dd bs=4M if=/dev/sdd of=from-sd-card.img
2 $ truncate --reference 2015-05-05-raspbian-wheezy.img from-sd-card.img
3 $ diff -s from-sd-card.img 2015-05-05-raspbian-wheezy.img
```

- Ejecutar el mando `sync` ; asegurara que la memoria cache sea vaciada y sea seguro desmontar la tarjeta SD.
- Retirar la tarjeta SD del lector de tarjetas.

### 3.6.2. Programas para Raspberry Pi

La manera más sencilla de manejar instalaciones, actualizaciones, y remover software es utilizando la herramienta de paqueteria avanzada o APT por sus siglas en inglés, que viene con Debian. Si una pieza de software existe en paquete para Debian y funciona en la arquitectura ARM, debe estar disponible para Raspbian.

Para instalar o remover paquetes se requiere contar con permisos de administrador, o de “root” como se conoce en el ambiente de Linux; para esto el usuario debe estar registrado en el archivo de `sudoers` o se debe de iniciar sesión como `root` .

Para instalar nuevos paquetes, o actualizar los ya existentes, es necesaria una conexión a Internet.

La instalación de software ocupa espacio en la tarjeta SD, así que se debe verificar de manera frecuente la utilización del espacio de disco y utilizar una tarjeta SD de tamaño apropiado.

Ademas se debe tomar en cuenta que mientras es instalado un software se agrega un candado, por lo que no se pueden instalar múltiples paquetes de manera concurrente.

## Fuentes de software

APT mantiene una lista de las fuentes de software en el Pi en un archivo localizado en la ruta `/etc/apt/sources.list` . Antes de instalar software se debe actualizar la lista de paquetes con el mando `apt-get update` :

```
1 $ sudo apt-get update
```

## Instalando un paquete con APT

```
1 sudo apt-get install tree
```

Por medio de este mando se informa al usuario cuanto espacio ocupará el paquete en el disco y pide confirmación de instalación.

Ingresando `Y` (o solo presionando `Enter` , tomando si como la acción por defecto) permitirá que la instalación se lleve a cabo. Esto puede ser evitado añadiendo la bandera `-y` al mando:

```
1 sudo apt-get install tree -y
```

Instalando este paquete se consigue que `tree` esté disponible al usuario.

### 3.6.3. Manejador de bases de datos MySQL

SQLite es un gran manejador para bases de datos en muchas situaciones, pero hay veces en las que no esta a la altura del trabajo. SQLite se puede utilizar en sitios web, pero es mucho más común usar MySQL. Esto es porque:

- MySQL tiene mayor escalabilidad.

- MySQL puede ser personalizado más fácilmente.
- Soporta manejo de usuarios y permisos.
- MySQL es mejor para sitios con tráfico pesado.
- Puede ser utilizado en arquitecturas cliente-servidor donde un cliente debe acceder a la base de datos de manera remota.

## Configurando MySQL en Raspberry Pi

Antes de comenzar, es necesario instalar el servidor MySQL y las librerías para Python:

```
1 $ sudo apt-get install mysql-server python-mysqldb
```

Durante la instalación del servidor MySQL, se pedirá ingresar una contraseña para el usuario root de MySQL. El procedimiento para crear una base de datos para temperaturas, se indica a continuación. Se crea una base de datos llamada **temps** para almacenar los registros con campos para fecha, tiempo, zona y temperatura. MySQL viene con un intérprete de mandos que puede ser usado para configurar las bases de datos. Se puede usar este intérprete para crear la base de datos:

```
1 $ mysql -u root -p
2 Enter password:
3 mysql> CREATE DATABASE temps
4 mysql> USE temps
```

El comando `USE temps` indica al intérprete que debe utilizar esa base de datos para futuras operaciones en esta sesión. MySQL soporta cuentas de usuario, por lo que es necesario crear un usuario y darle acceso a la base de datos:

```
1 mysql> CREATE USER 'monitor'@'localhost' IDENTIFIED BY 'password';
2 mysql> GRANT ALL PRIVILEGES ON temps.* TO 'monitor'@'localhost'
3 mysql> FLUSH PRIVILEGES;
4 mysql> quit
```

Esta lista de mandos crea un usuario llamado `monitor` y le asigna una contraseña “password”. Este usuario tiene permitido conectarse desde localhost, es decir, solo de manera local.

Inicialmente, el usuario no tiene privilegios, por lo que se le deben asignar algunos utilizando el comando `GRANT`; Por facilidad se ha utilizado `ALL` en este ejemplo, pero en aplicaciones de mundo real es mejor ceder derechos limitados a los usuarios. Una lista completa de privilegios se encuentra disponible en el manual del comando `GRANT`. El último comando sale del intérprete para poder acceder de nuevo a este con el usuario que se creó.

```
1 $ mysql -u monitor -p
```

Ahora se crea la tabla con los campos necesarios para almacenar los datos:

```
1 mysql> CREATE TABLE tempdat (tdate DATE, ttime TIME, zone TEXT,  
    temperature NUMERIC);
```

## Acceso a una base de datos de MySQL con Python

Para poblar la base de datos se utiliza el lenguaje de programación Python. Se crearán datos de un día, doce horas y actual de tres zonas diferentes. El código de Python mostrado a continuación es el inicio del script:

```
1 #!/usr/bin/env python  
2  
3 import MySQLdb  
4  
5  
6 db = MySQLdb.connect("localhost", "monitor", "password", "temps")  
7 curs=db.cursor()
```

Con este código se importa el módulo `MySQLdb` y se conecta con el nombre de usuario y contraseña que se configuró en el intérprete. El siguiente código inserta registros en la base de datos:

```
1 # Note que estoy usando triples comillas con propósito de formato
2 # se pueden usar comillas dobles si se pone la cadena completa en una
   línea
3 try:
4     curs.execute("""INSERT INTO tempdat
5         values(CURRENT_DATE() - INTERVAL 1 DAY, NOW(), 'cocina',
6             21.7)""")
7     curs.execute("""INSERT INTO tempdat
8         values(CURRENT_DATE() - INTERVAL 1 DAY, NOW(), '
9             invernadero', 24.5)""")
10    curs.execute("""INSERT INTO tempdat
11        values(CURRENT_DATE() - INTERVAL 1 DAY, NOW(), 'cochera',
12            18.1)""")
13
14    curs.execute("""INSERT INTO tempdat
15        values(CURRENT_DATE(), NOW() - INTERVAL 12 HOUR, 'cocina',
16            20.6)""")
17
18    curs.execute("""INSERT INTO tempdat
19        values(CURRENT_DATE(), NOW() - INTERVAL 12 HOUR, '
20            invernadero', 17.1)""")
21
22    curs.execute("""INSERT INTO tempdat
23        values(CURRENT_DATE(), NOW() - INTERVAL 12 HOUR, 'cochera
24            ', 16.2)""")
25
26    curs.execute("""INSERT INTO tempdat
27        values(CURRENT_DATE(), NOW(), 'cocina', 22.9)""")
28
29    curs.execute("""INSERT INTO tempdat
30        values(CURRENT_DATE(), NOW(), 'invernadero', 25.7)""")
31
32    curs.execute("""INSERT INTO tempdat
33        values(CURRENT_DATE(), NOW(), 'cochera', 18.2)""")
34
35    db.commit()
```

```
26     print "Datos entregados"
27
28 except:
29     print "Error: la base de datos se esta restaurando"
30     db.rollback()
```

Si ocurre un error durante la ejecución de estos mandos SQL, o si hay un error a la hora de entregar los datos, los cambios serán restaurados. Esto se puede simplificar utilizando un manejador de contexto en Python:

```
1 with db:
2     curs.execute("""INSERT INTO tempdat
3         values(CURRENT_DATE() - INTERVAL 1 DAY, NOW(), 'cocina',
4             21.7)""")
5     curs.execute("""INSERT INTO tempdat
6         values(CURRENT_DATE() - INTERVAL 1 DAY, NOW(), '
7             invernadero', 24.5)""")
8     curs.execute("""INSERT INTO tempdat
9         values(CURRENT_DATE() - INTERVAL 1 DAY, NOW(), 'cochera',
10            18.1)""")
11     curs.execute("""INSERT INTO tempdat
12         values(CURRENT_DATE(), NOW() - INTERVAL 12 HOUR, 'cocina',
13            20.6)""")
14     curs.execute("""INSERT INTO tempdat
15         values(CURRENT_DATE(), NOW() - INTERVAL 12 HOUR, '
16             invernadero', 17.1)""")
17     curs.execute("""INSERT INTO tempdat
18         values(CURRENT_DATE(), NOW() - INTERVAL 12 HOUR, 'cochera
19             ', 16.2)""")
20     curs.execute("""INSERT INTO tempdat
21         values(CURRENT_DATE(), NOW(), 'cocina', 22.9)""")
```

```

18     curs.execute ("INSERT INTO tempdat
19         values(CURRENT_DATE(), NOW(), 'invernadero', 25.7)")
20     curs.execute ("INSERT INTO tempdat
21         values(CURRENT_DATE(), NOW(), 'cochera', 18.2)")

```

Esto se hará cargo automáticamente de las operaciones de entrega y restauración.

## Obteniendo datos de la base de datos

Una vez la información esta almacenada en la base de datos, es necesario contar con un procedimiento para acceder a ella. Esto se puede realizar por medio del mando `SELECT` de SQL. La función `execute` ejecuta la consulta SQL, y la función `fetchall` regresa una lista de registros que concuerden con la consulta.

```

1     curs.execute ("SELECT * FROM tempdat")
2
3     print "\nFecha      Tiempo      Zona      Temperatura"
4     print "===== "
5     for reading in curs.fetchall():
6         print str(reading[0])+" "+str(reading[1])+" "+\
7             reading[2]+" "+str(reading[3])

```

El bucle `for` itera a través de la lista de resultados. Cada registro es una lista de valores. Es importante mencionar que los valores de tiempo y temperatura deben ser convertidos a cadena de caracteres antes de que se puedan agregar al resultado. Este código imprime el contenido de la base de datos completa como una tabla:

Fecha	Tiempo	Zona	Temperatura
2014-09-09	14:41:46	cocina	21.7
2014-09-09	14:41:46	invernadero	24.5
2014-09-09	14:41:46	cochera	18.1
2014-09-10	2:41:46	cocina	20.6

```

7 2014-09-10  2:41:46  invernadero  17.1
8 2014-09-10  2:41:46  cochera      16.2
9 2014-09-10  14:41:46  cocina       22.9
10 2014-09-10  14:41:46  invernadero  25.7
11 2014-09-10  14:41:46  cochera      18.2

```

Se puede utilizar la palabra clave `WHERE` para adjuntar condiciones a la consulta. En este ejemplo, se van a buscar los registros de temperatura arriba de 20°:

```
1 curs.execute ("SELECT * FROM tempdat WHERE temp>%s", (str(20.0),))
```

Note que es importante no utilizar sustitución de cadenas para insertar parámetros a la consulta, ya que esto hace posible que terceros inserten código malicioso en la consulta SQL. Esta consulta realiza la misma función pero es menos segura:

```
1 curs.execute ("SELECT * FROM tempdat WHERE temp>%s" % str(20.0))
```

En este ejemplo, la variable es incondicionalmente insertada a la consulta. En la anterior, la consulta y el parámetro son pasados a la librería de MySQL, lo cual revisa si el parámetro es seguro antes de insertarlo.

La salida de esta consulta es:

```

1 Fecha          Tiempo          Zona           Temperatura
2 =====
3 2014-09-09     14:41:46       cocina          21.7
4 2014-09-09     14:41:46       invernadero     24.5
5 2014-09-10     2:41:46        cocina          20.6
6 2014-09-10     14:41:46       cocina          22.9
7 2014-09-10     14:41:46       invernadero     25.7

```

Al final del script, se cierra la conexión con la base de datos:

```
1 db.close()
```

### 3.6.4. Servidor seguro para mandos SSH

Se puede tener acceso a la línea de mandos de un Raspberry Pi desde otra computadora en la misma red utilizando una conexión segura, por medio del mando `ssh`. Se debe tomar en cuenta que esto sólo da acceso a la línea de mandos, no al ambiente de escritorio. Para un acceso remoto al escritorio se debe utilizar una red virtual (VNC por sus siglas en inglés), que no es parte del trabajo aquí realizado.

Se puede habilitar o deshabilitar el servidor SSH en el Raspberry Pi (se encuentra habilitado por defecto). Esto se hace utilizando `raspi-config`:

Se ingresa `sudo raspi-config` en una terminal, después se navega hasta `ssh`, presiona `Enter` y selecciona `Enable or disable ssh server`.

SSH se encuentra incluido en distribuciones Linux y Mac OS, y un servicio de terceros para SSH en modo cliente es proporcionado para Windows. A continuación se describirá la manera de utilizar la conexión segura desde una maquina cliente “host” con Linux.

Para comenzar se es necesario saber la dirección IP del RPi. para encontrar esta dirección se escribe en la terminal `hostname -I`. De manera alternativa, si el RPi esta funcionando sin pantalla, también conocido como “headless”, se puede ver a la lista de dispositivos en el router o usar una herramienta como `nmap`.

Para conectarse al RPi desde una computadora diferente, se ejecuta el siguiente mando en una terminal remplazando `[IP]` con la dirección IP del Raspberry Pi.

```
1 ssh pi@[IP]
```

Si se recibe un error del tipo `connection timed out` es probable que se haya introducido la dirección IP incorrecta. Cuando la conexión funciona correctamente se vera una advertencia de autenticación/seguridad. Teclé `yes` para continuar. La advertencia aparecerá solo la primera vez que se conecte. En el evento en el que el RPi tome una dirección IP de un dispositivo al que la computadora se haya conectado anteriormente (incluso en otra red), se presentara una advertencia y se pedirá que se elimine el registro de la lista de dispositivos conocidos. Siguiendo

estas instrucciones e intentando el mando `ssh` de nueva cuenta, se debería lograr la conexión de manera exitosa.

Posteriormente, se debe ingresar la contraseña para el usuario `pi`, por defecto en Raspbian la contraseña es `raspberrypi`. En ésta ocasión se debería tener una línea de mandos idéntica a la que se encuentra dentro del Raspberry Pi. Si se ha configurado algún otro usuario en el RPi, se puede conectar a este de la misma manera, reemplazando el nombre de usuario por el nuevo, ej. `[usuario]@[IP]`.

```
1 pi@raspberrypi ~ $
```

Una vez que se ha establecido la conexión al RPi de manera remota se pueden ejecutar los mandos deseados. Para obtener más información del mando `ssh` basta con introducir en terminal la instrucción `man ssh`.

### 3.7. Presentación de la información de forma amigable al usuario

La presentación de información de manera amigable al usuario representa uno de los objetivos del sistema. Para cumplir con tal objetivo, es necesario que el usuario sea capaz de interpretar la manera en que es presentada la información y sobre todo, contar con una manera sencilla de interactuar con el sistema. En este sistema en particular la información es aquella que entra o sale en forma de mensajes de texto SMS desde el gateway; pueden ser mensajes de alerta, mensajes con información relevante del cultivo o mensajes provenientes del usuario para el control de los actuadores.

Debido a la importancia de proporcionar la información de alertas al usuario y que estas no se encuentren en el formato del protocolo de comunicación, es decir, que ya hayan sido analizadas gramaticalmente y desplegadas de una forma sencilla, además, de facilitar tareas de formatos de captura, se pretende que el usuario no se preocupe de formar el mensaje correspondiente para el envío de un mensaje de control al sistema, se llega a la conclusión de que es necesario presentar una herramienta de fácil uso para el envío de dichos mensajes.

Por las razones mencionadas anteriormente se optó por desarrollar una aplicación para el sistema operativo Android, el cual presenta una interfaz gráfica bastante sencilla, la cual incluye herramientas y opciones que cumplen con la función de mostrar la información al usuario de una manera sencilla e intuitiva, de forma que elimina la necesidad de tener un conocimiento técnico previo sobre el sistema.

En la Figura 3.27 se muestran algunas capturas de pantalla de la aplicación.

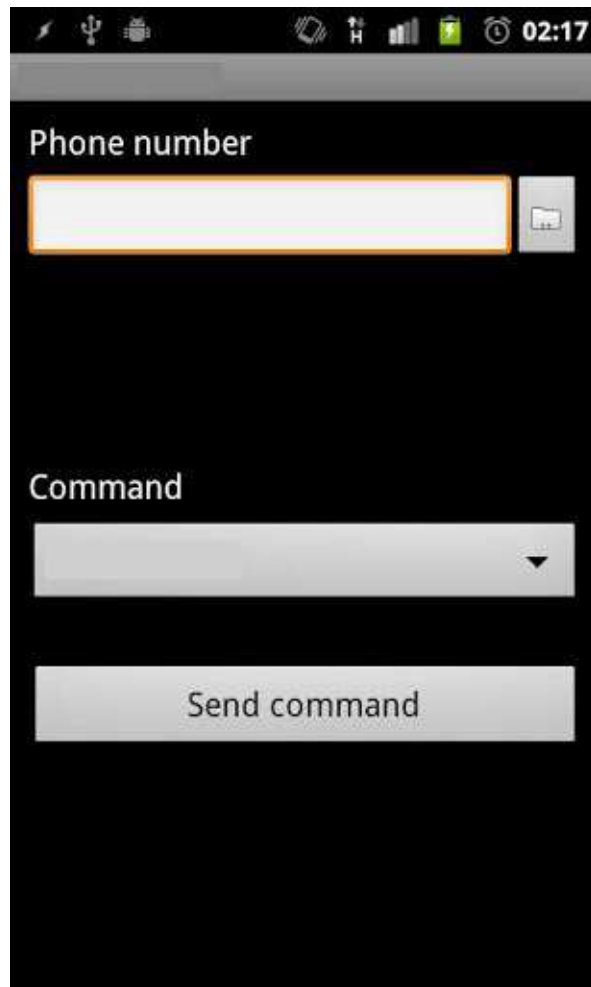


Figura 3.27: Captura de pantalla de la aplicación para Android.

## 3.8. Sensores utilizados

### 3.8.1. Sensor de temperatura

El sensor de temperatura utilizado para realizar pruebas con el sistema fue el modelo LM35 [Texas Instruments, 2015] de *Texas Instruments* mostrado en la Figura 3.28, el cual cuenta con las siguientes características:

- Precisión de  $\pm 1^\circ\text{C}$ .
- Rango de temperaturas desde  $-55$  hasta  $150^\circ\text{C}$ .
- Salida de voltaje lineal.
- Salida de  $1^\circ\text{C}$  equivalente a  $10\text{mV}$ .

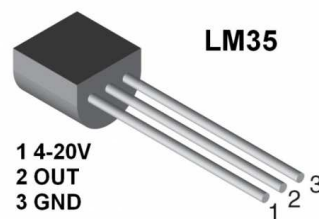


Figura 3.28: Sensor de temperatura LM35.

El diagrama del circuito típico de aplicación se puede ver en la Figura 3.29. Este es un sensor de temperatura muy práctico que no requiere el uso de circuitos adicionales para su calibración, tiene un bajo consumo de corriente lo que indica un bajo perfil de temperatura.

### 3.8.2. Sensor de luz

El sensor de luz es una fotoresistencia que varía su valor dependiendo de la cantidad de luz que lo ilumina, para éste trabajo se utilizó el modelo 9P5-1L fabricado por *Lumex*. El valor



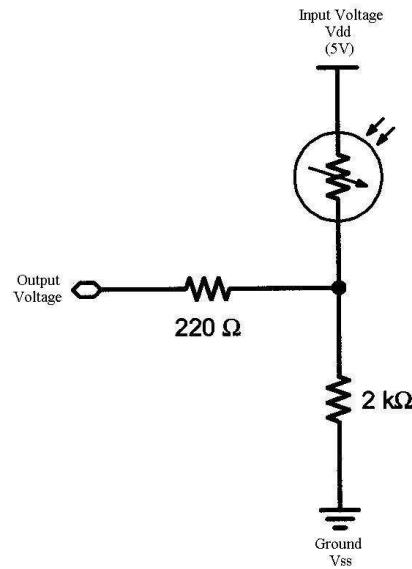


Figura 3.31: Sensor de luz 9P5-1L.

características.

- Cuenta con 16.2 millones de pixeles.
- El sensor es de 23.6 mm x 15.6 mm.
- El formato del sensor de imagen es DX.
- Tiene diversos medios de almacenamiento; SD, SDHC y SDXC.
- Velocidad máxima de disparo continuo es de 4 cuadros por segundo.
- Sensibilidad ISO: 100-6400, Hi-0.3, Hi-0.7, Hi-1 (ISO 12800), Hi-2 (ISO 25600).
- Resoluciones de video: FullHD @ 30cps, FullHD @ 24cps , HC @ 30cps, HD @ 24cps y VGA @ 30cps.
- Tamaño de la pantalla 3" diagonal.
- Tamaño de 127mm x 96.5mm x 78.7mm.
- Peso de 560g.



Figura 3.32: Cámara Nikon D5100 utilizada en el experimento.

La cámara fue integrada en un ambiente controlado, y mediante un proceso de automatización conectándola a un sistema Linux, se programó un itinerario en el cual la cámara debía capturar una imagen de las muestras en intervalos de tiempo específicos.

Para asegurar la captura de la imagen y que el proceso fuera exitoso, se implementó el sistema de alertas por GSM; en el supuesto caso de que no existiera la fotografía después de que se realizará el proceso de captura o que el sistema no registrará actividad al horario establecido, una alerta sería enviada a la lista de contactos almacenados en una base de datos. En la Figura 3.33 se muestra una imagen de la primera versión del sistema de prueba.

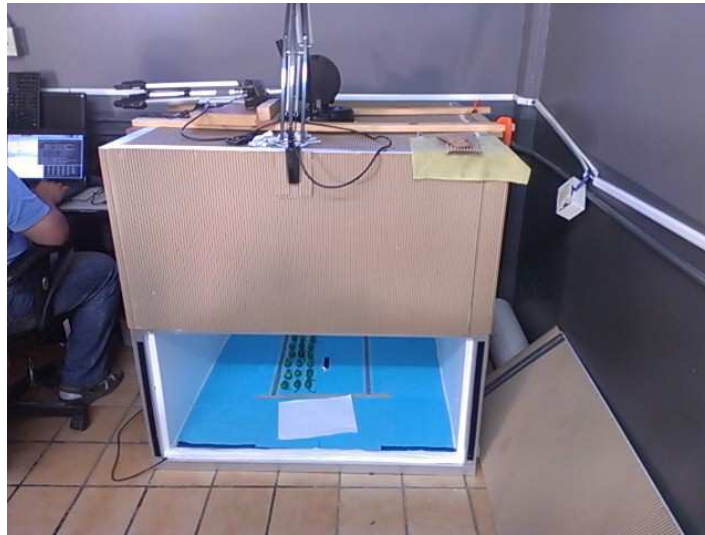


Figura 3.33: Caja de maduración utilizada en el experimento (Versión 1).

### 3.9. Actuadores

Durante este proyecto fue necesario contar con actuadores controlados de manera remota. Para tal efecto se diseñó una placa de potencia manejada por el microcontrolador ATmega328P y tres relevadores. Con este circuito se pueden controlar por medio de comunicación a través de un módulo XBee hasta tres dispositivos, entre los que se pueden mencionar:

- Servidores Linux.
- Modems ADSL.
- Impresoras.
- Puertas con cerrojo eléctrico.
- Puertas de cochera.
- Bombas de agua.
- Sistemas de aire acondicionado.
- Motores, etcétera.

Este modulo de potencia puede ser controlado mediante puerto serial o mediante un modulo XBee, que se conecta de manera directa con el gateway montado en el Raspberry Pi. En el experimento de laboratorio, este modulo controla el sistema de iluminación de la caja de maduración y de esta forma permite tomar mejores fotografías del proceso de maduración de los frutos ahí colocados. En la Figura 3.34 podemos ver la placa controladora de potencia en su primera versión.

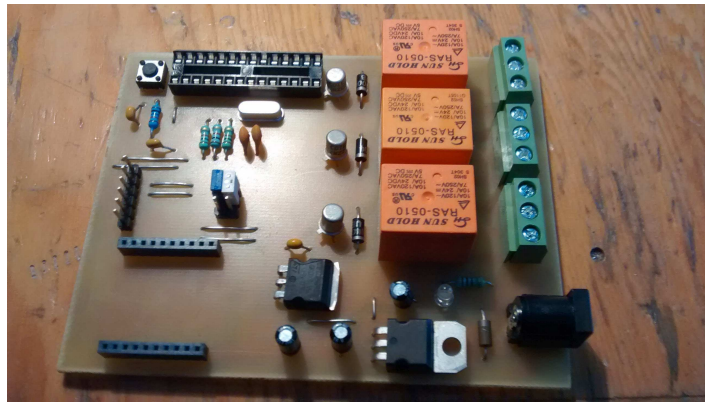


Figura 3.34: Placa de control de potencia utilizada en el experimento (Versión 1).

## 3.10. Diseño general de la comunicación

Para garantizar la transmisión de información entre diferentes entidades, y dado que el sistema GSM es una red abierta en la cual, cualquier persona puede acceder al número telefónico de cualquier SIM. Es necesario implementar una forma de encapsulado de información a alto nivel dentro del estándar GSM. Para esto se desarrollaron los siguientes paquetes de comunicación, que aunque se trata de una implementación bastante sencilla, ha demostrado ser suficiente para los intereses generales de este proyecto.

### 3.10.1. Trama general

La trama general de comunicación es una abstracción para los tres tipos de paquetes que conforman los tipos de encapsulado de la información. La trama es mostrada en la Figura 3.35, aquí se puede apreciar que esta conformada por tres campos; la primera es un preámbulo que se añade para evitar conflicto con la detección del mensaje en los diversos sistemas que integran la red. El segundo campo es un espacio reservado, este espacio puede ser utilizado en trabajos futuro para objetivos como seguridad, autenticidad, etcétera. Por último se tiene el campo más importante que es llamado “DATOS”, este campo es definido de acuerdo a los diversos tipos de paquetes que conforman el sistema.



Figura 3.35: Trama general del sistema de comunicación.

### 3.10.2. Trama de acciones

Este tipo de trama se utiliza para los casos en los que es necesario activar/desactivar un actuador de manera remota. Está compuesto, además de los primeros dos campos de la trama

general, por tres campos como se muestra en la Figura 3.36.

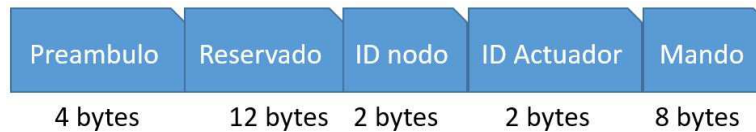


Figura 3.36: Trama de acciones del sistema de comunicación.

- **ID Nodo** .- Es el identificador para el caso de que se encuentren diferentes nodos de placas controladoras en la red.
- **ID Actuador**.- Es el identificador del actuador dentro de la placa, cada placa contiene tres actuadores.
- **Mando**.- Indica el mando a utilizar, puede ser ON u OFF.

### 3.10.3. Trama de alertas

Este tipo de trama se utiliza cuando es necesario enviar una alerta. Como se muestra en la Figura 3.37 cuenta con cinco campos adicionales a los dos primeros de la trama general. Esto son:



Figura 3.37: Trama de alertas del sistema de comunicación.

- **ID**.- Es el identificador de la alerta, este es almacenado en un registro de alertas en el sistema embebido con sistema operativo Linux.
- **Tipo**.- Representa el tipo de alerta, este se relaciona directamente con la variable que disparo la alerta.
- **Valor**.- Es el valor de la variable que disparo la alerta.

- **Tiempo.-** La hora a la que se disparo la alerta.
- **Mensaje.-** El mensaje que se incluirá en la alerta para que el usuario pueda evaluarla.

#### 3.10.4. Trama de envío de información

Este tipo de trama se utiliza cuando es necesario enviar información de un gateway a otro. Tal como se muestra en la Figura 3.38 esta trama contiene seis campos además de los dos primeros de la trama general.



Figura 3.38: Trama para envío de información del sistema de comunicación.

- **ID.-** Es el identificador de la alerta, este es almacenado en un registro de información enviada en el sistema embebido con sistema operativo Linux.
- **Tipo.-** Representa el tipo de información que se va enviar, este se relaciona directamente con el tipo de variable agrícola a enviar.
- **Valor.-** Es el valor de la variable a enviar.
- **Tiempo.-** La hora de toma de la muestra de la variable a enviar.
- **Datos.-** Descripción y o datos adicionales a enviar en el mensaje.
- **CRC.-** Debido a que este es un intercambio de información se agrega un campo de detección de errores para no almacenar información errónea.

# Capítulo 4

## Pruebas y resultados

En este capítulo se presentan las pruebas y resultados obtenidos con el prototipo de alertas desarrollado. La caracterización del sistema se dividió en tres etapas: Para la primera etapa se utilizó la señal proporcionada por un sensor de temperatura (sensor digital del tipo LM35) con el fin de corroborar los niveles de alarma y evaluar el desempeño general del prototipo. Los resultados obtenidos en la primera etapa se utilizaron para ajustar la respuesta del prototipo y los programas asociados. Para la segunda etapa se utilizó una señal proveniente de un sensor óptico para disparar la alarma en función del nivel de luminosidad. Finalmente se monitorizó el desempeño de un sensor de imagen en un ambiente controlado para evaluar la maduración de frutos, en este último caso la alarma se programó para indicar al usuario una falla en la adquisición de imágenes.

### 4.1. Pruebas para el módulo SIM900

#### 4.1.1. Prueba de señal y conexión

Para evitar la pérdida de conexión y prevenir una falla total del sistema, es necesario asegurar que el modulo cuente con rutinas de recuperación de errores, para tal propósito se

realizaron pruebas, en las cuales, mientras el módulo de comunicación GSM se encontraba en funcionamiento se desconectaba la antena, con el fin de simular el efecto producido en el sistema por pérdida de conexión y verificar si el método de recuperación era efectivo en tal situación.

En base a los resultados de las pruebas realizadas se implementaron diversas modificaciones al algoritmo de recuperación y finalmente se obtuvo un sistema que logra recuperarse de un fallo conexión. En el peor de los casos si se recibe en el modulo una cantidad inusual de mensajes después de haber recuperado la conexión y este supera la capacidad de almacenamiento de la tarjeta SIM. Se indica al usuario mediante una alerta, el número de mensajes recibidos y el ultimo mensaje recibido, de esta manera el usuario esta informado del punto en el que fueron rechazados sus mandos.

En la terminal mostrada a continuación podemos ver una muestra del mensaje de recuperación de fallos.

```
1 +CMT: "+526461484750", "", "14/10/20,23:13:25+32"
2 Prueba 6
3 +CMT: "+526461484750", "", "14/10/20,23:14:31+32"
4 Prueba 7
5 +CMT: "+526461484750", "", "14/10/20,23:16:08+32"
6 Prueba 8
7 +CMT: "+526461484750", "", "14/10/20,23:17:12+32"
8 Prueba 9
9 +CMT: "+526461484750", "", "14/10/20,23:19:56+32"
10 Prueba 10
11
12 Several messages received. Notice will be send to user "+526461484750"
13     ...
14 OK
```

### 4.1.2. Prueba de comunicación

Para evaluar el tiempo requerido para envío y recepción de mensajes por medio del sistema se realizaron pruebas de desempeño temporal. Un mensaje SMS toma como mínimo 7.5 segundos en llegar de una terminal a otra. El tiempo de respuesta de un sistema toma menos de 10 segundos, a menos que exista un problema en la red GSM. El cálculo de la respuesta se basa en el tiempo que tarda desde que se presiona el botón de enviar en el teléfono hasta que el mensaje llega al módem GSM/GPRS y pasa al modulo controlador de este. En general es recomendable seleccionar un buen proveedor de red GSM para la operación del sistema, de manera que se eviten problemas de conexión debidos a fallas originadas en la red.

De manera complementaria, se evaluó la capacidad de enviar mensajes de texto SMS hacia nuestro sistema de forma internacional utilizando un servicio de mensajes SMS gratuitos proveído por ICQ, en la Figura 4.1 se muestra una captura de imagen de la ventana para envío de mensajes con dicha aplicación. El resultado, para ser un mensaje internacional es impresionante, tardo en promedio 8.6 segundos en llegar el mensaje a nuestro sistema.

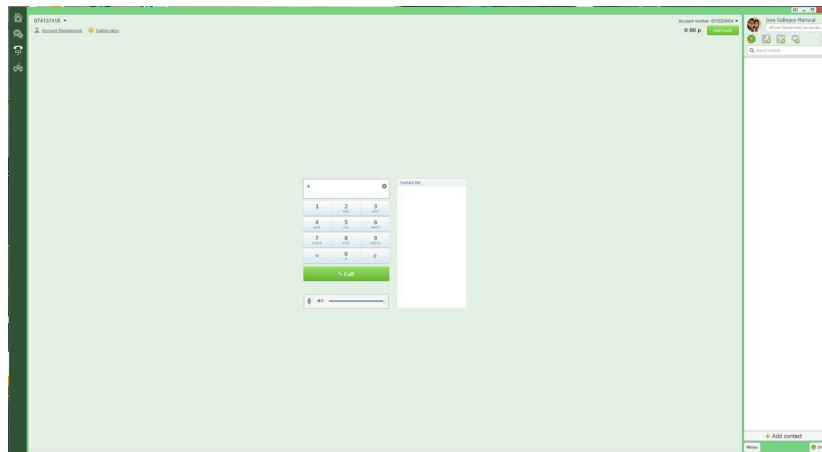


Figura 4.1: Envío de mensajes de texto SMS con ICQ.

### 4.1.3. Prueba de envío de mensajes

Para la prueba de envío de mensajes SMS, se utilizó el sistema completo monitoreando un sensor de temperatura del tipo LM35 de *Texas Instruments*. Mediante el sistema embebido Raspberry Pi, se registró la temperatura del sensor LM35 y se almacenó en una base de datos. De acuerdo a diferentes valores arbitrarios para establecer un umbral en el cual la temperatura se consideraba alta, se ejecutaba una línea de mandos para establecer comunicación con el módulo controlador del módem GSM/GPRS SIM900 y enviar la alerta.

Los resultados del experimento fueron exitosos ya que al elevar la temperatura en el sensor LM35 se alcanzaba el umbral necesario para activar la alerta y en cada una de las ocasiones se envió con éxito el mensaje programado a los números proporcionados al módulo controlador del módem GSM/GPRS mediante comunicación serial con la plataforma Raspberry Pi. En la Figura 4.2 se muestra el experimento para evaluar el envío de mensajes como fue indicado anteriormente.

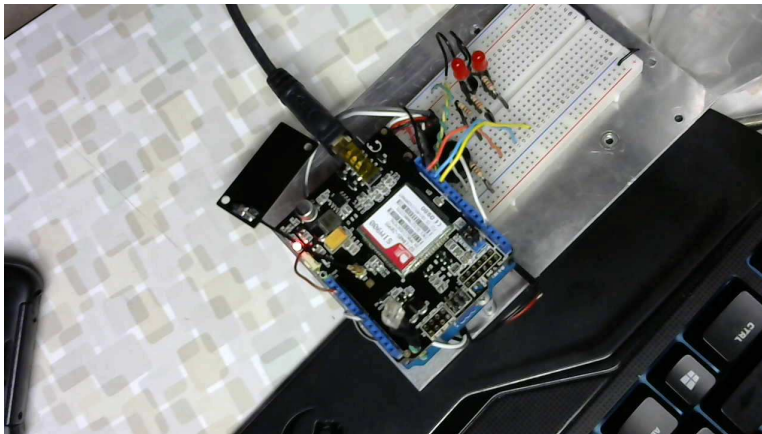


Figura 4.2: Experimento para evaluar el envío de alertas SMS.

### 4.1.4. Prueba de recepción de mensajes

Para probar la recepción de mensajes SMS, se utilizó una lámpara fluorescente conectada al módulo de control de actuadores. El encendido y apagado de la lámpara fue activado de

forma remota por medio de la recepción del mando correspondiente. El mando fue enviado a través de un teléfono celular por medio de un mensaje SMS hacia el gateway GSM-WSN, como se mencionó previamente, el mando encapsulado dentro del mensaje SMS controló el encendido y apagado de la lámpara. El módulo controlador de actuadores, se comunica con el gateway GSM-WSN por medio de un módulo XBee. Para verificar la comunicación de los radios XBee se realizó otro experimento, cuyo montaje se muestra en la Figura 4.3.

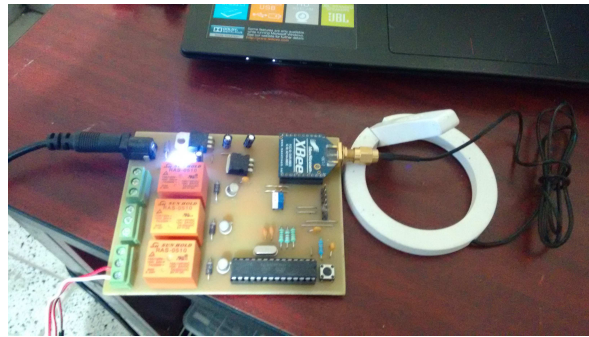


Figura 4.3: Experimento para evaluar la recepción de mandos por medio de mensajes SMS.

## 4.2. Pruebas para el módulo XBee

Los módulos XBee sirven para comunicar el gateway GSM-WSN con diferentes módulos controladores de actuadores. Por esto fue necesario realizar pruebas de rango a los módulos XBee y de esta manera tener una perspectiva más amplia del alcance que se puede obtener con estos sistemas. Los resultados obtenidos de la prueba de calidad de enlace en función de la distancia para un lugar cerrado se muestran en la Tabla 4.1.

Distancia	Calidad del enlace (dBm)
1	-46
5	-59
10	-61
15	-63
20	-65
25	-67

Tabla 4.1: Relación distancia-potencia en la recepción XBee.

### 4.3. Pruebas de captura y envío de mensajes con el sistema y visualización de la información

La prueba más demandante para el sistema de alarmas y telemando fue su aplicación en un experimento (en operación continua por 40 días) de adquisición de imágenes (capturadas por medio de una cámara Nikon modelo D5100) de un arreglo de frutos dispuestos para evaluar su maduración dentro de un ambiente controlado. El montaje de la cámara y luces se muestra en la Figura 4.4.



Figura 4.4: Montaje de cámara e iluminación.

### 4.3.1. Monitoreo en proceso de maduración en ambiente controlado a menor escala

Para la monitorización del proceso de maduración de frutos se utilizaron la placa de control de actuadores (mostrada en la Figura 4.5) y el gateway GSM (mostrado en la Figura 4.6). Para controlar el sistema de iluminación a la hora programada de captura de imagen, por otro lado, en el caso de que la imagen no fuera adquirida correctamente, se enviaría una alerta al usuario que esté realizando el experimento en ese momento.

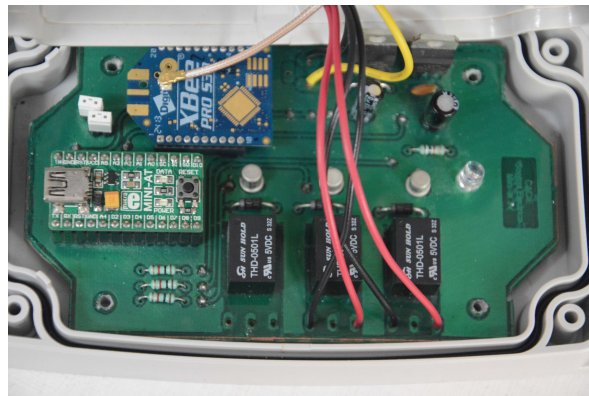


Figura 4.5: Segunda versión del módulo controlador de actuadores.

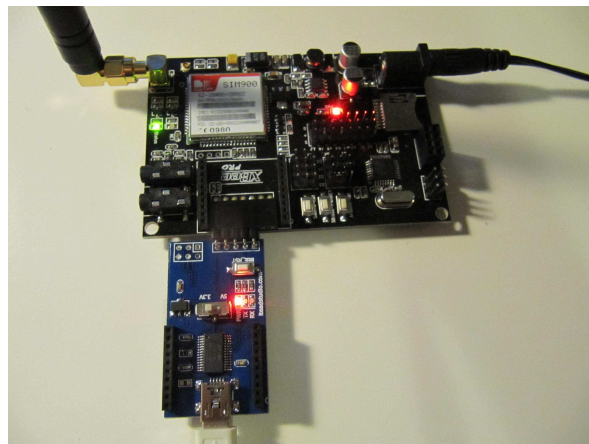


Figura 4.6: Segunda versión del gateway GSM (Utilizando GBoard).

# Capítulo 5

## Conclusiones

### 5.1. Conclusiones

En este trabajo de tesis se desarrolló un sistema capaz de realizar alertas por medio de mensajes SMS con las cuales se puede tener una mayor robustez en la seguridad que se le brinda a un cultivo por medio de la monitorización remota.

Los diferentes diseños, experimentos, pruebas y resultados descritos a lo largo de esta tesis, son prueba del trabajo realizado para obtener un sistema que cumple con el objetivo general *“Implementar un enlace de comunicación entre redes de sensores y redes GSM para monitorear las variables ambientales y establecer un sistema de alarmas que apoyen el control de diversos cultivos”*.

Para alcanzar este objetivo general se plantearon diferentes objetivos específicos, los cuales sirven para establecer los pasos necesarios y los módulos requeridos para completar el proyecto de manera satisfactoria. A continuación se listan los objetivos específicos para necesarios para la culminar de este proyecto, así como las tareas realizadas para cumplir con los objetivos antes mencionados.

- *Estandarizar una trama de comunicación para el envío de información desde el coordi-*

*nador de la red de sensores hasta el sistema de procesamiento de información*

- *Crear un enlace de comunicación entre el coordinador de la red de sensores y el modem GSM/GPRS*
- *Implementar el algoritmo de envío de mensajes desde el modem GSM/GPRS*
- *Implementar el algoritmo de recepción de mensajes desde el modem GSM/GPRS*
- *Realizar un enlace entre la base datos del cultivo y el envío de mensajes*
- *Implementar un prototipo del sistema en circuito impreso*
- *Desarrollar una herramienta de software para visualizar el comportamiento de las variables medidas*

Se estandarizó una trama de comunicación para el envío de mensajes SMS entre los diferentes módulos del sistema, para que funcionara de forma eficaz fue necesario establecer un preámbulo único, el cual sirve de identificador para mensajes dentro de este sistema. Además, se crearon tres tipos de paquetes diferentes que tienen como objetivo diferenciar el tipo de acción que se quiere comunicar con los mensajes SMS.

Se desarrolló un algoritmo de comunicación con el componente SIM900, este tomó en consideración las especificaciones otorgadas por el fabricante para la comunicación por medio de puerto serial. El algoritmo se enfoca en las respuestas que puede otorgar el módulo y realiza una búsqueda en la tabla de códigos de resultados después de realizar un análisis gramatical del la respuesta.

El envío de mensajes SMS fue establecido una vez que se afinó el control de la comunicación con el módulo SIM900. Debido a que tanto los mensajes como los números de destino son en principio desconocidos porque dependen del usuario, se optó por guardar esta información en una base datos para así facilitar la modificación de esta información de manera dinámica. El módulo de control es capaz de consultar esta información por medio del sistema Raspberry Pi a través de una interfaz serial.

Debido a que el acceso a la base de datos fue establecido para poder enviar mensajes y ver los números a los cuales se enviaran estos, se utilizó este mismo método de acceso para poder ver los datos recolectados por los sensores. Esto cumple con el objetivo de enlazar el envío de mensajes con los datos del cultivo ya que mediante un mando específico se puede acceder a la base de datos para consultar esta información.

La manera de implementar la recepción de mensajes fue lo más complicado de este trabajo. El diseño inicial solo hacia uso de los diferentes campos de los paquetes para identificar la información que se enviara en estos. Durante la etapa de pruebas se detectaron problemas debido a la recepción de mensajes publicitarios en el sistema, provenientes de diferentes compañías, esto fue solucionado creando el campo de preámbulo, donde se investigo un estudio de los caracteres menos utilizados en mensajes SMS para el alfabeto occidental [[Häkkinen and Mettälä, 2006](#)]. Después de implementar esta corrección en los paquetes, la recepción de mensajes fue mejorada y se garantizó un funcionamiento más robusto y confiable.

Los prototipos creados para la prueba del sistema en circuito impreso fueron hechos en colaboración con varios compañeros laboratorio del Cuerpo Académico “Comunicaciones e Instrumentación Electrónica” (CACIE), hechos con técnicas ya probadas en trabajos previos del CACIE. Estos prototipos fueron de gran utilidad a la hora de realizar las diversas pruebas que se muestran en este documento. Actualmente existen versiones mejoradas de los prototipos aquí mostrados, lo que contribuye a demostrar el éxito del trabajo realizado.

La utilización de la aplicación para Android, de su sencillez para enviar y recibir los mensajes del sistema mostró ser una forma mucho más eficiente de utilizar los diferentes paquetes del sistema sin tener que intervenir directamente en la escritura de los campos necesarios para su funcionamiento. Esto hace que el sistema funcione de manera transparente al usuario y ayude al rápido despliegue de la información.

En general, esta herramienta a demostrado ser de gran utilidad no solo para aplicaciones agrícolas, si no, dentro del laboratorio donde se realizan experimentos de manera continua y prolongada, estos pueden ser monitorizados de forma remota y durar grandes periodos de

tiempo sin intervención gracias a que el sistema de alerta mantiene informado al usuario de los errores que pudieran ocurrir durante el periodo de operación del experimento. Esto puede ayudar a ver el potencial que tiene este trabajo para ser adaptado a diferentes áreas de aplicación y no solo en los ámbitos educativos y agrícolas.

## 5.2. Aportaciones

Este trabajo de tesis aporta soluciones técnicas en los procesos de monitorización de experimentos, tanto para fines pedagógicos como de investigación, dado que se está utilizando en el laboratorio para el monitoreo de experimentos. El proyecto está hecho para ayudar al sector agrícola a tener un mayor control sobre lo que sucede en el cultivo en tiempo real, de esta manera se proporciona información confiable sobre el estado del cultivo en todo momento, y no existen intervalos de tiempo donde este se encuentre desatendido y puedan suceder eventos que pongan en riesgo la integridad del mismo. Además, ayuda al control de equipo de manera remota y esto permite que las tareas dentro del mantenimiento del cultivo se lleven a cabo de manera segura, eficaz y confiable.

## 5.3. Trabajo a futuro

El trabajo deja abierta la posibilidad de aumentar su alcance a diferentes aspectos. En primer lugar se debe investigar la forma de implementar esquemas de seguridad, esto para que otras entidades maliciosas no alteren el comportamiento del sistema o del cultivo, por el momento el sistema es vulnerable a diferentes tipos de ataque si se tiene conocimiento de su funcionamiento interno.

Por otro lado, es necesario realizar la normalización de un protocolo de comunicación estándar para cualquier tipo de variables y cultivos. Si se estandariza la forma en la que la comunicación debe ser representada, se puede realizar un protocolo de comunicación en capa

de aplicación capaz de utilizarse con cualquier otro protocolo de capas inferiores como los es TCP/IP.

Este trabajo también deja abierta la posibilidad de utilizar otras tecnologías de hardware para implementar el sistema. Se podrían utilizar tecnologías más actuales y así obtener un mejor desempeño aunado a mayores capacidades dentro del sistema y de esta manera otorgarle un mejor servicio al usuario final.

*"Long days and pleasant nights."*

— Stephen King, *The Dark Tower*

# Bibliografía

- [Adamchuk et al., 2004] Adamchuk, V. I., Hummel, J. W., Morgan, M. T., and Upadhyaya, S. K. (2004). On-the-go soil sensors for precision agriculture.
- [Alsallakh et al., 2012] Alsallakh, B., Bodesinsky, P., Gruber, A., and Miksch, S. (2012). Visual tracing for the Eclipse Java debugger. In *Proceedings of the European Conference on Software Maintenance and Reengineering, CSMR*, pages 545–548.
- [Andrews, 2013] Andrews, C. (2013). Easy as Pi [Raspberry Pi]. *Engineering & Technology*, 8(3):34–37.
- [Appleton, 1998] Appleton, I. K. (1998). The GSM protocol stack.
- [Atmel, 2014] Atmel (2014). ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P. Technical report, Atmel, San Jose, California.
- [Badamasi, 2014] Badamasi, Y. A. (2014). The working principle of an Arduino. In *2014 11th International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO)*, pages 1–4.
- [Beckwith et al., 2004] Beckwith, R., Teibel, D., and Bowen, P. (2004). Report from the field: results from an agricultural wireless sensor network. *29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks*, pages 471–478.
- [Cardenas Tamayo et al., 2010] Cardenas Tamayo, R. A., Lugo Ibarra, M. G., and Garcia Macias, J. A. (2010). Better crop management with decision support systems based on

- wireless sensor networks. In *2010 7th International Conference on Electrical Engineering Computing Science and Automatic Control*, number Cce, pages 412–417. IEEE.
- [CICESE, 2009] CICESE (2009). Baja California.
- [Committee, 2002] Committee, P. (2002). IEEE Standard for Telecommunications and Information Exchange Between Systems - LAN/MAN - Specific Requirements - Part 15: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Wireless Personal Area Networks (WPANs).
- [D’Antoni et al., 2012] D’Antoni, J. M., Mishra, A. K., and Joo, H. (2012). Farmer’s perception of precision technology: The case of autosteer adoption by cotton farmers. *Computers and Electronics in Agriculture*, 87:121–128.
- [Digi International, 2006] Digi International (2006). XBee / XBee-PRO RF Modules. Technical report, Digi International, Minnetonka, MN.
- [Draxler et al., 2014] Draxler, S., Stevens, G., and Boden, A. (2014). Keeping the Development Environment Up to Date - A Study of the Situated Practices of Appropriating the Eclipse IDE. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 40(11):1061–1074.
- [Eberspächer et al., 2008] Eberspächer, J., Vögel, H.-J., Bettstetter, C., and Hartmann, C. (2008). *GSM - Architecture, Protocols and Services*. John Wiley & Sons, 3 edition.
- [Fryza, 2007] Fryza, T. (2007). Basic C code implementations for AVR microcontrollers. In *2007 IWSSIP and EC-SIPMCS - Proc. 2007 14th Int. Workshop on Systems, Signals and Image Processing, and 6th EURASIP Conf. Focused on Speech and Image Processing, Multimedia Communications and Services*, pages 434–437.
- [Giacomin and Vasconcelos, 2006] Giacomin, J. a. C. and Vasconcelos, F. H. (2006). Wireless Sensor Network As a Measurement Tool. *XVIII IMEKO WORLD CONGRESS Metrology for a Sustainable Development*, pages 17–22.
- [Group, 2005] Group, A.-L. (2005). AVR Libc Home Page.

- [Gu and Peng, 2010] Gu, G. and Peng, G. (2010). The survey of GSM wireless communication system. In *Proceedings of ICCIA 2010 - 2010 International Conference on Computer and Information Application*, pages 121–124.
- [Häkkinen and Mettälä, 2006] Häkkinen, J. and Mettälä, M. (2006). Determining language for character sequence.
- [He, 2009] He, J. (2009). *Design and Implementation of a Wireless Sensor Network Testbed*. Master thesis, Delft University of Technology.
- [Hu et al., 2012] Hu, Z.-l., Li, M., Liu, W.-q., and Zhang, J. (2012). Agricultural Long-Range Monitoring and Wireless Data Transmission Routing System Based on Multi-hop Communication Mode. *Recent Advances in Computer Science and . . .*, pages 423–429.
- [Ieee, 2007] Ieee (2007). *IEEE Std 802.15.4a-2007, IEEE Standard for Information Technology-Telecommunications and Information Exchange Between Systems-LANs and MANs-Specific Requirements-Part 15.4: Wireless MAC and PHY Specifications for LR-WPANs-Amendment 1: Add Alternate PHYs*, volume 2007.
- [Ieee, 2011] Ieee (2011). *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks, Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks*. Number June.
- [INEGI, 2007] INEGI (2007). La agricultura en Baja California: Censo Agropecuario 2007.
- [Institute European Telecommunications Standards, 1996] Institute European Telecommunications Standards (1996). Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Technical realization of the Short Message Service (SMS) Point-to-Point (PP) (GSM 03.40). Technical report, European Telecommunications Standards Institute, Valbonne, France.
- [Jiang et al., 2008] Jiang, J.-a., Tseng, C.-l., Lu, F.-m., Yang, E.-c., Wu, Z.-s., Chen, C.-p., Lin, S.-H., Lin, K.-c., and Liao, C.-s. (2008). A GSM-based remote wireless automatic monitoring system for field information: A case study for ecological monitoring of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel). *Computers and Electronics in Agriculture*, 62(2):243–259.

- [Jie, 2010] Jie, X. J. X. (2010). Greenhouse effects on the world agriculture&#x2014;based on computable general equilibrium model analysis. *Mechanic Automation and Control Engineering (MACE), 2010 International Conference on*, pages 5–8.
- [KESKIN, 2008] KESKIN, S. G. (2008). Measurement and Applications of Soil Electrical Conductivity in Precision Agriculture. *International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture*, 10(October):6.
- [McCann, 1991] McCann, S. (1991). Mobile data communications. *[1991 Proceedings] 41st IEEE Vehicular Technology Conference*, pages 94–97.
- [M.G. et al., 2010] M.G., L.-I., Flores, D.-I., Gómez, C. M., and Guerra-rivas, G. (2010). Correlation between factors for crop grow towards modeling a complex system. (Ccea):26–28.
- [Murillo et al., 2012] Murillo, A. F., Pena, M., and Martinez, D. (2012). Applications of WSN in health and agriculture. In *2012 IEEE Colombian Communications Conference (COLCOM)*, pages 1–6. IEEE.
- [Nasirudin et al., 2011] Nasirudin, M. A., Za’bah, U. N., and Sidek, O. (2011). Fresh water real-time monitoring system based on Wireless Sensor Network and GSM. In *2011 IEEE Conference on Open Systems*, pages 354–357. IEEE.
- [Nikon, 2011] Nikon (2011). Nikon D5100 Uses Manual. Technical report, Nikon Inc., Melville, NY.
- [Pankaj, 2009] Pankaj, A. (2009). GSM mobile report.
- [Paul and Shah, 1997] Paul, R. and Shah, K. (1997). An objective comparison of second generation cellular systems-GSM, IS-136 and IS-95. *1997 IEEE International Conference on Personal Wireless Communications (Cat. No.97TH8338)*, pages 510–514.
- [Peersman et al., 2000] Peersman, C., Cvetkovic, S., Griffiths, P., and Spear, H. (2000). The Global System for Mobile Communications Short Message Service. *IEEE Personal Communications*, 7(3):15–23.

- [Raspberry Pi Foundation, 2012] Raspberry Pi Foundation (2012). What is a Raspberry Pi?
- [SIMCom, 2012] SIMCom (2012). SIM900 Serial Port Application Note.
- [SIMCom, 2013a] SIMCom (2013a). SIM900 GSM/GPRS Module.
- [SIMCom, 2013b] SIMCom (2013b). SIM900 the GSM/GPRS Module for M2M applications. Technical report, SIMCom.
- [Texas Instruments, 2015] Texas Instruments (2015). LM35 Datasheet. (November):1–13.
- [van der Werff, 2004] van der Werff, T. J. (2004). Ten Emerging Technologies That Will Change Your World. *IEEE Engineering Management Review*, 32(2):20–30.
- [Vishwakarma and Choudhary, 2011] Vishwakarma, R. G. and Choudhary, V. (2011). Wireless solution for irrigation in agriculture. In *2011 International Conference on Signal Processing, Communication, Computing and Networking Technologies*, number Icccn, pages 61–63. IEEE.
- [Wang et al., 2006] Wang, N., Zhang, N., and Wang, M. (2006). Wireless sensors in agriculture and food industry - Recent development and future perspective. *Computers and Electronics in Agriculture*, 50:1–14.
- [Wang et al., 2011] Wang, Z., Zhao, C., Zhang, H., and Fan, H. (2011). Real-Time Remote Monitoring and Warning System in General Agriculture Environment. In *2011 International Conference of Information Technology, Computer Engineering and Management Sciences*, pages 160–163. IEEE.
- [Winkler et al., 1975] Winkler, A. J., Cook, J. A., Kliewer, W. M., and Lider, L. A. (1975). General Viticulture.
- [Zimmermann, 1980] Zimmermann, H. (1980). OSI Reference Model - The ISO Model of Architecture for Open Systems Interconnection. *Communications, IEEE Transactions on*, 28(4):425 – 432.