UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA

E.A.P de Ingeniería Electrónica

Diseño e implementacion de un Sistema de Alerta Temprana ante desborde de rios utilizando la Red GSM

TESIS

para optar el Título profesional de Ingeniero Electrónico

AUTOR:

Richard Junior Manuel Godinez Tello

ASESOR:

Ing. Flavio Nireo Carrillo Gomero.

Lima – Perú

2011

RICHARD JUNIOR MANUEL GODINEZ TELLO

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA ANTE DESBORDE DE RÍOS UTILIZANDO LA RED GSM

Tesis presentada a la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos para obtener el Título Profesional de Ingeniero Electrónico.

Área: Telecomunicaciones.
Asesor: Ing. Flavio Nireo Carrillo Gomero.

Lima - Perú

2011

Dedico mi tesis a las personas que más adoro en mi vida, mi familia, a mi adorada madre Elba y a mi querido padre Richard, por su esfuerzo y su ejemplo de vida, de manera especial a mi hermano Carlos por ser mi gran amigo.

Richard J. M. Godinez Tello.

Agradecimientos

Al inicio, pensé que al realizar una tesis significaba el esfuerzo de una sola persona, sin duda hay muchas personas que directa e indirectamente apoyaron la realización de este trabajo, entre ellos quiero destacar y agradecer eternamente a Luis Arellano Zea y Ricardo Rojas Quispe, integrantes del Grupo de Investigación de Procesamiento de Señales UNMSM, así como a sus miembros por el invalorable apoyo que en todo momento me otorgaron.

De igual manera, agradezco al Vicerrectorado Académico, que a través del Programa de Iniciación Científica del año 2009 me motivó y permitió iniciar el desarrollo de la presente tesis.

Mi agradecimiento especial al Ing. Flavio Carrillo Gomero por sus sabias críticas, sus sugerencias y recomendaciones, las cuales contribuyeron notablemente a fortalecer los argumentos del trabajo, la misma que fue desarrollada experimentalmente en el Laboratorio de Procesamiento de Señales.

Finalmente, agradezco a la Ing. Lita Soto Nieto por su cordialidad en el préstamo de equipos para la realización de la parte experimental.

Índice General

Lista de Figuras I
Lista de Tablas V
Lista de Abreviaturas VII
Resumen IX
Abstract X

Capítulo I. Descripción de la Tesis

1.1. Introducción 1
1.2. Contexto y antecedentes de la Investigación 1
1.3. Definición del problema 4
1.4. Objetivos 8
1.5. Metodología de la Investigación 8
1.6. Alcances de la Investigación 11
1.7. Aportes 12
1.8. Plataforma de comunicación 13
1.9. Organización de la tesis 13

Capítulo II. Sistemas de telemetría y tecnología GSM

2.1. Introducción 15
2.2. Sistemas telemetría 15
2.2.1. Definiciones 15
2.2.2. Estructura de un sistema de telemetría 16
2.3. Sistema Global de Comunicaciones Móviles 17
2.3.1. Evolución de la Telefonía Móvil 17
2.3.2. Velocidades de transmisión en la telefonía móvil 22
2.3.3. Tecnologías de acceso múltiple 23
2.3.4. Introducción a la tecnología GSM 26
2.3.5. Arquitectura de la tecnología GSM 26
2.3.6. Banda de frecuencias GSM 32
2.3.7. Modulación en GSM 33
2.4. Sistemas telemétricos basados en tecnología GSM 40

Capítulo III. Medición de nivel de agua con sensor de ultrasonido

3.1. Introducción 42
3.2. El sensoramiento por ultrasonido 42
3.2.1. Definiciones 42

3.2.2. Velocidad de propagación y atenuación 44
3.2.3. Notación en decibelios 48
3.2.4. Impedancia acústica 49
3.2.5. Transductor de ultrasonido 49
3.3. Características del módulo HFK-TS601 51
3.4. Cálculos de medición de nivel con el módulo HFK-TS601 55
3.5. Pruebas en Laboratorio 58

Capítulo IV. Medición de temperatura y humedad relativa

4.1. Introducción 62
4.2. Definiciones de temperatura y humedad relativa 62
4.2.1. Definición de temperatura 62
4.2.2. Definición de humedad relativa 62
4.3. Adquisición de señales 63
4.3.1. El sensor SHT-11 63
4.3.2. Lectura de temperatura 67
4.3.3. Lectura de humedad relativa 68
4.3.4. Compensación de la temperatura para la humedad relativa 68
4.3.5. Punto de rocío (*Dewpoint*) 69
4.3.6. Comunicación con el sensor 69
4.4. Pruebas en Laboratorio 73

Capítulo V. Diseño e implementación del sistema de telemetría

5.1. Introducción 77
5.2. Módulo SIM548C de SIMTech 77
5.2.1. Características generales 77
5.3. El microcontrolador PIC18F4550 79
5.3.1. Características generales 79
5.4. Los Comandos AT 80
5.4.1. Notación de los comandos AT 80
5.4.2. Comandos AT para realizar llamadas 81
5.4.3. Comandos AT para SMS 82
5.5. Módulo de GSM/GPRS/GPS “UBSAT” 83
5.5.1. Versiones del módulo de telemetría 83
5.5.2. Descripciones del módulo “UBSAT” v 3.0. 84
5.6. Módulo de procesamiento de parámetros físicos 88
5.6.1. Fuente de energía eléctrica para la carga 89
5.7. Funcionamiento del sistema 89
5.8. Diagrama de flujo de la programación 92

Capítulo VI. Experimentación y Resultados

6.1. Introducción 94
6.2. El sistema de medición en campo 95
6.3. Mediciones realizadas en campo 97
6.3.1. Registro de datos cada 10 segundos 97
6.3.2. Registro de datos cada segundo 99
6.4. Interfaz de la central de monitoreo remoto 100
6.5. Medición de parámetros físicos mediante interfaz gráfica 101
6.5.1. En modo CONSULTA 103
6.5.2. En modo de ALERTA 104
6.6. Pruebas realizadas mediante un terminal móvil 106

Capítulo VII. Costos y presupuestos

7.1. Presupuesto del prototipo del sistema 107
7.2. Costo de Ingeniería 108
7.3. Costo total del proyecto 108
7.4. Comparativa de inversión versus pérdidas económicas 108

Capítulo VIII. Conclusiones y trabajos futuros

8.1. Conclusiones 110
8.2. Trabajos futuros 111

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 112
REFERENCIAS URL 116

Anexo A. Ubicación geográfica del punto de medición por GPS

A.1. Introducción 120
A.2. Interpretación del comando GPRMC 120
A.3. Fórmulas de conversión 122

Anexo B. Diagrama de circuito de los módulos del sistema 126

Lista de Figuras

1.1. Desarrollo Global de la Información y tecnología de Comunicaciones 2000-2010 1
1.2. Participación de mercado de tecnologías móviles en el hemisferio occidental. Setiembre de 2009 2
1.3. Tráfico de Voz y Data en UMTS – HSPA hasta Mayo del 2009 en América 2
1.4. Trillones de envíos de SMS en el mundo comparado con envío por segundo durante los años 2007-2009, con estimación al 2010 3
1.5. Mapa mundial de riesgo ante inundaciones 5
1.6. Serie Cronológica de ocurrencia de emergencias a nivel nacional según tipo de Fenómeno 2003-2010 7
1.7. Esquema general de la metodología de investigación de la tesis 9
1.8. Esquema de desarrollo del fundamento teórico 9
1.9. Esquema de desarrollo del Firmware 10
1.10. Esquema de desarrollo del Hardware 11
1.11. Esquema de desarrollo de la Implementación 12
2.1. Diagrama de bloques de un sistema de transmisión de datos 16
2.2. Esquema general de bloques de un sistema de Telemetría 16
2.3. Esquema de un sistema telemétrico: (a) Prueba en lugar remoto (b) Transmisión media (c) Equipo de monitoreo 17
2.4. Evolución global de las tecnologías móviles en el mundo a partir de la 2º generación 20
2.5. Tecnologías agrupadas en el proyecto 3GPP y 3GPP2 21
2.6. Evolución general de las tecnologías móviles en el Perú según tipo de generación y empresa de servicios (1991-2011) 22
2.7. Velocidad en downlink de las tecnologías móviles 22
2.8. Ilustración de la técnica de Acceso Múltiple por División de Frecuencias 24
2.9. Ilustración de la técnica de Acceso Múltiple por División de Tiempo 25
2.10. Ilustración de la técnica de Acceso Múltiple por División de Código 26
2.11. Arquitectura funcional del sistema GSM 27
2.12. Arquitectura funcional e interfaces principales 28
2.13. NSS y sus elementos asociados. (a) Estructura externa. (b) Estructura interna 29
2.14. Organización del Subsistema de operación 30
2.15. Esquema general de la arquitectura básica de una red GSM 31
2.16. Esquema básico de una red GSM 32
2.17. Diagrama de bloques de un modulador y demodulador MSK:

(a) Diagrama de bloques de un transmisor MSK.
(b) Diagrama de bloques de un receptor MSK 35
2.18. Filtro Gaussiano para modulación GMSK 36
2.19. Densidad de Potencia Espectral
de una señal GMSK para varios valores de BT 37
2.20. Densidad espectral de potencia de la señal GMSK vs MSK 37
2.21. Diagrama de bloques de un
transmisor GMSK usando generación directa de FM 38
2.22. (a) Diagrama de bloques de un receptor GMSK 38
(b) Un circuito digital para la demodulación de señales GMSK 39
2.23. Proceso de generación de una señal GMSK 40
2.24. Sistema de rastreo vehicular usando telemetría vía GPRS 41
2.25. Sistema de seguridad y automatización usando telemetría vía GSM 41
2.26. Sistema de rastreo de personas u objetos vía SMS's 41
3.1. Esquema típico de la estructura interna de un transductor
de ultrasonido de banda ancha basado en una placa
piezoeléctrica delgada 43
3.2. Diferentes tipos de sensoramiento de niveles
comparadas al de ultrasonido (a) en líquidos, (b) en sólidos 46
3.3. Atenuación de la señal de ultrasonido 47
3.4. Concepto de la técnica ultrasónica pulso-eco 49
3.5. Zonas de un haz ultrasónico 50
3.6. Zona muerta del haz ultrasónico 51
3.7. Sensores de ultrasonido de recepción y transmisión modelo UCM-R40K1 52
3.8. Configuración en diagrama de bloques del módulo HFK-TS601 52
3.9. Módulo de ultrasonido HFK-TS601. (a) Parte frontal. (b) Parte posterior 53
3.10. Dimensiones geométricas del módulo HFK-TS601.
(a) Terminales de conexión al microcontrolador.
(b) Dimensiones físicas del módulo 53
3.11. Gráfico de tiempos de sensado del módulo HFK-TS601 54
3.12. Envío y eco de señal ultrasónica del módulo HFK-TS601 55
3.13. Diagrama de conectividad de los equipos y circuito de pruebas 58
3.14. Implementación del circuito de pruebas en laboratorio 59
3.15. Señal captada a 30 cm del sensor 59
3.16. Señal captada a 47.6 cm del sensor 60
3.17. Señal captada a 48 cm del sensor 61
3.18. Gráfico de amplitud versus tiempo del nivel de agua a 48 cm del sensor 61
4.1. Esquema de empaquetado del SHT-11, las
dimensiones están dadas en mm (1mm=0.93 inches o pulgadas) 63
4.2. Máxima tolerancia (a) de temperatura del sensor.
(b) de Humedad Relativa a 25 ºC por tipo de sensor 64
4.3. Condiciones de operación del sensor SHT-11 65

4.4. Circuito de conexión sensor SHT-11/microcontrolador, incluyendo la resistencia Pull-up y el acoplamiento del capacitor entre VDD y GND 66
4.5. Diagrama de tiempo, las abreviaciones son explicadas en tabla 4.5. Las líneas en negrita son controladas por el sensor, las líneas horizontales son valores de DATA y son controladas por el microcontrolador. Tener en cuenta que el tiempo de lectura válida de DATA es iniciada por la caída de una anterior alternancia 66
4.6. Conversión de la señal de salida de HR (SO_{HR}) a humedad relativa 68
4.7. Secuencia de inicio de transmisión 70
4.8. Secuencia de conexión reset 71
4.9. Escritura en el registro de estado 72
4.10. Lectura del registro de estado 72
4.11. Secuencia de medición. TS = Inicio de transmisión, MSB = Byte más significativo, LSB = Byte menos significativo. LSb= Bit menos significativo 73
4.12. Ejemplo de secuencia de medición de humedad relativa RH para valor de “0000’0100’0011’0001” = 1073 = 35.5% RH (sin compensación de la temperatura). Los tiempos de DATA válido son dados y referenciados en los cuadros en la línea de DATA. Las líneas en negrita de DATA son controladas por el sensor mientras que las líneas horizontales por el microcontrolador 73
4.13. Esquema de conexión del microcontrolador PIC16F877A y el sensor SHT11, mostrando las variables en un display LCD 74
4.14. Simulación del Osciloscopio digital de Proteus, mostrando las señales de CLK y DATA del sensor SHT-11 74
4.15. Esquema de conexión de los dispositivos de medición 75
4.16. Valor de temperatura registrado en multitester UNITEST 75
4.17. Interfaz gráfica del multímetro UNITEST, sensando la variable temperatura 77
4.18. Medición de humedad y temperatura relativa mostrada en Hyperterminal 76
5.1. Módulo SIM548C. (a) Terminales del módulo SIM 548C y (b) aspecto físico 78
5.2. Terminales de conexión del microcontrolador PIC18F4550 79
5.3. Módulo de telemetría “UBSAT” v 1.0. 83
5.4. Módulo de telemetría “UBSAT” v 2.0. 84
5.5. Módulo de telemetría “UBSAT” v 3.0. 84
5.6. Diagrama de bloques del módulo de telemetría “UBSAT” 85
5.7. Periféricos del módulo de telemetría “UBSAT” 85
5.8. Fuente de alimentación de la parte de GSM del módulo SIM548C 86
5.9. Configuración del botón de encendido de la parte GSM 86
5.10. Tiempos de encendido del módulo SIM548C 87
5.11. Esquema de transmisión y recepción de señales del módulo “UBSAT” 87

5.12. Diagrama de bloques del módulo de procesamiento de parámetros 88
5.13. Módulo de procesamiento de parámetros con PIC18F4550 89
5.14. Fuente de alimentación de la carga en el
módulo de procesamiento de parámetros 89
5.15. Rangos de medición permisibles y de alerta 90
5.16. Estructura en diagrama de bloques de todo el sistema 91
5.17. Diagrama general de los componentes del sistema 92
5.18. Diagrama de flujo de la programación del microcontrolador PIC18F4550 93
6.1. Sistema de alerta ante desborde de ríos implementado.
(a) Sistema de medición en funcionamiento. (b) Lugar de instalación 94
(c) Módulo de ultrasonido acondicionado. (d) Realizando mediciones 95
6.2. Implementación del sistema de medición 95
6.3. Mensajes mostrados en display. (a) Iniciando.
(b) Conectado a la red de GSM. (c) Medida de nivel de agua.
(d) Mensaje de realizar llamada.
(e) Señal de enviar SMS. (f) Número de timbradas registradas 96
6.4. (a) Módulo “UBSAT” y módulo de procesamiento de parámetros.
(b) Computador conectado al sistema de medición 97
6.5. Mediciones registradas en intervalos de 10 segundos 98
6.6. Índice de Calor en grados centígrados 98
6.7. Mediciones registradas durante 452 segundos 99
6.8. Módulo “UBSAT” conectado a un computador en una central de monitoreo 100
6.9. Interfaz visual del Módulo “UBSAT” 101
6.10. Interfaz visual indicando peligro ante un posible desborde de río 102
6.11. Rango de niveles referenciales para el visor de nivel de agua 102
6.12. Descripción de la trama enviada mediante mensaje de texto 103
6.13. Visualización de nivel de agua a rangos permisibles.
(a) A 280 cm del sensor. (b) a 230 cm del sensor.
(c) A 170 cm del sensor. (d) A 120 cm del sensor 104
6.14. Mensaje de PELIGRO mostrado en la interfaz 105
6.15. Visualización de nivel de agua en niveles de inminente
peligro de desborde. (a) A 80 cm del sensor.
(b) a 60 cm del sensor. (c) A 30 cm del sensor 105
6.16. Ilustración de recepción del mensaje de texto al terminal móvil 106
6.17. Visualización en terminal celular. (a) En modo CONSULTA.
(b) En modo ALERTA indicando peligro de desborde 106
A.1. Diagrama funcional del receptor GPS SIRF STAR III CHIP 120
A.2. Latitud y Longitud de la tierra 121
A.3. Ubicación del lugar de medición registrado por el módulo “UBSAT” 124
A.4. GPS Garmin serie etrex Vista HCX 124
A.5. Ubicación del lugar de medición registrado GPS GARMIN 125
B.1. Layout del módulo de GSM “UBSAT” v 3.0 126
B.2. Layout del módulo de procesamiento de variables físicas 127

Lista de Tablas

1.1. Monto total de daño estimado por tipo de fenómeno, por continente y nivel de desarrollo humano (1999-2008) en millones de dólares (precios 2008) 5
1.2. Número total de desastres reportados en el mundo por tipo de fenómeno y por año (1998-2008) 6
1.3. Número total reportado de personas afectadas en el mundo por tipo de fenómeno y año (1998-2008), en miles 6
1.4. Serie Cronológica de ocurrencia de emergencias a nivel nacional según tipo de Fenómeno 2003-2010 6
1.5. Personas afectadas por emergencias según tipo de fenómeno 2003-2008 en el Perú 8
1.6. Comparación de tecnologías 13
2.1. Evolución de las tecnologías móviles según José María Eduardo Rábanos hasta la 3era generación 19
2.2. Velocidad de descarga de las tecnologías móviles 23
2.3. Técnicas de acceso múltiple 23
2.4. Asignación de bandas y frecuencias para telefonía móvil en Perú al año 2011 33
2.5. Características de período y composición de una señal de 270,833 Kbits/seg 39
3.1. Características de operación del sensor UCM-R40K1 52
3.2. Características de operación del módulo HFK-TS601 53
3.3. Especificación de tiempos de sensado del módulo HFK-TS601 55
4.1. Características de rendimiento del sensado de Humedad relativa 64
4.2. Características de rendimiento del sensado de temperatura 64
4.3. Parámetros eléctricos del sensor SHT-11 64
4.4. Asignación de terminales del SHT-11 65
4.5. Características de las señales de entrada/ salida del SHT11 67
4.6. Coeficientes de conversión para la variable temperatura 67
4.7. Coeficientes de conversión a humedad de las versiones 4 del SHT 11 68
4.8. Coeficientes de compensación de la temperatura 68
4.9. Cálculo de parámetros para el punto de rocío (T_d) 69
4.10. Lista de comandos del SHT-11 70
4.11. Bits del registro de estado 72
5.1. Características generales del módulo SIM548C 78
7.1. Costo de materiales empleados 107

7.2. Costos total de Ingeniería 108
7.3. Costo total del proyecto 108
7.4. Presupuesto de producción en serie 109
7.5. Monto estimado de daños materiales por suceso 109
A.1. Formato de la sentencia GPRMC 121

Lista de Abreviaturas

0QPSK (del Inglés, *Offset Quadrature Phase Shift Keying*)

3GPP (del Inglés, *3erd Generation Partnership Project*).

AT&T (del Inglés, *American Telephone and Telegraph*)

AuC (del Inglés*, Authentication Center)*

CCS (del Inglés, *Custom Computer Service*)

CEPT (del Francés, *Conférence européenne des administrations des postes et télécommunications*)

CDMA (del Inglés, *Code Division Multiplexing Access*)

EDGE (del Inglés, *Enhaced Date Rates for GSM Evolution*)

E-EDGE (del Inglés, *Evolved - Enhaced Date Rates for GSM Evolution*)

EIR *(Equipment Identity Register)*

FSK (del Inglés, *Frecuency Shift Keying)*

GMSC (del Inglés*, Gateway MSC*)

GMSK (del Inglés, *Gaussian Minimum Shift Keyng*)

GPRS (del Inglés, *General Packet Radio Service*).

GPS (del Inglés, *Global Position System*)

GSM (del Inglés, *Global System Mobile*)

HSCSD (del Inglés, *High Speed Circuit Switched Data*)

HLR (del Inglés*, Home Location Register)*

iDEN (del Inglés, integrated Digital Enhaced Network)

IMEI *(International Mobile Equipment Identity)*

ISDN (Red Digital de Servicios Integrados, del Inglés *Integrated Services Digital Network*)

ISI (del Inglés, *Inter-Symbol Interference*)

MMS (del Inglés, *Multimedia Message Service*)

MSC (*Mobile services Switching Center*)

MSK (del Inglés, *Minimum Shift Keyng*)

NMEA (del Inglés, *National Marine Electronics Association*)

NOAA (del Inglés, National Oceanic and Atmospheric Administration)

NRZ (No retorno a cero, del Inglés *–Non return to Zero*)

NSS (del Inglés*,Switching System)*

OSS (del Inglés*, Operation and Maintenance Sub System)*

PDC (del inglés, *Personal Digital Cellular*)

PSD (del Inglés, *Power Spectral Density*)

PSTN (Red Telefónica Pública Conmutada, del Inglés *Public Switched telephone network*)

SMS (del Inglés, *Short Message Service*).

SMSC (del Inglés, *Short Message Service Center*)

SS7 (Sistema de señalización por canal común nº 7)

TDMA (del Inglés, *Time Division Multiplexing Access)*

UBSAT (por sus siglas, UBicación SATelital)

UMTS (del Inglés*, Universal Mobile Telecommunications System*)

VCO (Oscilador controlado por tensión, del Inglés *Voltage Controlled Oscilator*)

VLR *(*del Inglés*, Visitor Location Register)*

WCDMA (del Inglés, *Wideband Code Division Multiple Access*)

Resumen

El desborde de los ríos y lluvias intensas en el Perú ha afectado a 1’451,251 personas entre los años 2003 y 2008, convirtiéndose de esta manera en el segundo desastre natural en el Perú después de las heladas. Por tal motivo, en el presente trabajo de tesis se desarrolló un módulo de telemetría basado en la red de telefonía móvil GSM (*Global System Mobile*) con el fin de alertar en forma temprana a una persona o grupo de personas adecuadamente organizadas ante el incremento del nivel de agua y posible desborde de un río utilizando técnicas de sensoramiento de nivel de agua por medio de ultrasonido, gestión de datos medidos a través de un microcontrolador PIC18F4550, y luego transmitido y recibido por el usuario final utilizando para tal fin el módulo SIM548C de tecnología GSM. El usuario final dispondrá de acceso a los datos por medio de un equipo celular o a través de un computador con interfaz gráfica en un Centro de Monitoreo, utilizando el Servicio de Mensaje Corto (SMS).

Las pruebas de campo fueron realizadas en el distrito de Chaclacayo en la intersección del Puente Los Ángeles y el trayecto de las aguas del río Rímac. Como resultado de este prototipo se comprobó la funcionalidad del monitoreo en el modo CONSULTA de los datos medidos de nivel de agua, temperatura y humedad en forma continua en el punto de medición, y en el modo ALERTA al sobrepasar el nivel umbral de riesgo de un posible desborde, permitiendo a la comunidad y el gobierno local tomar las acciones para mitigar los efectos de una inundación inminente.

Por otro lado, se comprobó la relación inversa proporcional que existe entre la humedad y temperatura de un punto del espacio.

Finalmente, los resultados obtenidos muestran la importancia de este sistema para el beneficio de una población potencialmente sujeta a riesgos de inundación.

Abstract

The overflow of rivers and heavy rains in Peru has affected 1'451,251 between 2003 and 2008, becoming this way the second natural disaster in Peru after frost. For that reason, this work of thesis has developed a telemetry module on mobile GSM (Global System Mobile) based to early warning of a person or group of persons organized adequately with the increased water level and possible overflow of a river using sensing techniques by ultrasound, data measured management through a microcontroller PIC18F4550 and then transmitted and received by the end user for this purpose using GSM technology SIM548C. The end user will have access to data via a mobile device or through a computer with a graphical interface of the Monitoring Center, using the Short Message Service (SMS).

Field tests were executed in the district of Chaclacayo, at the intersection of Los Angeles Bridge and the route of the Rímac River. As a result of this prototype was tested functionality CONSULTA mode monitoring of the measured data of water level, temperature and humidity continuously in the measuring point, and the ALERTA mode to exceed the threshold level of risk of possible overflow, allowing the community and local government take action to mitigate the effects of an imminent flood.

On the other hand, the results had showed that the inverse relationship between moisture and temperature of a point in space.

Finally, the results show the importance of this system for the benefit of a population potentially subject to flood risk.

Capítulo I
Descripción de la Tesis

1.1 Introducción

El presente trabajo de tesis presenta el diseño e implementación de un sistema de telemetría vía la red GSM aplicada a un servicio de alerta temprana ante el posible desborde de un río mediante la medición contínua del nivel de agua usando tecnología de ultrasonido y microcontroladores. Ello implica el desarrollo de hardware y software que permita justificar y sustentar los objetivos trazados.

1.2 Contexto y Antecedentes de la Investigación

Hoy en día, vivimos una etapa plena del desarrollo de las telecomunicaciones y el acceso a la información, con los diferentes tipos de tecnologías tanto cableadas como inalámbricas. Precisamente la comunicación vía radio o comunicación móvil, ha tenido gran expansión en uso e interconexión con otras tecnologías a tal punto de crecer en forma exponencial a nivel mundial, tal como lo muestra el gráfico de la figura 1.1. proporcionado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU (International Telecommunication Union) [URL 1.1.] estadísticas que comprende la evolución entre los 2000 al 2010.

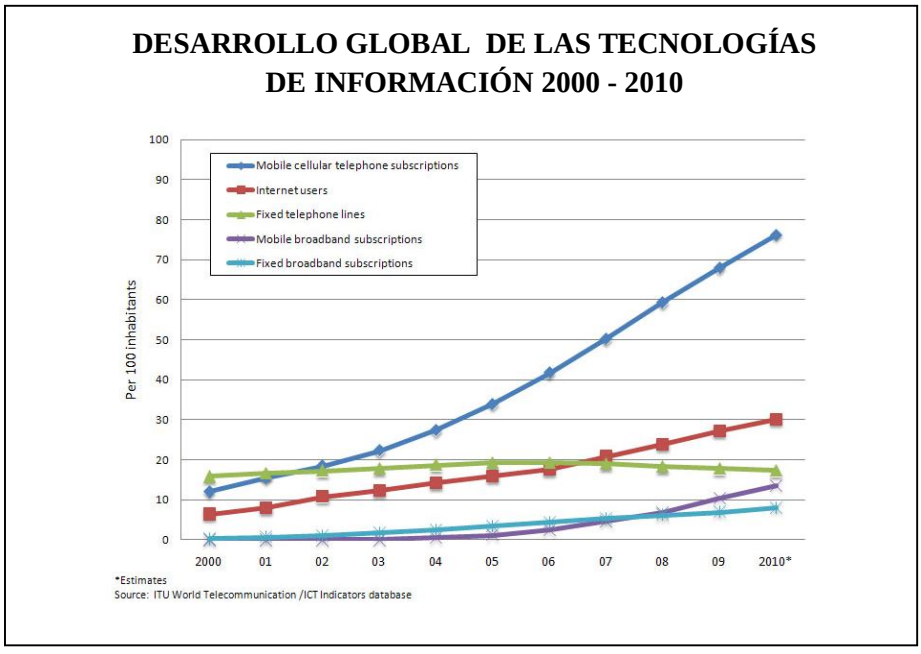


Figura 1.1.- Desarrollo Global de la Información y tecnología de Comunicaciones 2000-2010 [URL 1.1.].

En el ámbito occidental, se ve reflejado que la penetración de la tecnología del Sistema Global de Comunicaciones Móviles, que a lo largo de la tesis será llamada GSM (Global System for Mobile Communications), como la tecnología móvil de mayor consumo y como consecuencia de mayor participación de mercado, tal como lo muestra la figura 1.2. Asimismo es preciso resaltar que otras tecnologías incorporadas a GSM serán detalladas en el capítulo II.

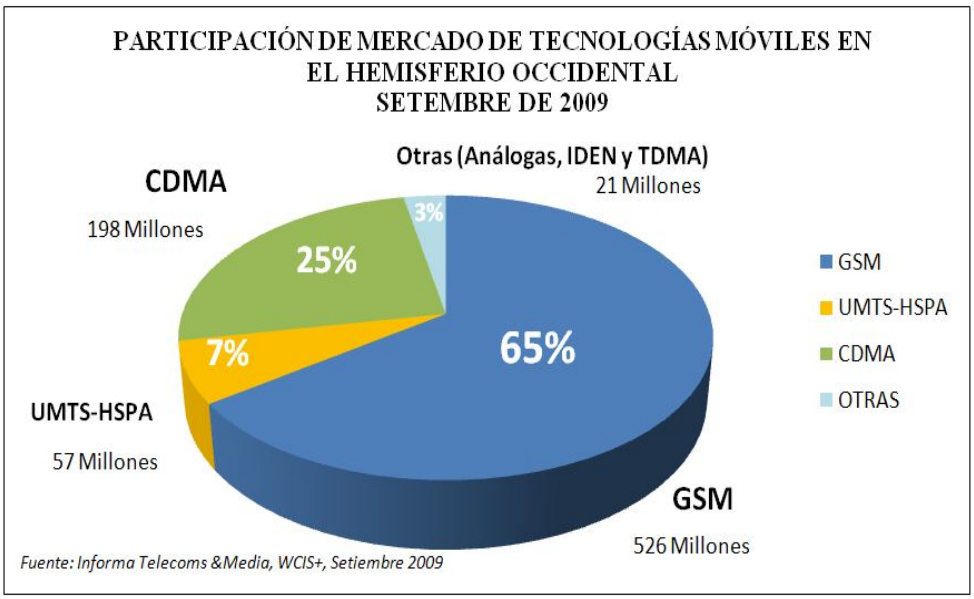


Figura 1.2.- Participación de mercado de tecnologías móviles en el hemisferio occidental. Setiembre de 2009. [URL 1.2.].

De la misma forma en la figura 1.3., se muestra que la tasa de envío de datos se ha incrementado, muy por encima del tipo de comunicación por voz, aumentando así aplicaciones y usos que la comunicación por circuitos tradicional no ofrecía años atrás [URL 1.2.].

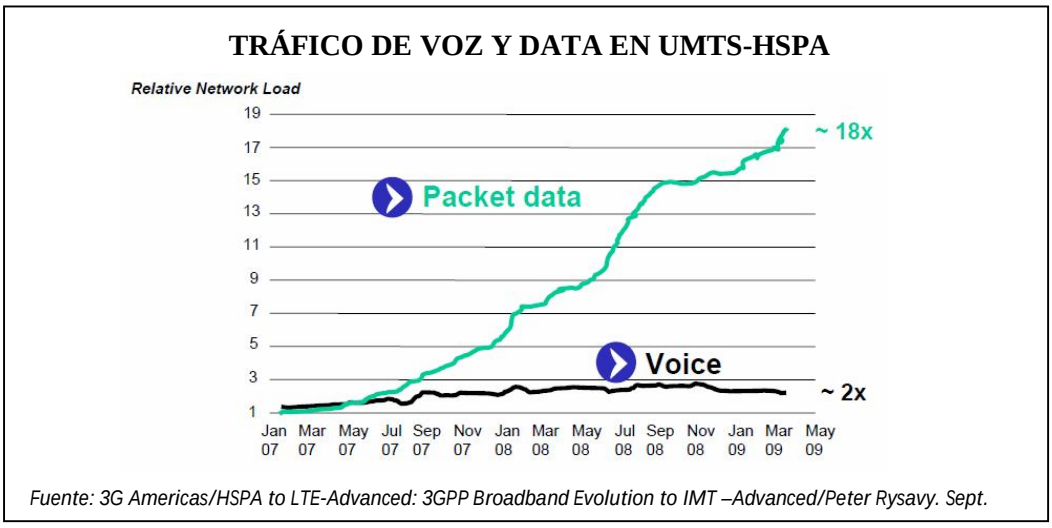
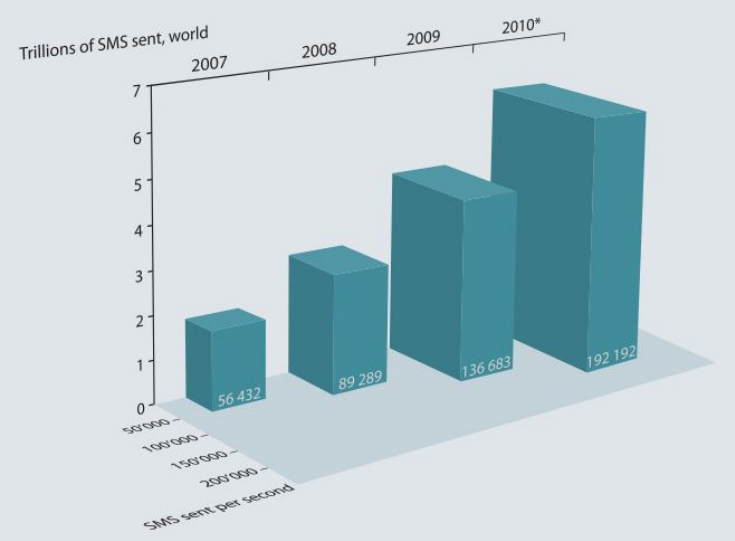


Figura 1.3.- Tráfico de Voz y Data en UMTS – HSPA hasta Mayo del 2009 en América. [URL 1.2.].

Una consecuencia del auge de uso de la comunicación móvil GSM en cuanto al envío de datos se ve reflejado en la cantidad de mensajes de texto SMS (*Short Message Service*) y de mensajes multimedia MMS (*Multimedia Message Service*) que se envía por segundo a nivel mundial. La figura 1.4.,un informe de la ITU [URL 1.3.] muestra la tendencia de envío de mensajes de texto para el año 2010 tomando como referencia datos provenientes del año 2007 al 2009.

ENVÍOS DE SMS EN EL MUNDO



*Nota: * Estimado.*
Fuente: ITU World Telecommunication /ICT Indicators database.

Figura 1.4.- Trillones de envíos de SMS en el mundo comparado con envío por segundo durante los años 2007-2009, con estimación al 2010. [URL 1.3.].

Dentro de este contexto, la presente tesis contribuye a desarrollar e investigar en la utilización de los datos para prevenir a la población sobre el posible desborde de un río utilizando la red de GSM, la misma que se justifica en los antecedentes de otros trabajos que se ha tomado como referencia:

En el año 2006, el trabajo de Gamini Jayasinghe, Farazy Fahmy, Nuwan Gajaweera y Dileeka Dias con el tema "**A GSM ALARM DEVICE FOR DISASTER EARLY WARNING**", describen el diseño y desarrollo de un dispositivo de alarma que pueden difundir advertencias de desastres para las comunidades más amenazadas mediante la red GSM. El dispositivo es capaz de generar señales acústicas de gran volumen, activación de luz y activar el sistema de comunicación GSM incorporado en respuesta a un mensaje de advertencia a través del servicio de mensajes cortos (SMS) [1].

En el 2008, el sistema de alerta temprana contra inundaciones de Kenya y su departamento de hidrometereología desarrollaron un sistema de telemetría usando la red GSM mediante el servicio de GPRS (General Packet Radio Service) en la cuenca del río Nzoia. El cual debía trabajar de forma ininterrumpida con un centro de monitoreo remoto. El estudio fue presentado en un Workshop por Johnson M. Maina.

En marzo de 2010, el trabajo de Siva Kumar Subramaniam, Vigneswara Rao Gannapathy, Sivarao Subramonian y Abdul Hamid Hamidon con el tema "**FLOOD LEVEL INDICATOR AND RISK WARNING SYSTEM FOR REMOTE LOCATION MONITORING USING FLOOD OBSERVATORY SYSTEM**" [2], describen un sistema de monitoreo de el nivel del agua mediante uso de tecnología GSM. Los datos del nivel de agua medidos son enviados a través de SMS, así como también algún reporte de avería del sistema de medición.

En el 2010, el artículo de Joko Windarto con el tema "**FLOOD EARLY WARNING SYSTEM DEVELOP AT GARANG RIVER SEMARANG USING INFORMATION TECHNOLOGY BASE ON SMS AND WEB"** [3], nos proporciona los resultados obtenidos del uso de mensajes de texto (SMS) e internet para un sistema de alerta temprana frente a la creciente del río Kali Garang.

Finalmente, en ese mismo año, 2010, en el trabajo de S.M. Kaled, Reza, Shah Ahsanuzzaman Md Tariq y S.M. Mohsin Reza, denominado "**MICROCONTROLLER BASED AUTOMATED WATER LEVEL SENSING AND CONTROLLING: DESIGN AND IMPLEMENTATION ISSUE**" [4] proponen un sistema de control del uso automatizado del agua mediante tecnología móvil, esto es, vía celular para monitoreo eficiente del nivel de agua y así evitar desbordes. A su vez, proponen un sistema de bajo costo con el uso del microcontrolador PIC16F84A, cuyos resultados de laboratorio resultaron exitosos y además proponen un sistema de información vía web capaz de monitorear el sistema en forma remota desde cualquier dispositivo.

1.3 Definición del problema

Actualmente, ante los graves sucesos que trae consigo el calentamiento global de la tierra, miles y millones de personas ven afectada su integridad frente a los cambios climáticos y los desastres naturales que en consecuencia son generados por éstos. Los incendios forestales, los huaycos, las heladas, las fuertes precipitaciones y el desbordamiento de los ríos traen como consecuencia muerte y destrucción. La secretaría de Salud y Defensa Civil de Rio de Janeiro a través de su boletín informativo precisó que hasta el viernes 21 de enero de 2011, el total de víctimas fatales ascendía a 785 personas en el presente año y alrededor de 3600 personas desplazadas sólo en Petrópolis debido a las constantes lluvias y desborde de los ríos [URL 1.4.]. Por consiguiente, en los países donde se producen este tipo de anomalías climáticas, ven afectado a su vez su sistema económico debido a las millonarias pérdidas en temas de producción y bienes.

En la figura 1.5., se muestra el mapa de riesgo mundial ante inundaciones obtenido de investigaciones realizadas durante el año 2008 [URL 1.5.], en ella podemos apreciar que el continente africano es duramente afectado por estos problemas, seguido del continente asiático, de igual manera, muestra que nuestro país, el Perú, presenta los mayores índices de riesgo y vulnerabilidad, teniendo como factor referencial la presencia de la cordillera de los andes a lo largo del territorio.

MAPA MUNDIAL DE RIESGO ANTE INUNDACIONES

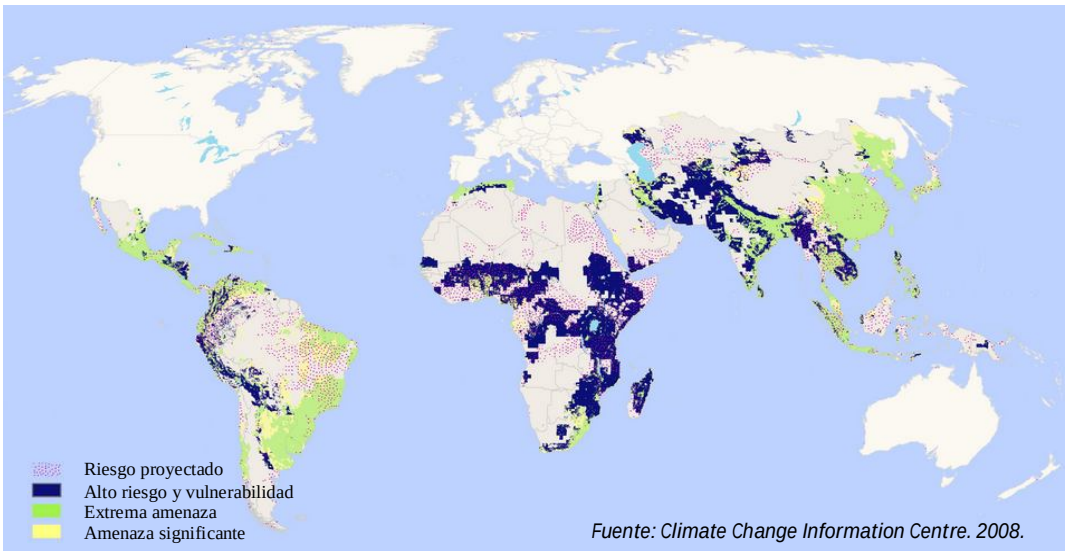


Figura 1.5.- Mapa mundial de riesgo ante inundaciones [URL 1.5.].

En el caso del continente americano se considera a las inundaciones como la segunda de mayor catástrofe hidrometeorológica desde el punto de vista económico, según el reporte de la Federación Internacional de Cruz Roja y Medias Lunas del año 2009 [5], mostrado en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1.- Monto total de daño estimado por tipo de fenómeno, por continente y nivel de desarrollo humano (1999-2008) en millones de dólares (precios 2008) [5].

	Africa	Americas	Asia	Europe	Oceania	HHD	MHD	LHD	Total
Droughts/food insecurity	1,355	9,544	13,328	7,366	2,394	19,575	14,411	0	33,987
Earthquakes/tsunamis	6,671	10,729	179,450	35,653	0	78,541	153,847	114	232,502
Extreme temperatures	1	1,305	21,818	16,143	243	17,584	21,927	0	39,510
Floods[2]	3,400	30,045	93,387	65,353	2,777	104,433	89,319	1,211	194,963
Forest/scrub fires	13	13,849	22	8,873	668	23,359	65	0	23,424
Insect infestation	0	0	0	0	150	150	0	0	150
Mass movement: dry[3]	0	0	0	ndr	0	ndr	0	ndr	0
Mass movement: wet[4]	0	107	327	1,596	0	1,703	327	0	2,030
Volcanic eruptions	11	174	6	4	0	4	179	11	194
Windstorms	717	378,582	104,715	51,245	5,166	480,689	52,227	7,509	540,426
Subtotal climato-, hydro-meteorological disasters	*5,486*	*433,432*	*233,597*	*150,577*	*11,399*	*647,492*	*178,277*	*8,720*	*834,490*
Subtotal geophysical disasters	*6,681*	*10,902*	*179,455*	*35,657*	*0*	*78,544*	*154,027*	*125*	*232,696*
Total natural disasters	**12,167**	**444,334**	**413,052**	**186,233**	**11,399**	**726,037**	**332,304**	**8,845**	**1,067,186**
Industrial accidents	924	0	458	12,936	ndr	12,036	2,282	0	14,318
Miscellaneous accidents	6	77	20	320	0	337	80	6	423
Transport accidents	0	0	465	0	0	0	0	465	465
Total technological disasters	**930**	**77**	**943**	**13,256**	**0**	**12,373**	**2,362**	**471**	**15,206**
Total	**13,097**	**444,411**	**413,995**	**199,489**	**11,399**	**738,409**	**334,666**	**9,316**	**1,082,391**

Source: EM-DAT, CRED, University of Louvain, Belgium

[1] See note on UNDP's Human Development Index country status in the section on disaster definitions in the introduction to this chapter annex.
[2] Includes waves and surges. [3] Landslides, rockfalls, subsidence of geophysical origin. [4] Mud/landslides, avalanches, subsidence of hydrological origin.
Note: ndr signifies no disaster reported. For more information, see section on caveats in introductory text.
Estimates of disaster damage must be treated with caution, as the financial value attached to infrastructure in developed countries is much higher than in developing countries. While reporting is better for large disasters, the low reporting rates of direct damage make analysis difficult. During the decade, the Americas accounted for 41 per cent of the reported damages but 89 per cent of costs related to volcanic eruptions, 70 per cent of those related to windstorms and 59 per cent of those related to forest/scrub fires. Asia accounted for 38 per cent of the reported damages but 100 per cent of those caused by transport accidents, 77 per cent of those caused by earthquakes/tsunamis and 48 per cent of those caused by floods. Europe accounted for 18 per cent of the reported damages but 90 per cent of those caused by industrial accidents, 75 per cent of those related to miscellaneous accidents and 34 per cent of those caused by floods. Africa accounted for 1.2 per cent of the reported damages but 6 per cent of those caused by industrial accidents and by volcanic eruptions and 5 per cent of those caused by droughts/food insecurity. Oceania accounted for 1 per cent of the reported damages but 7 per cent of those caused by droughts and 3 per cent of those caused by forest/scrub fires.

Pero desde el punto de vista del número de desastres reportados, se encuentra en la primera ubicación desde el año 1999 al 2008 en el mundo, como se muestra en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2.- Número total de desastres reportados en el mundo por tipo de fenómeno y por año (1998-2008) [5].

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Total
Droughts/food insecurity	31	42	42	40	23	19	28	19	13	15	272
Earthquakes/tsunamis	33	31	25	37	40	42	25	24	20	21	298
Extreme temperatures	8	31	23	15	25	16	29	24	25	8	204
Floods[1]	122	158	157	171	159	129	195	227	219	158	1,695
Forest/scrub fires	22	30	14	22	14	8	13	9	18	4	154
Insect infestation	ndr	2	2	ndr	ndr	12	ndr	ndr	ndr	ndr	16
Mass movement: dry[2]	ndr	1	ndr	1	ndr	1	ndr	1	ndr	3	7
Mass movement: wet[3]	18	28	24	20	21	15	12	20	10	12	180
Volcanic eruptions	5	5	6	7	2	5	8	12	6	6	62
Windstorms	106	102	108	124	85	127	130	76	105	99	1,062
Subtotal climato-, hydro-meteorological disasters	*307*	*393*	*370*	*392*	*327*	*326*	*407*	*375*	*390*	*296*	*3,583*
Subtotal geophysical disasters	*38*	*37*	*31*	*45*	*42*	*48*	*33*	*37*	*26*	*30*	*367*
Total natural disasters	**345**	**430**	**401**	**437**	**369**	**374**	**440**	**412**	**416**	**326**	**3,950**
Industrial accidents	37	51	54	48	52	81	76	61	52	38	550
Miscellaneous accidents	52	58	50	52	45	62	66	32	42	30	489
Transport accidents	214	259	221	260	237	216	229	205	170	191	2,202
Total technological disasters	**303**	**368**	**325**	**360**	**334**	**359**	**371**	**298**	**264**	**259**	**3,241**
Total	**648**	**798**	**726**	**797**	**703**	**733**	**811**	**710**	**680**	**585**	**7,191**

Source: EM-DAT, CRED, University of Louvain, Belgium

[1] Includes waves and surges. [2] Landslides, rockfalls, subsidence of geophysical origin. [3] Mud/landslides, avalanches, subsidence of hydrological origin.
Note: ndr signifies no disaster reported. For more information, see section on caveats in introductory text.
In 2008, the numbers of both natural and technological disasters were the lowest of the decade, as were the numbers of forest/scrub fires and of miscellaneous accidents. In 2008, the most frequent disasters were transport accidents (33 per cent), floods (27 per cent) and windstorms (17 per cent), near their average for the decade.

Y como un tercer aspecto, constituye la segunda causa en cuanto al número de personas afectadas en el mundo, como se puede apreciar en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3.- Número total reportado de personas afectadas en el mundo por tipo de fenómeno y año (1998-2008), en miles [5].

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Total[4]
Droughts/food insecurity	120,289	164,579	166,672	428,879	81,842	35,272	30,643	40,671	8,278	28,731	1,105,856
Earthquakes/tsunamis	6,857	2,479	9,711	851	4,194	3,147	6,187	3,859	1,200	47,223	85,708
Extreme temperatures	725	28	213	104	1,840	2,140	2	62	988	79,171	85,273
Floods[1]	149,086	73,905	34,552	167,769	169,462	116,991	75,028	30,309	177,837	43,014	1,037,953
Forest/scrub fires	19	39	6	26	184	21	7	2	1,785	59	2,147
Insect infestation	ndr	n.a.	n.a.	ndr	ndr	n.a.	ndr	ndr	ndr	ndr	n.a.
Mass movement: dry[2]	ndr	n.a.	ndr	n.a.	ndr	n.a.	ndr	n.a.	ndr	1	1
Mass movement: wet[3]	15	215	71	305	459	12	10	432	9	5	1,533
Volcanic eruptions	34	127	110	278	25	53	341	379	51	127	1,524
Windstorms	25,102	15,137	31,991	113,441	11,093	21,383	49,117	67,109	23,974	15,627	373,974
Subtotal climato-, hydro-meteorological disasters	*295,236*	*253,902*	*233,505*	*710,524*	*264,879*	*175,818*	*154,808*	*138,586*	*212,871*	*166,606*	*2,606,736*
Subtotal geophysical disasters	*6,890*	*2,605*	*9,822*	*1,130*	*4,219*	*3,200*	*6,528*	*4,237*	*1,250*	*47,351*	*87,233*
Total natural disasters	**302,126**	**256,508**	**243,326**	**711,654**	**269,099**	**179,018**	**161,336**	**142,823**	**214,122**	**213,957**	**2,693,969**
Industrial accidents	324	17	19	2	646	157	16	137	3	14	1,335
Miscellaneous accidents	12	24	31	61	15	102	77	32	41	21	416
Transport accidents	5	7	3	6	5	48	6	4	4	4	92
Total technological disasters	**341**	**48**	**53**	**68**	**667**	**307**	**100**	**172**	**48**	**39**	**1,843**
Total	**302,467**	**256,556**	**243,380**	**711,722**	**269,765**	**179,325**	**161,436**	**142,995**	**214,170**	**213,996**	**2,695,813**

Source: EM-DAT, CRED, University of Louvain, Belgium

[1] Includes waves and surges. [2] Landslides, rockfalls, subsidence of geophysical origin. [3] Mud/landslides, avalanches, subsidence of hydrological origin.
[4] Since slow-onset disasters can affect the same people over a number of years, it is best to use figures on total numbers affected to calculate annual averages over a decade rather than as absolute totals.
Note: n.a. signifies no data available and ndr signifies no disaster reported. For more information, see section on caveats in introductory text.
Disasters affecting the most people in 2008 were extreme temperatures (79 million people affected: 37 per cent of those affected by disasters). Earthquakes (47 million people affected) and floods (43 million people affected) accounted for, respectively, 22 and 20 per cent of those affected by disasters. The number of people affected by extreme temperatures and earthquakes was the highest of the decade. Extreme winter conditions in China (77 million people affected) and Tajikistan (2 million people affected) and the Sichuan earthquake (46 million people affected) explain these high numbers. The number of people reported affected by technological disasters was the lowest of the decade, and the number affected by drought was the second lowest of the decade.

En el ámbito peruano, como consecuencia del Fenómeno El Niño las inundaciones han afectado en su mayoría a los departamentos del norte durante los años 1997-1998. Según las estadísticas del Instituto Nacional de Defensa

Civil (INDECI) durante los años 2003-2010, los vientos fuertes, las heladas y las inundaciones constituyen en conjunto los principales factores de amenaza dentro de los fenómenos naturales en el país. En la Tabla 1.4 y Fig.1.6., se puede apreciar que el índice de lluvias intensas está correlacionado con el índice de inundaciones.

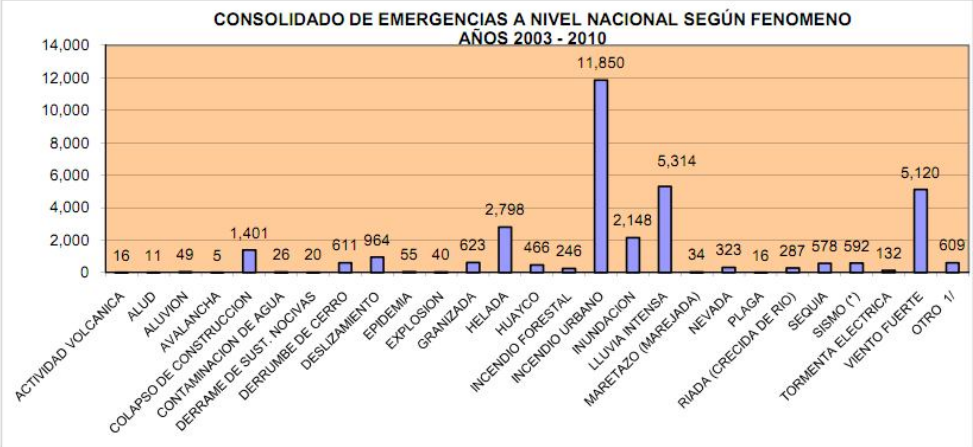


Figura 1.6.- Serie Cronológica de ocurrencia de emergencias a nivel nacional según tipo de Fenómeno 2003-2010 [URL 1.6.].

Tabla 1.4.- Serie Cronológica de ocurrencia de emergencias a nivel nacional según tipo de Fenómeno 2003-2010 [URL 1.6.].

FENOMENO	TOTAL	AÑOS							
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
TOTAL	34,334	3,316	4,038	4,773	4,495	4,536	4,545	4,037	4,594
ACTIVIDAD VOLCANICA	16		1		8	2	3	2	
ALUD	11	3	1		1	2		1	3
ALUVION	49	2	6	15	4		5	5	12
AVALANCHA	5		1	1	2				1
COLAPSO DE CONSTRUCCION	1,401	116	153	137	202	236	265	157	135
CONTAMINACION DE AGUA	26		5	4	1	2	1		13
DERRAME DE SUST. NOCIVAS	20	6	5	4	2				3
DERRUMBE DE CERRO	611	53	18	61	160	67	68	99	85
DESLIZAMIENTO	964	138	100	99	158	126	128	116	99
EPIDEMIA	55	2	19	7	6	6	8	2	5
EXPLOSION	40	8	7	4	8	3	5	1	4
GRANIZADA	623	50	41	73	53	138	84	103	81
HELADA	2,798	73	438	296	177	536	437	349	492
HUAYCO	466	69	50	48	73	53	50	64	59
INCENDIO FORESTAL	246	26	6	65	21	7	46	22	53
INCENDIO URBANO	11,850	1,137	1,484	1,962	1,738	1,397	1,460	1,273	1,399
INUNDACION	2,148	470	234	134	348	272	242	219	229
LLUVIA INTENSA	5,314	388	426	391	738	522	899	827	1,123
MARETAZO (MAREJADA)	34	6	2	2	12	1	1		10
NEVADA	323	16	95	162	11	11	3	20	5
PLAGA	16		1	1		8	1		5
RIADA (CRECIDA DE RIO)	287	20	20	37	37	61	49	31	32
SEQUIA	578	5	215	224	74	23	4		33
SISMO (*)	592	35	11	261	32	200	24	8	21
TORMENTA ELECTRICA	132	11	14	15	34	25	10	9	14
VIENTO FUERTE	5,120	615	595	704	544	617	732	692	621
OTRO 1/	609	67	90	66	51	221	20	37	57

1/ : Incluye erosión ribereña, afloración agua, caída de árbol, caída meteorito, volcadura ómnibus, rotura tubería matriz, etc.
(*) : Incluye sismos sentidos en otros distritos colindantes con los epicentros de los sismos principales.
Fuente : Dirección Nacional de Operaciones del INDECI - SINPAD
Elaboración : Oficina de Estadística y Telemática del INDECI

Desde el año 2003 al 2008, se tienen registro de alrededor 1’451,251 personas afectadas por lluvias intensas e inundaciones en conjunto, convirtiéndose así en el segundo desastre natural en el Perú después de las heladas, tal como se muestra en la Tabla 1.5.

Tabla 1.5.- Personas afectadas por emergencias según tipo de fenómeno 2003-2008 en el Perú. [URL 1.7.].

FENOMENO	TOTAL PERSONAS AFECTADAS	AÑO					
		2003	2004	2005	2006	2007	2008
TOTAL	6.070.459	246.159	919.895	876.599	997.337	1.662.413	1.368.056
ACTIVIDAD VOLCANICA	5.679				5.279	155	245
ALUD	72	72					
ALUVION	2.348	72	941	909	9		417
COLAPSO DE CONSTRUCCION	11.747	544	715	283	3.395	5.645	1.165
CONTAMINAC. AGUA	35.431		50	35.076		305	
DERRAME SUSTANC. NOCIVAS	2.208	2	61	2.097	48		
DERRUMBE DE CERRO	31.484	234	231	6.995	9.046	12.784	2.194
DESLIZAMIENTO	136.657	3.728	5.312	6.550	21.450	17.093	82.524
EPIDEMIA	5.047		729	397	809	714	2.398
EXPLOSION	4.586	4.250	2	20		307	7
GRANIZADA	319.441	15.981	7.218	31.769	25.668	184.649	54.156
HELADA	1.518.728	25.708	356.804	199.056	96.572	394.708	445.880
HUAYCO	157.931	2.107	1.538	1.609	69.335	7.236	76.106
INCENDIO FORESTAL	6.002	28		3.376	697	74	1.827
INCENDIO URBANO	18.386	2.486	4.577	2.760	2.787	2.356	3.420
INUNDACION	478.667	118.433	53.370	21.473	115.648	64.535	105.208
LLUVIA INTENSA	972.584	29.694	41.003	22.814	177.142	176.577	525.354
MAREJADA (MARETAZO)	14.439	1.144	220		13.031		44
NEVADA	195.296	3.768	104.267	51.152	3.730	28.596	3.783
PLAGA	[illegible]		11.305			359.517	
RIADA (CRECIDA DE RIO)	18.933	3.646	1.083	2.246	868	460	10.630
SEQUIA	1.203.300	560	281.556	418.982	436.205	54.578	11.419
SISMO (*)	268.830	5.132	126	25.241	1.616	235.783	932
TORMENTA ELECTRICA	959	66	145	82	508	132	26
VIENTO FUERTE	154.090	25.432	42.025	19.562	8.167	26.866	32.038
OTRO 1/	136.792	3.072	6.617	24.150	5.327	89.343	8.283

1/ : Incluye erosión ribereña, afloración agua, caída de árbol, caída meteorito, volcadura ómnibus, rotura tubería matriz, etc.
(*) : Incluye sismos sentidos en otros distritos colindantes con los epicentros de los sismos principales.
Fuente : Dirección Nacional de Operaciones del INDECI - SINPAD
Elaboración : Oficina de Estadística y Telemática del INDECI

1.4 Objetivos

El objetivo del presente trabajo de tesis es la de desarrollar e implementar un sistema de telemetría que utilice la red de GSM para el transporte de datos de medición del nivel de agua de un río a través de sensores de ultrasonido con el fin de alertar de manera remota y en tiempo real a una persona, grupo de personas o una central de monitoreo ante un inminente peligro de desborde y asimismo es posible realizar la medición de parámetros de humedad y temperatura, utilizables para el análisis gráfico. En consecuencia para el cumplimiento de este objetivo, se ha definido los siguientes objetivos específicos:

a) Diseñar un módulo de comunicación inalámbrica basado en el módulo GSM/GPRS/GPS SIM548C para la interconexión entre terminales.
b) Diseñar un módulo de procesamiento de parámetros físicos para medición de temperatura, humedad relativa y nivel de agua con el uso del microcontrolador PIC18F4550.
c) Elaborar un firmware para el microcontrolador PIC18F4550 que realice el procesamiento de las variables físicas y gestione las señales de transmisión-recepción del módulo GSM a través de los comandos AT.
d) Elaborar una interfaz gráfica en Visual Basic que permita al operador de la central de monitoreo gestionar las funciones de consulta y/o alerta en caso de peligro de desborde.

1.5 Metodología de la Investigación

Con la finalidad de alcanzar los objetivos, en el presente trabajo se han utilizado tres elementos metodológicos (Fundamento teórico, desarrollo del firmware y desarrollo del hardware), tal como se muestra en la figura 1.7.



Figura 1.7.- Esquema general de la metodología de investigación de la tesis.

El fundamento teórico se basó en la recopilación de información de conceptos y esquemas de la organización de un sistema de telemetría, optándose por el sistema de comunicación móvil GSM, incluyendo información actual e ilustrativa del contexto en la que se encuentra enmarcada la tesis, las tecnologías de GSM alcanzadas a la fecha, así como también los conceptos teóricos del principio de sensoramiento de distancias mediante tecnología de ultrasonido, conceptos de temperatura y humedad relativa. En la figura 1.8., se detalla la organización de desarrollo del fundamento teórico a ser presentado.

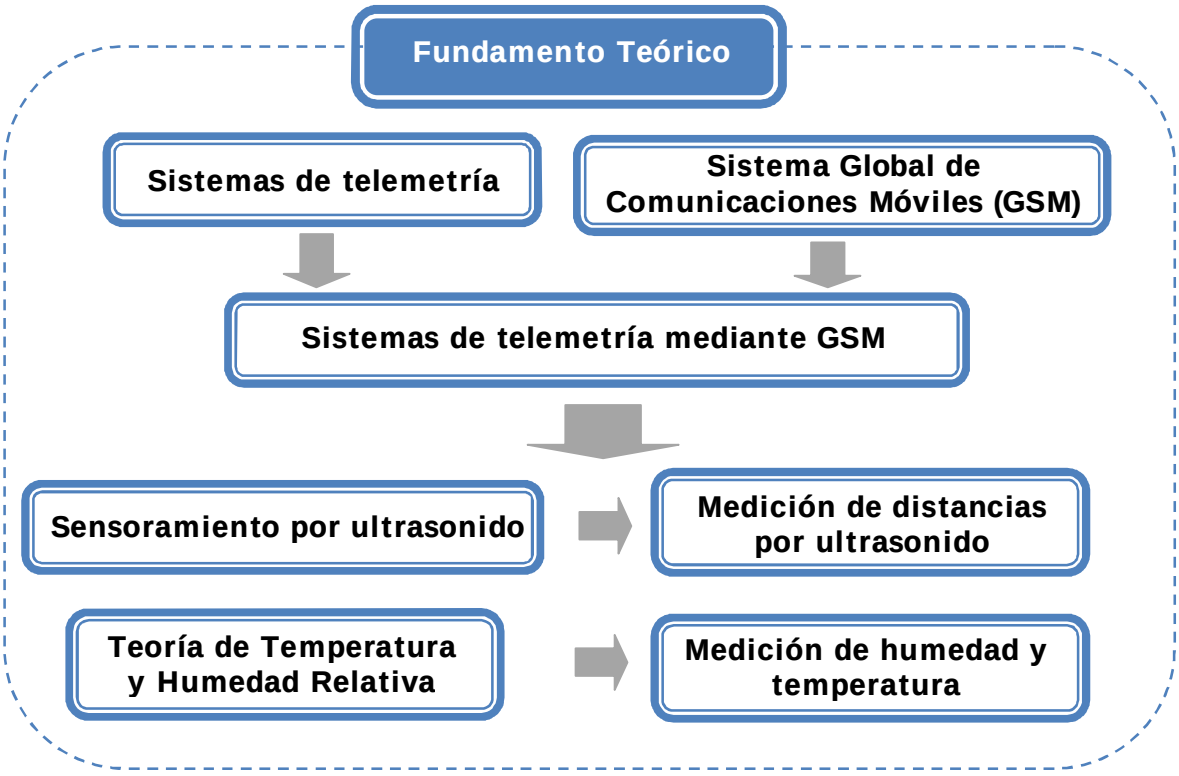


Figura 1.8.- Esquema de desarrollo del fundamento teórico.

Para el desarrollo del firmware, es decir, la codificación del microcontrolador, se ha propuesto programar en lenguaje C. El microcontrolador realiza las funciones de adquisición de las señales provenientes del sensor de ultrasonido para medir distancias y en la codificación se estableció los márgenes permisibles y los márgenes de peligro a fin de generar una alerta. Además se incluye codificación para la medición de los parámetros de humedad y temperatura con el sensor SHT-11 de la marca Sensirion. El microcontrolador realiza la comunicación con el módulo GSM de forma serial utilizando los comandos AT, éste a su vez gestiona la función de consulta de los parámetros medidos y alerta en caso de peligro de desborde. El esquema de desarrollo del firmware es mostrado en la figura 1.9.

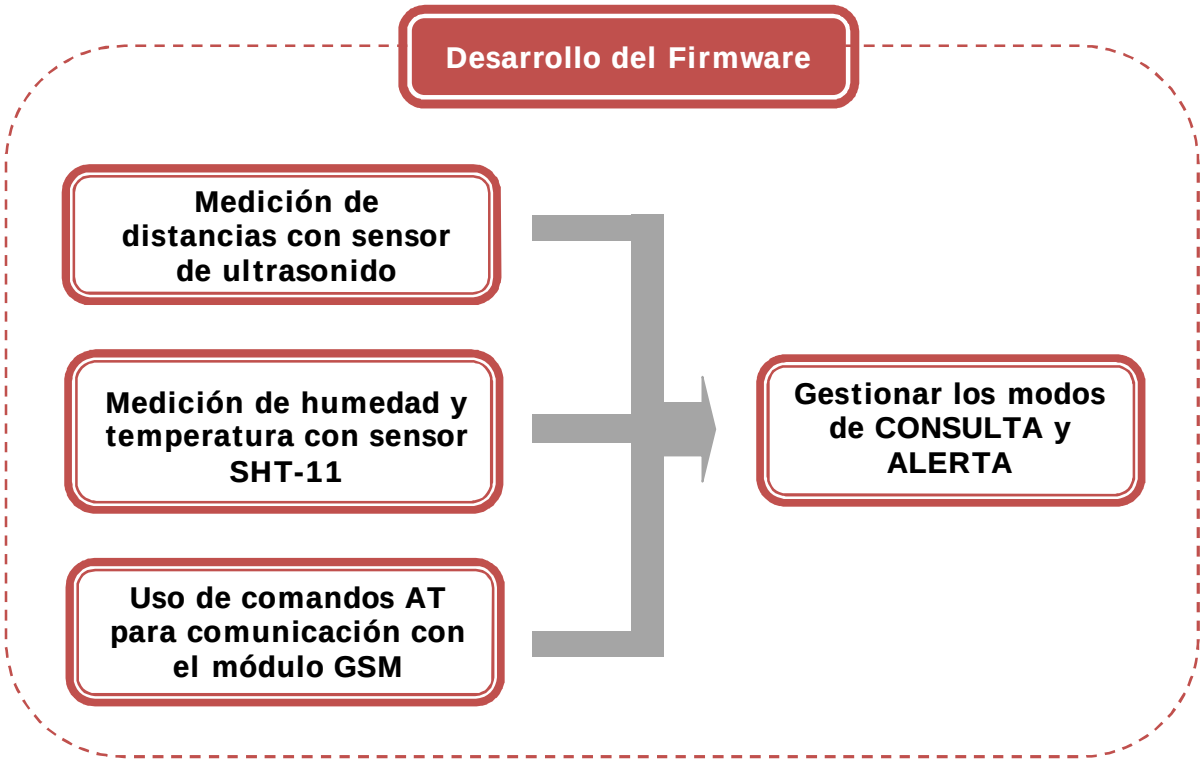


Figura 1.9.- Esquema de desarrollo del Firmware.

Para el desarrollo del hardware, son tres los principales componentes del sistema, un microcontrolador, módulo de GSM y los sensores de ultrasonido, temperatura y humedad. El primer paso fue identificar la diversidad de periféricos que puede implementarse con el módulo de GSM, habiendo trabajado específicamente con el modelo SIM548C GSM/GPRS/GPS de la Marca SIMCom Wireless Solution Ltd., desarrollando de esta manera un módulo que cuenta con gran diversidad de periféricos y que a lo largo de la tesis será denominado “UBSAT” (por sus siglas de *UBicación SATelital*), así mismo se elaboró una tarjeta de procesamiento de medición de las variables físicas, la que contiene el microcontrolador PIC18F4550, display y sensores para la integración con el módulo de GSM “UBSAT”. En el caso de monitoreo desde una central fue necesario utilizar otro módulo de GSM “UBSAT” conectado a una PC. Finalmente, se realizó el diseño CAD y la elaboración de las tarjetas impresas por método serigráfico. Los detalles son mostrados en la figura 1.10.

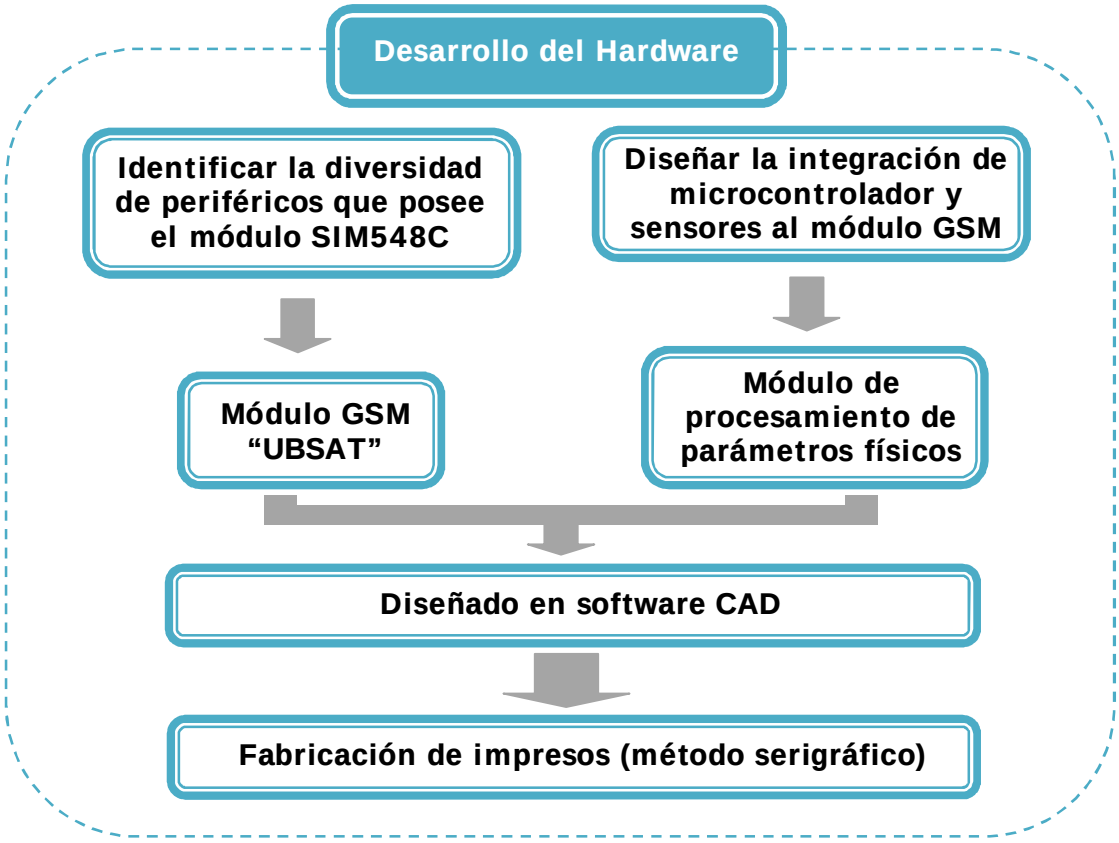


Figura 1.10.- Esquema de desarrollo del Hardware.

Por último, se procedió a la experimentación del sistema, las mismas que se efectuaron en el Laboratorio de Procesamiento de Señales de la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, así como en el de campo, que fue realizada en el distrito de Chaclacayo en el trayecto de las aguas del Río Rímac hacia la ciudad de Lima. Por tratarse de un sistema completo, se han considerado diferentes escenarios, el primero, en el lugar de medición (orilla de un río) y otro desde un lugar remoto (Para un usuario o una central de monitoreo), es así que para la implementación se contará con un módulo GSM "UBSAT" conectado a una tarjeta de procesamiento de parámetros físicos y en el punto terminal un segundo módulo GSM "UBSAT" conectado a una PC, todo ello en el caso de una central de monitoreo. Para el caso de que el monitoreo se realice a través de un usuario, simplemente el modo consulta y alerta pueden ser gestionadas a través de un teléfono móvil.

1.6 Alcances de la Investigación

Este trabajo está enmarcado en el desarrollo de hardware y firmware con el objetivo de alertar a una población ante el inminente peligro de desborde de un río usando la red GSM, asimismo servir de consulta del nivel de agua, temperatura y humedad relativa en el punto de medición establecido.

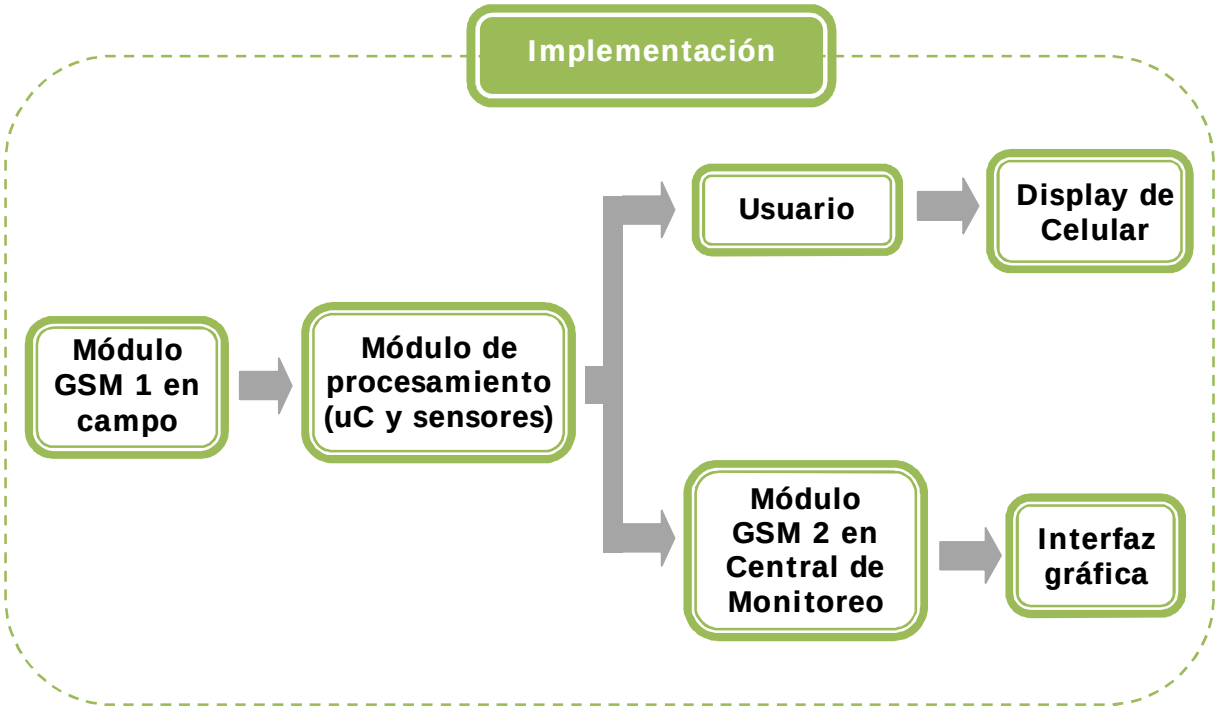


Figura 1.11.- Esquema de desarrollo de la Implementación.

1.7 Aportes

Preservar la vida y alertar a una comunidad de personas ante el peligro de desborde de un río.

Se desarrolló una metodología de diseño de un módulo de transrecepción (Módulo “UBSAT”) de datos a través de la red GSM, basado en el chip SIM548C.

Se desarrolló una metodología de diseño de un módulo de sensoramiento de nivel de agua del río para su envío al módulo “UBSAT” y ser transmitido a la central de monitoreo.

Aportar con un sistema económico, con componentes adquiridos en el mercado local. Por otro lado, al ser este modelo un sistema autónomo operado mediante microcontrolador, se reducen los costos operativos del sistema.

Disponer de un terminal de monitoreo de nivel de agua de un río, tal que este opere las 24 horas de forma contínua, reduciendo la intervención del ser humano a lo necesario.

Reducir el tiempo de reacción humana para activar un sistema de alerta y enfrentar una inundación inminente.

Proporcionar datos a la comunidad beneficiaria así como a la académica y/o empresarial para realizar estudios sobre el comportamiento del nivel de agua de un río en el tiempo, permitiendo a otras líneas de investigación hacer los estudios proyectivos para el futuro.

1.8 Plataforma de comunicación

En el presente trabajo se utilizó la tecnología de GSM como plataforma de comunicación del sistema de telemetría, sin embargo, en el siguiente capítulo se explicará en detalle las innovaciones que se incorporaron a la red de GSM. El servicio de mensajería de texto (SMS) fue el medio utilizado para el envío de datos, no obstante, existen otros tipos de tecnologías que pueden servir de plataforma de comunicación, la comparativa en cuanto a costo y tiempo de respuesta es mostrada en la tabla 1.6.

Tabla 1.6.- Comparación de tecnologías.

Tecnología	Conexión	Costo		Respuesta
		Inicial	Operando	
PSTN	Cableada	Bajo	Bajo	Rápida
VHF	Inalámbrica	Alto	Bajo	Rápida
VSAT	Inalámbrica	Alto	Alto	Rápida
Inmarsat	Inalámbrica	Alto	Alto	Lenta
Internet	Cableada	Bajo	Bajo	Rápida
GSM / SMS	**Inalámbrica**	**Bajo**	**Bajo**	**Rápida**
GSM / GPRS	**Inalámbrica**	**Alto**	**Bajo**	**Rápida**

De acuerdo a la información mostrada en la tabla 1.6., las tecnologías SMS y GPRS se encuentran en negrilla por ser el tipo de medio afín a la red de telefonía móvil GSM utilizado. Las comparaciones desde el punto de vista de capacidad y respuesta favorecen ampliamente a la red de GPRS frente a la Mensajería de Texto, típica de todo sistema básico de GSM, pero la elección por éste último se definió por el punto de vista económico, ya que el sistema no envía información de forma constante y además que el nivel de un río no varía significativamente cada pequeño intervalo de tiempo, razón por la cual los costos iniciales y los costos de operación se mantienen constantes y a una tarifa fija por cada mensaje de texto. No obstante, el sistema realizado tiene la capacidad tecnológica si en caso requiera de poder migrar a la red de GPRS, puesto que el módulo de SIM548C posee también integración a la red de GPRS.

1.9 Organización de la tesis

Este trabajo está organizado de la siguiente manera:

El capítulo II presenta una descripción general de los sistemas de telemetría y la aplicación de telemetría basada en la red de comunicación móvil GSM. Se incluye teoría relacionada a la evolución de las comunicaciones móviles a fin de enmarcar el contexto de la tesis.

El capítulo III describe teoría relacionada a la medición de distancias por sensor de ultrasonido, cálculos relacionados a la medición y finalmente se describen las pruebas realizadas en laboratorio con un pequeño tanque de agua y el módulo de ultrasonido HFK-TS601.

El capítulo VI describe la medición de temperatura y humedad relativa mediante el sensor digital SHT-11, información y recomendaciones proporcionadas por el fabricante para la codificación a realizar y finalmente se describen las pruebas realizadas en laboratorio, comparando mediciones con un multitester que incluye una termocupla tipo K para mediciones de temperatura de alta exactitud.

El capítulo V presenta la integración de los componentes, descritos en los capítulos anteriores, a una tarjeta de GSM/GPRS/GSM denominada “UBSAT”, la cual será un elemento importante del sistema. Se presentan asimismo diagrama de bloques de todo el sistema, características del módulo SIM548C y el diagrama de flujo de la programación.

El capítulo VI presenta la experimentación y los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en campo. También se desarrolla la explicación de la trama SMS a ser decodificada y mostrada mediante intefaz gráfica desarrollada en Visual Basic y finalmente los mensajes de texto recibidos en los modos de CONSULTA y ALERTA.

El capítulo VII describe las conclusiones e ideas tentativas para trabajos futuros a poder realizarse en base al trabajo presentado.

En la sección de anexos, se adiciona una comparación de exactitud entre el GPS SirfStar III del módulo “UBSAT” frente al GPS Garmin, mediciones realizadas durante las pruebas en campo.

Capítulo II
Sistemas de telemetría y tecnología GSM

2.1 Introducción

Desde el primer transporte y medida de la información, el ser humano ya hacía uso de la función de telemetría, sin tener un concepto concreto o definición que la categorice y establezca los márgenes de su alcance. A inicios del siglo XX fue usada en la supervisión y monitoreo de la energía eléctrica. En 1912, en Chicago (EE.UU) se diseñó una central de monitoreo mediante la línea telefónica para recibir datos de centrales eléctricas lejanas, a su vez otros campos comenzaron a implementar este sistema modificando y mejorándolo en los años siguientes. A partir de 1930, el uso de la telemetría aeroespacial para la adquisición de datos atmosféricos mediante globos aerostáticos fue desplazado por la tecnología satelital de la década de los años cincuenta [URL 2.1.]. En aquellos años, la telemetría también jugó un papel importante con propósitos militares para el control de misiles durante las dos últimas guerras mundiales. Hoy en día el término telemetría es tan común y tiene gran utilización en los diferentes campos de investigación; a tal punto que es usada tanto para los sistemas de seguridad, el monitoreo de vehículos, control de procesos industriales, sistemas de alerta temprana e inclusive en campos antes no explorados como la Biomedicina, que nos permita obtener datos cruciales acerca de los órganos internos de un paciente por medio de dispositivos implantados quirúrgicamente, así mismo para el campo de la oceanografía, recopilando datos relacionados con los aspectos del mar, tal como la composición química de las rocas o el comportamiento sísmico.

2.2. Sistemas de telemetría

2.2.1. Definiciones

En la presente tesis haremos uso de la telemetría como uno de los medios de solución ante el problema de desborde de ríos. Para ello es importante comprender el término ***Telemetría,*** que deriva del griego "*Tele"* que significa remoto y "*metro"* que significa medida. Las variables sensadas que son medidas en cierto lugar son tratadas como señales, las cuales requieren ser procesadas antes de ser transmitidas a distancia, ya sea usando un enlace cableado, aire (neumática) o un enlace de radio frecuencia (aire), y luego recibida en el receptor termina por direccionarse, almacenarse y visualizarse. Esto es a lo que se

denomina un Sistema de Telemetría [6]. En la figura 2.1., se muestra el diagrama de bloques tradicional de un sistema de transmisión de datos.

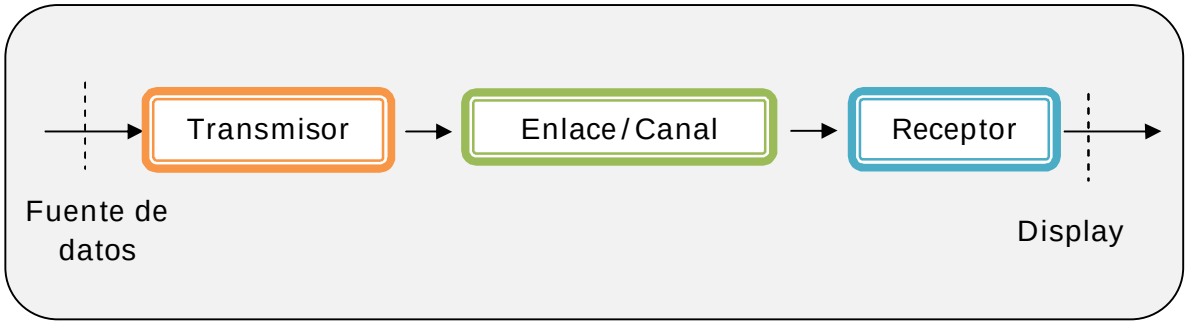


Figura 2.1.- Diagrama de bloques de un sistema de transmisión de datos [6].

El propósito de un sistema de telemetría consiste en recoger datos que son capturados en un puesto remoto y transmitirlos a otro donde puedan ser evaluados. Los sistemas de telemetría son un conjunto especial de sistemas de comunicaciones [7].

En la figura 2.2., se muestra el esquema en bloques de un sistema de telemetría.

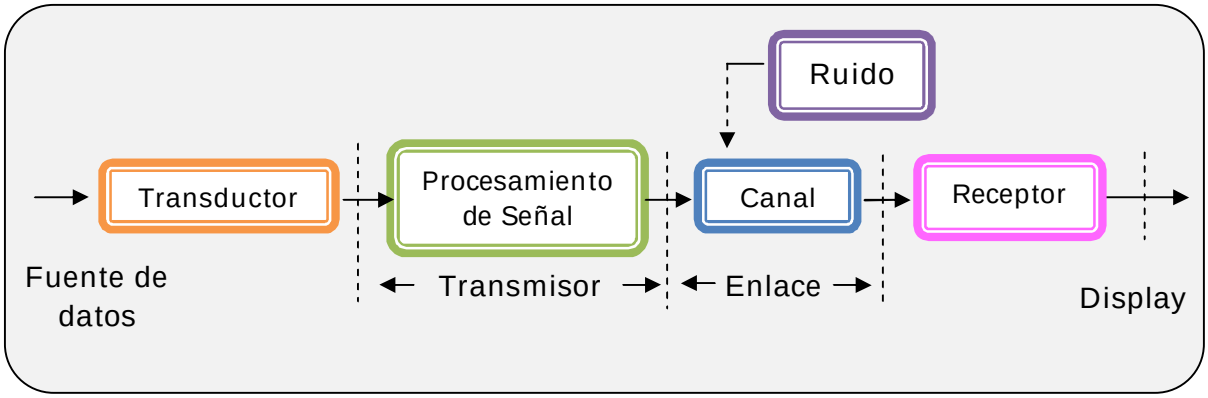


Figura 2.2.- Esquema general de bloques de un sistema de Telemetría [6].

2.2.2. Estructura de un sistema de telemetría

La estructura general de los sistemas de telemetría mostrada en la figura 2.3. se compone de lo siguiente:

1. Sistema de recolección de datos.
2. Sistemas de multiplexado:
    a) Sistema de Multiplexado por División de Frecuencia.
    b) Sistema de Multiplexado por División de Tiempo.
    c) Sistema hibrido, el cual es la combinación del Multiplexado por División de Tiempo y otro de Frecuencia.
3. Modulador, transmisor y antena.
4. Canal de comunicación.

5. Antena, receptor de radio frecuencia, amplificador de frecuencia intermedia, demodulador.
6. Demultiplexador, sistema de Multiplexado por División de Tiempo o Multiplexado por División de Frecuencia o sistema híbrido.
7. Procesamiento de datos.

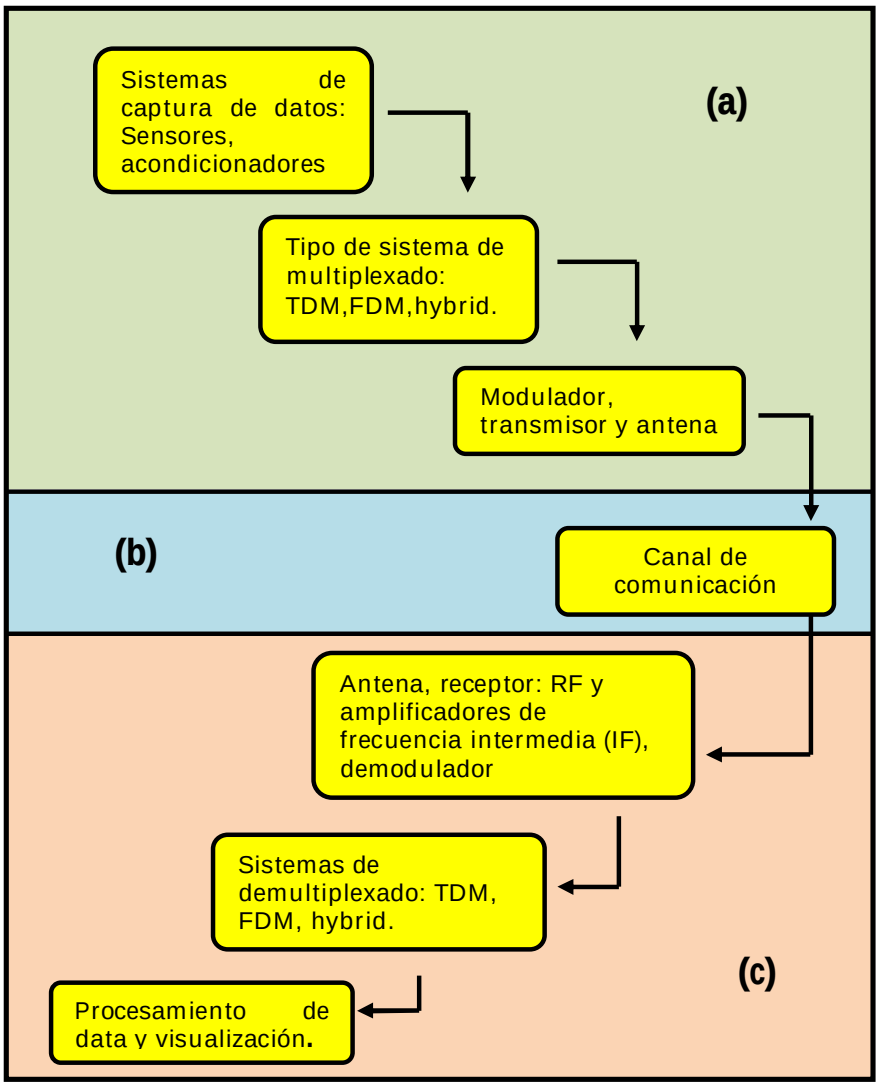


Figura 2.3.- Esquema de un sistema de telemetría: (a) Captura y transmisión de datos (b) Medio de Transmisión (c) Equipo receptor de monitoreo [7].

2.3. Sistema Global de Comunicaciones Móviles

Para abordar el tema del Sistema Global de comunicaciones móviles o GSM es importante conocer los antecedentes de evolución de la telefonía móvil, formando éste último parte importante del desarrollo de las telecomunicaciones en el mundo, como se detalla en el subtema siguiente.

2.3.1. Evolución de la telefonía móvil

La telefonía móvil fue ampliamente desarrollada y de forma paralela, tanto en los Estados Unidos de Norteamérica como en los países nórdicos, éstos

últimos debido a su complicada geografía hacían imprescindible el uso de las telecomunicaciones inalámbricas. En las líneas siguientes se detalla los puntos importantes de la historia de la telefonía móvil:

- La corporación AT&T (*American Telephone and Telegraph*) introdujo el primer servicio telefónico móvil en los Estados Unidos el 17 de junio de 1946 en San Luis, Missouri (EEUU). Estos sistemas telefónicos móviles se basaban en transmisión de Frecuencia Modulada (FM).
- En 1956, la compañía Bell System ofrecía servicios en los 450 MHz, la cual era una nueva banda para disponer de una mayor capacidad.
- A mediados de los años 60, Bell System introdujo el Servicio Telefónico Móvil Mejorado IMTS (por sus siglas en inglés*, Improved Mobile Telephone System*) con características avanzadas. Las mejoras en el diseño del transmisor y receptor permitieron una reducción en el ancho de banda del canal de FM de 25-30 KHz.
- A finales de los años 60 y principios de los 70 el trabajo comenzó con los primeros sistemas de telefonía celular. Las frecuencias no eran reutilizadas las celdas adyacentes para evitar la interferencia en estos primeros sistemas celulares.
- En enero 1969, la Bell System aplicó por primera vez el reuso de frecuencias en un servicio comercial para teléfonos públicos de la línea del tren de N.Y. a Washington D.C.
- Dos mejoras importantes hicieron el concepto de servicio celular una realidad a principios de los 70, porque se inventó el microprocesador y la segunda mejora fue en el uso de un enlace de control digital entre el teléfono móvil y la estación base.
- En 1978, en EE.UU. comenzó a operar el Servicio Telefónico Móvil Avanzado o AMPS (por sus siglas en inglés *Advanced Mobile Phone Service*).
- En Europa, el sistema celular de Telefonía Móvil Nórdico o Nordic Mobile Telephone System (NMT450), inició operaciones en Dinamarca, Suecia, Finlandia y Noruega en el rango de 450 MHz.
- A finales de los años 80, el interés emergió hacia los sistemas celulares de tipo digital, donde ambos, la voz y el control fueran digitales.
- En 1990, el sistema celular en EE.UU. agregó una nueva característica: el tráfico de la voz se convierta en digital.
- En 1989 surge GSM primero conocido como Grupo Especial Móvil y luego como Sistema Global para Comunicaciones Móviles, unificando los sistemas europeos.
- En 1994, la empresa Qualcomm. Inc, propuso un escenario de espectro esparcido para incrementar la capacidad, el Acceso Múltiple por División de Código o Code Division Multiple Access (CDMA) prometía de 10 a 20 veces mayor capacidad.
- El 14 de enero de 1997, la Comisión Federal de Comunicaciones ó FCC (por sus siglas en inglés, *Federal Communications Commission*) abrió un nuevo grupo de frecuencias inalámbricas que permitía el desarrollo de las tecnologías como CDMA: a la banda de 1900. El PCS 1900 nacía como contraparte en el dominio de la frecuencia del sistema GSM [URL 2.2.].

En la tabla 2.1 se muestra en orden cronológico la evolución de las tecnologías móviles según José María Hernando Rábanos, autor del libro “Comunicaciones Móviles” del año 2004 [8], aclarando que se tratan de tecnologías utilizadas hasta la tercera generación.

Tabla 2.1.- Evolución de las tecnología móviles según José María Eduardo Rábanos hasta la 3era generación [8].

EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS MÓVILES HASTA UMTS	
AMPS	(*Advanced Mobile Phone Service*): Red PLMN analógica utilizada en Estados Unidos
CAI	(*Common Air Interface*): Interfaz común para sistemas de telefonía inalámbrica
CT	(*Cordless Telecommunications*): Sistema de Telefonía inalámbrica
D-AMPS	(*Digital-AMPS*): Version digital de AMPS para Estados Unidos
DECT	(*Digital Enhaced Cordless Telecommunications*): Sistema avanzado de yelefonía inalámbrica.
ERMES	(*European Radio Messagerie System*): Sistema paneuropeo de radiomensajería digital.
GSM	(*Global System for Mobile communications*): Red PLMN digital en la banda de 900, 1800,1900 y 800 MHz en América.
IMT-2000	(*International Mobile Telecommunications*): Abreviatura que engloba las redes PLMN de tercera generación.
IS	(*Interin Standard*): Normal interina para redes PLMN de Estados Unidos.
JDC	(*Japan Digital Cellular*): Red PLMN de Japón.
NMT	(*Nordiska Mobil Telephongruppen*): Red PLMN analogical desarrollada en los países nórdicos europeos.
PAMR	(*Public Access Mobile Radio*): Redes PMR que permiten la prestación de servicios a terceros.
PLMN	(*Public Land Mobile Telecommunications*): Red telefónica móvil terrestre.
TACS	(*Total Access Communication System*): Versión europea del sistema AMPS aplicada en redes de numerosos países.
TETRA	(*Terrestrial Trunking Radio*): Sistema de medio troncalizado para aplicaciones de PAMR.
TFTS	(*Terrestrial Flight Telephone System*): Red PLMN, para comunicaciones desde aeronaves.
UMTS	(*Universal Mobile Telecommunications System*): Sistema móvil de 3º Generación en curso de especificación y despliegue en la Unión Europea.

De la tabla anterior se consideran cinco las tecnologías más importantes de la segunda generación: GSM, iDEN (*integrated Digital Enhaced Network*), IS-95 (también llamada CDMA-one), PDC (*Personal Digital Cellular*) y IS-136 ó también llamado D-AMPS.

Con el paso de los años, las tecnologías de Acceso Múltiple por División de Tiempo se incorporaron en un principio al sistema GSM a través de la versión mejorada de GSM denominada Servicio General de Paquetes vía Radio ó GPRS (*General Packet Radio Service*) , mientras que en el caso de la tecnología iDEN y PDC se unificaron en la tercera generación incorporándose así al sistema GSM con el nombre de Acceso Múltiple por División de Código de Espectro Ensanchado ó WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) o también conocido como UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*).

Teniendo como plataforma base a GSM, muchas mejoras surgieron a partir de ella como es el caso de HSCSD (*High Speed Circuit Switched Data* ó circuitos conmutados de alta velocidad), cabe mencionar también que la versión mejorada de GPRS es la tecnología EDGE (*Enhaced Date Rates for GSM Evolution*) ofreciéndonos así de 384 kbps envío de data a comparación de los 115 kps que nos proporcionaba GPRS. Esta tecnología continuó en evolución hacia la tecnología E-EDGE (*Evolved - Enhaced Date Rates for GSM Evolution*).

La figura 2.4., muestra las generaciones y tipos de tecnologías móviles de forma cronológica y detallada rigurosamente, luego de consultar diferentes literaturas [8], [9], [10], [URL 2.3.], [URL 2.4.], [URL 2.5.], [URL 2.6], [URL 2.7], [URL 2.8], [URL 2.9].

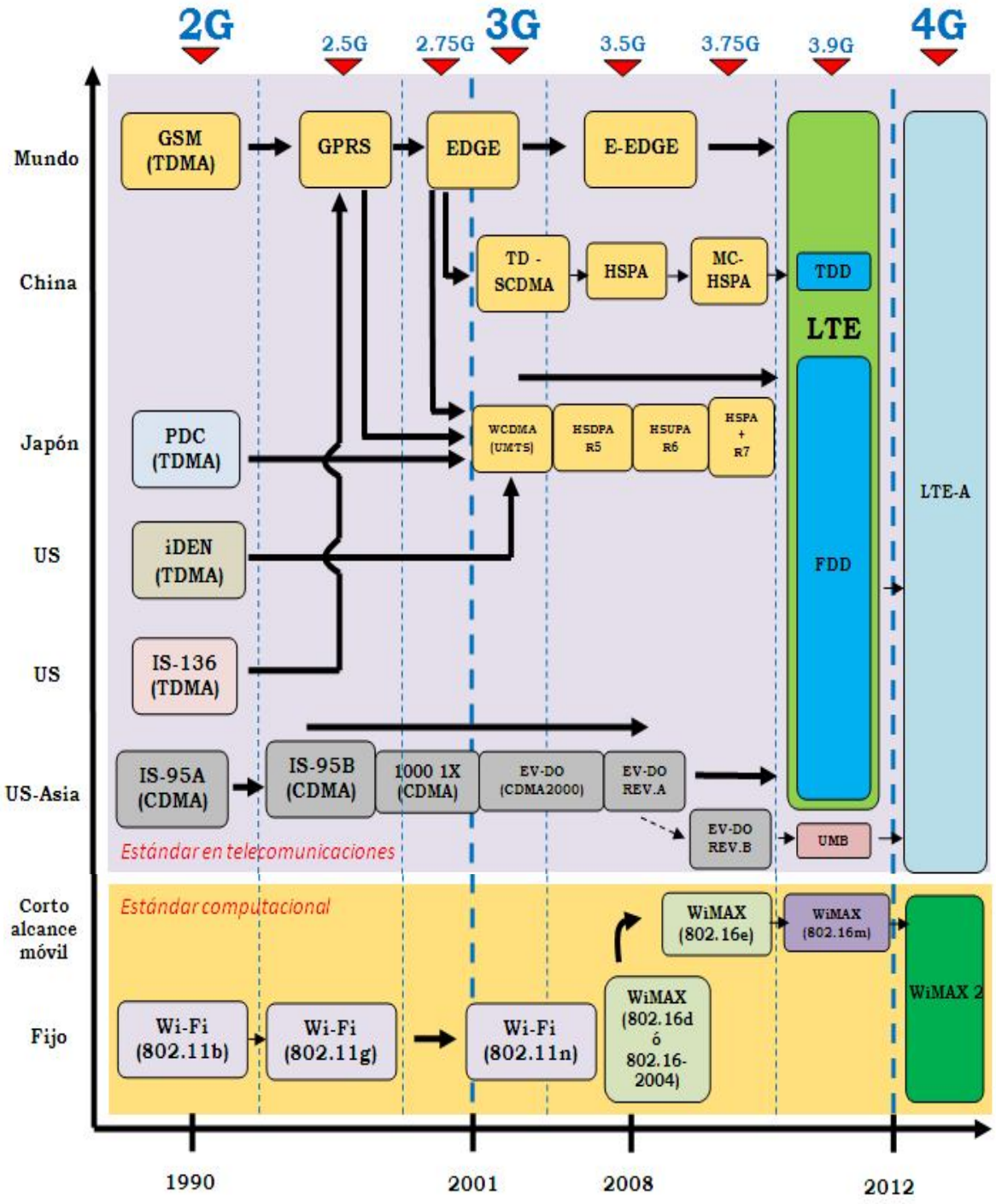


Figura 2.4.- Evolución global de las tecnologías móviles en el mundo a partir de la 2º generación.

De los detalles anteriores, podemos concluir que a la fecha las tecnologías móviles pasaron de ser analógicas a digitales, estando actualmente en la 4º generación, desde los primitivos sistemas de radiomensajería y radiotelefonía

analógico: SIMULCAST [8], AMPS (*Advanced Mobile Phone Service*), TACS (*Total Access Communication System*) y NMT (*Nordiska Mobil Telephongruppen)* respectivamente, hasta los próximos LTE-A (*Long Term Evolution Advanced*) y Wimax 2 como sistemas unificadores de tecnologías móviles precedentes, donde la tendencia es la convergencia, a diferencia de la tecnologías basadas en Acceso múltiple por División de Tiempo ó TDMA (*Time Division Multiplexing Access)* y en Acceso Múltiple por División de Código ó CDMA (*Division Multiplexing Access*) que no lo hacían en un principio.

Cabe resaltar que en diciembre del 2008, se llegó a conformar un grupo especial de colaboración en tecnología móvil, con el objetivo de unificar las tecnologías de tercera generación existentes y basadas en la red de GSM, desde GPRS, EDGE, W-CDMA, HSPA, LTE hasta LTE Avanzado; denominado 3GPP (*3erd Generation Partnership Project*) [URL 2.3.].

En ese mismo año, se conformó el segundo proyecto unificador de tecnologías llamado 3GPP2, que consistía en unir las tecnologías de tercera generación pero éstas basadas en el estándar IS-95 o CDMA [URL 2.4.], [URL 2.5.]. En la figura 2.5 se muestra las tecnologías agrupadas en el proyecto 3GPP y 3GPP2.

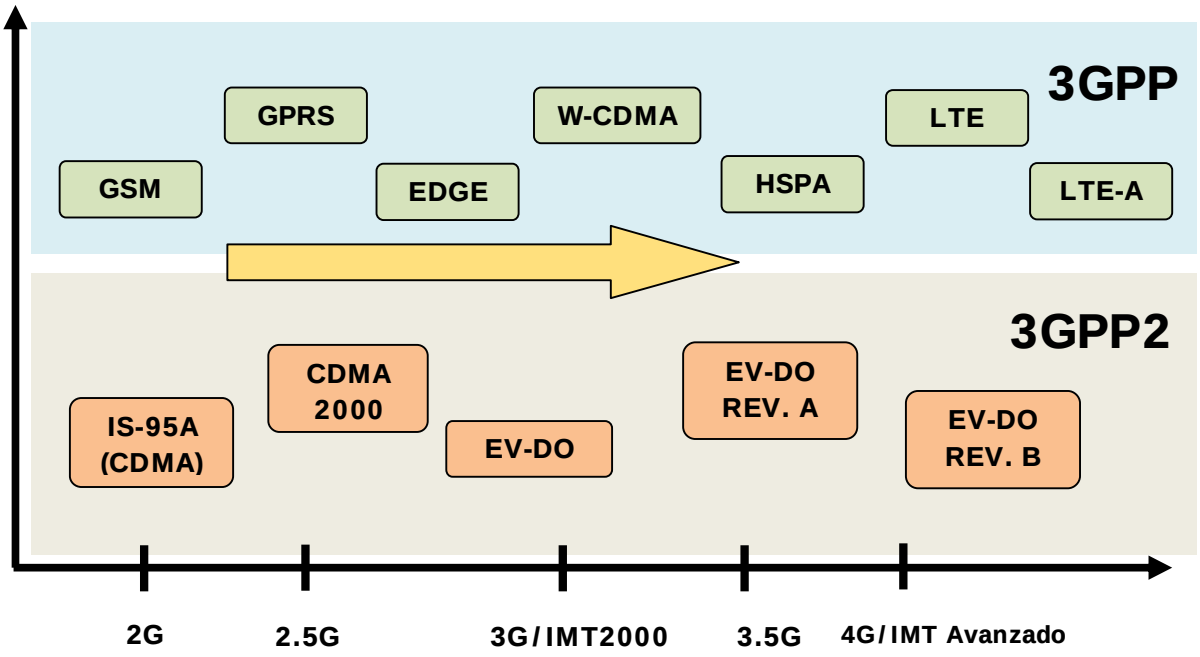


Figura 2.5.- Tecnologías agrupadas en el proyecto 3GPP y 3GPP2.

El desarrollo de la tecnología móvil en el Perú no fue esquivo a todo este proceso de desarrollo constante que a lo largo de 20 años ha experimentado avances realmente significativos al margen de las fusiones realizadas a nivel empresarial como el caso de Tele 2000, Bellsouth y TIM por mencionar entre las principales, contando finalmente con tres empresas que brindan servicios de telecomunicación a nivel nacional: Movistar, Claro y Nextel. En la figura 2.6 se muestra los avances de la telefonía móvil en el Perú por tipo de generación y empresa de servicios.

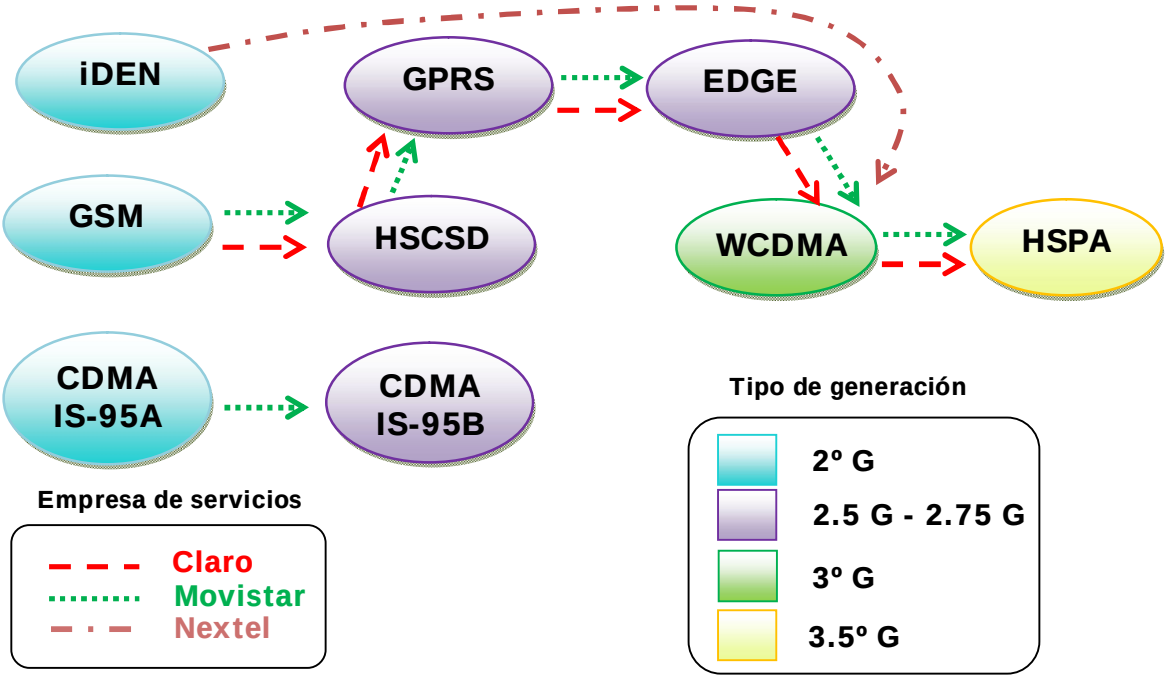


Figura 2.6.- Evolución general de las tecnologías móviles en el Perú según el tipo de generación y empresa de servicios (1991-2011).

2.3.2. Velocidades de transmisión en la telefonía móvil

En la figura 2.7 y tabla 2.2 se detallan las velocidades de transmisión alcanzadas hasta el momento a nivel mundial.

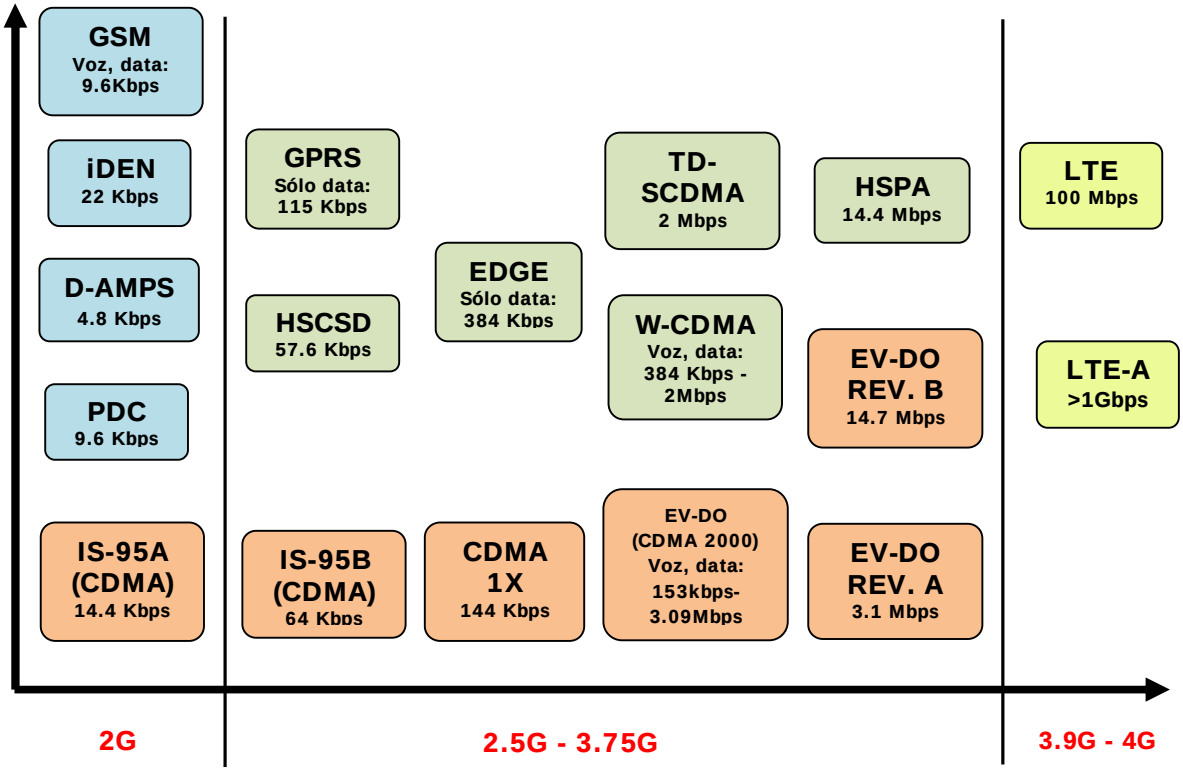


Figura 2.7.- Velocidad en *downlink* de las tecnologías móviles [9], [URL 2.4.].

Tabla 2.2.- Velocidad de descarga de las tecnologías móviles.

TECNOLOGÍA	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN
GSM	9.6 Kbps
iDEN	22 Kbps
D-AMPS	4.8 Kbps
PDC	9.6 Kbps
IS-95A(CDMA)	14.4 Kbps
GPRS	115 Kbps
HSCSD	57.6 Kbps
IS-95B(CDMA)	64 Kbps
EDGE	384 Kbps
CDMA-1X	144 Kbps
TD-SCDMA	2 Mbps
W-CDMA	Voz: 384 Kbps, Data: 2 Mbps
EV-DO (CDMA 2000)	Voz: 153 Kbps, Data: 3.09 Mbps
HSPA	14.4 Mbps
EV-DO REV. A	3.1 Mbps
EV-DO REV. B	14.7 Mbps
LTE	100 Mbps
LTE A	>1 Gbps

Es necesario señalar que la velocidad de transmisión está referida a la velocidad de descarga o *downlink*.

2.3.3. Tecnologías de acceso múltiple.

Desde los inicios de la comunicación digital siempre ha existido el problema de que muchos usuarios de servicios inalámbricos quieren comunicarse a la vez en un área geográfica común, considerando además un recurso fijo y restringido para canalizar las comunicaciones denominado Espectro Radioeléctrico asignado. La solución para ello es la utilización de técnicas de asignación de recursos radioeléctricos y lógicos, que permitan acceder a múltiples usuarios a la vez y hacer uso de la reutilización de los recursos de radio. Estas técnicas se denominan Tecnologías de acceso múltiple [11].

En la tabla 2.3 se lista las técnicas de acceso múltiple:

Tabla 2.3.- Técnicas de acceso múltiple.

Siglas	Tipo de acceso múltiple
FDMA	Acceso Múltiple por División de Frecuencia
TDMA	Acceso Múltiple por División de Tiempo
CDMA	Acceso Múltiple por División de Código
SDMA	Acceso Múltiple por División de Espacio

Asimismo se puede tener combinaciones de dichas técnicas para lograr una mayor eficiencia como por ejemplo:

FDMA – CDMA → Usado por el sistema IS-95, IS-2000.
FDMA – TDMA → Usado por el sistema GSM
SDMA – FDMA – CDMA → Usado por el sistema Globalstar.

a) Acceso Múltiple por División de Frecuencias

La técnica de Acceso Múltiple por División de Frecuencias permite canalizar diferentes comunicaciones asignando a cada uno, una determinada frecuencia que identifica a un determinado canal de radio, es decir que la diferenciación entre un canal y otro se hace con la frecuencia asignada [11].

Dicho canal tiene las siguientes características:

- Ancho de Banda fijo. Ej.: 30 KHz.
- Esquema de Modulación determinado. Ej.: QPSK.
- Identificación del canal en el espectro: Número de canal dentro del espectro de radio. Ej.: ARFCN 512.
- Identificación del canal en la red: Identificación de la radiobase al que pertenece. Ej.: SAT 12.

Ejemplo de un sistema FDMA puro es el AMPS (Analogic Mobile Phone System).

La figura 2.8 ilustra el mecanismo de la técnica de Acceso Múltiple por División de Frecuencia.

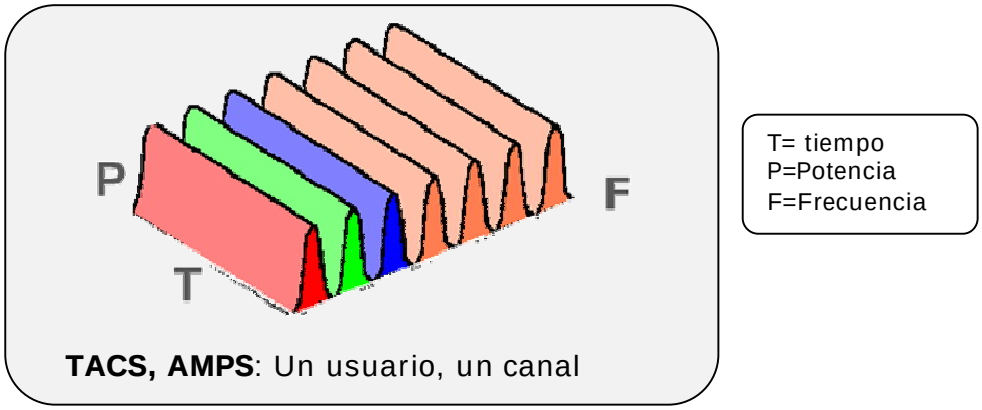


Figura 2.8.- Ilustración de la técnica de Acceso Múltiple por División de Frecuencias.

b) Acceso Múltiple por División de Tiempo

La técnica de Acceso Múltiple por División de Tiempo permite canalizar diferentes comunicaciones asignando a cada una un espacio de tiempo determinado (también denominado *Time Slot*) que identifica a un determinado canal. Es decir que la diferencia entre un canal y otro se hace con el *time slot* [11].

Esta técnica se usa siempre en combinación con FDMA, lo que implica que los canales de usuario tengan las siguientes características:

- Ancho de Banda del canal de radio.
- Esquema de Modulación.
- *Time Slot* Asignado (y número de time slots en los que se divide cada canal radio)
- Identificación del canal en el espectro.
- Identificación del canal en la red.

Ejemplo de sistemas TDMA-FDMA son el GSM y el iDEN.

La figura 2.9 ilustra el mecanismo de la técnica de Acceso Múltiple por División de Tiempo.

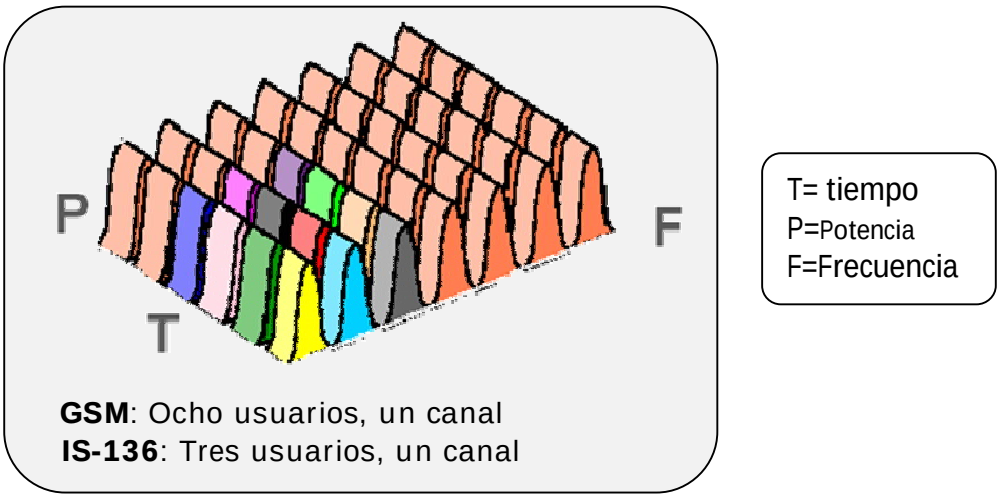


Figura 2.9.- Ilustración de la técnica de Acceso Múltiple por División de Tiempo.

c) Acceso Múltiple por División de Código.

La técnica de Acceso Múltiple por División de Código permite canalizar diferentes comunicaciones asignando a cada una un determinado código que identifica a un determinado canal de usuario. Es decir que la diferenciación entre un canal y otro se hace con el código asignado [11].

Esta técnica se puede usar sola o en combinación con FDMA o TDMA. Los canales de usuario tienen las siguientes características.

- Ancho de Banda del canal de radio.
- Esquema de Modulación.
- Código de usuario asignado.
- Velocidad de Código Asignado.
- Identificación del canal en la red.
- Identificación de canal en el espectro.

Ejemplo de sistemas CDMA son: IS-95 o CDMAone, WCDMA, CDMA 2000.

La figura 2.10 ilustra el mecanismo de la técnica de Acceso Múltiple por División de Código.

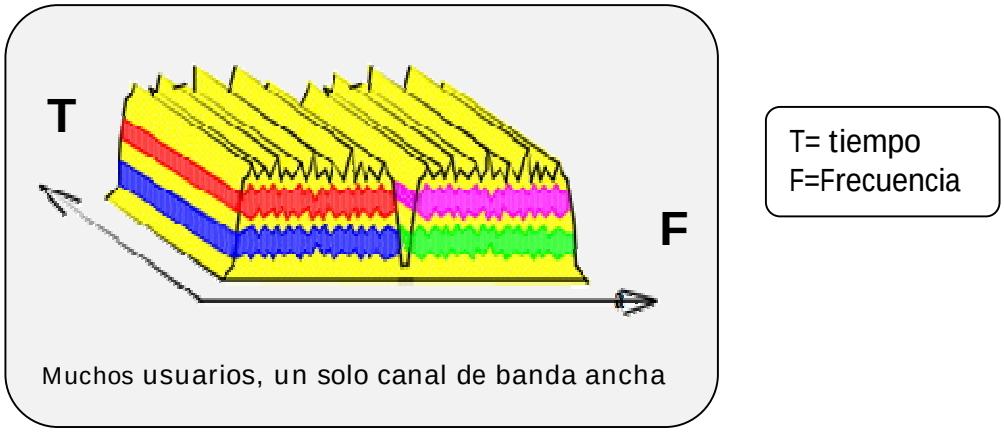


Figura 2.10.- Ilustración de la técnica de Acceso Múltiple por División de Código.

2.3.4. Introducción a la tecnología GSM

El Sistema Global para Comunicaciones Móviles, o también denominado GSM (que originalmente se llamó Grupo especial Móvil), surgió a partir de la Conferencia Europea de correos y administración de telecomunicaciones CEPT (del Francés, *Conférence européenne des administrations des postes et télécommunications*) donde se propuso la estandarización de tecnologías móviles europeas en el año 1982. GSM es el estándar de comunicación móvil más difundido a nivel mundial, la Asociación GSM estima que el 80 % del mercado mundial de las telecomunicaciones usa el estándar [URL 2.10.]. GSM a comparación de tecnologías predecesoras difiere en que tanto la señalización y los canales de voz son digitales, por esa razón se considera como segunda generación en los sistemas de telefonía móvil, no obstante su facilidad de integración y actualización a mejoras hacen posible la escalabilidad hacia nuevos servicios soportados e incorporaciones en su arquitectura.

El estándar GSM ha sido a su vez ventaja tanto para los consumidores, que pueden beneficiarse gracias a la capacidad de cambiar de proveedor sin sustitución de sus aparatos celulares, y también a los operadores de red, que pueden elegir el equipo de muchos proveedores de equipos GSM. Fue la pionera en la implementación del servicio de mensaje corto SMS (Short Message Service), también denominado Servicio de Mensajes de Texto.

2.3.5. Arquitectura de la tecnología GSM.

La arquitectura funcional del sistema GSM puede ser dividida como se observa en la figura 2.11.:

Descripción:

- Estación Móvil (MS).
- Sistema de Estación Base (BSS).
- Sistema de Red (NSS).

- Sistema de Operación (OSS).

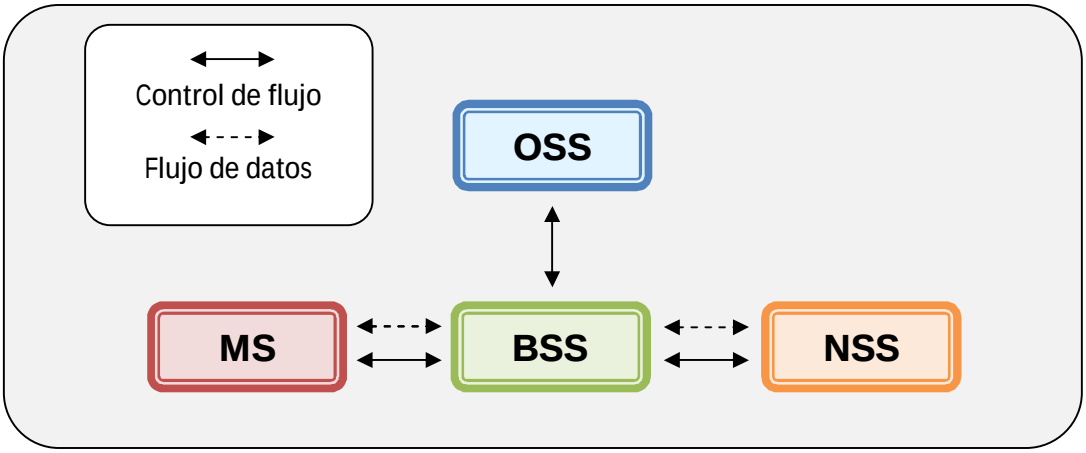


Figura 2.11.- Arquitectura funcional del sistema GSM [URL 2.11.].

Para entender cada una de las definiciones, se hará una breve descripción de cada uno de los componentes:

a) La Estación Móvil (MS)

La estación móvil ó *Mobile Station* (MS) es el equipo móvil o terminal móvil (TM), que puede soportar la conexión de terminales externos como la interfaz para una PC o un FAX, y una tarjeta inteligente llamada Subscriber Identity Module (SIM). El SIM proporciona movilidad personal, lo que permite que el usuario tenga acceso a los servicios suscritos en forma independiente por medio de la inserción de la tarjeta SIM en otro terminal GSM.

La estación móvil es identificada por el *International Equipment Identity* (IMEI). La tarjeta SIM contiene el *International Mobile Subscriber Identity* (IMSI) usado para identificar al suscritor en el sistema, luego una clave de autenticación y otras informaciones.

El IMEI y el IMSI son independientes, permitiendo así la movilidad personal [URL 2.11.].

b) Sistema Estación Base (BSS)

El sistema de estación base o *Base Station System* (BSS) se compone de dos partes: La estación base transceptora o *Base Transceiver Station* (BTS) localizada en la antena y la controladora de estación base o *Base Station Controller* (BSC). Ambos se comunican a través de la interfaz llamada A-bis permitiendo operación entre componentes manufacturados por distintos fabricantes.

El BTS contiene a los *transceivers* de radio que definen una célula y maneja los protocolos de radio de la interfaz con la estación móvil. Debido al número potencialmente grande de estaciones bases, los requisitos para una BTS son confiabilidad, portabilidad y costo mínimo.

El BSC maneja los recursos de radio para una o más estaciones base. El BSC maneja la configuración de las comunicaciones de radio, *handoff*, etc. Es la conexión entre la estación base y el MSC.

GSM utiliza el modelo OSI (*Open System Interconection*) para regir los protocolos de comunicación entre sus elementos de red. Hay tres interfaces basadas en OSI, la figura 2.12 muestra la arquitectura funcional e interfaces principales:

- Una interfaz de radio común, llamada interfaz de aire, entre la estación móvil y la estación base.
- Una interfaz A entre el MSC y el BSC.
- Una interfaz A-bis entre la BTS y el BSC.

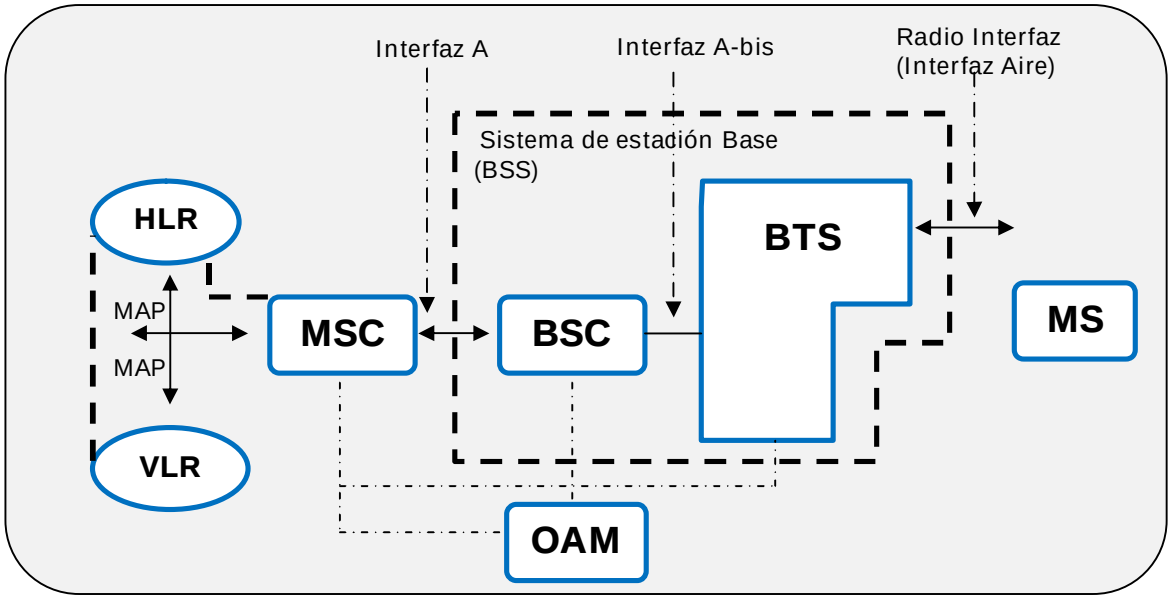


Figura 2.12.- Arquitectura funcional e interfaces principales [URL 2.11.].

Con estas interfaces comunes, los operadores de los sistemas pueden comprar el equipamiento a distintos fabricantes y conectarlos sin problemas. La diferencia entre interfaz y protocolo es que la interfaz representa el punto de contacto entre dos entidades adyacentes (equipo o sistema) y el protocolo provee el flujo de datos perteneciente a diferentes protocolos.

c) El Sistema de Red (NSS)

El Sistema de Red o *Network and Switching System* (NSS) en GSM utiliza una red inteligente (IN). El componente principal del sistema de la red es el *Mobile Services Switching Center* (MSC). Actúa como un nodo normal de conmutación PSTN (Red Telefónica Pública Conmutada, *Public Switched telephone network*) o ISDN (Red Digital de Servicios Integrados, *Integrated Services Digital Network*) y además proporciona todas las funcionalidades necesarias para manipular un usuario móvil incluyendo: registro, autenticación, actualización de la localización, *handoff* entre MSC's y encaminamiento de llamada a un suscriptor *roaming* [URL 2.11.]. La figura 2.13 muestra el subsistema NSS y sus elementos asociados.

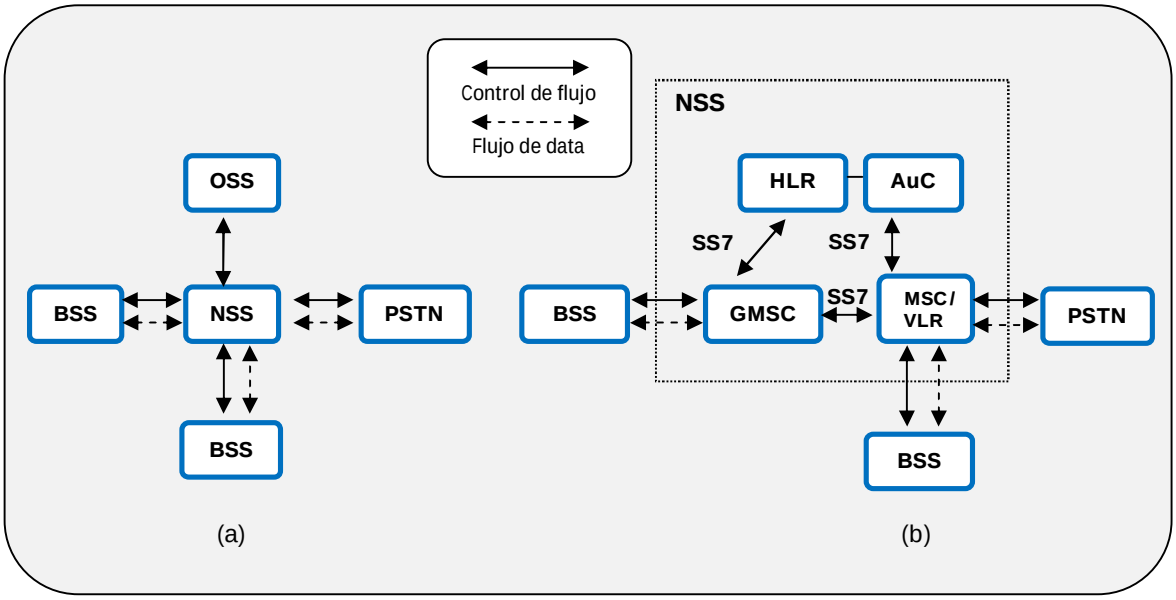


Figura 2.13.- NSS y sus elementos asociados. (a) Estructura externa. (b) Estructura interna.

El MSC proporciona la conexión a la red fija (PSTN o ISDN).

Estos servicios son provistos con cuatro bases de datos inteligentes, las cuales junto con el MSC forman el Sistema de Red. El MSC también proporciona las conexiones a la red pública fija.

El *Home Location Register* (HLR) contiene toda la información administrativa de cada suscriptor registrado en la red GSM correspondiente, junto con la localización general del suscriptor, pero no la actual. La localización es usada al realizar el encaminamiento de llamadas entrantes hacia el móvil (típicamente es la dirección SS7-Sistema de señalización por canal común nº 7- del MSC visitado).

Hay lógicamente un HLR por red GSM, aunque la base de datos puede ser implementada como base de datos distribuida.

El *Visitor Location Register* (VLR) contiene información administrativa seleccionada proveniente del HLR, necesaria para el control de la llamada y provisión de servicios subscritos, para cada móvil localizado en el área geográfica controlada por el VLR.

Aunque el VLR puede ser implementado como una unidad independiente, se le relaciona junto al MSC. La proximidad de la información de VLR al MSC acelera el acceso a la información que el MSC requiere durante una llamada. Es preciso resaltar que el MSC no contiene información particular acerca de las estaciones móviles, esta información es guardada en los registros de ubicación.

Los otros dos registros se utilizan con el propósito de autenticación y seguridad. El registro *Equipment Identity Register* (EIR) es una base de datos que

contiene una lista de todos los equipos móviles válidos en la red, donde cada equipo móvil es identificado por su *International Mobile Equipment Identity* (IMEI). Un IMEI es una subdivisión del HLR.

El *Authentication Center* (AuC) es una base de datos protegida que salva una copia de la clave secreta (*password*) guardada en la tarjeta SIM de cada suscriptor usada para la autenticación. Es, también, una subdivisión del HLR.

En orden de establecer un pedido de llamada, ésta es inicialmente ruteada hacia el GMSC (*Gateway MSC*), quien busca el actual HLR debido a que conoce el número de directorio del abonado GSM. El GMSC tiene una interfaz con la red de trabajo externa para hacer la acción de *gatewaying*, la cual también opera con señalización SS7 entre las máquinas NSS [URL 2.11.].

El Centro de Servicio de Mensajes Cortos o SMSC (*Short Message Service Center*) es un elemento de la red que maneja el envío de un SMS de un terminal a otro. En el caso de que el terminal de recepción esté desconectado a la red, el SMSC se encarga de almacenar el SMS hasta que el terminal vuelva a conectarse.

d) El sistema de operación (OSS)

Hay tres áreas que componen el Sistema de Operación y Mantenimiento u *Operation and Maintenance Sub System* (OSS), como lo muestra la figura 2.14:

- Funciones de operación y mantenimiento de Red.
- Gestión de subscripción, incluyendo precio y tasación.
- Gestión del equipo móvil.

Para la realización de éstas tareas se necesita interacción entre algunos o todos los elementos de red. El OSS es implementado en cualquier red de trabajo existente [URL 2.11.].

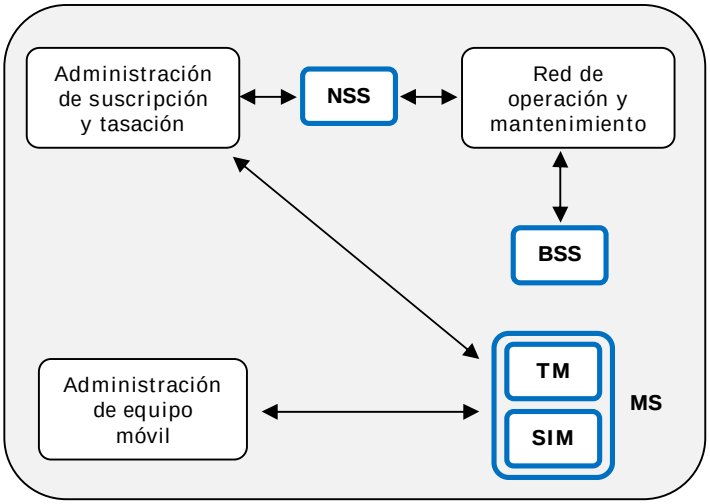


Figura 2.14.- Organización del Subsistema de Operación.

La figura 2.15 muestra la arquitectura básica de una red GSM:

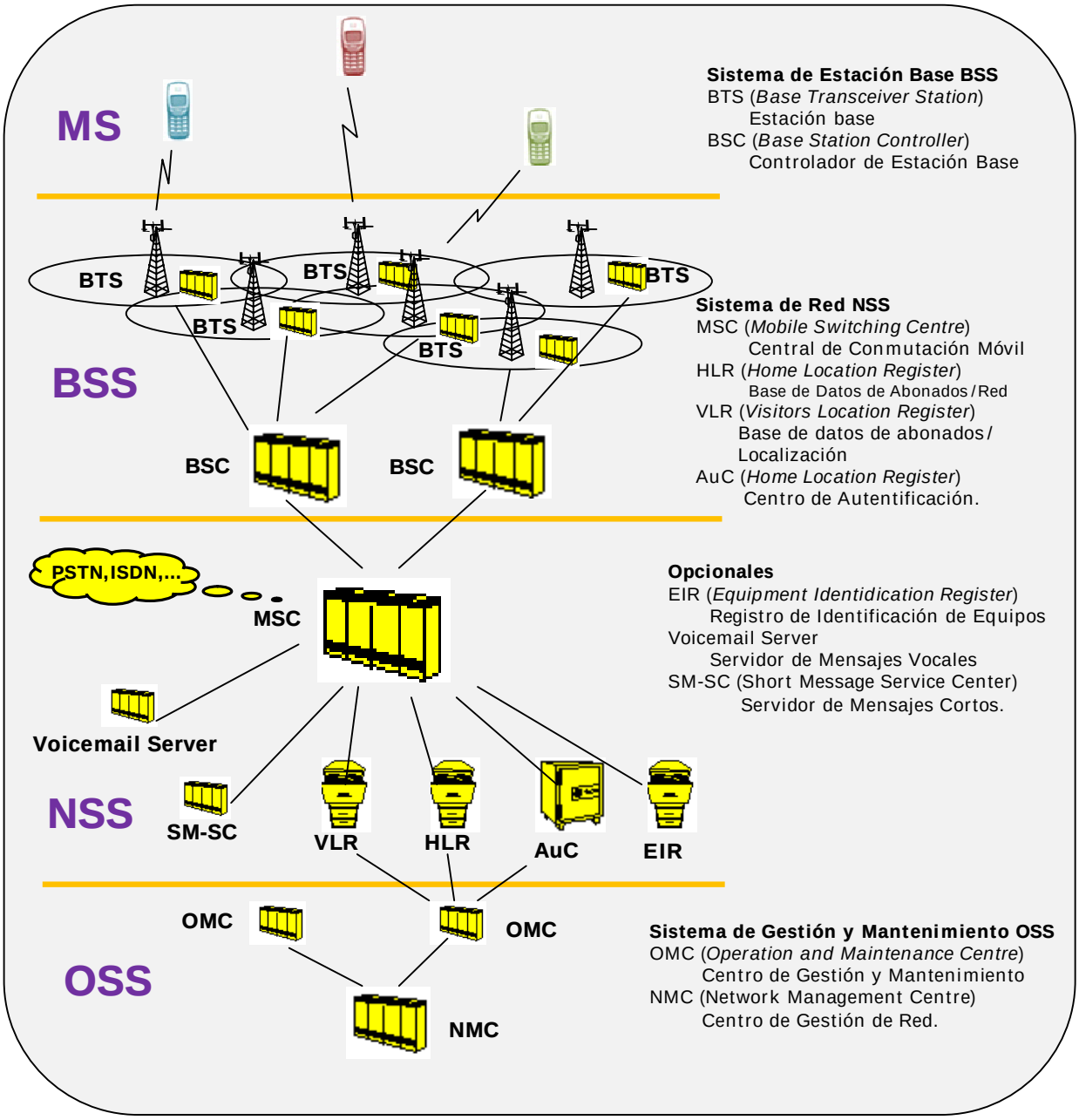


Figura 2.15.- Esquema general de la arquitectura básica de una red GSM.

En la figura 2.16., se detalla otro esquema general de una red GSM.

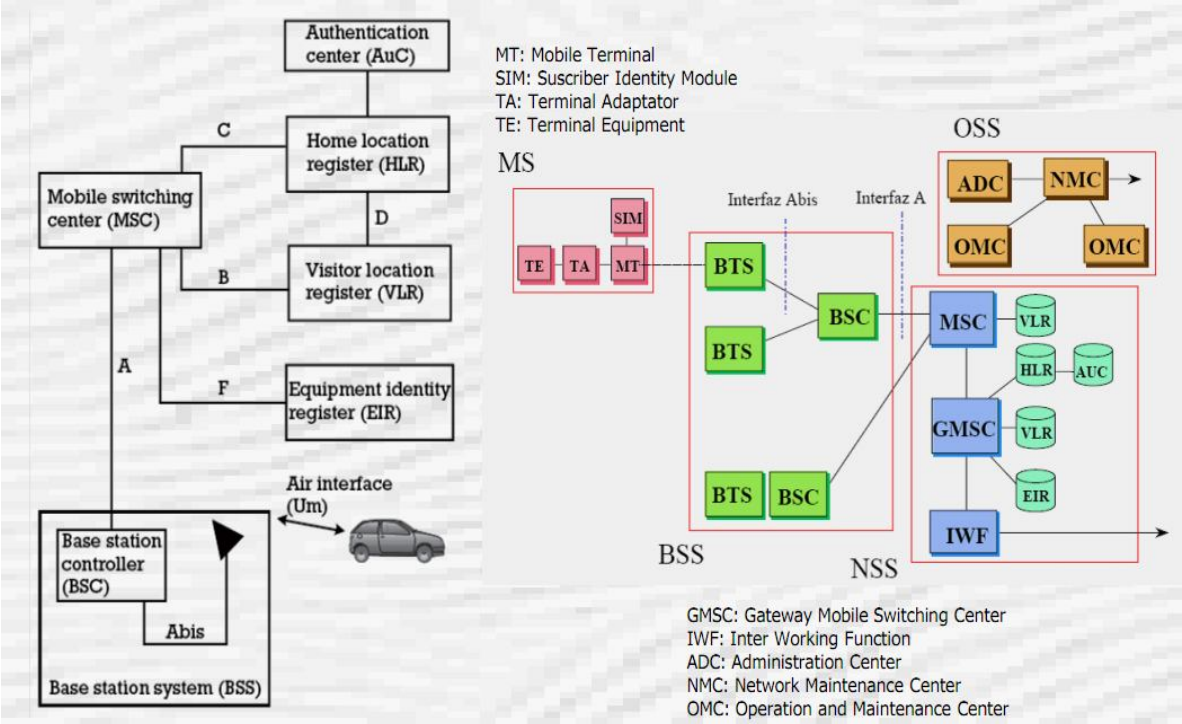


Figura 2.16.- Esquema básico de una red GSM [12].

2.3.6. Banda de frecuencias GSM

El servicio de telefonía móvil en el Perú creció de forma acelerada durante los últimos años, entre el año 2001 al 2007 en promedio ha crecido 43% anual, entre el 2006 al 2007 creció 76% [12], a fines del 2009 la penetración a nivel nacional llegó al 80% y a fines del 2010, llegó al 90% [URL 2.12.].

Hasta el año 2001 sólo dos empresas brindaban el servicio (Telefónica Móviles y Bell South Perú S.A.) a partir de ese año ingresó al mercado TIM Perú S.A., cabe mencionar que la empresa Nextel del Perú también brindaba el servicio de radiotroncalizado y celular pero dirigido al sector corporativo [13].

El año 2005 ingresó al mercado América Móviles S.A. y compró a TIM Perú S.A. Nextel en el año 2008 adquirió licencias para brindar servicio celular en 3G usando tecnología WCDMA [URL 2.13.].

A inicios del 2011 se incorporó al mercado peruano un cuarto operador celular de capitales Vietnamitas llamado Viettel, compitiendo con las actuales empresas Movistar, Nextel y Claro. [URL 2.14.]. La buena pro fue en dar en concesión la banda C de la frecuencia de 1900.

En la siguiente tabla 2.4., se detalla la asignación de bandas y frecuencias asignación frecuencias para telefonía móvil en Perú:

Tabla 2.4.- Asignación de bandas y frecuencias para telefonía móvil en Perú al año 2011 [12], [13], [URL 2.14.].

Frecuencia	Banda	Rango de Frecuencias				Total (MHz)	Empresa	Área de Asignación
		Ida (MHz)		Retorno (MHz)				
850 MHz	A, A'', A'	824	835	869	880	25	Movistar	A nivel nacional
		845	846.5	890	891.5			
	B	835	845	880	890	25	América Móviles	A nivel nacional
		846.5	849	891.5	894			
	B1	846.5	847.75	891.5	892.75	2.5	Valtron	Rural Huarochirí
	B2	847.75	849	892.75	894	2.5	Disponible	
1900 MHz	A	1850	1865	1930	1945	30	América Móviles	A nivel nacional
	D	1865	1870	1945	1950	10	Nextel	A nivel nacional
	B	1870	1882.5	1950	1962.5	25	Movistar	A nivel nacional
	E	1882.5	1895	1962.5	1975	25	Nextel	A nivel nacional
	C	1895	1910	1975	1990	30	Viettel	A nivel nacional

2.3.7. Modulación en GSM

Debido a las características del canal de radio, el sistema de modulación usado en GSM debe tener una alta eficiencia espectral y presentar una fuerte resistencia frente a los efectos nocivos que introduce el canal de radio. El grupo de esquemas de modulación con fase continua y envolvente constante se usa mucho en sistemas con atenuación variable debido a su robustez frente a las interferencias y la atenuación. Cuanto más lentos y suaves sean los cambios en la fase, mejor es la eficiencia espectral. Un tipo de modulación que reúne estas características es GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keyng*), el cual se deriva de MSK (*Minimum Shift Keyng*).

El parámetro de GMSK que controla el ancho de banda y resistencia a interferencias es el producto del ancho de banda de 3 dB (B) por la duración de un bit (T). El mejor rendimiento se obtiene para BT=0.3, aunque éste produce un solapamiento no despreciable entre canales de frecuencias adyacentes. Esto introduce interferencias que se pueden minimizar si no hacemos uso de frecuencias adyacentes [URL 2.15.].

a) Modulación MSK (*Minimum Shift Keying*)

MSK es un tipo especial de modulación FSK (*Frecuency Shift Keying),* con fase continua y un índice de modulación de 0.5. El índice de modulación de una señal FSK es similar al de FM, y se define por $k_{FSK}= (2\Delta F)/R_b$, donde $(2\Delta F)$ es el desplazamiento en frecuencia de pico a pico y R_b es el bit rate. Un índice de modulación de 0.5 se correlaciona con el mínimo espacio en frecuencia que permite que dos señales FSK sean ortogonales coherentes, MSK significa la mínima separación en frecuencia que permite una detección ortogonal.

MSK es una modulación espectralmente eficiente. Posee propiedades como envolvente constante, eficiencia espectral, buena respuesta ante los errores de bits, y capacidad de auto-sincronización. Una señal MSK de forma general se puede expresar como:

$$S_{MSK}(t) = m_I(t)\cos\left(\frac{\pi t}{2T_b}\right)\cos\left(2\pi f_c t\right) + m_Q(t)sen(2\pi f_c t) \qquad (2.1)$$

Donde $m_I(t)$ y $m_Q(t)$ son los bits pares e impares de la cadena de datos bipolares que tienen valores de +1 o de -1 y que alimentan los bloques en fase y en cuadratura del modulador.

La forma de onda MSK se puede ver como un tipo especial de FSK de fase continua y por tanto la ecuación anterior se puede reescribir usando las propiedades trigonométricas como

$$S_{MSK}(t) = \cos\left[2\pi f_c t - m_I(t) m_Q(t) \frac{\pi t}{2T_b} + \phi_k \right] \qquad (2.2)$$

donde ϕ_k es 0 ó π dependiendo de sí $m_I(t)$ es 1 ó -1. De la ecuación anterior se puede deducir que MSK tiene amplitud constante. La continuidad de fase en los periodos de transición de bits se asegura eligiendo la frecuencia de portadora en un múltiplo entero de un cuarto del bit rate. La fase de la señal MSK varía linealmente durante el transcurso de cada período de bit.

La figura 2.17 muestra el diagrama en bloques de un modulador y demodulador de tipo MSK. Multiplicando una señal portadora por cos[π t/2T], se producen dos señales coherentes en fase a las frecuencias f_c+1/4T y f_c-1/4T. Estas dos señales FSK se separan usando dos filtros pasa banda estrechos y se combinan apropiadamente para formar las dos señales en fase y en cuadratura, x (t) e y (t) respectivamente. Estas portadoras se multiplican con las cadenas de bits impares y pares, $m_I(t)$ y $m_Q(t)$ para producir la señal modulada MSK $S_{MSK}(t)$.

En el receptor (demodulador) de la figura 2.17. (b), la señal recibida $S_{MSK}(t)$ (en ausencia de ruido e interferencias) se multiplica por las portadoras respectivas en fase y en cuadratura. La salida de los multiplicadores se integra durante dos periodos de bit y se introduce en un circuito de decisión al final de estos dos períodos. Basado en el nivel de la señal a la salida del integrador, el dispositivo de decisión decide si la señal es 1 ó 0. Las cadenas de datos de salida se correlacionan con las señales $m_I(t)$ y $m_Q(t)$, y se combinan para obtener la señal demodulada.

b) Modulación GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*)

GMSK es un tipo de modulación binaria simple derivado de MSK [14]. La modulación MSK es variante de la modulación FSK, con la diferencia que no varía la fase durante la transmisión de dos bits consecutivos [13], de igual manera posee características muy similares a 0QPSK (*Offset Quadrature Phase Shift Keying*), donde los pulsos rectangulares son convertidos en pulsos de media onda sinusoidal, el medio seno puede ser positivo, negativo o alternado [15], MSK codifica cada bit como media sinusoide. Esto se traduce en una señal de módulo constante, lo que reduce los problemas causados por las distorsiones no lineales. Además de ser relacionados con 0QPSK, MSK también puede ser visto como una señal de cambio continuo de fase (CPFSK) con una separación de frecuencia de una tasa media de bits.

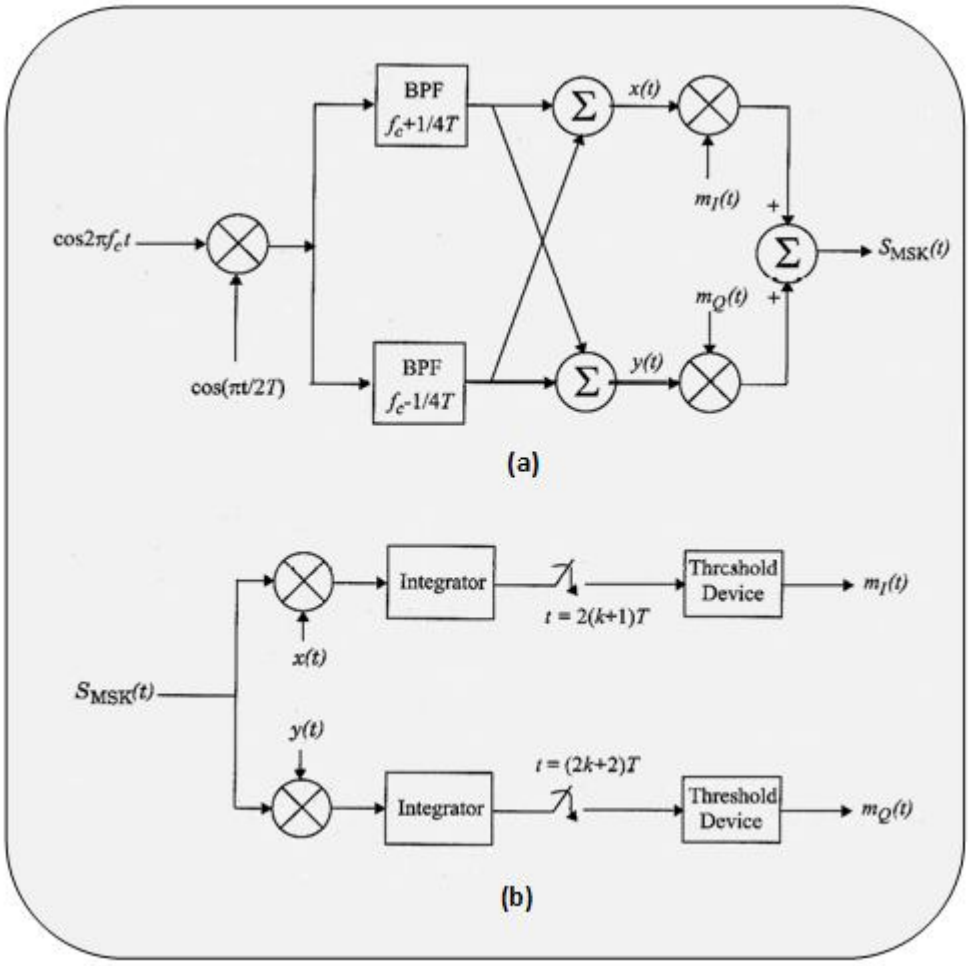


Figura 2.17.- Diagrama de bloques de un modulador y demodulador MSK: (a) Diagrama de bloques de un transmisor MSK. (b) Diagrama de bloques de un receptor MSK [URL 2.15.].

En GMSK, los lóbulos laterales del espectro de una señal MSK se reducen pasando los datos a modular a través de un filtro Gaussiano de pre-modulación. El filtro gaussiano atenúa la trayectoria de fase de la señal MSK y por tanto, estabiliza las variaciones de frecuencia instantánea a través del tiempo. Esto tiene el efecto de reducir considerablemente los niveles de amplitud de los lóbulos laterales en el espectro transmitido [14].

El filtrado convierte cada dato a modular (que ocupa en banda base un período de tiempo T) en una respuesta donde cada símbolo ocupa varios períodos. Sin embargo, dado que esta conformación de pulsos no cambia el modelo de la trayectoria de la fase, GMSK se puede detectar coherentemente como una señal MSK, o no coherentemente como una señal simple FSK. GMSK en campo posee excelente eficiencia espectral y de potencia. El filtro de pre-modulación introduce interferencia inter-simbólica ISI (*Inter-Symbol Interference*) en la señal transmitida, pero esta degradación no es significativa si el parámetro BT del filtro

es mayor de 0.5. Debido a que en GSM se tiene un BT con 0.3, se tienen algunos problemas de ISI y es por ello que la señal no es totalmente envolvente constante. El filtro gaussiano de pre-modulación tiene una respuesta impulsiva dada por:

$$h_G(t) = \frac{\sqrt{\pi}}{\alpha}\exp(-\frac{\pi^2}{\alpha^2}t^2) \qquad (2.3)$$

y su respuesta en frecuencia viene dada por

$$H_G(f) = \exp(-\alpha^2 f^2) \qquad (2.4)$$

El parámetro α está relacionado con el ancho de banda del filtro B, por la siguiente expresión

$$\alpha = \frac{\sqrt{2\ln 2}}{B} \qquad (2.5)$$

La figura 2.18, muestra un esquema del filtro Gaussiano necesario para la modulación GMSK, para diferentes valores de α.

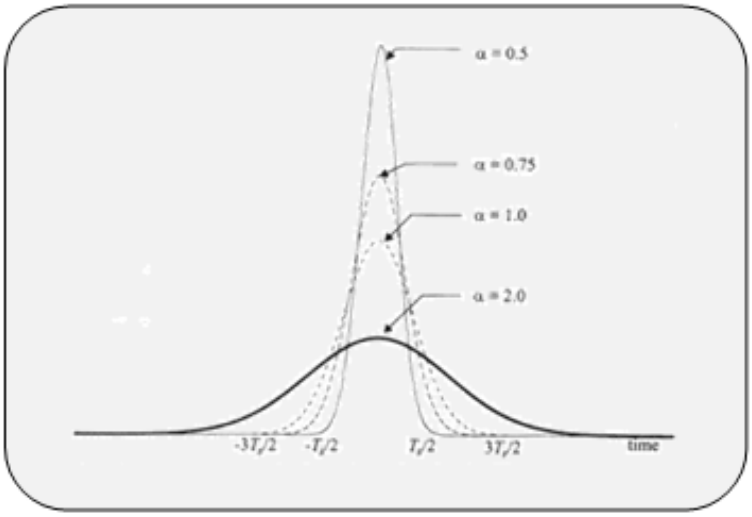


Figura 2.18.- Filtro Gaussiano para modulación GMSK [16].

Es así que el filtro GMSK dependerá únicamente de B y la duración de un símbolo en banda base T o a forma equivalente por su producto BT. La figura 2.19., muestra la Densidad Espectral de Potencia PSD (*Power Spectral Density*) de una señal GMSK para varios valores de BT. Se muestra también la PSD de una señal MSK, que es equivalente a GMSK con BT infinito. En la figura 2.19. se observa que conforme se reduce el parámetro BT, los niveles de los lóbulos laterales se atenúan rápidamente. Por ejemplo, para BT=0.5, el pico del segundo lóbulo está más de 30 dB por debajo del principal, mientras que para MSK el segundo lóbulo está a sólo 20 dB por debajo del principal. Sin embargo, la reducción de BT incrementa la ISI, y por lo tanto se incrementa el número de bits

errados (*bit-error rate*), pero a pesar de este efecto el rendimiento global del sistema mejora [URL 2.15.], [14].

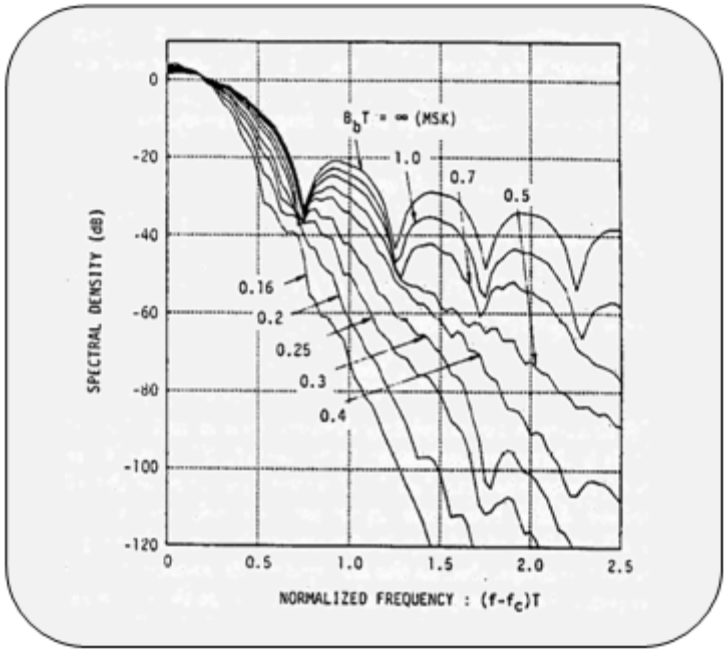


Figura 2.19.- Densidad de Potencia Espectral de una señal GMSK para varios valores de BT [URL 2.15.], [14].

La figura 2.20. muestra la comparación de densidad espectral de potencia de la señal GMSK vs MSK.

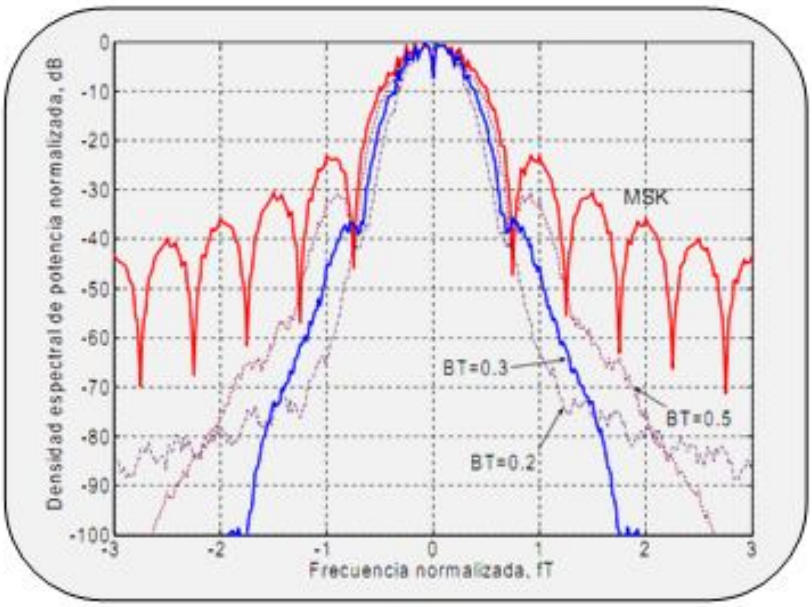


Figura 2.20.-Densidad espectral de potencia de la señal GMSK vs MSK [17].

El proceso básico de generar una señal GMSK es enviando una cadena de datos NRZ (*Non return to Zero*) a través de un filtro gaussiano pasa bajo como los descritos anteriormente, seguido de un modulador de FM. Esta técnica de modulación se muestra en la figura 2.21 y se usa actualmente en una gran cantidad de implementaciones analógicas y digitales, entre ellas en GSM.

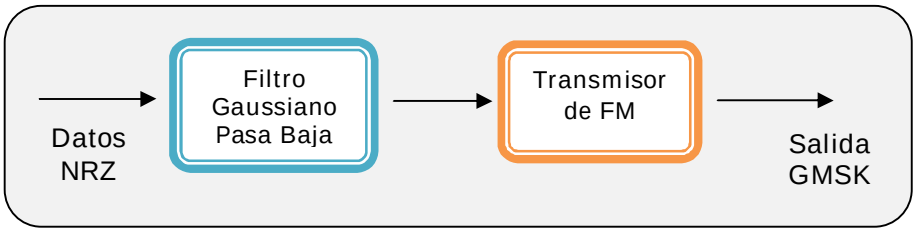
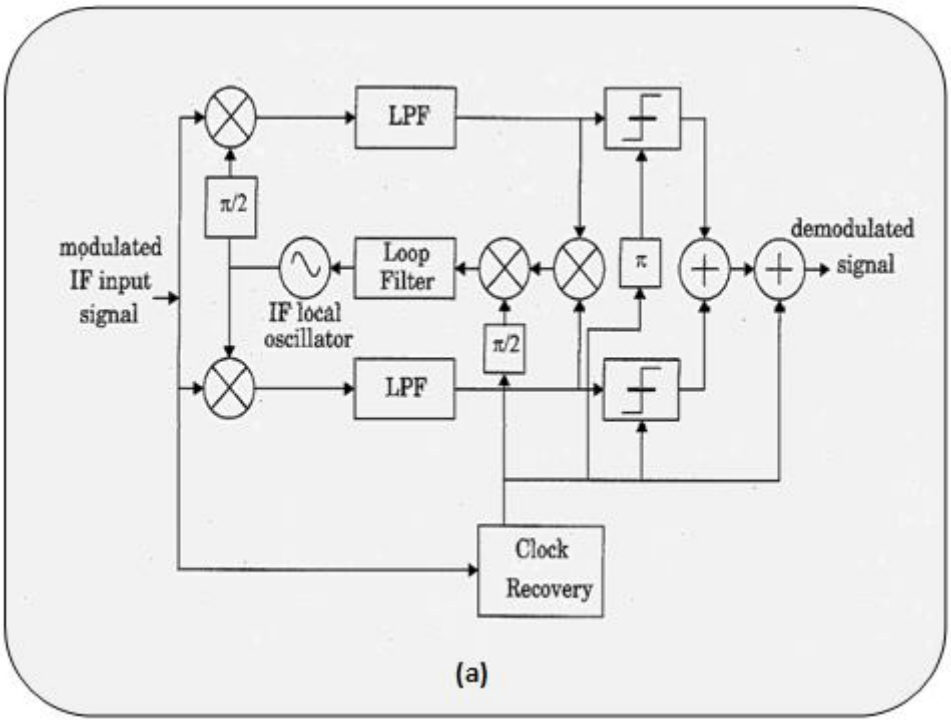


Figura 2.21.- Diagrama de bloques de un transmisor GMSK usando generación directa de FM [URL 2.15.], [14].

Las señales GMSK se pueden detectar usando detectores ortogonales coherentes como se muestra en la figura 2.22. (a), o con detectores no coherentes como los discriminadores normales de FM. La recuperación de la portadora se puede realizar usando el método propuesto por de Buda [URL 2.15.] donde la suma de las dos componentes en frecuencia a la salida del doblador de frecuencia se divide por cuatro. El método de Buda es equivalente al de un PLL con un doblador de frecuencia. Este tipo de demodulador se puede implementar fácilmente usando lógica digital como se muestra en la figura 2.22. (b). Los dos elementos de retardo tipo D actúan como un demodulador multiplicativo en cuadratura y las puertas XOR actúan como multiplicadores en banda base. Las portadoras de referencia mutuamente ortogonales se generan usando dos elementos de retardo, y la frecuencia central del VCO (Oscilador controlado por tensión, *Voltage Controlled Oscilator*) se elige como cuatro veces la frecuencia central de la portadora [14].

Un método no óptimo pero efectivo de detectar señales GMSK es simplemente muestrear la salida de un demodulador de FM.



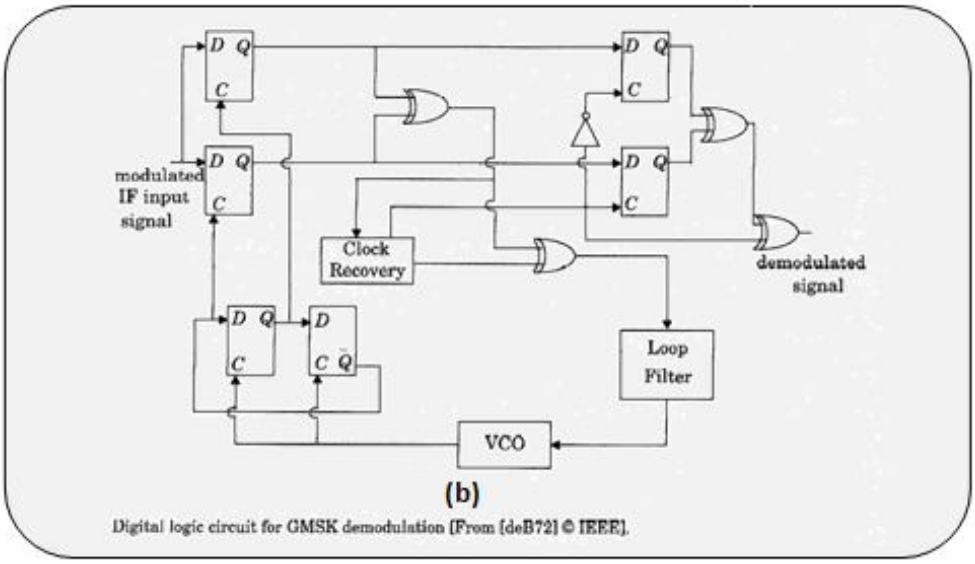


Figura 2.22.- (a) Diagrama de bloques de un receptor GMSK y (b) Un circuito digital para la demodulación de señales GMSK [URL 2.15.], [14].

En resumen, GSM utiliza un formato de modulación digital llamado 0,3GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying). El 0,3G describe la Banda del Filtro Gaussiano de pre-modulación utilizado para reducir el espectro de la señal modulada. MSK (Minimum Shift Keying) es un tipo especial de modulación FSK (Frequency Shift Keing) en donde los 1's y 0's son representados por cambios de fase en la frecuencia de la portadora de RF. Cuando la tasa de bits de la señal moduladora es exactamente cuatro veces los cambios de fase de la portadora se consigue minimizar el espectro y la modulación llamada de MSK (Minimum Shift Keying) [14], [URL 2.16.]. La modulación GMSK posee buena eficiencia espectral a 1.4 bits/Hz [13] [16], pero menor que TDMA 1,6 bps/Hz. A su vez GSM posee resistencia a la interferencia de canales y co-canal [13], [15].

En el caso de GSM, la tasa de datos de 273,833 kbit/s fue elegida para ser exactamente cuatro veces el cambio de fase de la frecuencia de RF (+/- 67,708 KHz). Esta señal digital de 270,833 kbit/s es dividido en el dominio del tiempo en 8 intervalos (*slots*) de tiempo posibilitando el Acceso Múltiple por División en el Tiempo (TDMA) de las Estaciones Móviles. Es importante señalar como se describió anteriormente que GSM, así como TDMA (IS-136) son producto de una combinación de FDMA y TDMA [14], [URL 2.18.].

La tabla 2.5 muestra las características de periodo y composición de una señal de 270,833 kbits/seg:

Tabla 2.5.- Características de período y composición de una señal de 270,833 kbits/seg [14], [URL 2.16.].

	Período	**Composición**

Señal de 270,833 kbits/s	4,615 ms	8 slots de tiempo
Slot de tiempo	576,9 us	156,25 bits
Bit	3,692 us	-

La figura 2.23. muestra el proceso completo de generación de una señal GMSK:

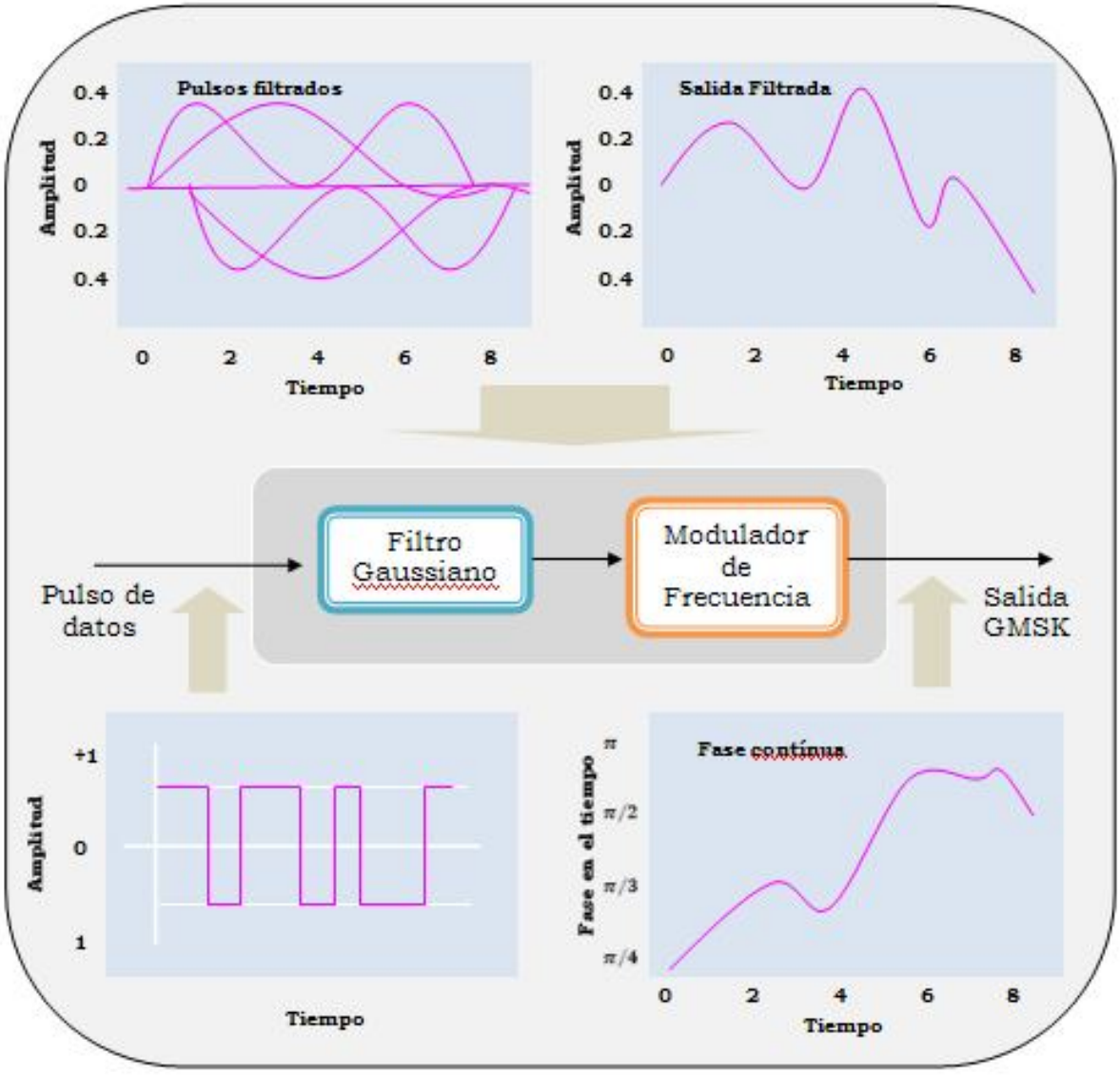


Figura 2.23.- Proceso de generación de una señal GMSK [13].

2.4. Sistemas de telemetría basados en tecnología GSM

La figura 2.24. muestra una aplicación de rastreo vehicular mediante GSM, los datos de ubicación del vehículo son enviados por el modem mediante la red de GPRS hacia la central de monitoreo y éstos pueden lograr ubicar la posición del vehículo de acuerdo a los datos proporcionados por el GPS (*Global Position System*) y que son decodificados en base al protocolo NMEA 0183.



Figura 2.24.- Sistema de rastreo vehicular usando telemetría vía GPRS [URL 2.17.].

Una aplicación de seguridad y automatización procesos en el hogar es mostrado en la figura 2.25., a través de este dispositivo es posible controlar vía SMS diferentes alarmas o controlar dispositivos de una casa, tal como el control de luces, control de persianas, medir temperatura y activar o desactivar la iluminación.

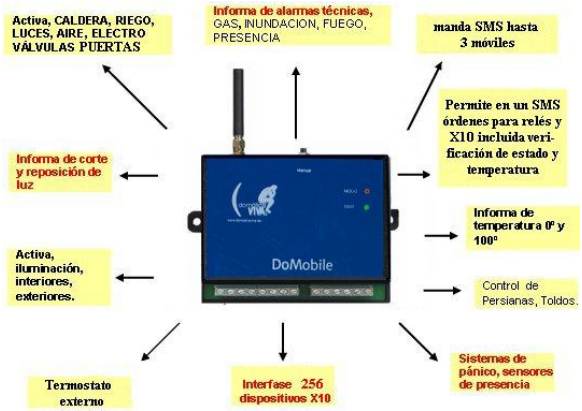


Figura 2.25.- Sistema de seguridad y automatización usando telemetría vía GSM [URL 2.18.].

Finalmente, en la figura 2.26. se muestra una aplicación móvil acerca de un rastreador de personas u objetos utilizando GPS, datos que son enviados a través de SMS's.



Figura 2.26.- Sistema de rastreo de personas u objetos vía SMS's [URL 2.19].

Capítulo III
Medición de nivel de agua con sensor de ultrasonido

3.1. Introducción

Los sensores de ultrasonido ocupan hoy en día un lugar importante en la vida moderna. Su influencia en la industria, en las tareas de inspección y control de procesos, crece continuamente. En la navegación se aplica desde sus inicios con el sonar. En biología marina tiene uso intensivo en el seguimiento de las actividades de los animales marinos. En tareas de vigilancia se utiliza en la detección o ausencia de personas. Un uso industrial extendido es la cuantificación de la velocidad de flujo, presencia o ausencia de objetos, medidas de distancias, sin olvidar muchas aplicaciones adicionales en otras áreas de la industria, en medicina, su aplicación está presente en los campos de la visualización, diagnóstico y terapéutica. Hoy en día, este tipo de sensor está presente en prácticamente todas las actividades humanas. En usos industriales tiene gran demanda en ensayos no destructivos, detector de presencia de cuerpos de diferentes materiales, medidor de desplazamiento de fluidos y muchas otras aplicaciones. En los últimos años, su desarrollo ha estado influenciado con el desarrollo de la microelectrónica, las técnicas digitales, nuevos materiales y el avance de los medios de cómputo [18].

3.2. El sensoramiento por ultrasonido

3.2.1. Definiciones

Un sensor de ultrasonido es un dispositivo que convierte la energía de vibración mecánica en energía eléctrica. Este mismo dispositivo puede funcionar como emisor de ondas de ultrasonido cuando es excitado por una fuente de energía eléctrica. En las dos situaciones descritas puede ser el mismo componente, en un tiempo emisor y en otro receptor. Para tener una mejor idea del funcionamiento, se señala que el componente básico del sensor es una lámina circular de un material piezoeléctrico. El piezoeléctrico tiene la propiedad de cambiar sus dimensiones geométricas cuando aplicamos un voltaje provocando una vibración mecánica amortiguada. Este mismo material presenta también el fenómeno inverso, cuando recibe una vibración mecánica, presiona al cristal produciéndose una diferencia de potencial eléctrico entre sus caras.

La figura 3.1 ilustra la estructura interna de un transductor de ultrasonido de placa piezoeléctrica:

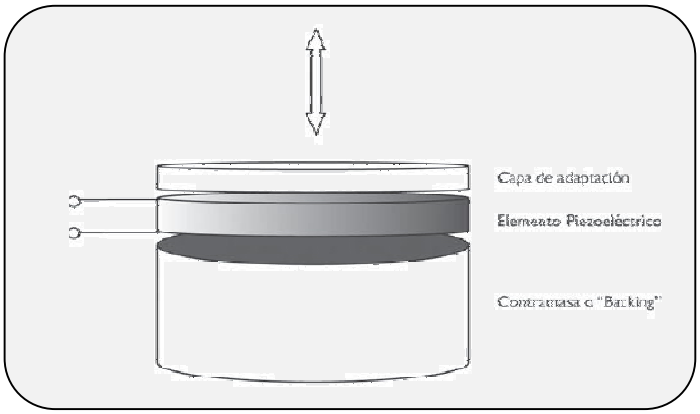


Figura 3.1.- Esquema típico de la estructura interna de un transductor de ultrasonido de banda ancha basado en una placa piezoeléctrica delgada [18].

La frecuencia de vibración que produce el material piezoeléctrico está en función de su geometría y las propiedades del cristal. Cuando la vibración del piezoeléctrico es superior a los 20,000 Hz, decimos, entonces, que emite una onda de ultrasonido (tomando como referencia la banda auditiva del oído humano).

Las ondas de ultrasonido tienen ventajas con respecto a otro tipo de energías. Algunas de sus ventajas son que es una energía no ionizante, posible de dirigirla y seleccionar la cantidad de energía deseada que llegue al blanco, tiene propiedades de reflexión en objetos sólidos, en usos médicos no presenta efectos secundarios, esta propiedad le da ventaja frente a otras tecnologías. Esta técnica tiene algunos inconvenientes; requiere un medio para propagarse, es pobre su desplazamiento en gases y su reflexión depende del acoplamiento acústico del cuerpo en donde incide.

Para comprender el concepto de ultrasonido, es necesario entender las bases de la acústica; a este campo de la física se le conoce como el estudio de las deformaciones que varían con el tiempo (o vibraciones) y que además se propagan en medios materiales, éste es el caso del *sonido*. La clasificación del sonido se hace tomando como referencia la fisiología humana. Se toma como base el intervalo de la percepción media del oído humano de 20 Hz a 20 KHz. A frecuencias menores a 20 Hz se le conoce como *infrasonido*. El término *ultrasonido* se refiere a las frecuencias acústicas superiores de 20 KHz. Las ondas sonoras con frecuencias mayores de 10^9 Hz se le denominan como *hipersonido*. La división entre acústica y ultrasonido no es rígida. Teóricamente no hay límites superiores para las vibraciones mecánicas. Otros ejemplos, además de los mencionados anteriormente, es en la medición de: la velocidad y dirección del viento, el llenado de un tanque, la aceleración del aire o de un líquido, el estado de salud de un niño en el vientre de la madre, la temperatura, la viscosidad, la detección de fallas en motores, determinación del estado de las estructuras de los edificios, detección de fallas en materiales industriales, determinación de presencia o ausencia de objetos y muchas otras aplicaciones.

Como sabemos, el sensor por sí solo no es un instrumento de medición. Para que cumpla su función de medición, es necesario el uso de los circuitos electrónico, que acompaña a cada una de las partes del sistema de medida. En el sensor identificamos dos partes: a) La emisión de la onda de ultrasonido y b) el receptor de la onda de ultrasonido. El emisor es un material de cristal piezoeléctrico comercial polarizado con una señal eléctrica, con una frecuencia y magnitud apropiadas. Al ser polarizado, el cristal se contrae y presiona al medio que le rodea, generando una onda mecánica con propiedades específicas. La onda viaja a través del medio y llega al blanco a medir, la geometría y propiedades físicas del blanco reflejará la energía de ultrasonido incidente de acuerdo a las propiedades originales del blanco. En cuanto a la recepción, la onda de ultrasonido reflejado presiona la superficie del cristal receptor generando una diferencia de potencial eléctricos proporcional a la onda mecánica recibida. El sensor receptor produce una señal eléctrica con características de tiempo, frecuencia y amplitud proporcionales a la señal recibida. Esta señal es amplificada y luego sometida a procesamientos electrónicos para separar la información útil; posteriormente es adaptada en magnitud para ser mostrada en un visualizador al usuario. La tecnología está limitada por las formas de las superficies, la densidad y consistencia del material. Por ejemplo, la espuma en la superficie de un fluido puede producir errores en la medición [18].

El ultrasonido, como onda de presión mecánica, posee las siguientes características [19]:

- Es una onda mecánica: Significa que sólo se propaga a través de un medio material y elástico que permita transmitir las vibraciones de sus partículas.
- Es una onda longitudinal: Quiere decir que el movimiento de las partículas que transporta la onda se desplaza en la misma dirección de propagación de la onda.
- Es una onda esférica: Esto hace referencia a que las ondas se desplazan en tres dimensiones describiendo esferas radiales que parten del foco emisor.

3.2.2. Velocidad de propagación y atenuación

La característica que determina la velocidad de propagación del sonido depende del medio de transmisión. Para ello, el presente trabajo de tesis se basa en el aire como medio de propagación. Según los estudios dicha velocidad para una atmósfera estándar a una temperatura de 293,15 K la velocidad del sonido es de 344 m/s [19].

Una aproximación para calcular la velocidad del sonido en gases es la siguiente [19], [20]:

$$c = \sqrt{\frac{k.R.T}{m}} \tag{3.1}$$

Donde:

- k es la relación de los calores específicos (para el aire k=1.4).
- R es la constante universal de los gases.

- *T* es la temperatura absoluta en Kelvin.
- *m* es el peso molecular promedio grados (para el aire R/m = 287 J/kgK).

Por otra parte, también es conveniente estudiar los fenómenos físicos que afectan la propagación del sonido. Estos fenómenos son los siguientes:

- *Reflexión*: Este fenómeno implica que, cuando una onda incide sobre una superficie lisa, esta es reflejada con un ángulo de reflexión igual al de incidencia.
- *Absorción*: Es el fenómeno por el cual una pequeña parte de la energía de la onda es absorbida al chocar con una superficie. El resto de la onda es reflejada.
- *Refracción*: Este fenómeno provoca el cambio de dirección de una onda de sonido al cambiar de medio de propagación. Este fenómeno se produce a causa del cambio de la velocidad de propagación que el sonido sufre al cambiar de medio.
- *Difracción*: Este fenómeno hace referencia a la dispersión que sufre una onda de sonido ante determinados obstáculos.

Tanto en los líquidos como en sólidos, la densidad tiene el mismo efecto que en los gases; la velocidad del sonido varía de forma inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la densidad. La velocidad también varía de forma proporcional a la raíz cuadrada de la elasticidad. Por ejemplo, la velocidad del sonido en el agua es de aproximadamente 1,500 m/s a temperaturas ordinarias, pero aumenta cuando se incrementa la temperatura. La velocidad del sonido en el cobre es de unos 3,500 m/s a temperaturas normales y decrece a medida que aumenta la temperatura (debido a la disminución de la elasticidad). En el acero, más elástico, el sonido se desplaza a unos 5.000 m/s; su propagación es muy eficiente [21].

La velocidad de una onda de ultrasonido en el aire es independiente de la presión atmosférica y está en función de la raíz cuadrada de la temperatura. La velocidad será mayor en un medio húmedo que en otro seco, debido a que los pesos moleculares de los gases que constituyen la atmósfera son mayores que los del vapor de agua. Asimismo, la velocidad de propagación no depende de la frecuencia de oscilación del transductor para bajas frecuencias. La variación de velocidad puede ser alta respecto a la temperatura. Una ecuación que aproxima linealmente la velocidad (en m/s) con la temperatura *T* (en grados centígrados) es:

$$c(T) = V_0 + 0.607xT \tag{3.2}$$

donde V_0 es la velocidad de propagación de la onda sonora a cero grados centígrados (331.5 m/s). La humedad juega un rol menor en la velocidad del sonido ya que genera una variación menor al 0.6% de la velocidad en todo el rango de temperaturas de operación [22].

La figura 3.2 muestra los diferentes tipos de sensoramiento de nivel comparados al de ultrasonido en dos escenarios distintos, tanto en líquidos como en sólidos:

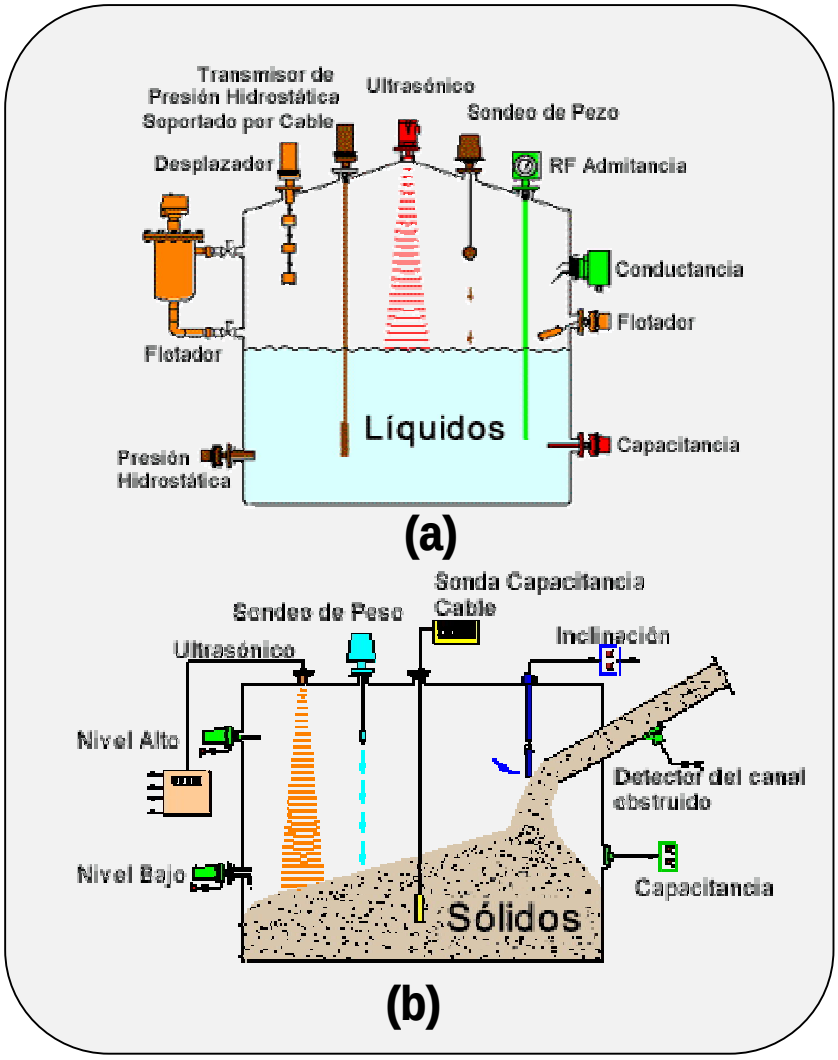


Figura 3.2.- Diferentes tipos de sensoramiento de niveles comparadas al de ultrasonido (a) en líquidos, (b) en sólidos [23].

Existe otro factor que también afecta a la velocidad que es el coeficiente de Poisson. Cuando sobre un metal se aplica una tracción, se produce un alargamiento elástico y una deformación δ_Z en la dirección de la carga aplicada (la cual tomamos arbitrariamente como la dirección z). Como resultado de este alargamiento se producirán constricciones en las direcciones laterales (x e y) perpendiculares a la dirección de la aplicación de la tensión. A partir de estas contracciones, se pueden determinar las deformaciones de compresión δ_X y δ_y . El cociente entre las deformaciones laterales y axiales es el coeficiente de Poisson [21]:

$$\nu = -\frac{\delta_X}{\delta_Z} = -\frac{\delta_Y}{\delta_Z} \qquad (3.3)$$

El signo negativo se incluye en la expresión para que "v" sea siempre positivo, puesto que δ_X y δ_Y siempre son de signo opuesto.

La relación de estos tres factores (E, ρ, υ) con la velocidad del sonido es la siguiente [21]:

$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho}\frac{1-v}{(1+v)(1-2v)}} \tag{3.4}$$

Donde:
V = Velocidad de la onda
E = Módulo de Young
ρ = Densidad
v = Coeficiente de Poisson

La señal de ultrasonido a medida que viaja dentro del material, va perdiendo energía debido a la resistencia que opone la estructura del material. Como consecuencia, en la técnica pulso-eco, el pico correspondiente a la reflexión en la superficie posterior será cada vez de una amplitud menor a medida que la onda realiza viajes de ida y vuelta, tal como se observa en la figura 3.3. A diferencia de materiales con compuestos metálicos, el ultrasonido es rápidamente atenuado por los materiales poliméricos [21].

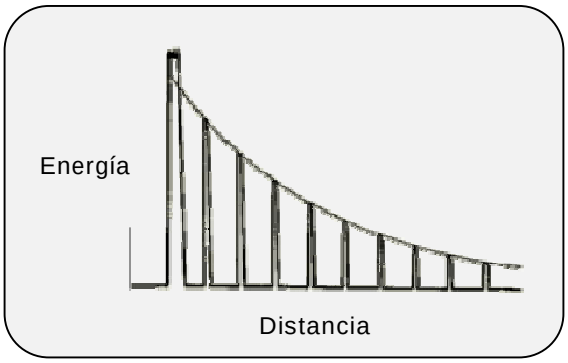


Figura 3.3.- Atenuación de la señal de ultrasonido [21].

El cambio de amplitud de una onda plana viene dado por la siguiente expresión:

$$A = A_0 e^{-\alpha Z} \tag{3.5}$$

En esta expresión, A_0 es la amplitud de la onda propagada sin atenuación en alguna posición. La amplitud A es la amplitud reducida después de que la onda haya viajado una distancia Z desde la posición inicial. El símbolo α es el llamado coeficiente de atenuación de la propagación de la onda en la dirección Z. Las unidades de este coeficiente está dada en neperes/metro (Np/m). Estas

unidades se pueden convertir a decibelios/metro (dB/m) dividiendo por 0,1151. El decibelio es una unidad más común para relacionar las amplitudes de dos señales.

Generalmente, la atenuación es proporcional al cuadrado de la frecuencia del sonido. Los valores fijados de atenuación son a menudo proporcionados por una frecuencia individual, o un valor medio de atenuación de muchas frecuencias. Por lo general, obtener un valor fiable de la atenuación solo es posible determinando experimentalmente la atenuación para cada material. La atenuación se puede determinar evaluando las múltiples reflexiones de la superficie posterior interna. Se mide el número de decibelios entre dos señales adyacentes y este valor se divide por el intervalo de tiempo que hay entre las dos. Este cálculo da un coeficiente de atenuación en decibelios por unidad de tiempo, U_t [21]. Este valor se puede convertir a nepers/longitud mediante la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{0.1151}{V} U_t \tag{3.6}$$

Donde V es la velocidad en metros por segundo y U_t en decibelios por segundo [21].

Además del cambio en la velocidad, la temperatura también interviene en la atenuación. Los aparentes cambios en la atenuación pueden ser indicativos de cambios en la estructura del material. Por ejemplo, el acero endurecido puede manifestar menos atenuación que su homólogo no tratado. Podemos obtener datos valiosos acerca del material examinado los cambios repentinos que se producen en la amplitud de la señal. La micro-porosidad en el material puede afectar de la misma forma en la atenuación [21].

3.2.3. Notación en decibelios

La potencia acústica medida en términos de vatios por metro cuadrado, es proporcional al cuadrado de la amplitud de la señal. La convención para los cambios de medida de fuerza de la señal es la llamada notación en decibelios. Si las intensidades de dos señales son I_1 e I_2, la relación entre ellas se puede expresar como [21]:

$$\frac{I_1}{I_2} = 10^{N_B} \tag{3.7}$$

Por lo tanto,

$$N_B = \log_{10}\left(\frac{I_1}{I_2}\right) \tag{3.8}$$

Donde N_B es el número de belios. El número de decibelios, dB, es simplemente diez veces ese número:

$$N_B = 10\log_{10}(\frac{I_1}{I_2}) \tag{3.9}$$

3.2.4. Impedancia acústica

El sonido viaja a través de un material bajo la influencia de la presión sonora. Como las moléculas o átomos de un sólido están unidos elásticamente, una presión excesiva se convierte en una onda propagándose a través del material.

La impedancia acústica es la resistencia que oponen los materiales al paso de una onda de ultrasonido. La impedancia acústica de un material (Z) se define como el producto de su densidad (ρ) por la velocidad acústica (V):

$$Z = \rho.V \tag{3.10}$$

La impedancia acústica es importante para la determinación de la transmisión acústica y de la reflexión en el límite o frontera entre dos materiales que tienen diferentes impedancias. Es un aspecto importante para el diseño de transductores de ultrasonido, así como para evaluar la absorción del sonido en un determinado medio [21].

3.2.5. Transductor de ultrasonido

Un transductor de ultrasonido es un mecanismo construido con un cristal de espesor determinado. Su función es convertir la energía eléctrica en energía mecánica y viceversa. La conversión de esta energía se da por dos efectos: efecto piezoeléctrico (propiedad que tienen los cristales, como el cuarzo, de convertir energía mecánica en eléctrica y viceversa) y efecto magnetoestrictivo. La figura 3.4 ilustra la técnica de ultrasonido pulso-eco.

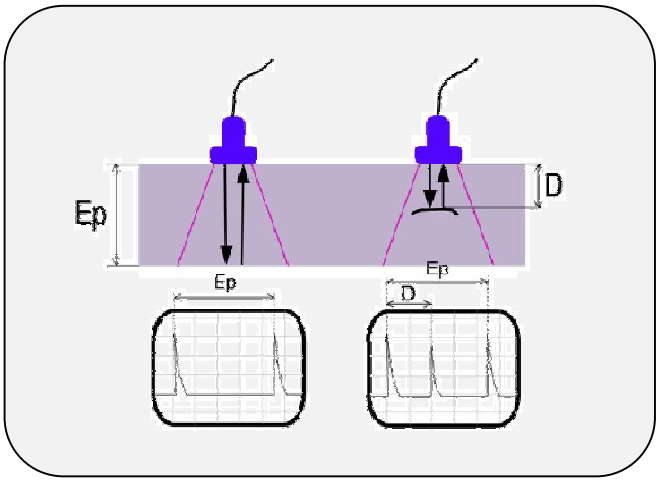


Figura 3.4.- Concepto de la técnica ultrasónica pulso-eco [21].

El haz de ultrasonido generado por el transductor en forma de disco es propagado en forma de cono. Generalmente este haz se considera constante en

toda su longitud, pero al medir las intensidades a lo largo de éste podemos distinguir tres zonas, tal como se aprecia en la figura 3.5.:

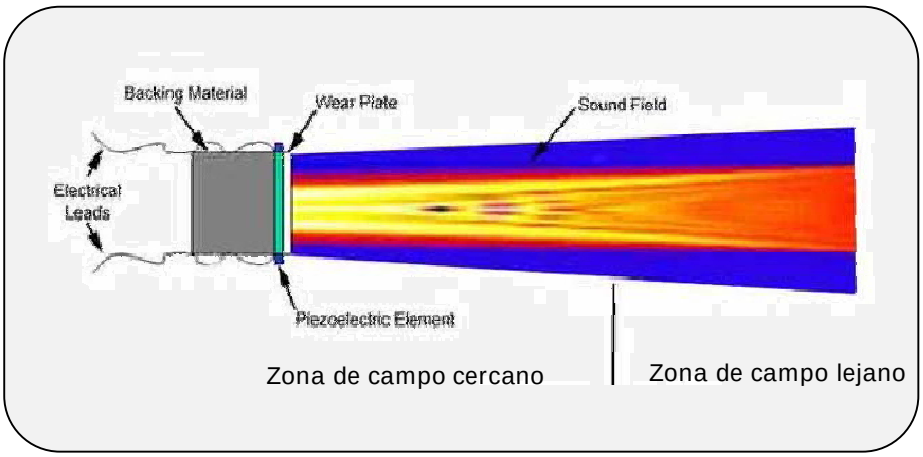


Figura 3.5.- Zonas de un haz ultrasónico [21].

- *Zona muerta:* En esta zona se produce interferencia por el cristal, por lo que cualquier discontinuidad cercana a ésta zona no será detectada.

- *Zona de campo cercano:* En esta zona están las variaciones que presenta el haz de ultrasonido, debido a los máximos y mínimos que presenta la presión acústica.

  La distancia del campo cercano está relacionada con el diámetro del transductor y con la longitud de onda del haz ultrasónico a través de la siguiente fórmula:

$$N = \frac{D^2}{4\lambda} \tag{3.11}$$

  Donde,

  N=Longitud del campo cercano.
  D=Diámetro del cristal (mm).
  λ =Longitud de onda (mm).

- *Zona de campo lejano:* En esta zona, la intensidad o presión acústica se estabiliza, teniendo mayor magnitud alrededor del eje imaginario del haz, y va disminuyendo hacia los límites del mismo.

  Esto es debido a la divergencia del haz, lo que genera la dispersión de la presión acústica.

A consecuencia de la zona muerta, se produce siempre el primer pico debido a la superficie de la muestra, tal como se ilustra en la figura 3.6.:

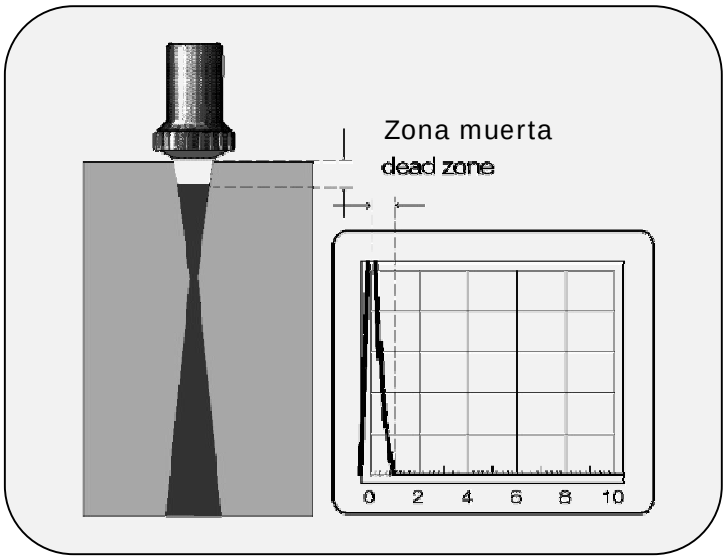


Figura 3.6.- Zona muerta del haz ultrasónico [21].

La divergencia del haz depende de la frecuencia, del diámetro del transductor y de la velocidad del medio. Estas variables se relacionan mediante la siguiente ecuación:

$$sen\phi = \frac{1,22c}{D.f} \tag{3.12}$$

Donde,

ϕ =La mitad del ángulo de divergencia.
D =Diámetro del transductor (mm).
f =Frecuencia (Hz).
c =velocidad acústica (m/s)

3.3. Características del módulo HFK-TS601

En el presente trabajo se ha utilizado el sensor de ultrasonido modelo HFK-TS601, aparte de ser un elemento de bajo costo a comparación de sensores de ultrasonido de tipo industrial. En ese sentido, describiré sus principales características.

Una ráfaga de 40KHz es transmitida a través del sensor de ultrasonido y la señal reflejada es recibida por otro sensor receptor. El cálculo de la distancia se realiza con el PIC16F54. El rango de distancia medido es de 3 cm a 300cm. Tanto para emisión como recepción se ha utilizado de dos sensores de ultrasonido, en la figura 3.7 se muestra como referencia el modelo UCM-R40K.:

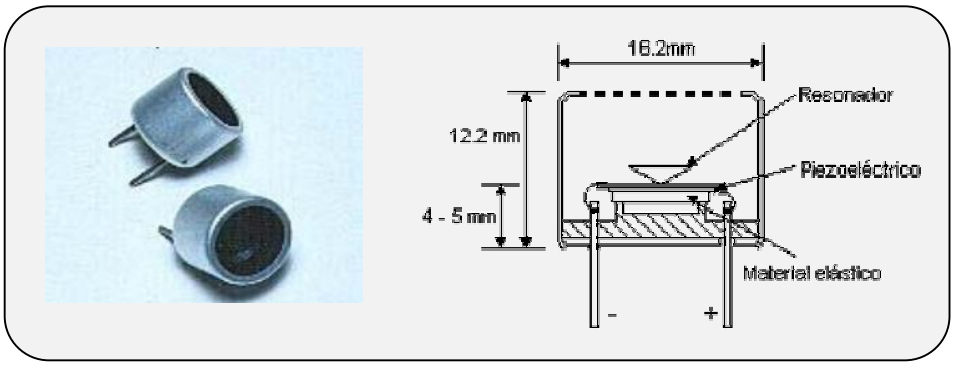


Figura 3.7.- Sensores de ultrasonido de recepción y transmisión modelo UCM-R40K1 [URL 3.1.].

Las características de operatividad del sensor UCM-R40K1 son mostradas en la tabla 3.1.:

Tabla 3.1.- Características de operación del sensor UCM-R40K1 [URL 3.1.].

Características	UCM-R40K1
Frecuencia de resonancia	40 KHz
Nivel de presión sonora	115 dB <
Sensitividad	-64 db <
Máxima entrada de voltaje	20 Vrms
Directividad típica	55º

En el esquema de la figura 3.8, se muestra la estructura básica del módulo de ultrasonido HFK-TS601 y el microcontrolador PIC16F54 conectado a dos sensores de ultrasonido para el procesado de la señal de eco recibida y transformarlo en datos binarios.

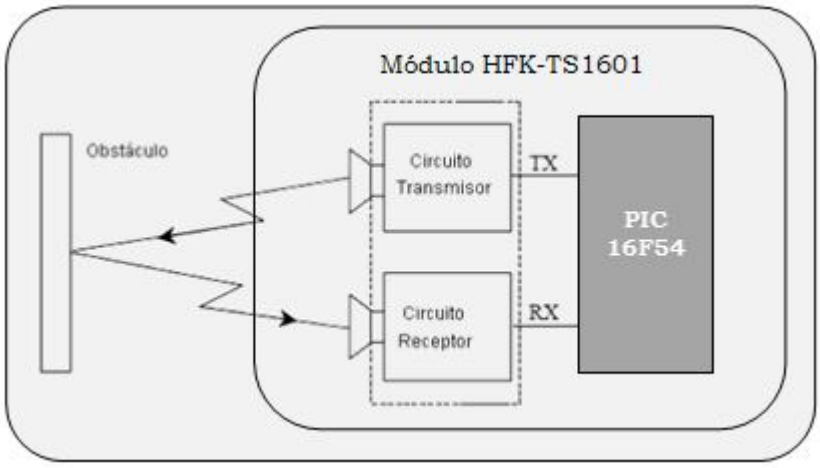


Figura 3.8.- Configuración en diagrama de bloques del módulo HFK-TS601 [URL 3.1.].

El módulo HFK-TS601 en su aspecto real es mostrado en la figura 3.9., tanto en la parte frontal como posterior.

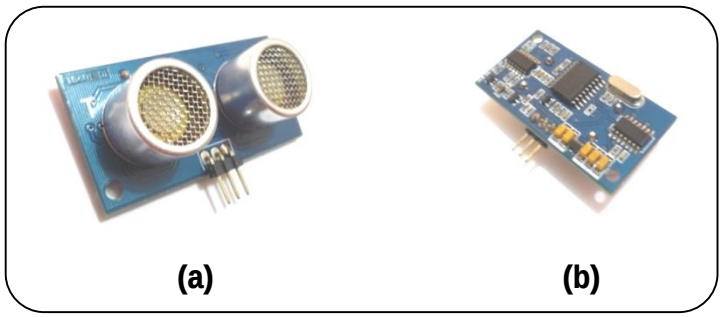


Figura 3.9.- Módulo de ultrasonido HFK-TS601. (a) Parte frontal. (b) Parte posterior.

Las dimensiones del módulo y los terminales de conexión con el microcontrolador son mostrados en la figura 3.10.:

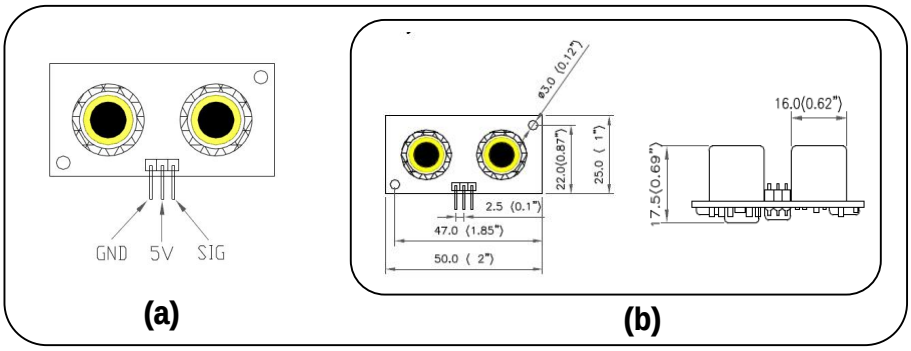


Figura 3.10.- Dimensiones geométricas del módulo HFK-TS601. (a) Terminales de conexión al microcontrolador. (b) Dimensiones físicas del módulo. [URL 3.2.].

La tabla 3.2. muestra las características de operación del módulo HFK-TS601:

Tabla 3.2.- Características de operación del módulo HFK-TS601.

Características	Módulo HFK-TS601
Principio de medida	Detector ultrasónico
Aplicación típica	Medida de distancia
Rango de medida	0.03-3 m
Precisión de medida	± 2 cm
Forma de salida	Ancho de pulso
Voltaje de trabajo	5 VDC
Corriente de consumo	≤ 15 mA
Frecuencia del sensor	40 KHz
Tiempo de respuesta contínua	15 ms
Temperatura de trabajo	0-70º C
Humedad relativa	≤ 85%
Presión atmosférica	86-106 Kpa

Por otro lado, se utilizó el microcontrolador PIC18F4550 de la empresa Microchip Technology, como

dispositivo principal de gestión de las rutinas de sensoramiento y encargado de administrar las funciones del sistema. Toda la programación del microcontrolador está codificada en lenguaje C y compilado con el programa CCS (*Custom Computer Service*).

El proceso de medición del nivel es el siguiente: el microcontrolador PIC18F4550 emite un pulso de 5us a través terminal SIG (patilla de entrada/salida del HFKT-TS601) del módulo, luego la señal cae durante un tiempo T2, pasado este tiempo el módulo transmite una señal de ultrasonido de 40 KHz, el nivel lógico del terminal SIG se pone en bajo cuando el receptor recibe la señal de eco. El tiempo T3 dependerá de la distancia entre el objeto (en nuestro caso nivel de agua) y el módulo. Después de 18.5 ms, el nivel alto se pone en bajo en caso de no encontrar obstáculo en el rango de 3 metros. Finalmente, el microcontrolador mide la distancia a partir del ancho de pulso que retorna al módulo.

En la figura 3.11 y tabla 3.3. se especifican los tiempos de sensado del módulo HFK-TS601:

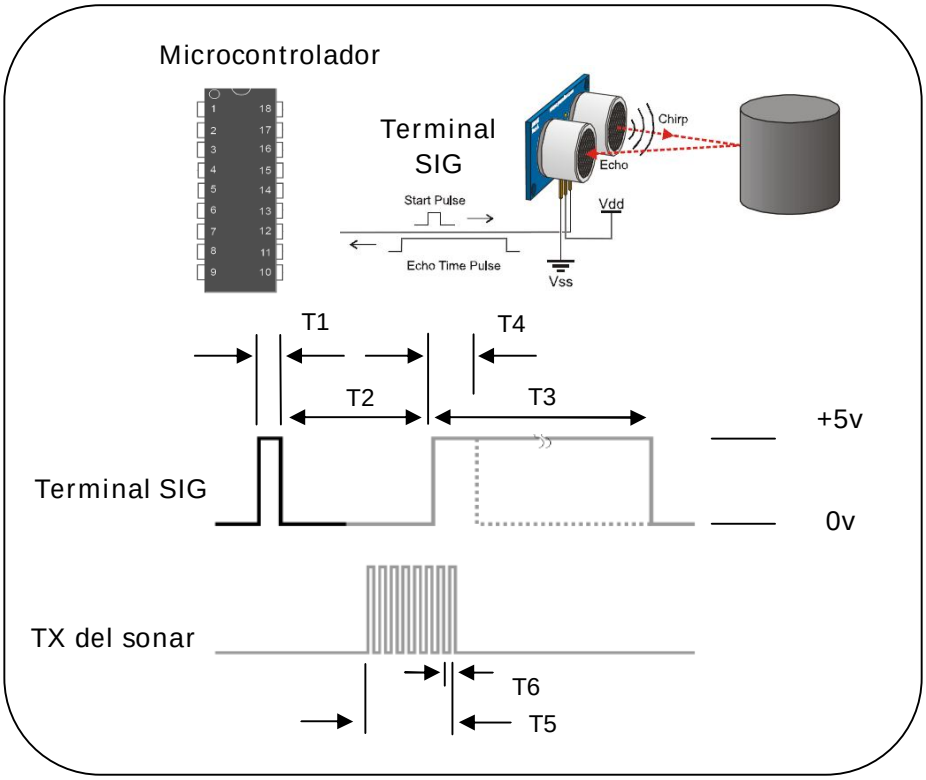


Figura 3.11.- Gráfico de tiempos de sensado del módulo HFK-TS601.

Tabla 3.3.- Especificación de tiempos de sensado del módulo HFK-TS601.

Línea	Dispositivo	Descripción	Símbolo	Tiempos
	Microcontrolador	Tiempo de disparo (trigger)	T1	2us (min), 5us (recomendable)
	Módulo HFK-TS601	Eco en bajo	T2	200 us
		Eco de Máximo ancho de pulso	T3	18.5 ms
		Eco de Mínimo ancho de pulso	T4	115 us
		Tiempo total de ráfagas	T5	200 us @ 40 KHz
		Tiempo de cada ráfaga	T6	25 us
		Retardo antes de la siguiente medición		200 us

3.4. Cálculos de medición de nivel con el módulo HFK-TS601

La distancia que el microcontrolador debe calcular estará referida a la mitad del tiempo total de envío y recepción de la señal de ultrasonido, multiplicada por la velocidad del sonido, como se describe en la figura 3.12. y fórmula 3.13.:

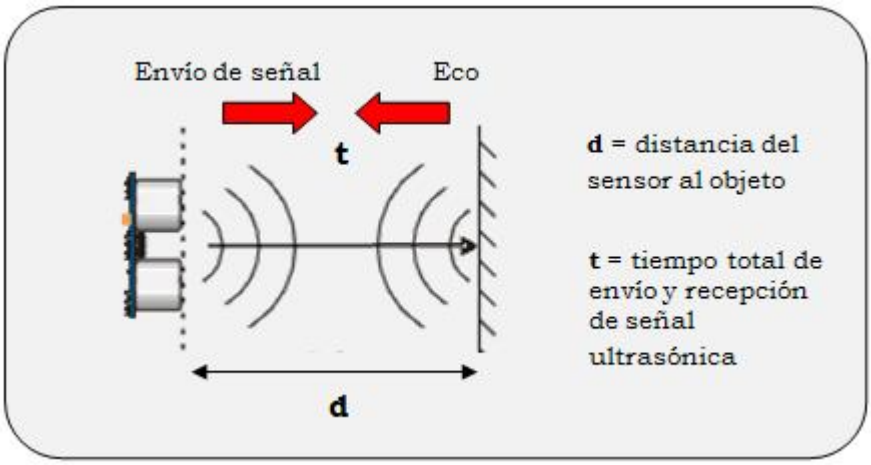


Figura 3.12.- Envío y eco de señal de ultrasonido del módulo HFK-TS601.

$$d = V.\left(\frac{t}{2}\right) \tag{3.13}$$

De acuerdo a la fórmula (3.13) y lo comentado en el subcapítulo 3.2.2., para una atmósfera estándar a una temperatura de 293,15 K (aproximadamente 20 ºC) la velocidad del sonido es de 344 m/s, luego reemplazando en la fórmula (3.13), el valor de d resulta:

$$d = 344\left(\frac{m}{seg}\right).\frac{t}{2} \tag{3.14}$$

$$t(s) = \frac{d(m)}{172} \tag{3.15}$$

Luego, despejando *t* para expresarlos en microsegundos, obtenemos:

$$t(us) \approx d(cm)x58 \tag{3.16}$$

La distancia de objeto-sensor es calculada por el microcontrolador y para este propósito se usó el bloque funcional TIMER0, propio un microcontrolador PIC, el cual es un contador de 8 bits y cuya cuenta máxima es de 255 (el incremento es constante e independiente) [24].

- Contador: cuenta los eventos externos.
- Temporizador: cuenta los pulsos internos de reloj.

Se puede insertar un *prescaler*, es decir, un divisor de frecuencia programable que puede dividir por 2, 4, 8, 16, 32, 64,128 o 256. La frecuencia de conteo es una cuarta parte de la frecuencia de reloj ($F_{OSC}/4$).

El tiempo de desbordamiento *T* del TIMER0 se calcula según la siguiente ecuación:

$$T=T_{CM}\ x\ Prescaler\ x\ (valor\ TMR0) \tag{3.17}$$

Donde T_{CM} es el ciclo máquina que se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$T_{CM} = \frac{4}{F_{OSC}} \tag{3.18}$$

De las fórmulas (3.16), (3.17) y (3.18) se obtiene la siguiente ecuación que será incorporada al programa:

$$d(cm) = \frac{t(us)}{58} \tag{3.19}$$

Reemplazando este *t (us)* como tiempo de desbordamiento *T*, detallando que el preescalador será fijado en 256, obtenemos lo siguiente:

$$d(cm) = \frac{T_{CM}\ \ x\ \ \mathrm{Pr}escaler\ \ x\ \ (valorTMR0(us))}{58} \tag{3.20}$$

Finalmente, se obtiene la siguiente fórmula que será empleada para la medición de niveles en la codificación del microcontrolador.

$$d(cm) = 0.88\ \ x\ \ (valorTMR0(us)) \tag{3.21}$$

El compilador C suministra una serie de funciones para leer o escribir en el TIMER0.

- Para escribir un valor en el registro:

Set_timer0 (valor);
Valor: entero de 8 bits.

- Para leer el valor actual del registro:

Valor: get_timer0 ( );
Valor: entero de 8 bits.

Seguidamente, se muestra el código de medición de la distancia que involucra la señal de disparo y la señal de eco. Adicionalmente se codificó el cálculo de la mediana de los últimos 10 valores captados por el microcontrolador, a fin de reducir el efecto de ruido. Cada proceso de lectura fue establecido en 20ms.

CODIFICACIÓN :

```
void PULSO()
{
       output_high(eco_pulso);
       delay_us(5);
       output_low(eco_pulso);
       delay_us(200);
}

unsigned long medir_distancia_bruta() //3cm - 300cm
{
  enable_interrupts(INT_TIMER0);                        //habilitamos interrupciones
  disable_interrupts(INT_TIMER1);
  global
  unsigned long variable;
  unsigned long distancia_bruta;
  PULSO();
  while(!input(eco_pulso));
  set_timer0(0);
  while(input(eco_pulso));
  variable=GET_TIMER0();
  //ditancia(cm)=((4*prescaler*(get_timer0-init_timer)) / (clock(MHz)*58))
  //d(cm) = (4*256*(get_timer0)/(20*58) -> d(cm)= (get_timer0)*100/88
  //d(cm)= distancia_bruta=(variable)*0.88
  distancia_bruta=(variable)*0.88
  delay_ms(19);
  return(distancia_bruta);
  disable_interrupts(INT_TIMER0);                         //deshabilitamos interrupciones
  disable_interrupts(GLOBAL);                              //deshabilitamos el interruptor
global
}

       void medir_distancia_con_filtro_de_la_mediana()
       {
              long m[10];
              long espera;
           int j;
              for(i=1;i<=10;i++)
              {
                     m[i]=medir_distancia_bruta();
              }
              for(j=1;j<=9;j++)
              {
                     for(i=1;i<=9;i++)
```

```
                {
                        if(m[i]>=m[i+1])
                        {
                                espera=m[i];
                                m[i]=m[i+1];
                                m[i+1]=espera;
                        }
                }
        }
        mediana_distancia=m[5];
        //printf("la distancia es: %Ld",mediana_distancia);
}
```

3.5. Pruebas en Laboratorio

A fin de contrastar el fundamento teórico y la codificación elaborada hasta el momento, se realizaron las primeras pruebas en laboratorio con el uso de un pequeño tanque de agua debidamente metrado y los aparatos relativos a la medición a realizar: osciloscopio digital, computador y una tarjeta de prueba conteniendo el microcontrolador conectado al módulo de ultrasonido.

La figura 3.13. y figura 3.14. ilustran el diagrama de conectividad e implementación del circuito de pruebas, respectivamente:

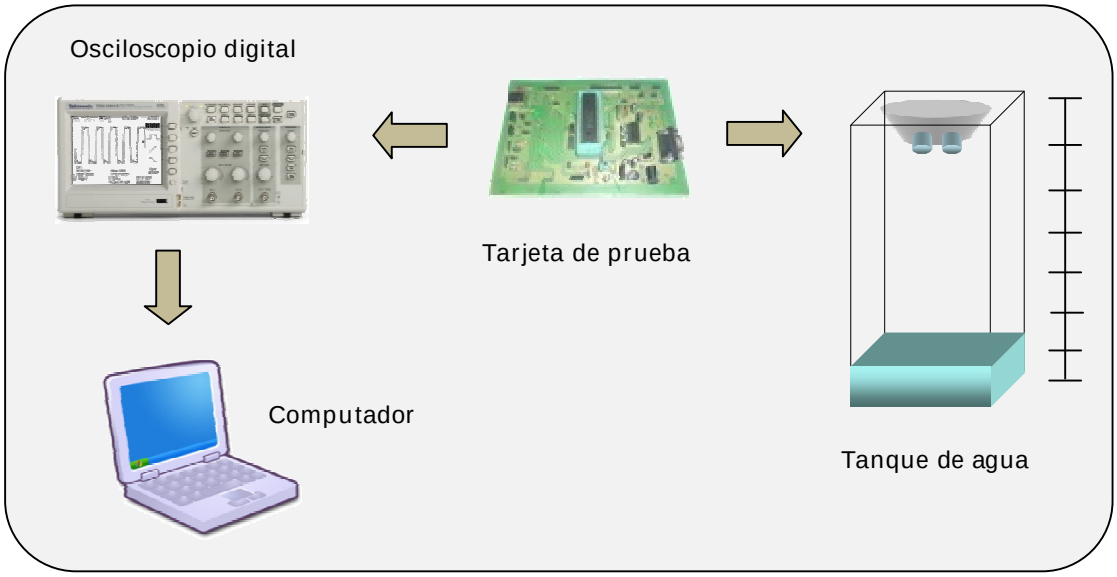


Figura 3.13.- Diagrama de conectividad de los equipos y circuito de pruebas.



Figura 3.14.- Implementación del circuito de pruebas en laboratorio.

- Si el nivel de agua se encuentra a 30 cm del sensor:

La figura 3.15. muestra el ancho de pulso y señal de disparo para una distancia de 30 cm. Por tanto, de la fórmula (3.16.) y figura 3.15., se observa que aproximadamente son 1750us (considerando cada segmento horizontal a 500us) como ancho de pulso en el eje horizontal de tiempo, esto quiere decir que una vez que se ha enviado el pulso de 5us se tendrá que esperar aproximadamente 1750us para preguntar al terminal SIG si se encuentra en 0 ó 1.

$$t(us) \approx d(cm).58$$

$$d(cm) = \frac{1750us}{58}$$

$$d(cm) = 30.1 \approx 30cm$$

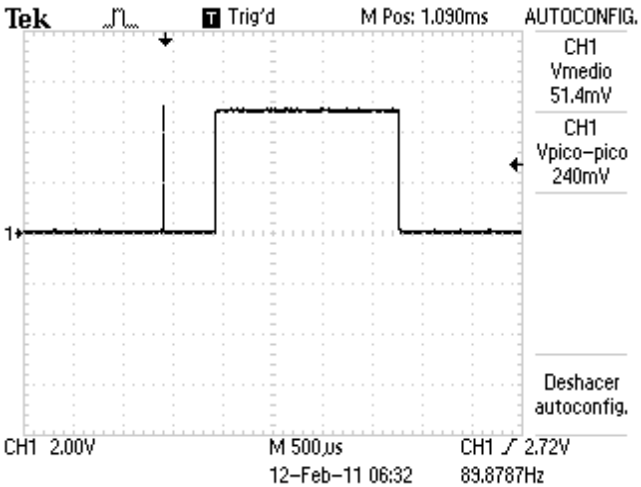


Figura 3.15.- Señal captada a 30 cm del sensor.

- Si el nivel de agua se encuentra a 47.6 cm del sensor:

La figura 3.16. muestra el ancho de pulso y señal de disparo para una distancia de 47.6 cm. De la fórmula (3.16.) y figura 3.16., se observa que aproximadamente son 2750us (considerando cada segmento horizontal a 500us) como ancho de pulso en el eje horizontal de tiempo, esto quiere decir que una vez que se haya enviado el pulso de 5us se tendrá que esperar aproximadamente 2750us para preguntar al terminal SIG si se encuentra en 0 ó 1.

$$t(us) \approx d(cm).58$$

$$d(cm) = \frac{2750us}{58}$$

$$d(cm) = 47.4cm$$

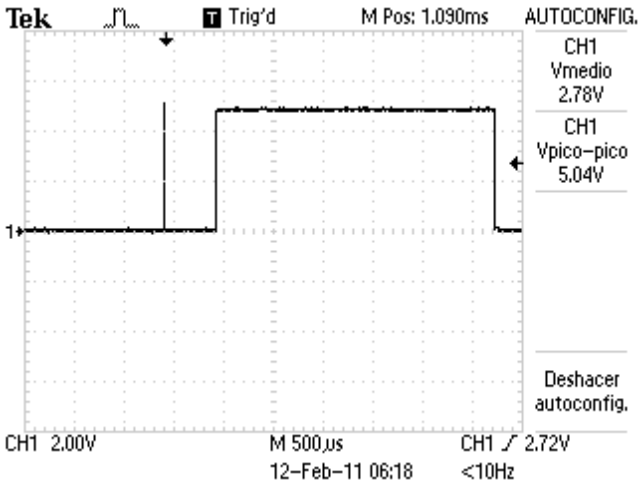


Figura 3.16.- Señal captada a 47.6 cm del sensor.

- Si el nivel de agua se encuentra a 48 cm del sensor:

La figura 3.17. y figura 3.18. muestran el ancho de pulso y señal de disparo para una distancia de 48 cm. Por tanto, de la fórmula (3.16.), figura 3.17. y figura 3.18., se observa que aproximadamente son 2800us (considerando cada segmento horizontal a 500us) como ancho de pulso en el eje horizontal de tiempo, esto quiere decir que una vez que se haya enviado el pulso de 5us se tendrá que esperar aproximadamente 1750us para preguntar al terminal SIG si se encuentra en 0 ó 1.

$$t(us) \approx d(cm).58$$

$$d(cm) = \frac{2800us}{58}$$

$$d(cm) = 48.2 \approx 48cm$$

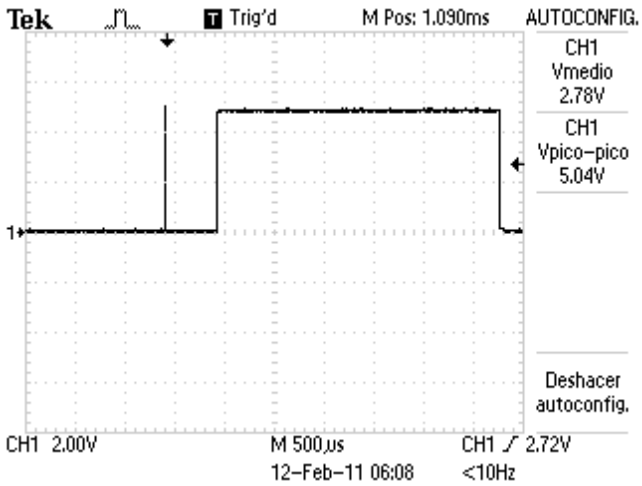


Figura 3.17.- Señal captada a 48 cm del sensor.

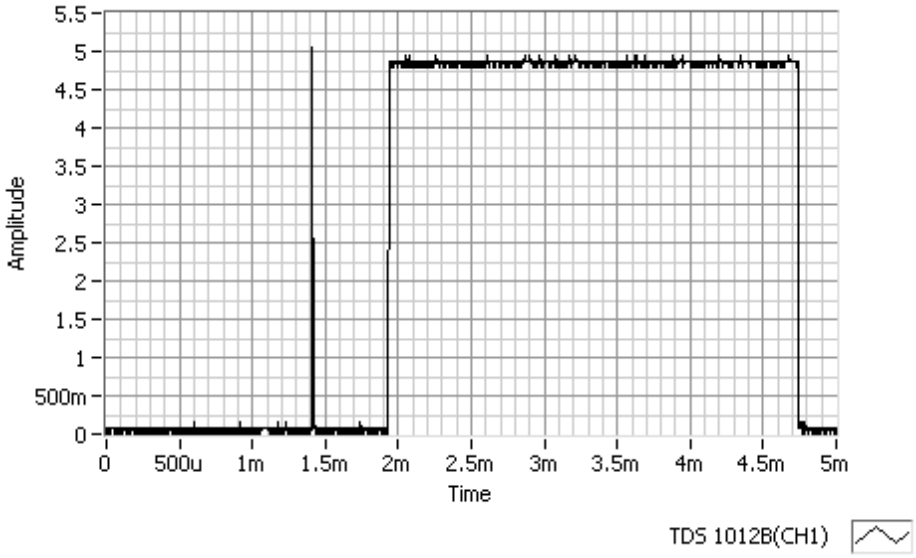


Figura 3.18.- Gráfico de amplitud versus tiempo del nivel de agua a 48 cm del sensor.

Capítulo IV
Medición de temperatura y humedad relativa

4.1. Introducción

Puesto que la humedad relativa al ser una variable compleja cuyos valores son afectados por la temperatura, se ha propuesto el uso del sensor digital de humedad y temperatura SHT-11, el cual nos ofrece una resolución de 14 bits para la temperatura y de 8 a 12 bits para la humedad, pudiéndose elegir el tipo de resoluciones más baja si se necesita un menor tiempo de respuesta del sensor, también es capaz de realizar compensación de la humedad con los valores de temperatura. Para la presente tesis se utilizó 12 bits de resolución en el cálculo de la humedad relativa.

4.2. Definiciones de temperatura y humedad relativa

4.2.1. Definición de temperatura

Cuando entre dos sistemas no existe ninguna transferencia de calor, al ponerlos en contacto, se encuentran en equilibrio térmico y decimos que tienen la misma temperatura. Temperatura es el nivel térmico de las sustancias; la temperatura produce en nuestro tacto la sensación de frío o calor. El calor pasa de las sustancias de mayor a los de menor temperatura [25].

Temperatura es también una magnitud tensorial que nos indica el grado de agitación molecular que en promedio tiene un cuerpo [26].

4.2.2. Definición de humedad relativa

La humedad relativa se define como la razón entre la presión parcial del vapor de agua y la presión de vapor saturado a una temperatura dada. Generalmente se expresa como porcentaje:

$$Humedad \quad relativa = \frac{presión \quad parcial \quad de \quad H_2O}{presión \quad de \quad vapor \quad saturado \quad de \quad H_2O} x100\% \qquad (4.1)$$

Los humanos son sensibles a la humedad. Por lo general, una humedad relativa del 40-50% es óptima tanto para la salud como para la comodidad. La humedad alta, particularmente en un día caluroso, reduce la evaporación de la humedad de la piel, que es uno de los mecanismos vitales del cuerpo para regular

la temperatura corporal. Por otra parte, la humedad muy baja reseca la piel y las membranas mucosas.

El aire está saturado con vapor de agua cuando la presión parcial del agua en el aire es igual a la presión de vapor saturado a esa temperatura. Si la presión parcial del agua supera la presión de vapor saturado, se dice que el aire está supersaturado. Esta situación ocurre cuando se registra un descenso en la temperatura. Supongamos que la temperatura es de 30ºC y que la presión parcial del agua es de 21 torr, lo que representa una humedad del 66%. Ahora supongamos que la temperatura desciende a 20ºC, lo que puede ocurrir al caer la noche. Sabiendo que la presión de vapor saturado para el agua a 20ºC es de 17.5 torr. Por tanto, la humedad relativa sería mayor del 100% y el aire supersaturado no puede retener toda esta agua. El agua excedente se puede condensar y aparecer como rocío, o como niebla o lluvia.

Cuando se enfría el aire que contiene una cantidad determinada de agua, se alcanza una temperatura en la que la presión parcial del agua es igual a la presión de vapor saturado. A esto se le denomina punto de rocío. La medición del punto de rocío es el medio más preciso para determinar la humedad relativa [27].

4.3. Adquisición de señales

4.3.1. El sensor SHT11

El sensor SHT-11 es uno de los dispositivos de medición de humedad y temperatura de la marca suiza Sensirion, que provienen de la familia SHT1X (que comprenden SHT10, SHT11 y SHT15). Se trata de un sensor superficial de tipo SMD cuya salida es digital y totalmente calibrada. Utiliza un único sensor capacitivo para la medición de la humedad relativa mientras que para la temperatura hace uso de un sensor bang-gap (o de *Banda Prohibida*). Ambos sensores son perfectamente acoplados a un convertidor análogo digital de 14 bits y un circuito de interface serial. La calibración de los coeficientes fueron programados dentro de la memoria OTP del chip. Estos coeficientes son usados internamente para calibrar las señales provenientes del sensor. Las dos líneas de comunicación serial y el voltaje de regulación permiten rapidez y facilidad del sistema en integración. Posee un tamaño muy diminuto y bajo poder de consumo. La figura 4.1. muestra el aspecto físico del sensor y sus dimensiones:

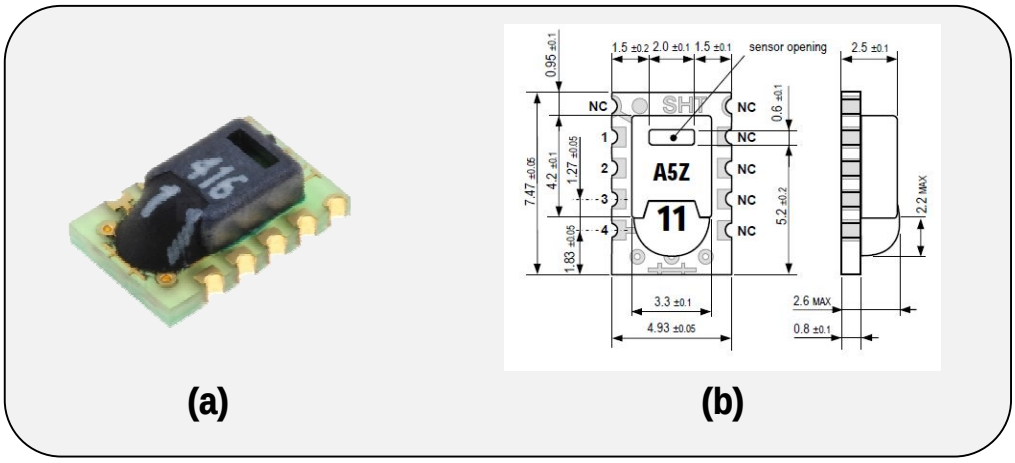


Figura 4.1. Esquema de empaquetado del SHT-11, las dimensiones están dadas en mm (1mm=0.93 inches o pulgadas.

La tabla 4.1 y 4.2 muestran las características de sensado tanto de humedad relativa como temperatura

Tabla 4.1. Características de rendimiento del sensado de Humedad relativa.

Parámetro (A 12 bits)	Condición	Min	Típico	Máx	Unidad
Resolución			0.05	0.05	%HR
Exactitud SHT11	Típico		±3.0		%HR
No-linealidad	Linealizado		<<1		%HR
Respuesta en el tiempo	63%		8		s
Rango de operación		0		100	%HR

Tabla 4.2. Características de rendimiento del sensado de temperatura.

Parámetro (A 12 bits)	Condición	Min	Típico	Máx	Unidad
Resolución		0.04			ºC
Exactitud SHT11	Típico		±0.4		%HR
Respuesta en el tiempo	63%	5		30	s
Rango de operación		-40		123.8	ºC

En la figura 4.2. se ilustran los rangos máximos de tolerancia de temperatura y humedad del sensor SHT-11.

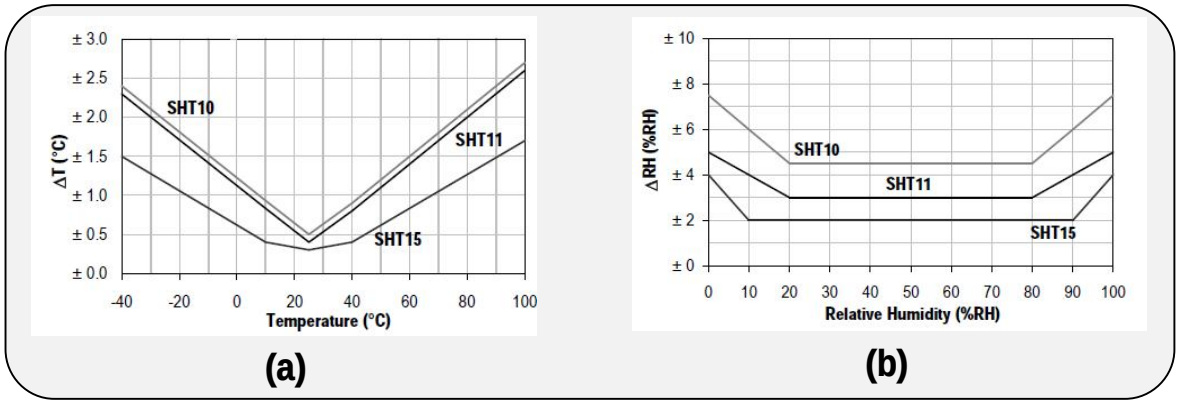


Figura 4.2. Máxima tolerancia (a) de temperatura del sensor. (b) de Humedad Relativa a 25 ºC por tipo de sensor.

La tabla 4.3. detalla los parámetros eléctricos del sensor SHT-11.

Tabla 4.3. Parámetros eléctricos del sensor SHT-11.

Parámetro	Condición	Min	Típico	Máx	Unidad
Fuente de Energía		2.4	3.3	5.5	V
Poder de consumo	Sleep (Dormido)		2	5	µW
	Midiendo		3		mW
	Promedio		90		µW
Comunicación	2-wire interfaces digitales.				
Almacenamiento	10-50ºC (0-125ºC pico), 20-60% HR.				

El sensor trabaja de manera estable dentro del rango recomendado en la figura 4.3 [28]. Exposiciones prolongadas a las condiciones externas, especialmente a humedad>80% RH, puede temporalmente compensar la señal RH (+3 %HR después de 60 horas). Después de retornar al rango normal, poco a poco volverá al estado de calibración por sí mismo.

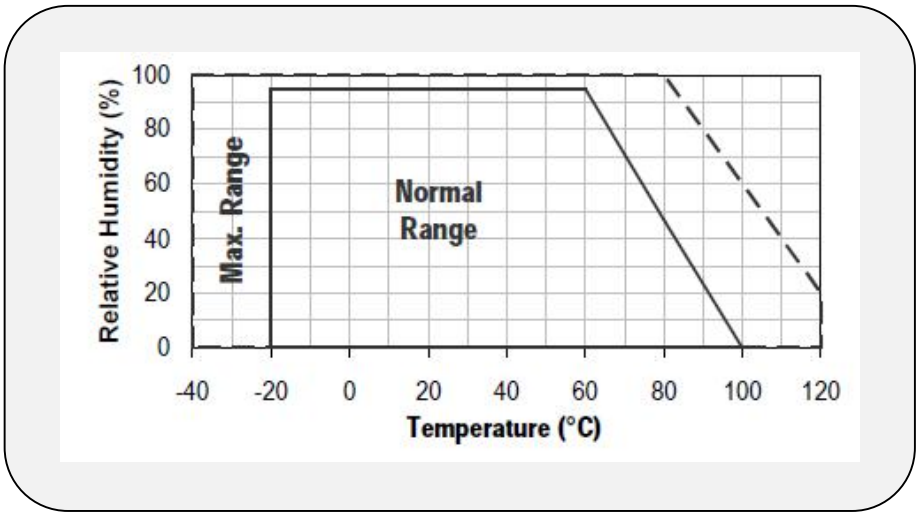
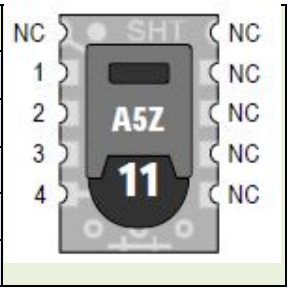


Figura 4.3. Condiciones de operación del sensor SHT-11.

La tabla 4.4. muestra la asignación de terminales del sensor SHT-11.

Tabla 4.4. Asignación de terminales del SHT-11.

Número	Terminal	Descripción
1	GND	Tierra
2	DATA	Data Serial, bidireccional
3	SCK	Clock Serial, solo entrada
4	VDD	Voltaje de entrada
NC	NC	No debe ser conectado



La tensión de operación debe estar dentro del rango de 2.4 a 5.5 voltios, el voltaje recomendado es de 3.3V. El terminal de alimentación es VDD y de tierra GND que deben ser acopladas a un capacitor de 100nF, como se muestra en la figura 15. La interfaz de comunicación serial está optimizada para la lectura y un consumo eficaz de la energía. El sensor no usa protocolo I2C, sin embargo, puede ser conectado a un bus I2C sin interferencia de otros dispositivos conectados al bus. Este sensor posee su propio protocolo de comunicación con el dispositivo de control que se utilizó, el microcontrolador. La figura 4.4 ilustra el modo de conexión del sensor al microcontrolador.

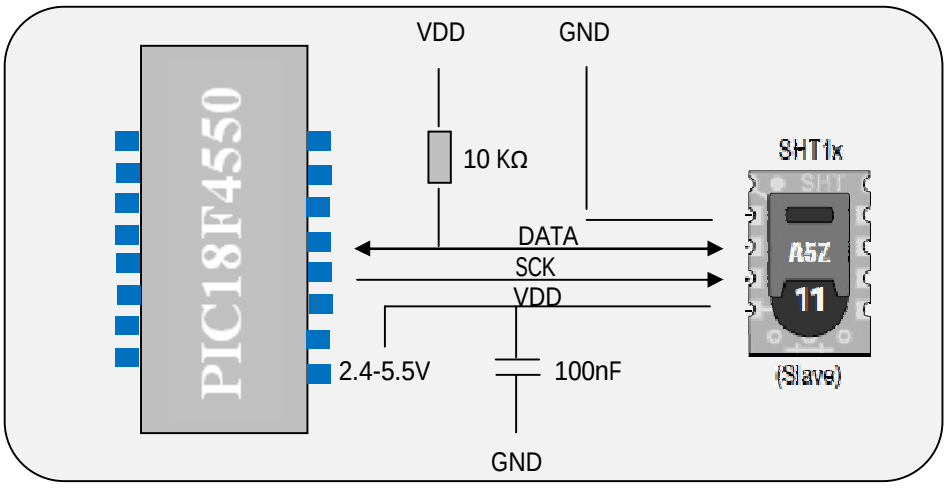


Figura 4.4. Circuito de conexión sensor SHT-11 / microcontrolador, incluyendo la resistencia Pull-up y el acoplamiento del capacitor entre VDD y GND.

El terminal SCK es usado para sincronizar la comunicación entre el microcontrolador y el SHT11. Puesto que la interfaz se compone de lógica totalmente estática, no hay una frecuencia mínima de SCK.

El terminal tri-estado de DATA es usado para transferir datos de entrada y salida del sensor. Para enviar un comando al sensor, terminal de DATA es válido en el flanco de subida del clock (SCK) y debe permanecer estable mientras el SCK esté en alto. Después de la caída de SCK, el valor de DATA puede ser cambiado. Por seguridad, la comunicación de datos DATA válidos pueden ser extendidas al tiempo de establecimiento (T_{SU}) y tiempo de mantenerse (T_{HO}) antes del rizado y después de la caída del clock (SCK), respectivamente como lo muestra la figura 4.5. Para leer los datos del sensor, el valor de DATA es válido durante el tiempo de data válido o T_V, esto es, después que la señal de SCK cae y permanece válido hasta la siguiente caída de SCK.

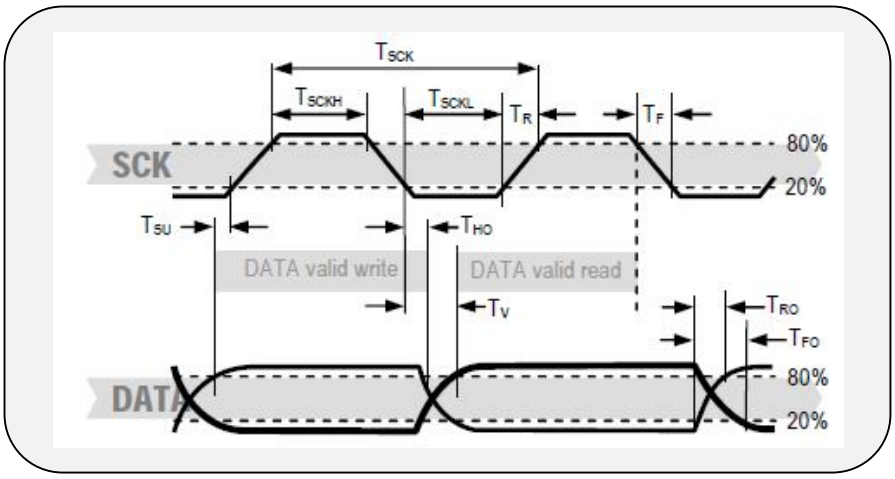


Figura 4.5. Diagrama de tiempo, las abreviaciones son explicadas en tabla 4.5. Las líneas en negrita son controladas por el sensor, las líneas horizontales son valores de DATA y son controladas por el microcontrolador. Tener en cuenta que el tiempo de lectura válida de DATA es iniciada por la caída de una anterior alternancia.

Para evitar la señal de contención, el microcontrolador debe solo poner en bajo la señal DATA. Y externamente los resistores pull-up (por ejemplo 10K) son requeridos para poner la señal en alto (Cabe señalar que las resistencias pull-up pueden ser incluidas en circuitos de entrada/salida del microcontrolador). La tabla 4.5. muestra las características de las señales de entrada y salida del sensor.

Tabla 4.5. Características de las señales de entrada/ salida del SHT11.

	Parameter	Conditions	min	typ	max	Units
F_{SCK}	SCK Frequency	VDD > 4.5V	0	0.1	5	MHz
		VDD < 4.5V	0	0.1	1	MHz
T_{SCKx}	SCK hi/low time		100			ns
T_R/T_F	SCK rise/fall time		1	200	*	ns
T_{FO}	DATA fall time	OL = 5pF	3.5	10	20	ns
		OL = 100pF	30	40	200	ns
T_{RO}	DATA rise time		**	**	**	ns
T_V	DATA valid time		200	250	***	ns
T_{SU}	DATA setup time		100	150	***	ns
T_{HO}	DATA hold time		10	15	****	ns

* $T_{R\_max} + T_{F\_max} = (F_{SCK})^{-1} - T_{SCKH} - T_{SCKL}$

** T_{R0} is determined by the $R_P * C_{bus}$ time-constant at DATA line

*** T_{V_max} and T_{SU_max} depend on external pull-up resistor (R_P) and total bus line capacitance (Cbus) at DATA line

**** $T_{H0\_max} < T_V - \max(T_{R0}, T_{F0})$

4.3.2. Lectura de temperatura

Usando la siguiente fórmula se obtendrá el valor de la temperatura convirtiendo la lectura digital de la temperatura (SO_T), como se menciona las siguientes tablas:

$$T = d_1 + d_2.SO_T \tag{4.2}$$

Tabla 4.6. Coeficientes de conversión para la variable temperatura.

VDD	d_1 (ºC)
5V	-40.1
4V	-39.8
3.5V	-39.7
3V	-39.6
2.5V	-39.4

SO_T	d_2 (ºC)
12bit	0.04

4.3.3. Lectura de humedad relativa

Para compensar la no linealidad del sensor de humedad y para obtener la máxima precisión del sensor se recomienda convertir la lectura de la humedad (SO_{HR}) con la siguiente fórmula y los coeficientes que figuran en la siguiente tabla 4.7:

$$HR_{lineal} = c_1 + c_2.SO_{HR} + c_3.SO^2{}_{HR}(\%HR) \tag{4.3}$$

Tabla 4.7. Coeficientes de conversión a humedad de las versiones 4 del SHT 11.

SO_{HR}	c_1	c_2	c_3
12 bit	-2.0468	0.0367	-1.5955E-6

Los valores superiores a 99% de humedad relativa HR indican que está totalmente saturado de aire y deben ser procesados y mostrados como 100%Vrh, la conversión de la señal de salida de HR (SO_{HR}) a humedad relativa. Estos detalles se muestran en la figura 4.6:

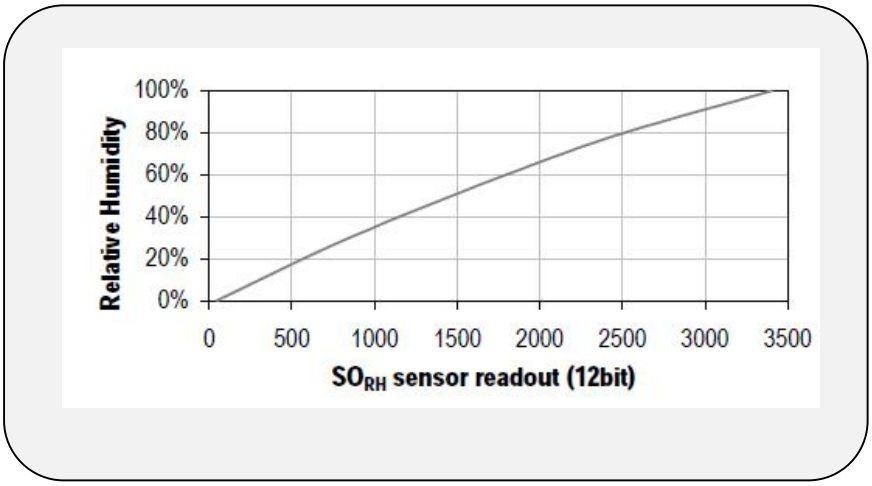


Figura 4.6. Conversión de la señal de salida de HR (SO_{HR}) a humedad relativa.

4.3.4. Compensación de la temperatura para la humedad relativa.

Para temperaturas significativamente diferentes de 25 ºC, la señal de humedad requiere compensación de temperatura. La corrección de temperatura corresponde aproximadamente a 0.12 % HR/ºC en 50 %RH. Los coeficientes para la compensación de temperatura son dados en tabla 4.8.

$$HR_{real} = (T_{\circ C} - 25).(t_1 + t_2.SO_{HR}) + HR_{lineal} \tag{4.4}$$

Tabla 4.8. Coeficientes de compensación de la temperatura.

SO_{RH}	t_1	t_2
12 bit	0.01	0.00008

4.3.5. Punto de rocío (*Dewpoint*).

El SHT 11 no mide directamente el punto de rocío, sin embargo se puede derivar proveniente de las lecturas de humedad y temperatura. Puesto que la humedad y la temperatura son medidas por el mismo chip, el SHT-11 permite mediciones del punto de rocío de manera directa. Para los cálculos del punto de rocío (T_d), son aplicadas varias fórmulas. Para el rango de temperatura de -40 a 50 ºC, la siguiente aproximación proporciona una buena precisión con los parámetros dados en la tabla 4.9.

$$T_d(HR,T) = T_n.\frac{\ln(\frac{HR}{100\%}) + \frac{m.T}{T_n + T}}{m - \ln(\frac{HR}{100\%}) - \frac{m.T}{T_n + T}} \qquad (4.5)$$

Tabla 4.9.- Cálculo de parámetros para el punto de rocío (T_d)

Rango de Temperatura	T_n (ºC)	m
Agua, 0-50ºC	243.12	17.62
Hielo, -40ºC-0ºC	272.62	22.46

Esto debe ser aplicado para linealizar y compensar los valores de *T* y *HR* y así encontrar la temperatura y humedad relativa.

4.3.6. Comunicación con el sensor:

a) Encender el sensor:

La velocidad de subida durante el encendido no caerá por debajo de 1V/ms. Después del encendido, el sensor necesita 11ms para colocarse en su estado de dormido (o *Sleep State*). No deben enviarse comandos antes de ese tiempo.

b) Enviando un comando

Para iniciar una transmisión, se debe emitir una secuencia de inicio de transmisión. Esto consiste de un estado en bajo de la línea de DATA mientras el clock SCK esté en alto, seguido de un pulso bajo en el clock SCK y elevador nuevamente DATA mientras el clock SCK esta poniéndose en alto. Ver la siguiente figura 4.7.

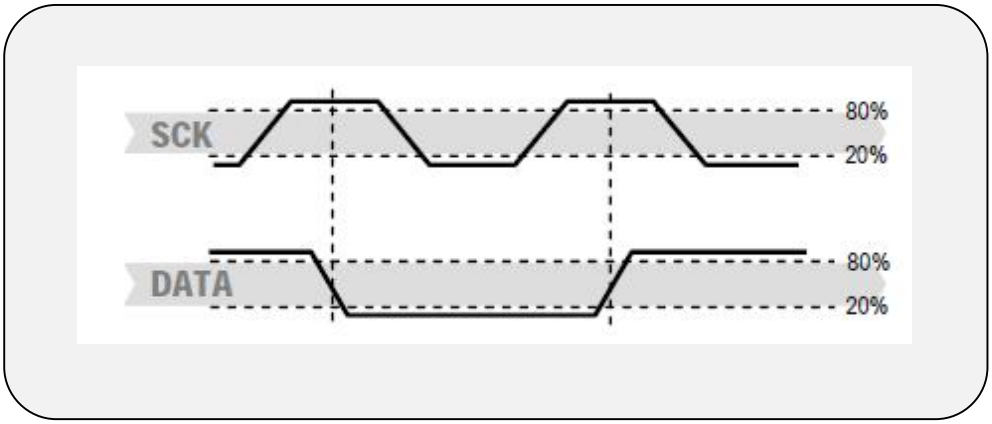


Figura 4.7. Secuencia de inicio de transmisión.

El siguiente comando se compone de tres bit de direcciones (solamente '000' es soportado) y 5 bits de comandos. El SHT-11 muestra la recepción correcta de un comando llevando el terminal DATA en bajo (bit ACK) después de la caída del octavo flanco del SCK. La línea de DATA es liberada (se pone en alto) después de la caída del noveno flanco de SCK. La lista de comandos y respectivos códigos se detallan en la tabla 4.10.:

Tabla 4.10. Lista de comandos del SHT-11

Comando	**Código**
Reservado	0000x
Medida de temperatura	**00011**
Medida de humedad relativa	**00101**
Lectura de registro de estado	00111
Escritura de registro de estado	00110
Reservado	0101x-1110x
Reset por software, resetea la interfaz, limpia el registro de estado a los valores por defecto, espera un mínimo de 11ms y después ejecuta el siguiente comando.	**11110**

c) Medida de la humedad y temperatura relativa.

Después de emitir un comando de medición ('00000101' para humedad relativa, '00000011' para temperatura), el microcontrolador espera a que la medición se complete. Esto toma máximo de 20/80/320 ms para 8/12/14 bits de medición, respectivamente. El tiempo varía con la velocidad del oscilador interno y puede ser menos hasta en un 30%. Para completar la medición de la señal, el SHT11 coloca en bajo la línea de DATA y entra en modo inactivo. El microcontrolador debe esperar que esta señal de Data este lista (DATA READY), antes de reiniciar el clock SCK en la lectura de datos. La data medida es almacenada y enviada para su lectura, el microcontrolador continua con sus

otras tareas y realiza la lectura cuando desea. Dos Bytes de medición de datos y un byte de checksum CRC (opcional) son transmitidas. El microcontrolador reconoce cada byte colocando la línea de DATA en bajo. Todos los valores son MSB en primer lugar, justificado a la derecha (por ejemplo, el quinto clock SCK es MSB por un valor de 12 bits, para un resultado de 8 bits el primer byte no es usado)

La comunicación termina después de reconocer el bit de data CRC. Si el checksum CRC-8 no es usado, el microcontrolador concluye la comunicación después de la medición de data LSB manteniendo el ACK en alto. El dispositivo automáticamente retorna a su modo de espera o dormido (*Sleep Mode*) después de la medición y la comunicación queda completada.

Importante: Para mantener el calentamiento propio por debajo de 0.1 ºC, el SHT 11 no debe estar activo por más del 10% del tiempo (por ejemplo, máximo una medición por segundo a 12bits de precisión puede ser realizada).

d) Secuencia de conexión reset.

Si la comunicación con el dispositivo se pierde, la secuencia de señal siguiente reiniciará la interfaz serial: Al salir la señal DATA del estado alto, cambiará el clock SCK por nueve o más veces, ver la figura 4.8. Esto debe ser seguido de una secuencia de inicio de transmisión precedida del siguiente comando. Esta secuencia reinicia solamente la interface. El registro de estado conserva su contenido.

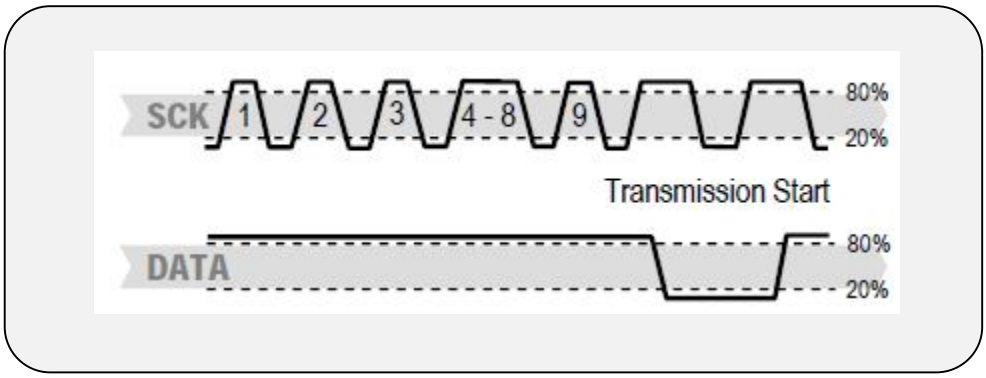


Figura 4.8. Secuencia de conexión reset.

e) Cálculo de CRC Checksum

La transmisión digital en su totalidad es asegurada por 8 bits de checksum. Esto asegura que cualquier dato incorrecto puede ser detectado y eliminado. Como se describió anteriormente se trata de una característica adicional la cual es opcional.

f) Registro de estado.

Algunas de las funciones avanzadas del SHT 11 como la selección de resolución de medición, aviso de batería baja, uso de recarga OTP o usar el modo

calefactor pueden ser activados enviando un comando al registro de estados. Después, el comando de lectura de registro de estado o escritura de registro de estado (ver la tabla 4.11) el contenido de 8 bits del registro de estado puede ser leído o escrito. Para la comunicación la asignación de los bits es mostrado en la tabla 4.11, comparar la figura 4.9. y figura 4.10.

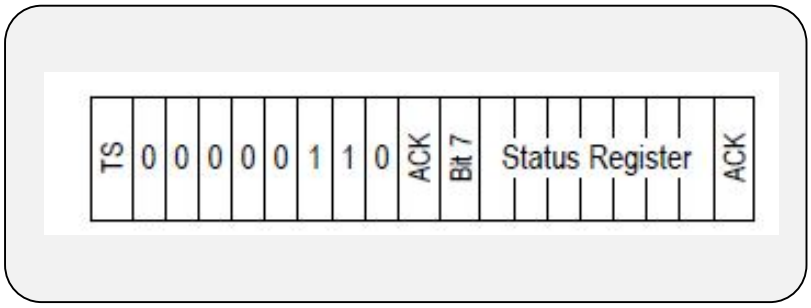


Figura 4.9. Escritura en el registro de estado.

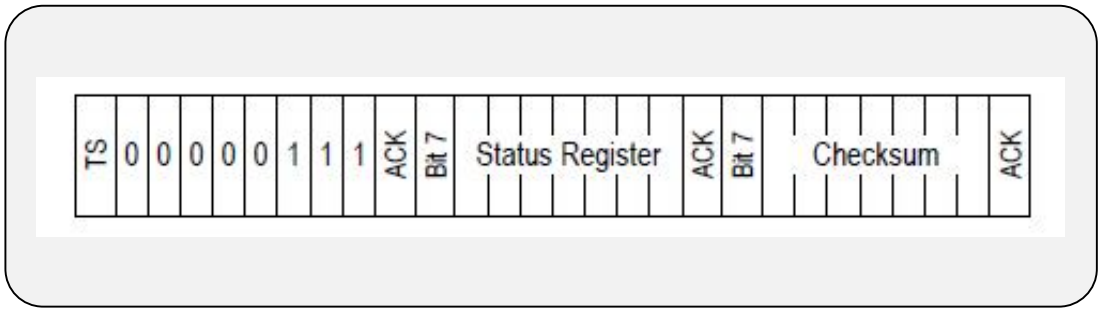


Figura 4.10. Lectura del registro de estado.

La tabla 4.11. detalla los bits de registro de estado:

Tabla 4.11. Bits del registro de estado.

Bit	Type	Description	Default	
7		reserved	0	
6	R	End of Battery (low voltage detection) '0' for VDD > 2.47 '1' for VDD < 2.47	X	No default value, bit is only updated after a measurement
5		reserved	0	
4		reserved	0	
3		For Testing only, do not use	0	
2	R/W	Heater	0	off
1	R/W	no reload from OTP	0	reload
0	R/W	'1' = 8bit RH / 12bit Temp. resolution '0' = 12bit RH / 14bit Temp. resolution	0	12bit RH 14bit Temp.

Ejemplos de comunicación completa son mostrados en las figuras 4.11 y figura 4.12.

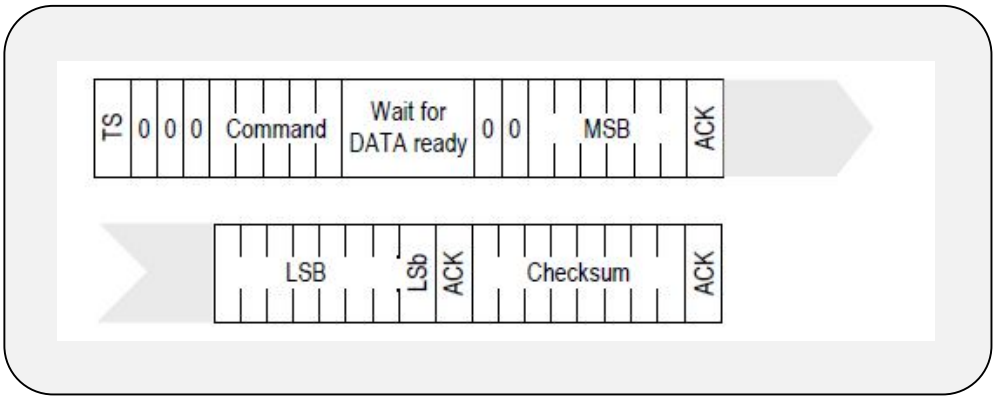


Figura 4.11. Secuencia de medición. TS = Inicio de transmisión, MSB = Byte más significativo., LSB = Byte menos significativo. LSb= Bit menos significativo.

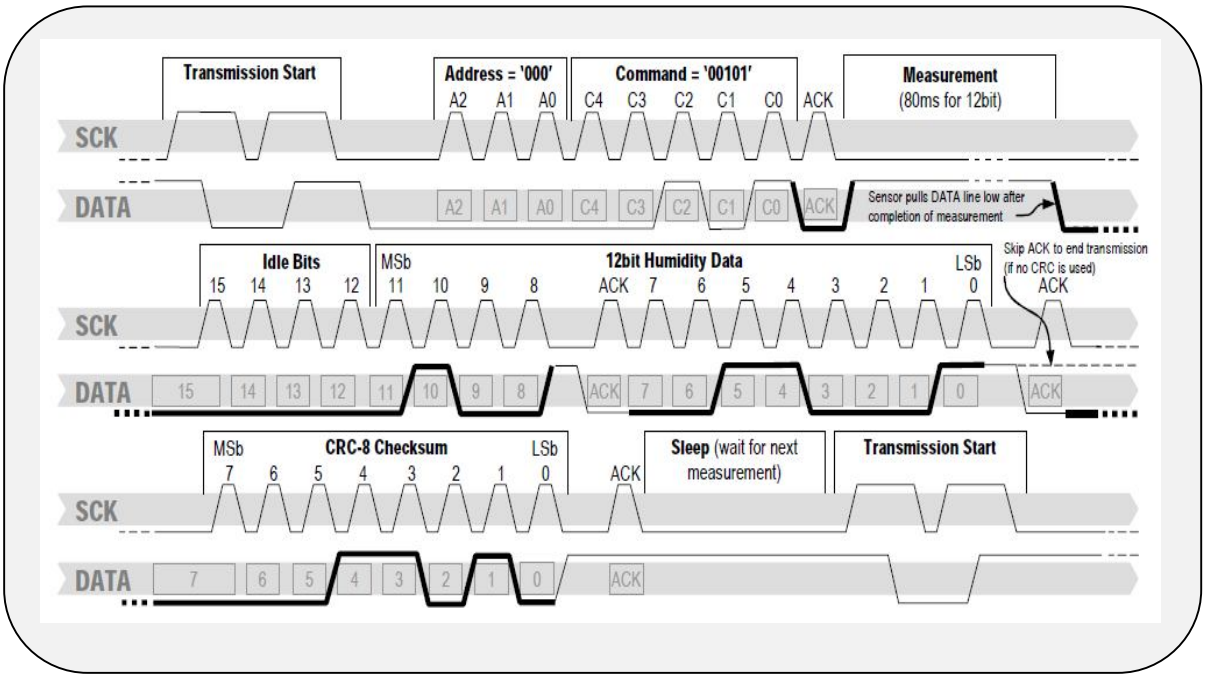


Figura 4.12. Ejemplo de secuencia de medición de humedad relativa RH para valor de “0000’0100’0011’0001” = 1073 = 35.5% RH (sin compensación de la temperatura). Los tiempos de DATA válido son dados y referenciados en los cuadros en la línea de DATA. Las líneas en negrita de DATA son controladas por el sensor mientras que las líneas horizontales por el microcontrolador.

4.4. Pruebas en laboratorio

Para realizar las mediciones y a fin de someter a prueba la programación se realizaron simulaciones del funcionamiento del sensor SHT-11, esta programación fue desarrollada en lenguaje C y el compilador CCS. El entorno de simulación es el programa Proteus de la empresa Labcenter Electronics.

Para comprobar la funcionalidad de la codificación, se utilizó el microcontrolador PIC16F877A en el circuito de pruebas mostrado en la figura 4.13., el cual detalla el esquema de conexión junto al sensor SHT-11 y mostrando los parámetros de humedad y temperatura en un display LCD. Es preciso señalar que para el montaje final del módulo de procesamiento de variables físicas se empleó el microcontrolador PIC18F4550.

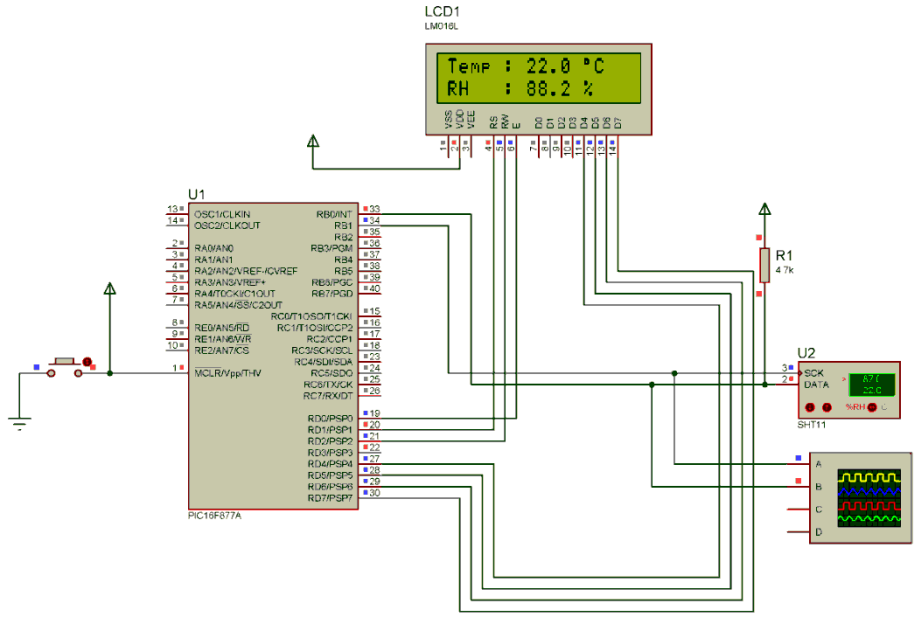
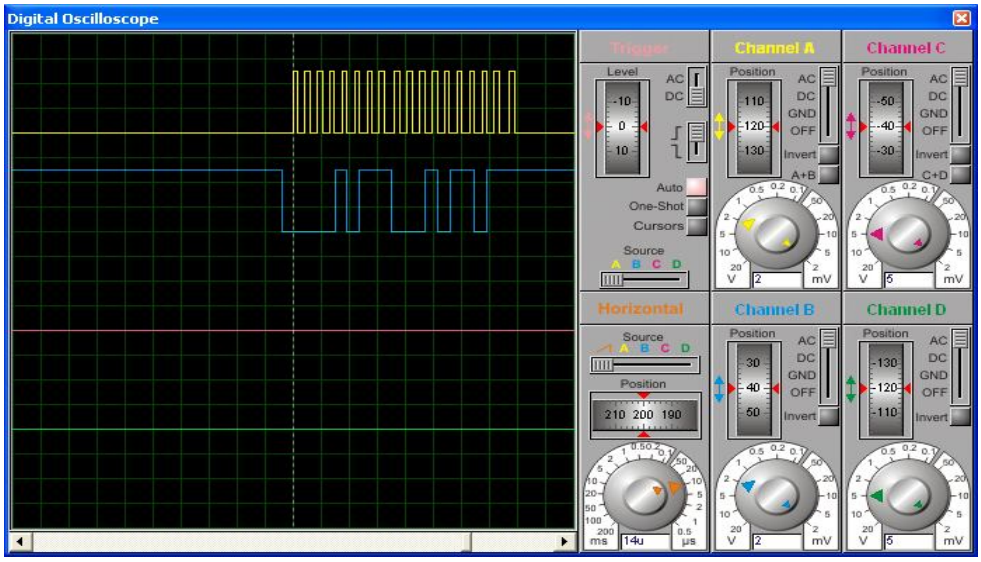


Figura 4.13. Esquema de conexión del microcontrolador PIC16F877A y el sensor SHT-11, mostrando las variables en un display LCD.

La figura 4.14. muestra las señales de CLK y DATA simuladas en el osciloscopio digital.



= **Clock (SCK)**

= **Data**

Figura 4.14. Simulación del Osciloscopio digital de Proteus, mostrando las señales de CLK y DATA del sensor SHT-11.

El esquema siguiente, figura 4.15., ilustra la conexión de dispositivos a fin probar y comparar la fiabilidad del procesamiento y la codificación del microcontrolador, asimismo con el multímetro UNITEST se harán mediciones de temperatura ya que cuenta con una termocupla tipo K de alta precisión.

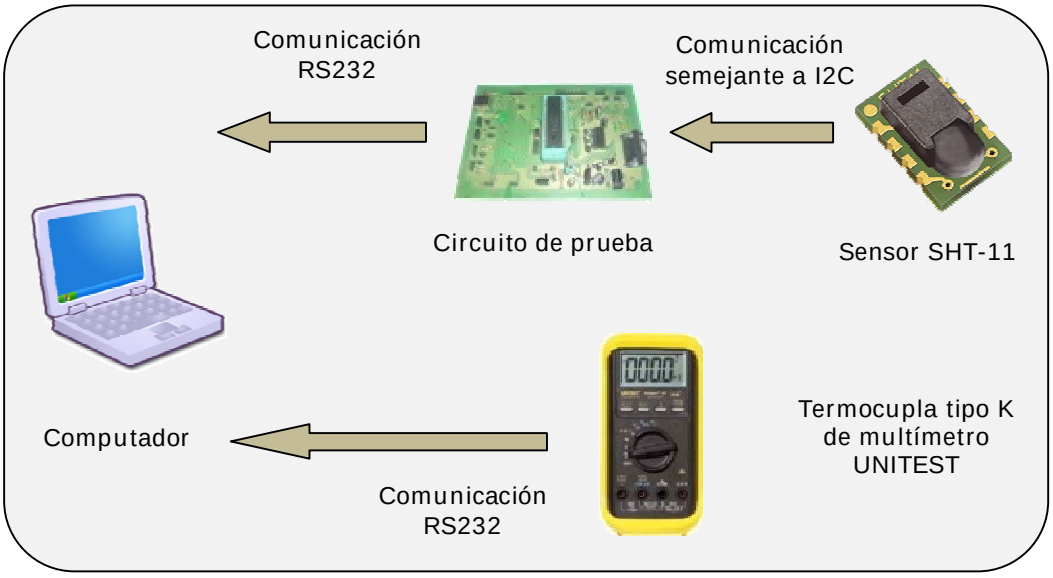


Figura 4.15. Esquema de conexión de los dispositivos de medición.

El multímetro de marca UNITEST realiza comunicación con el computador a través de RS232 óptica, funcionando éste ultimo como datalogger. Asimismo, este multímetro nos indica que la temperatura de ambiente es de 27ºC, ello es mostrado en la figura 4.16.

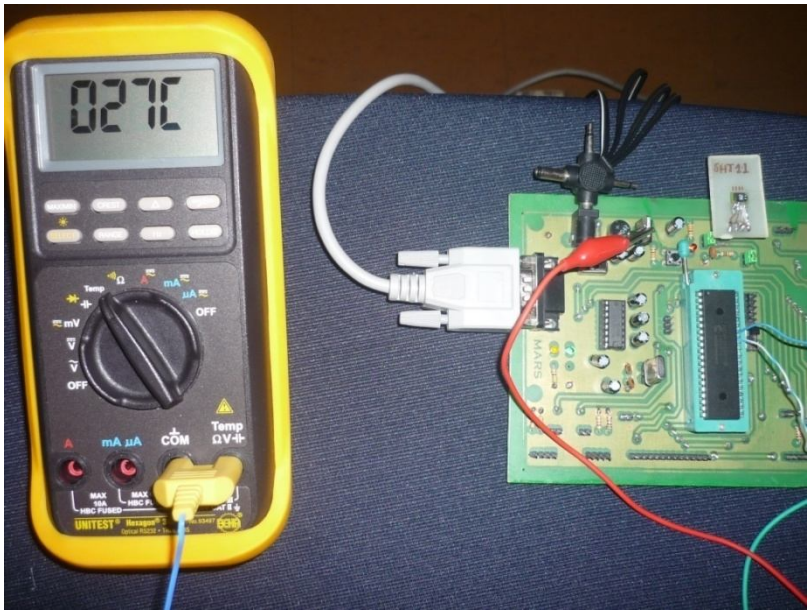


Figura 4.16. Valor de temperatura registrado en multitester UNITEST.

En la figura 4.17. se aprecia la interfaz gráfica del multímetro en el computador, en ella se verifica el valor mostrado en su display y además podemos observar un gráfico de cómo varía la señal en el tiempo, con la opción de almacenar los datos en el computador.

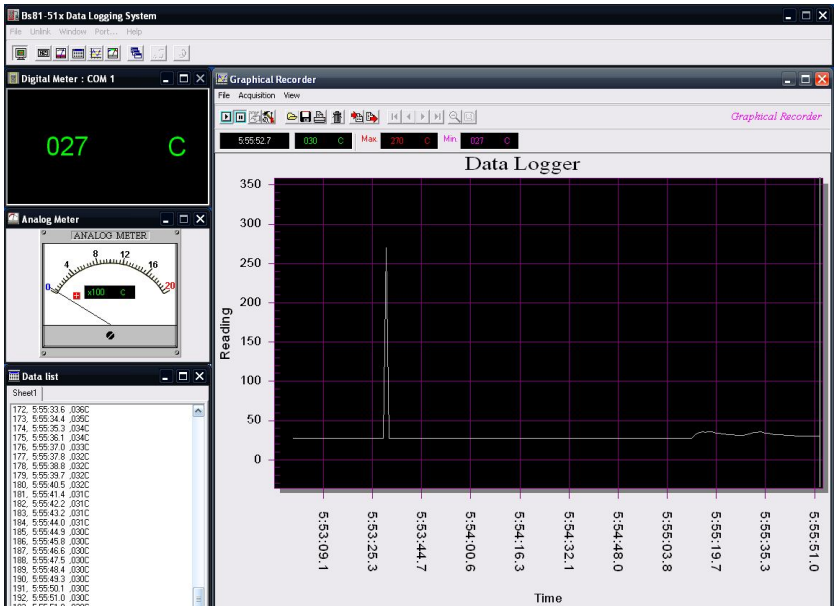


Figura 4.17. Interfaz gráfica del multímetro UNITEST, sensando la variable temperatura.

El sensor SHT-11 indica efectivamente que la temperatura registrada es de 27.6 ºC y la humedad relativa es de 66.1%, datos que son mostrados por el hyperterminal mediante comunicación serial al computador, ello se visualiza en la figura 4.18.

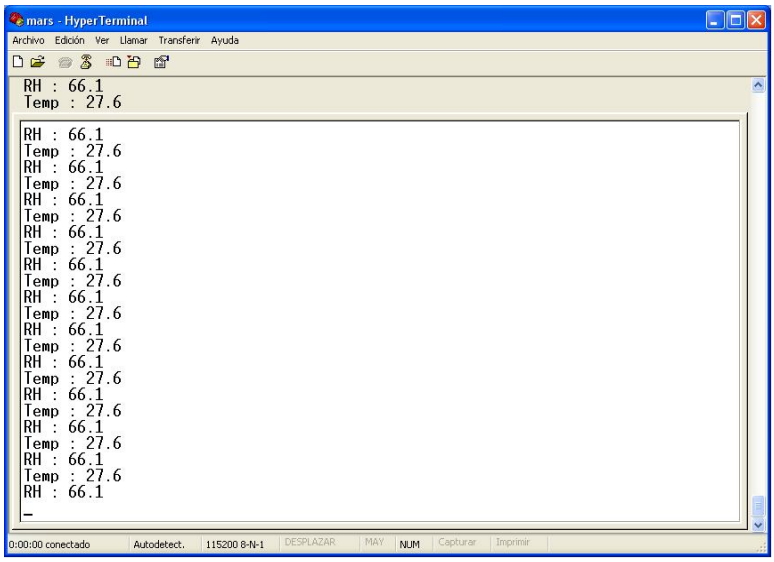


Figura 4.18. Medición de humedad y temperatura relativa mostrada en Hyperterminal.

Capítulo V
Diseño e implementación del sistema de telemetría

5.1. Introducción

El desarrollo del módulo de telemetría de GSM/GPRS/GPS al que denominé “UBSAT” (por sus siglas, *UBicación SATelital)* implicó una serie de mejoras a lo largo de su desarrollo, para ello se usó como componente principal el módulo de GSM/GPRS/GPS SIM548C de la empresa SIM Technology, partiendo del estudio de sus características y periféricos, se diseñó un módulo de propósitos generales. Para la primera versión se utilizó un microcontrolador PIC16F628A de gama media inmerso en la tarjeta, para la segunda versión se retiró el microcontrolador de la tarjeta y en su reemplazo se colocaron terminales de expansión haciendo posible la comunicación con cualquier tipo de dispositivo utilice comunicación serial. En la tercera versión se optimizaron detalles relacionados a la fuente de alimentación, donde se incorporó un regulador de mayor amperaje y dedicado al módulo de GSM, también se utilizó otro regulador para el componente carga, entendiéndose éste como periféricos, circuitos integrados, microcontrolador y sensores. Finalmente, en el presente trabajo se utilizó el microcontrolador PIC18F4550 de gama alta.

5.2. Módulo SIM548C de SIMTech

El módulo SIM548C fabricado por la empresa SIM Technology, salió al mercado en el año 2006 [29], se trata de un módulo de GSM/GPRS y GPS. El SIM548C es cuatri-banda y trabaja en las frecuencias EGSM 900 MHz/DCS 1800 MHz y GSM 850 MHz/PCS 1900 MHz. Asimismo, el SIM548C soporta tecnología GPS y usa el chip SIRFStar III. A su vez el SIM548C tiene capacidades de conexión a la red de GPRS de clase 10/clase 8 (opcional) y soporta esquemas de codificación CS-1, CS-2, CS-3 y CS-4 para GPRS [30].

5.2.1. Características generales

En la tabla 5.1. se detallan las características generales que presenta el módulo SIM548C de SIMCOM:

Tabla 5.1. Características generales del módulo SIM548C [30].

Características	Valores
Voltaje de operación	• Parte GSM: 3.4V- 4.5 V • Parte GPS: 3.3V±5%
Control de carga	• Baterías de tipo Li-Ion.
Bandas de frecuencia	• EGSM 900/DCS 1800 y GSM 850 MHz/PCS 1900 MHz.
Poder de transmisión	• Class 4 (2W) en EGSM 900/GSM 850 • Class 1 (1W) en DCS 1800/PCS 1900
Conectividad a GPRS	• GPRS clase 10. • GPRS clase 8. (Opcional)
Características GPS	• Receptor GPS con chip SiRFstar III. • Procesador de tipo ARM7/TDMI.
Temperatura de operación	• Operación normal: -30'C a +80ºC • Operación restringida: -40ºC a -30ºC y +80ºC a +85ºC • Temperatura de almacenamiento: -45ºC a +90ºC
Data GPRS	• Velocidad de descarga: max. 85.6 kbps. • Velocidad de subida: max. 42.8 kbps • El SIM548C integra el protocolo de TCP/IP.
Comunicación	• Serial con el puerto GSM: con *autobauding* de 4800 bps a 115200 bps. • Serial con el puerto GPS.
Programable	• Vía comandos AT.

La distribución de terminales y el aspecto físico del módulo SIM548C son mostrados en la figura 5.1.a y 5.1.b., respectivamente:

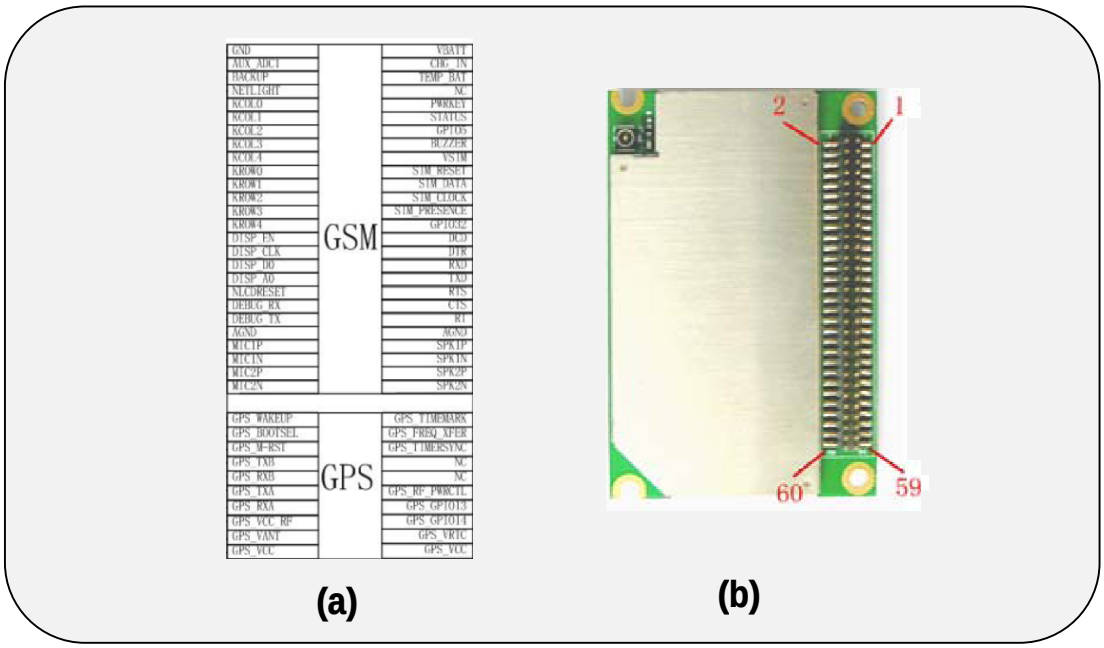


Figura 5.1. Módulo SIM548C. (a) Terminales del módulo SIM 548C y (b) aspecto físico.

5.3. El microcontrolador PIC18F4550

5.3.1. Características generales

El microcontrolador que se empleó para el procesamiento es el PIC18F4550 de la marca Microchip Technology. Asimismo, éste dispositivo se comunica de forma serial con el módulo GSM, sus principales características son las siguientes:

- Microcontrolador de gama alta.
- Compatible USB V2.0
- Baja velocidad (1.5 Mb/s) y alta velocidad (12 Mb/s) USB.
- Voltaje de Operación: Entre 2 a 5.5 Voltios.
- Flexible estructura de oscilador:
  - Cuatro modos de cristal, incluyendo alta precisión PLL para USB.
  - Dos modos externos de Clock hasta 48 Mhz.
- Bloque de oscilador interno:
  - 8 frecuencias seleccionables, desde 31 KHz hasta 8 MHz.
- Memoria de Programa:
  - Memoria Flash de 32 Kbytes.
  - Número de instrucciones 16384.
- Memoria de Data:
  - 2048 Bytes SRAM
  - 256 Bytes EEPROM.
- 35Entradas/Salidas:
- 13 Canales A/D (10 Bits):
- 2 capturados comparadores CCP/ECCP (PWM):
- Tres interrupciones externas.
- Cuatro módulos de Timer (Timer 0 al Timer 3)
- Retención de data EEPROM superior a 40 años.

La configuración de cada uno de los terminales de conexión del microcontrolador PIC18F4550 es mostrada en la figura 5.2.

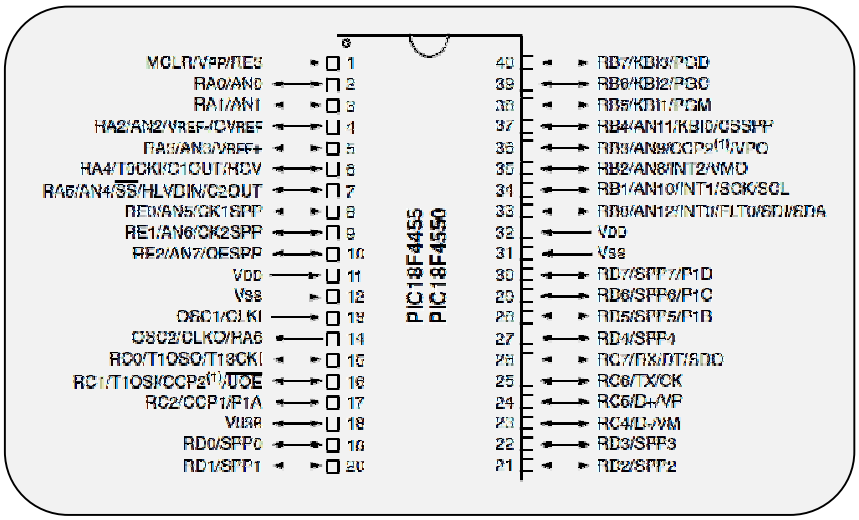


Figura 5.2. Terminales de conexión del microcontrolador PIC18F4550.

5.4. Los Comandos AT

El protocolo de comunicación que se utilizó se basa en el uso de los comandos AT.

Los comandos AT son instrucciones codificadas que conforman un lenguaje de comunicación entre un Terminal Módem. En un principio, el juego de comandos AT fue desarrollado en 1977 por Dennis Hayes como un interfaz de comunicación con un módem para poder configurarlo y proporcionarle instrucciones, tales como marcar un número de teléfono. Más adelante, con el avance en las distintas velocidades, fueron compañías como Microcomm y US Robotics las que siguieron desarrollando y expandiendo el juego de comandos hasta universalizarlo. Los comandos AT se denominan así por la abreviatura de "Atención".

Aunque la finalidad principal de los comandos AT es la comunicación con módems, la telefonía móvil GSM también ha adoptado como estándar este lenguaje para poder comunicarse con sus terminales. De esta forma, todos los teléfonos móviles GSM poseen un juego de comandos AT específico que sirva de interfaz para configurar y proporcionar instrucciones a los terminales. Este juego de instrucciones puede encontrarse en la documentación técnica de los terminales GSM y permite acciones tales como realizar llamadas de datos o de voz, leer y escribir en la agenda de contactos y enviar mensajes SMS, además de muchas otras opciones de configuración.

Queda claro que la implementación de los comandos AT corre a cuenta del dispositivo GSM y no depende del canal de comunicación a través del cual estos comandos sean enviados, ya sea cable serie, canal infrarrojo, Bluetooth, etc. De esta forma, es posible distinguir distintos teléfonos móviles en el mercado que permitan la ejecución de comandos AT o sólo parcialmente [32].

5.4.1. Notación de los comandos AT.

El envío de comandos AT requiere la siguiente estructura:

Petición:

AT+CGMI<CR>
Donde AT+CGMI=Comando
<CR>=Retorno de carrier (Enter)

Respuesta correcta:

<CR><LF>SIMCOM_Ltd<CR><LF>

Respuesta incorrecta:

<CR><LF>ERROR<CR><LF>

Como podemos apreciar el comando AT utilizado por los equipos celulares GSM es igual al usado con los módems normales, con la diferencia del signo + el cual marca la diferencia del uso de los mismos.

5.4.2. Comandos AT para realizar llamadas

A continuación se nombran los principales comandos AT para realizar llamadas y conocer características del módulo de GSM SIM548C.

- ID del fabricante:

AT+CGMI
SIMCOM_Ltd

- Modelo del módulo:

AT+GMM
SIMCOM_SIM548C

- Número IMEI:

AT+GSN=?

- Calidad de la batería:

AT+CBC
+CBC: 0,84,3977
OK

- Calidad de señal:

AT+CSQ
+CSQ: 19,0

- Realizar una llamada:

ATDXXXXXXXXX; XXXXXXXXX= 9 Dígitos de un número celular.

- Mostrar el número de una llamada entrante:

AT+CLIP=1
OK
RING
+CLIP: “987654321”, 129// Número de llamada entrante 987654321
OK
ATH // Colgar

- Como iniciar el contador de tiempo al iniciar una llamada

AT+COLP=1 /Se configura el contador de tiempo
OK
ATD987654321; / / No comienza a contar hasta que se establece la llamada
OK / / Comienza a contar
ATH

- Como configurar el canal de audio

AT+CHFA=1 / /Auxiliar
OK AT+CHFA / /Audio Principal

- Atender una llamada entrante

RING
ATA
OK

- Reporte de errores:

AT+CEER

- Apagar el módem por comando:

AT+CPOWD=1

- Encender o apagar eco:

ATE0 y ATE1: ECO OFF y ECO ON.

5.4.3. Comandos AT para SMS

A continuación se nombran los principales comandos AT destinados a administrar las funciones del servicio de mensajería corta.

- Lectura de un SMS:

AT+CMGR=<Número o casilla>

- Envío de un SMS:

AT+CMGS="Número"
>***<Mensaje>***<Ctrl+Z>

- Borra el mensaje número XX:

AT+CMGD=XX

- Borrar todos los mensajes del buzón de correo:

AT+CMGDA=“DEL ALL”

5.5. Módulo de GSM/GPRS/GPS “UBSAT”

5.5.1. Versiones del módulo de telemetría

Para el desarrollo del módulo de telemetría, se elaboró tres versiones del módulo debido a las mejoras que se han ido incorporando durante el desarrollo del proyecto. Este módulo al que denominé “UBSAT” (por sus siglas, *UBicación SATelital*) posee diversas funcionalidades tanto de comunicación con la computadora (PC), microcontrolador o a través de cualquier dispositivo que utilice el tipo de comunicación serial, debido a que presenta configuraciones de tipo genérica e interfaces de entrada y salida fácilmente configurables y adaptable a modificaciones.

En la figura 5.3. se muestra el módulo “UBSAT” en su primera versión (v 1.0.) desarrollado inicialmente con un microcontrolador de gama media como el PIC16F628 de 16 terminales inmerso en la placa del módulo.



Figura 5.3. Módulo de telemetría “UBSAT” v 1.0.

La figura 5.4. muestra al módulo de telemetría “UBSAT” v 2.0., en donde se se mejoró la parte de recepción y transmisión de señales y adicionalmente se habilitaron terminales de entrada/salida para comunicarse con cualquier tipo de dispositivo de comunicación serial de forma externa. Posee sistemas de audio (micrófono y audífono), conversor análogo digital (ADC) y un buzzer.

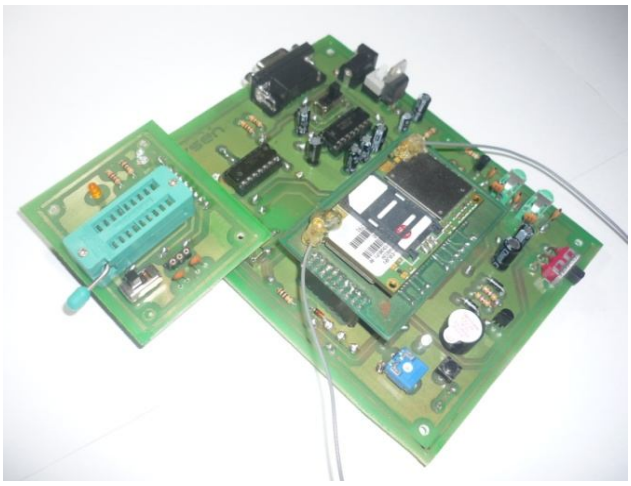


Figura 5.4. Módulo de telemetría “UBSAT” v 2.0.

Finalmente, la figura 5.5. muestra el módulo “UBSAT” v 3.0., en él se optimizaron detalles relacionados a regulación, donde se incorporó un regulador de mayor amperaje y dedicado al módulo de GSM debido a que durante una llamada o timbrada al módulo éste puede llegar a alcanzar 2A de corriente, asimismo se utilizó otro regulador para el componente carga, entendiéndose éste como periféricos, integrados, microcontrolador y sensores. Esta última versión del módulo es el que nos permitirá alcanzar los objetivos trazados en la presente tesis.

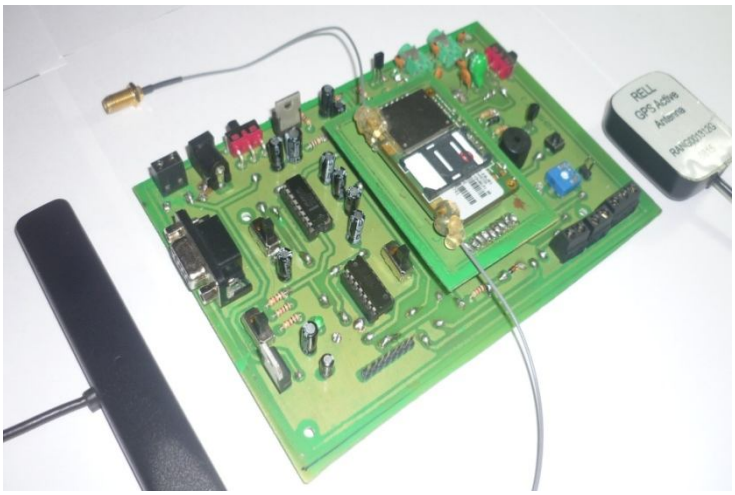


Figura 5.5. Módulo de telemetría “UBSAT” v 3.0.

5.5.2. Descripción del módulo “UBSAT” v 3.0.

El módulo de telemetría de GSM/GPRS/GPS “UBSAT” v.3.0. utiliza en gran parte las funcionalidades y características que nos ofrece el módulo SIM548C, se alimenta de aproximadamente 4 voltios regulados por el integrado LM350 y además de soportar corriente máxima de 3A, considerando que durante una llamada al módulo pueda alcanzar 2A. A su vez, es posible realizar y contestar llamadas debido a que cuenta con salidas y entradas de audio. Posee un módulo

de conversión análogo digital ADC, comunicación serial con la PC y con el microcontrolador. El GPS SirfStarIII se alimenta con 5 voltios y no posee conexión directa con la parte GSM. El diagrama de bloques del módulo "UBSAT" es mostrado en la figura 5.6.

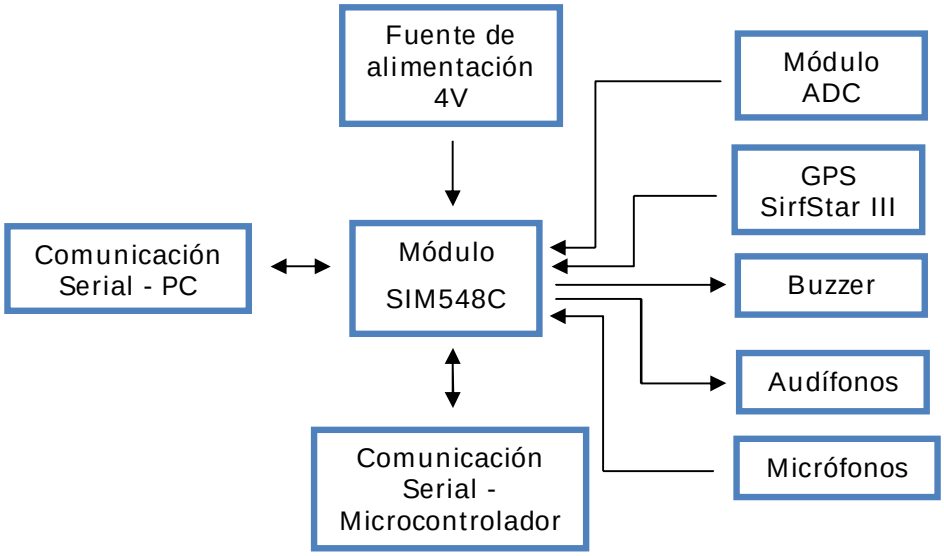


Figura 5.6. Diagrama de bloques del modem de telemetría "UBSAT".

En la figura 5.7. se detallan los periféricos del modem "UBSAT":

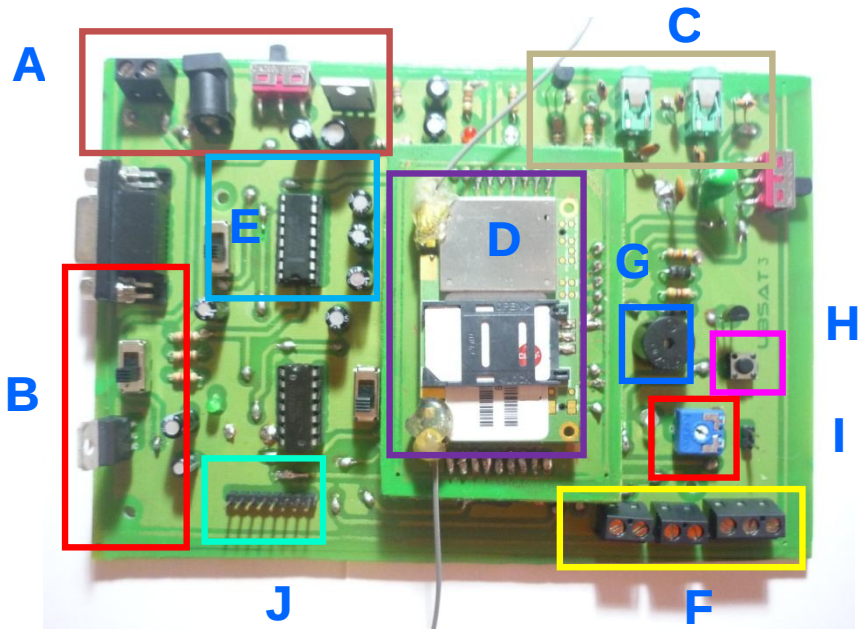


Figura 5.7. Periféricos del módulo de telemetría "UBSAT" v 3.0.

Descripción:

A= Fuente de alimentación GSM.
B= Fuente de alimentación GPS.
C= Comunicación por audio (audífono y micrófono)
D= Módulo SIM548C.
E= Módulo de comunicación serial RS232.
F= Fuentes de alimentación externa.

G= Buzzer.
H= Botón de encendido POWERKEY.
I= Módulo de ADC.
J= Comunicación con el microcontrolador.

a) Fuente de energía eléctrica de la parte de GSM del SIM548C

La alimentación de la parte de GSM del módulo SIM548C es de 4 voltios aproximadamente, regulado con el integrado LM350. Los valores de resistencias y condensadores de acople son mostrados en la figura 5.8.

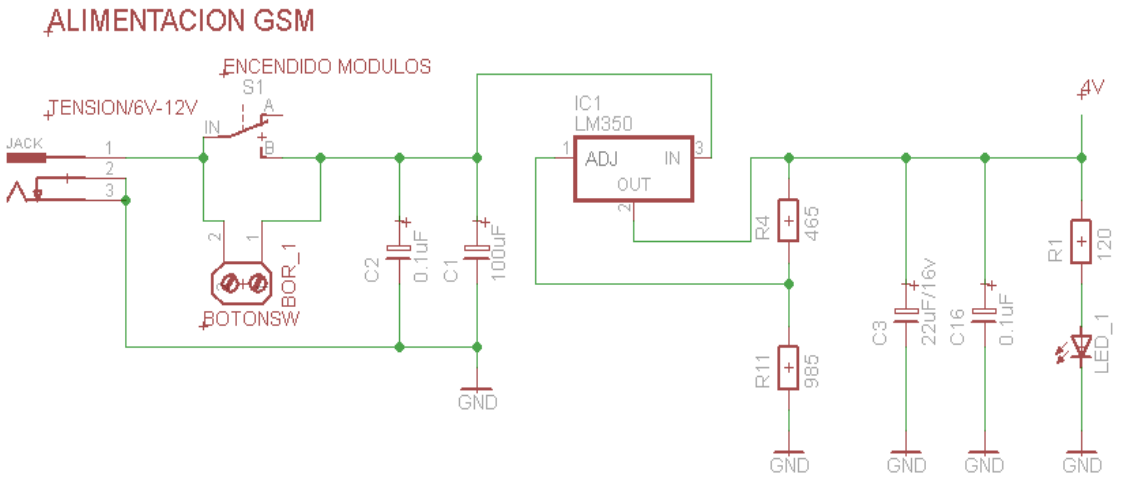


Figura 5.8. Fuente de alimentación de la parte de GSM del módulo SIM548C.

b) Tiempo de encendido de la parte GSM del módulo SIM548C

El encendido del módulo utiliza la siguiente configuración recomendada por el fabricante, que es mostrada en la figura 5.9. [30]. La señal en bajo que produce el pulsador recibe el nombre de POWERKEY. Ésta señal es un pequeño pulso de nivel bajo y va directamente conectado al módulo SIM548C, pasando así del modo DORMIDO al modo ACTIVO durante el encendido [30].

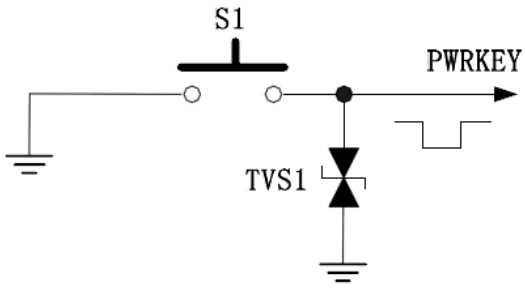


Figura 5.9. Configuración del botón de encendido de la parte GSM.

Los tiempos de encendido de la parte GSM del módulo SIM548C se pueden apreciar en la figura 5.10. e indica que aproximadamente el tiempo en que debe permanecer en bajo el pulsador debe ser mayor a 2 segundos [30].

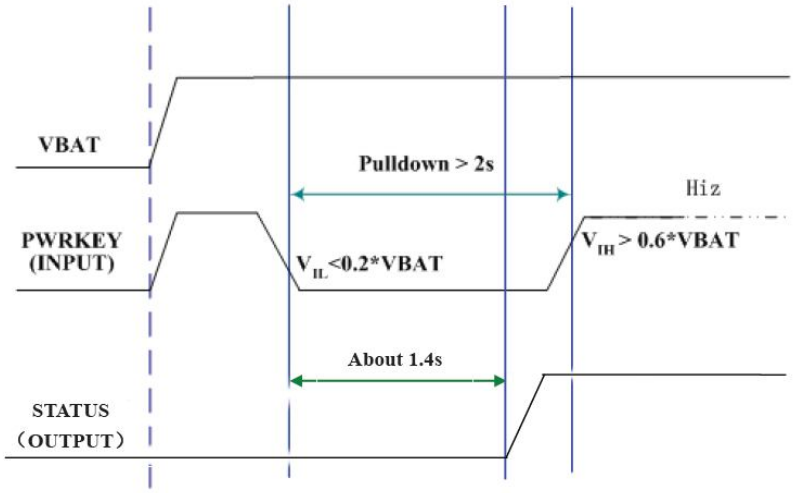


Figura 5.10. Tiempos de encendido del módulo SIM548C.

c) Comunicación serial con el computador y microcontrolador

La figura 5.11. muestra el esquema de transmisión y recepción de datos seriales del módulo "UBSAT", tanto para el microcontrolador como el computador, éste último mediante una interfaz RS-232.

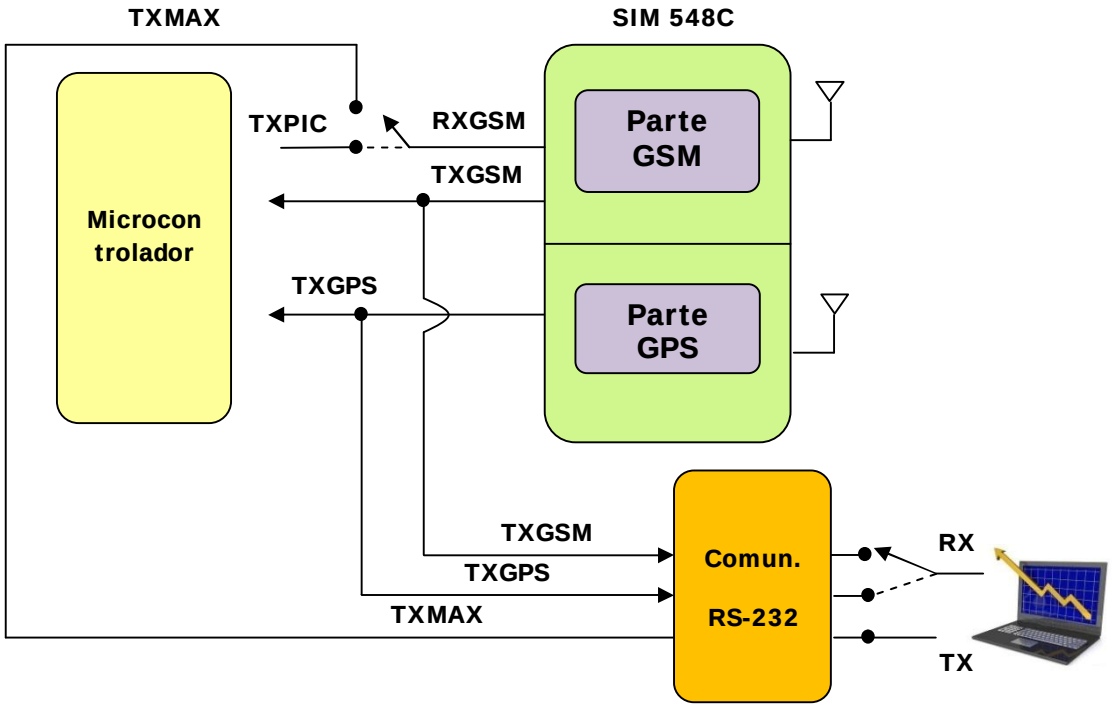


Figura 5.11. Esquema de transmisión y recepción de señales del módulo "UBSAT".

De la figura 5.11. se observa que las señales de transmisión y recepción son replicadas tanto para el microcontrolador como para el computador. Las

señales de TXGSM y TXGPS son independientes, no obstante, ambas son generadas a partir de un único módulo SIM548C. En el caso de la señal de TXGSM, es posible establecer la velocidad en baudios de comunicación, para la presente tesis se trabajó a 4800 baudios, ésta velocidad es configurable mediante comandos AT. La TXGPS trabaja a 4800 baudios y está configurada a esa velocidad de forma predeterminada.

La TXPIC y TXMAX, generadas por el microcontrolador y el computador respectivamente, son habilitadas de acuerdo al modo como uno desea operar, se establecerá éstas opciones para el tipo de función que debe cumplir nuestro sistema, ya que se emplearán dos módulos "UBSAT" y mediante un selector se pueda establecer el tipo de componente a comunicar con el módulo SIM548C.

5.6. Módulo de procesamiento de parámetros físicos

El módulo de procesamiento está referido al circuito encargado de la medición de los parámetros de humedad, temperatura y distancia, luego gestionar las señales de transmisión - recepción a través de la red GSM mediante el microcontrolador PIC18F4550. El microcontrolador PIC18F4550 es el componente principal del módulo de procesamiento y establece la comunicación serial con el módulo "UBSAT" bajo el modelo pregunta-respuesta. La figura. 5.12. y 5.13. muestran el diagrama de bloques y el aspecto físico del módulo, respectivamente.

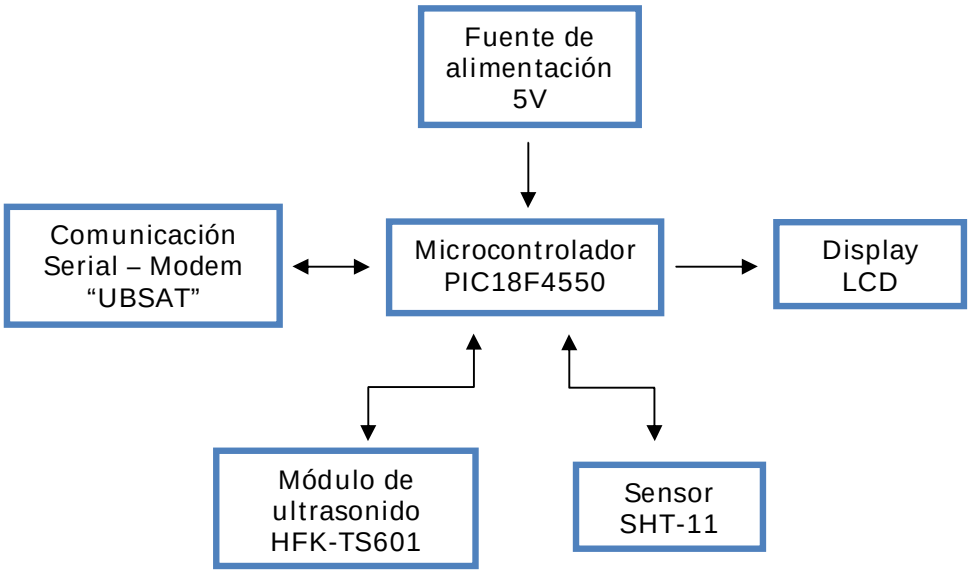


Figura 5.12. Diagrama de bloques del módulo de procesamiento de parámetros.

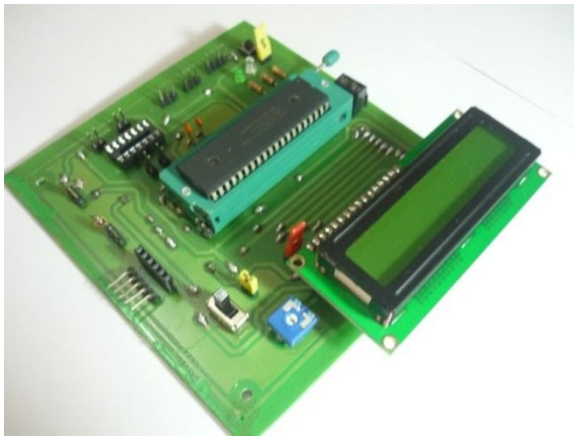


Figura 5.13. Módulo de procesamiento de parámetros con PIC18F4550.

5.6.1. Fuente de energía eléctrica para la carga

Se debe entender como carga a los diversos componentes tanto de medición y visualización, entre ellas está el microcontrolador, los circuitos integrados MAX232, los sensores (SHT-11 y el de ultrasonido), el display LCD y el GPS del módulo SIM548C. La regulación a 5 voltios se obtiene mediante el integrado 7805. El esquema de conexión de la alimentación y regulación de la carga en el módulo de procesamiento de parámetros es mostrado en la figura 5.14.

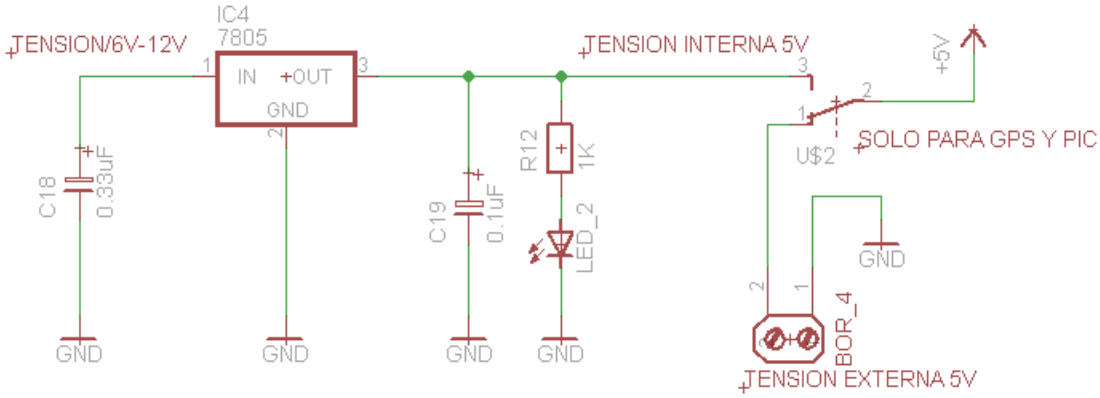


Figura 5.14. Fuente de alimentación de la carga en el módulo de procesamiento de parámetros.

5.7. Funcionamiento del sistema

El sistema de telemetría presentado posee dos funciones definidas: ser alertado ante el inminente peligro de desborde de un río y poder realizar consulta de los parámetros de humedad, temperatura y nivel de agua un lugar bajo estudio. Para lo cual es necesario dar las condiciones necesarias al sistema. Para ello durante la elección del lugar de operación del sistema es necesario que el río esté debidamente encausado y así obtener un registro de nivel de agua que nos permita garantizar una real fluctuación de niveles, esto es observable por ejemplo en la cercanía a puentes, donde por su naturaliza de construcción el flujo del agua tiene un cauce. Sabiendo que nuestro rango máximo de medición de

distancia es de 3 metros para el módulo de ultrasonido, fijamos en dos metros el rango de valores permisibles ante una posible creciente de río, esto quiere decir que a un metro del sensor, la señal de alerta se realizará efectuando una llamada al usuario u operario de una central de monitoreo con el objetivo de que ésta se realice en tiempo real, finalizada esta etapa se genera el envío de un mensaje de texto en forma de trama indicando la medición del nivel de agua captado en el momento de la alerta y a su vez los datos de humedad y temperatura. Si consideramos dentro de la programación enviar esta alerta a un usuario o a un grupo de usuarios simplemente éste será indicado con un mensaje de PELIGRO DE DESBORDE vía SMS. En el caso de realizar el modo consulta de parámetros, el usuario u operador de una central de monitoreo realiza una llamada al módulo GSM, el microcontrolador interrumpirá su proceso de medición constante y registrará el último dato de medición de cada uno de los sensores enviando así esta información al terminal remoto que efectuó la consulta mediante un mensaje de texto o trama. En el caso de la central de monitoreo, puesto que el mensaje de texto es enviado en forma de trama, la aplicación desarrollada en Visual Basic permitirá decodificar esta la información mostrando los valores de humedad, temperatura y nivel en una interfaz. La figura 5.15. muestra el rango total medición del módulo de ultrasonido, indicando los rangos permisibles y de peligro para la generación de la señal de alerta.

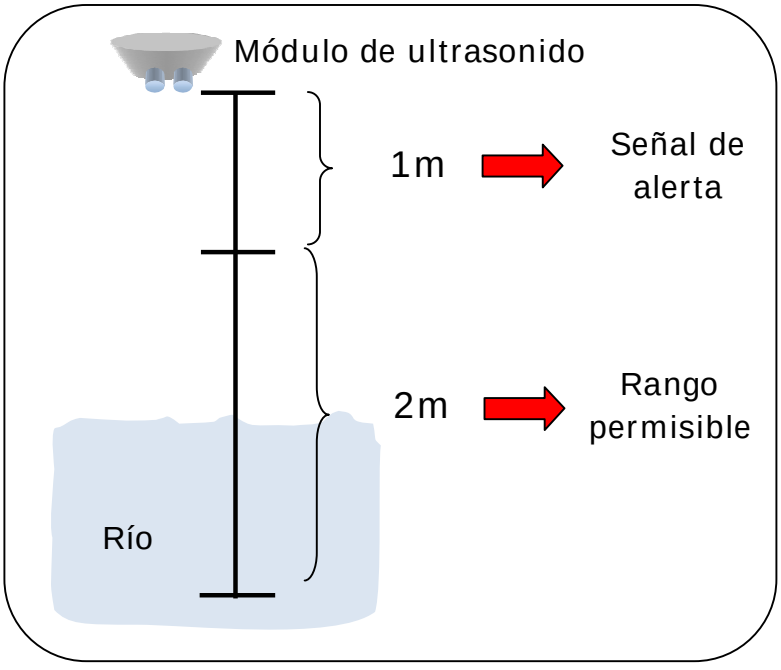


Figura 5.15. Rangos de medición permisibles y de alerta.

En el esquema siguiente, figura 5.16., se describe en forma detalla el diagrama en bloques total del sistema.

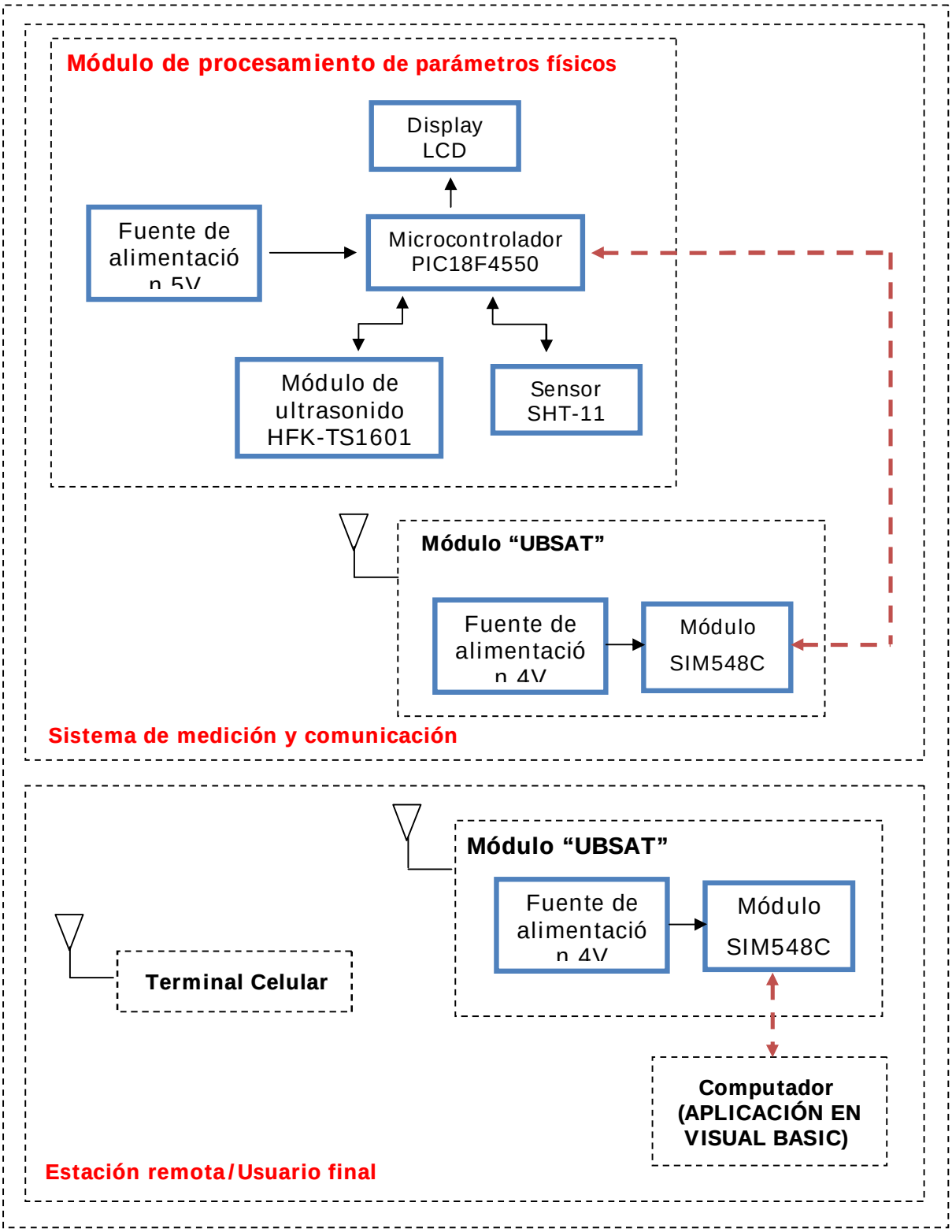


Figura 5.16. Estructura en diagrama de bloques de todo el sistema.

Asimismo, en la gráfica 5.17. se muestra una diagrama ilustrativo de los componentes totales del sistema.

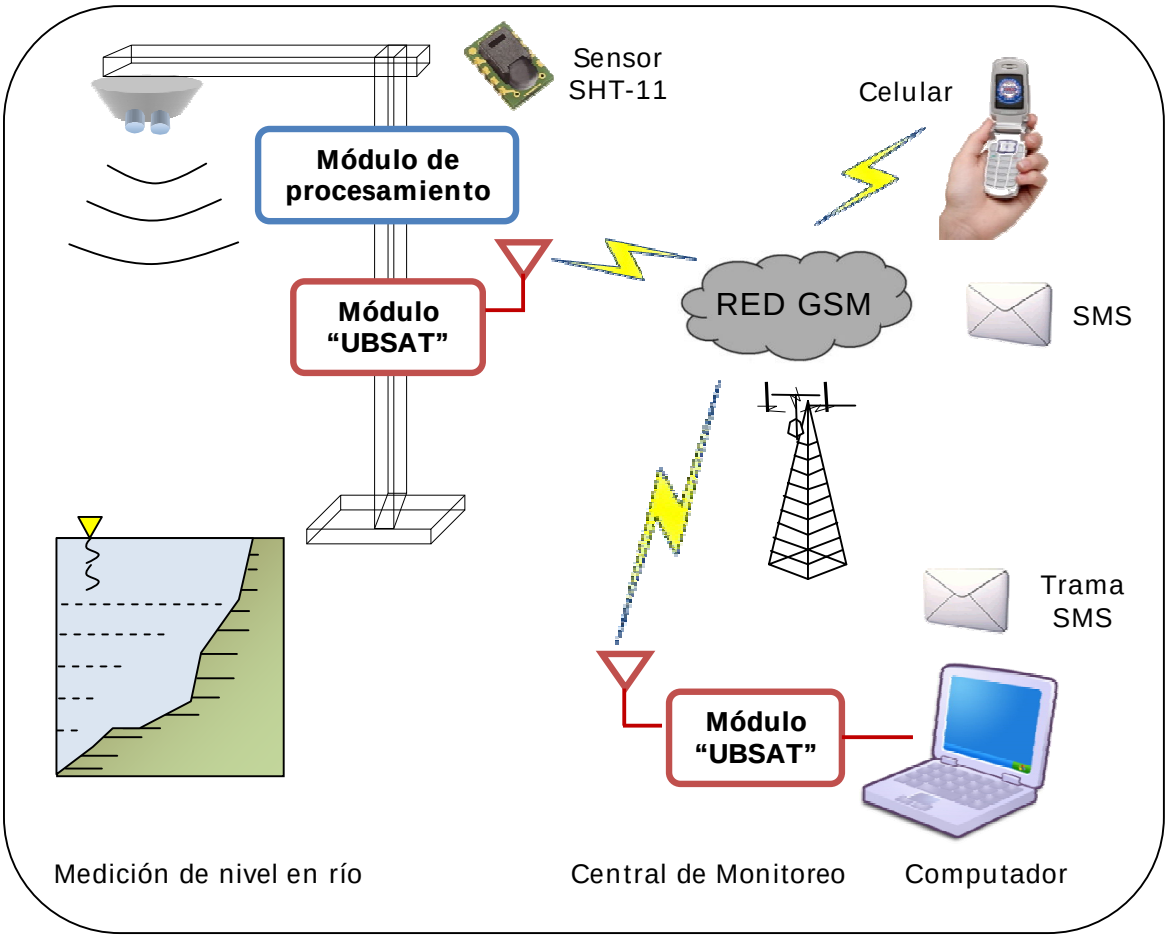


Figura 5.17. Diagrama general de los componentes del sistema.

5.8. Diagrama de flujo de la programación

Las funciones de alerta y consulta están codificadas dentro de la programación del microcontrolador, en ella la medición de nivel de agua es el factor determinante a fin de pasar de un modo a otro.

En el caso de que el nivel de medición registre menor a 1 metro, el sistema se pondrá en modo de ALERTA, realizará llamadas al usuario/operador, seguidamente registrará todas las mediciones y enviará un mensaje de texto o trama indicando peligro. En el modo CONSULTA, esto es, el rango comprendido entre los 2 y 3 metros, si el usuario/operario realiza una llamada al módulo GSM "UBSAT", éste genera una sentencia denominada RING (propia del módulo SIM548C) y es transmitida de forma serial al microcontrolador, el cual posee una función de lectura de caracteres dentro de la programación. Dicha lectura de caracteres está limitada a reconocer la palabra RING, garantizando así que la señal está referida a la llamada de un terminal remoto. Esta programación servirá únicamente al módulo de procesamiento de parámetros instalado en el lugar de medición, encargándose así de codificar los parámetros, ya en la estación de control esta información será decodificada mediante la programación en Visual Basic desarrollada para tan fin. El diagrama de flujo de la programación del microcontrolador es mostrado en la figura 5.18.

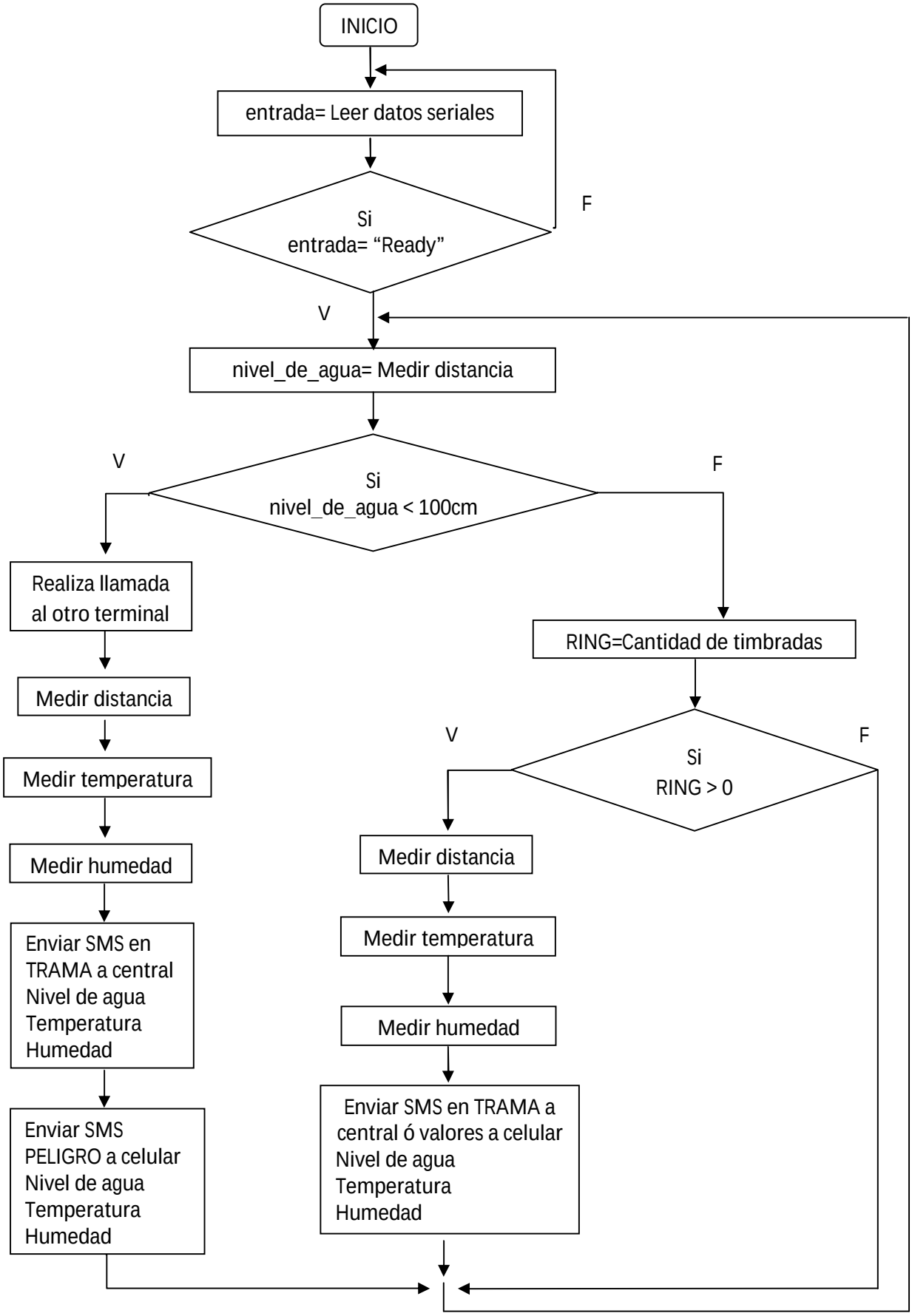


Figura 5.18. Diagrama de flujo de la programación del microcontrolador PIC18F4550.

Capítulo VI
Experimentación y Resultados

6.1. Introducción

Las pruebas realizadas en campo se efectuaron en el rio Rímac, teniendo como referencia la proximidad al puente “Los Ángeles” en el distrito de Chaclacayo, cuyas coordenadas geográficas del punto medición fueron en Latitud: 11º58.046’ y Longitud 76º44.715’. Como se mencionó en el capítulo anterior, es importante dar las condiciones necesarias al sistema a fin de que nuestras mediciones garanticen una real variación de niveles de agua, estas recomendaciones han sido puestas en práctica durante la instalación del sistema en un ambiente real. En las figuras siguientes se puede apreciar el acoplamiento de los componentes a un soporte, los módulos debidamente acondicionados a perturbaciones propia del medio y finalmente debido al encauce y estudio pre-planificado de tratamiento de aguas se instaló en la cercanía a un puente.

Es preciso señalar que se experimentarán los procesos de CONSULTA y ALERTA tanto desde la central de monitoreo y desde un terminal móvil, éste último permitirá a una persona, grupo de personas o jefe de una comunidad poder tomar las precauciones debidas frente al inminente desborde de un río.



(a)



(b)



Figura 6.1. Sistema de alerta ante desborde de ríos implementado. (a) Sistema de medición en funcionamiento. (b) Lugar de instalación. (c) Módulo de ultrasonido acondicionado. (d) Realizando mediciones.

6.2. El sistema de medición en campo

La implementación del sistema de medición es mostrada en la figura 6.2., en ella se aprecia el módulo de procesamiento conectado al módulo de GSM “UBSAT” y en un extremo se aprecia el sensor de ultrasonido. Todos estos componentes del sistema van acoplados al soporte diseñado para tal fin.

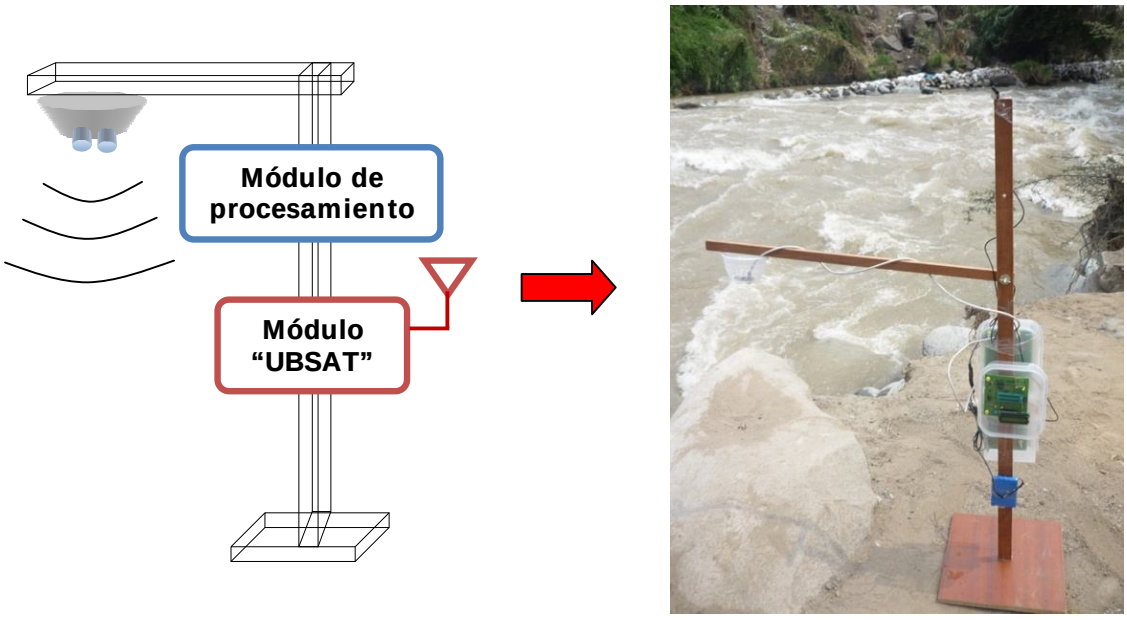


Figura 6.2. Implementación del sistema de medición.

El botón de encendido del módulo de GSM es denominado PWRKEY (como se mencionó en el capítulo V), al ser presionado durante 3 segundos aproximadamente iniciará su proceso de enlace con la antena de estación base (BTS) a fin de enganchar a la red de GSM, el display LCD del módulo de procesamiento indicará INICIANDO, señal de que el sistema empieza su rutina, cuando aparece el mensaje CONECTADO significará que el sistema ya está dentro de la red y simplemente empezará la medición de parámetros de nivel de agua como función prioritaria del sistema.

En el caso de registrar una medición en el rango de 1 metro, el sistema realizará una llamada al módulo de GSM de la central de monitoreo y/o al celular de un usuario, dependiendo de la programación establecida. Finalmente enviará el mensaje de texto indicando el mensaje ENVIANDO.

En modo consulta, el sistema contará el número de timbradas a través de la lectura de la sentencia RING, seguidamente realizará el envío del mensaje de texto con las mediciones de nivel, humedad y temperatura. Todos los mensajes mostrados en el display se pueden apreciar en la figura 6.3.

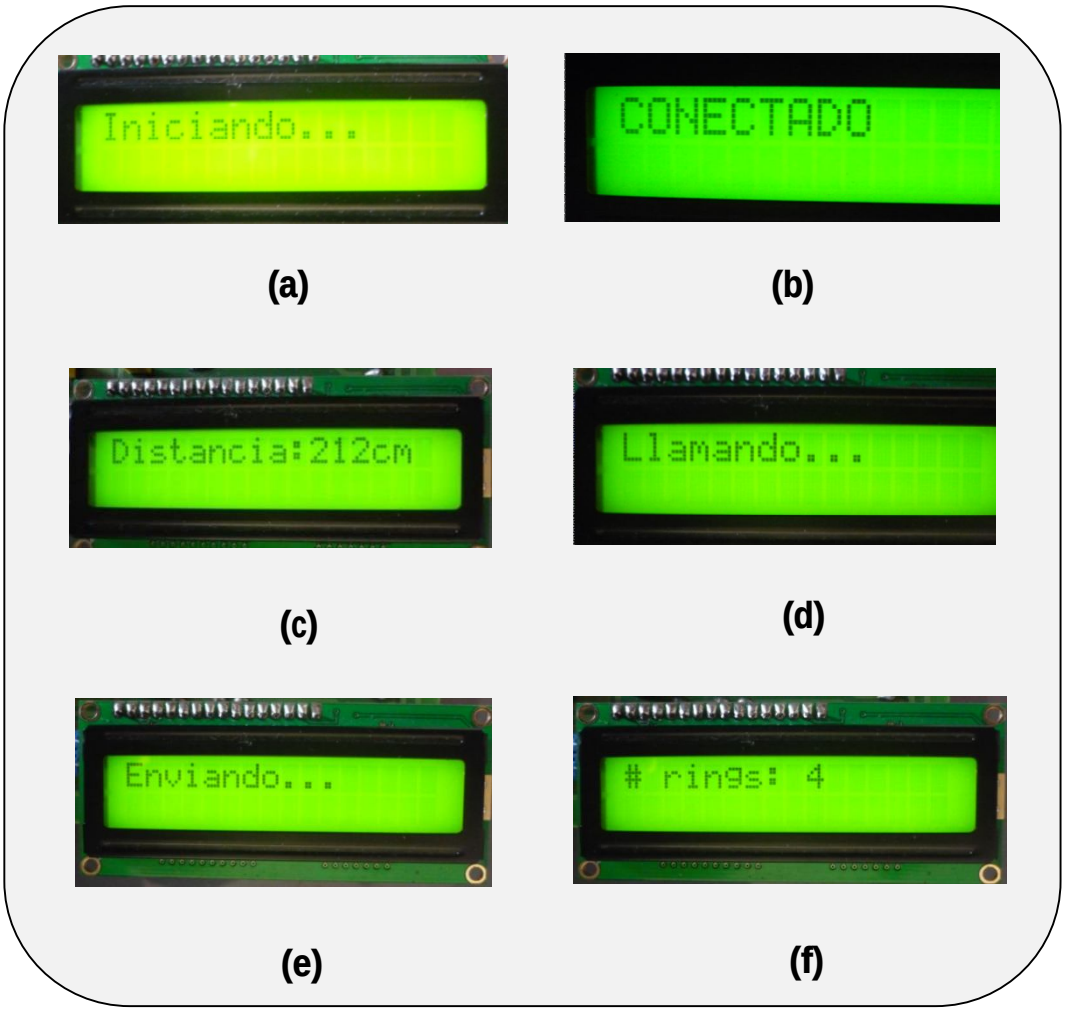


Figura 6.3. Mensajes mostrados en display. (a) Iniciando. (b) Conectado a la red de GSM. (c) Medida de nivel de agua. (d) Mensaje de realizar llamada. (e) Señal de enviar SMS. (f) Número de timbradas registradas.

6.3. Mediciones realizadas en campo

6.3.1. Registro de datos cada 10 segundos

Se registraron 181 datos con el módulo de procesamiento de parámetros, cada uno con intervalos de 10 segundos, obteniendo así mediciones de temperatura, humedad relativa y nivel de agua, los datos fueron trasmitidos mediante comunicación serial durante aproximadamente media hora. La figura 6.4.(a) muestra el módulo de GSM "UBSAT" y el módulo de procesamiento de parámetros y la figura 6.4.(b) muestra el computador conectado al sistema.

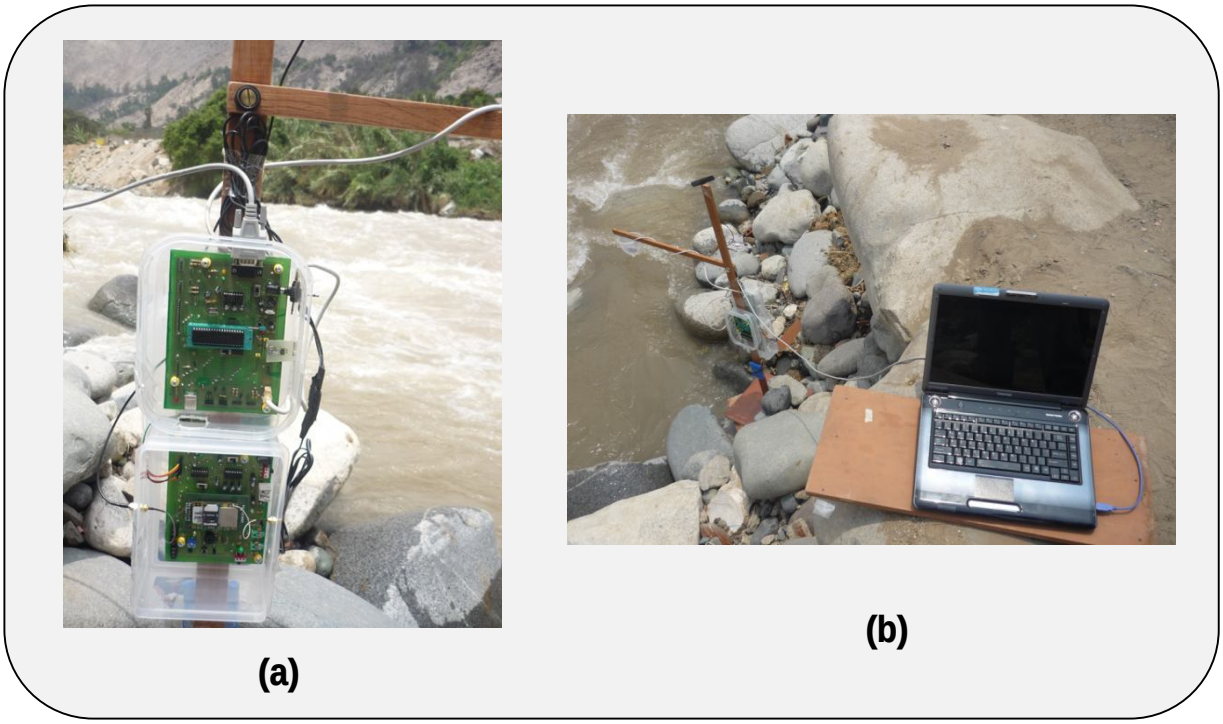


Figura 6.4. (a) Módulo "UBSAT" y módulo de procesamiento de parámetros. (b) Computador conectado al sistema de medición.

Para esta primera medición, la distancia del sensor de ultrasonido al nivel de agua es de 90 centímetros aproximadamente y esto es corroborado en la figura 6.5. donde muestra oscilaciones de nivel de aproximadamente 15 centímetros esto se debe a la variaciones propias de la dinámica del río. Igualmente, se puede apreciar los valores de humedad y temperatura, datos registrados en intervalos de cada 10 segundos, donde se muestra claramente una relación inversamente proporcional entre ambas medidas, esto es correlacionado con el concepto de Índice de Calor, cuya gráfica es mostrada en la fig. 12., datos que son proporcionados por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos – NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). Cuando aumenta la temperatura incrementa la posibilidad de subir la temperatura por parte de la atmósfera y retener vapor de agua (crece la presión de saturación) y como el aire sigue conteniendo la misma cantidad de agua (la misma humedad absoluta), entonces disminuye la humedad relativa (que es el cociente entre la presión del vapor de agua y la presión de saturación). Así a temperaturas altas corresponden generalmente humedades relativas bajas [32].

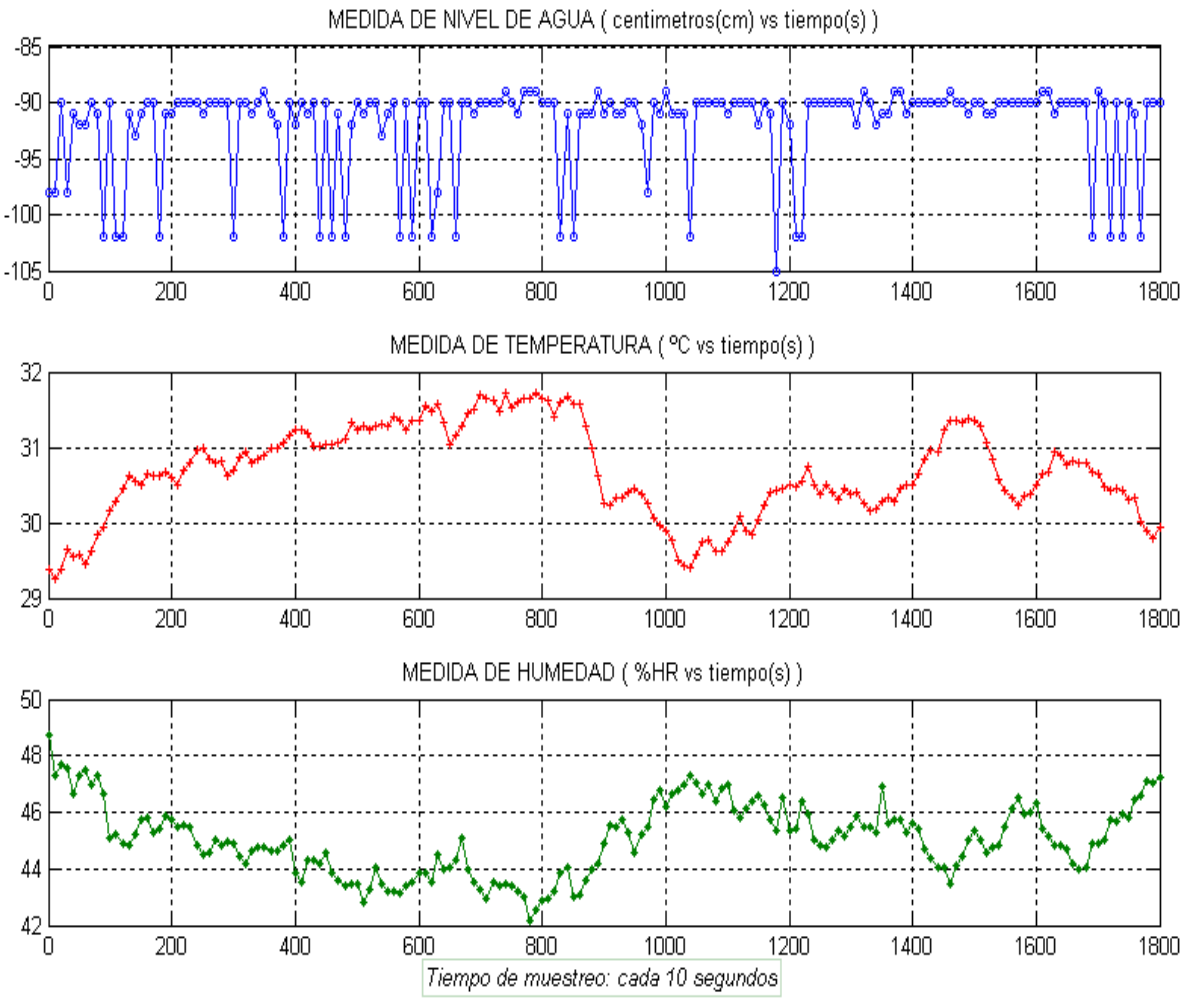


Figura 6.5. Mediciones registradas en intervalos de 10 segundos.

La figura 6.6. muestra los niveles de índice de calor en grados centígrados.

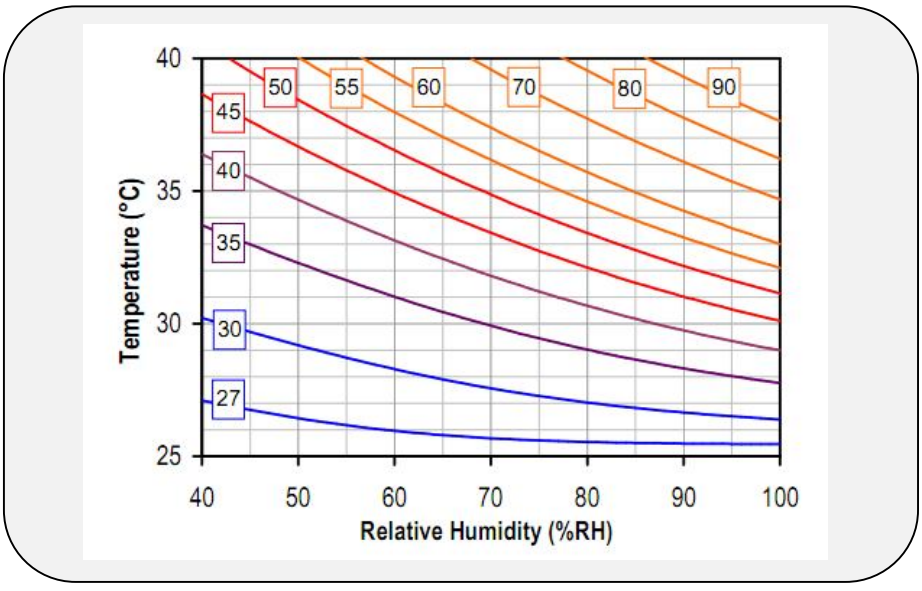


Figura 6.6. Índice de Calor en grados centígrados [33].

De los datos de la figura 6.5 referente a las mediciones de nivel de agua registradas, se infiere que:

La suma total de las 181 medidas es de 16657, por lo tanto, el promedio de medición de nivel de agua es:

$$Promedio\ total\ de\ nivel = 92.0276 \text{ cm}$$

La mediana de las muestras es:

$$Mediana = 90 \text{ cm}$$

La desviación estándar es:

$$Desviación\ estándar = 4.1315$$

6.3.2. Registro de datos cada segundo

La segunda medición realizada de igual manera que la anterior, se registró a 90 centímetros de distancia entre el sensor de ultrasonido y el nivel de agua, pero en esta ocasión los datos de nivel de agua fueron extraídos en intervalos de 1 segundo. En ella se evidencia la variación de aproximadamente15 centímetros como en el caso anterior, comprobando así estabilidad en las mediciones efectuadas pese al ruido que puede presentar el sistema. La figura 6.6 muestra las mediciones realizadas durante 452 segundos, el rango total de medición es de 300 centímetros.

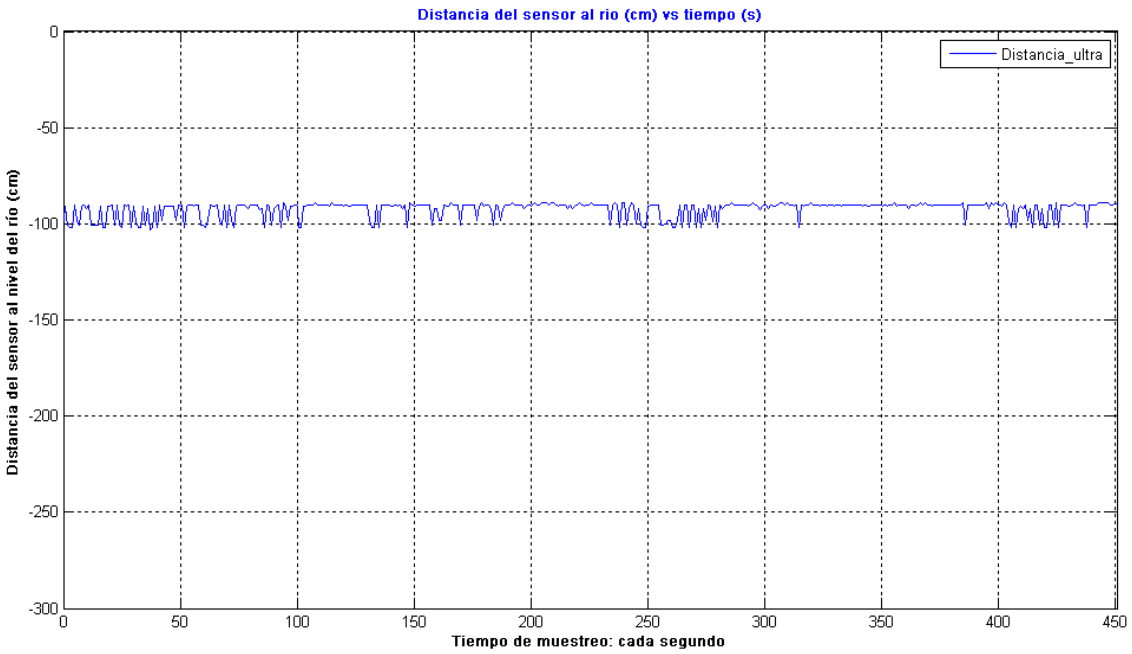


Figura 6.7. Mediciones registradas durante 452 segundos.

De los datos de la figura 6.7 referente a las mediciones de nivel de agua registradas, se infiere que:

La suma total de las 452 medidas es de 41721, por lo tanto, el promedio de medición de nivel de agua es:

$$Promedio\ total\ de\ nivel = 92.3029\ \mathbf{cm}$$

La mediana de las muestras es:

$$Mediana = 90\ \mathbf{cm}$$

La desviación estándar es:

$$Desviación\ estándar = 4.2854$$

Estos datos, no obstante el tiempo de medición fue de aproximadamente 8 minutos, se asemejan a los valores obtenidos en la primera prueba de medición donde el tiempo fue de 30 minutos.

6.4. Interfaz de la central de monitoreo remoto

Nuestra central de monitoreo fue establecida de la siguiente manera, tal como lo muestra la figura 6.8. en ella, como se había comentado en capítulos anteriores, será necesario contar con otro módulo de GSM “UBSAT”, que servirá para decodificar la trama enviada por el sistema de medición a fin de mostrar los parámetros y llevar un control sistemático de las mediciones.

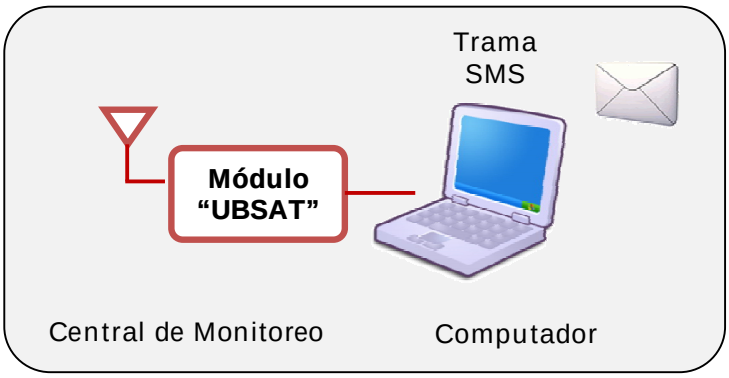


Figura 6.8. Módulo “UBSAT” conectado a un computador en una central de monitoreo.

El operario encargado de el monitoreo de la central podrá llevar un control automatizado del nivel y ser alertado ante un desborde mediante una interfaz gráfica. La interfaz gráfica fue desarrollada en Visual Basic, en ella se puede apreciar un botón de CONECTAR para establecer la comunicación serial del computador con el módulo “UBSAT”, previamente es necesario establecer la velocidad de transmisión y recepción dada en baudios y asimismo establecer el puerto de comunicación. La figura 6.9. muestra los componentes de la interfaz gráfica.

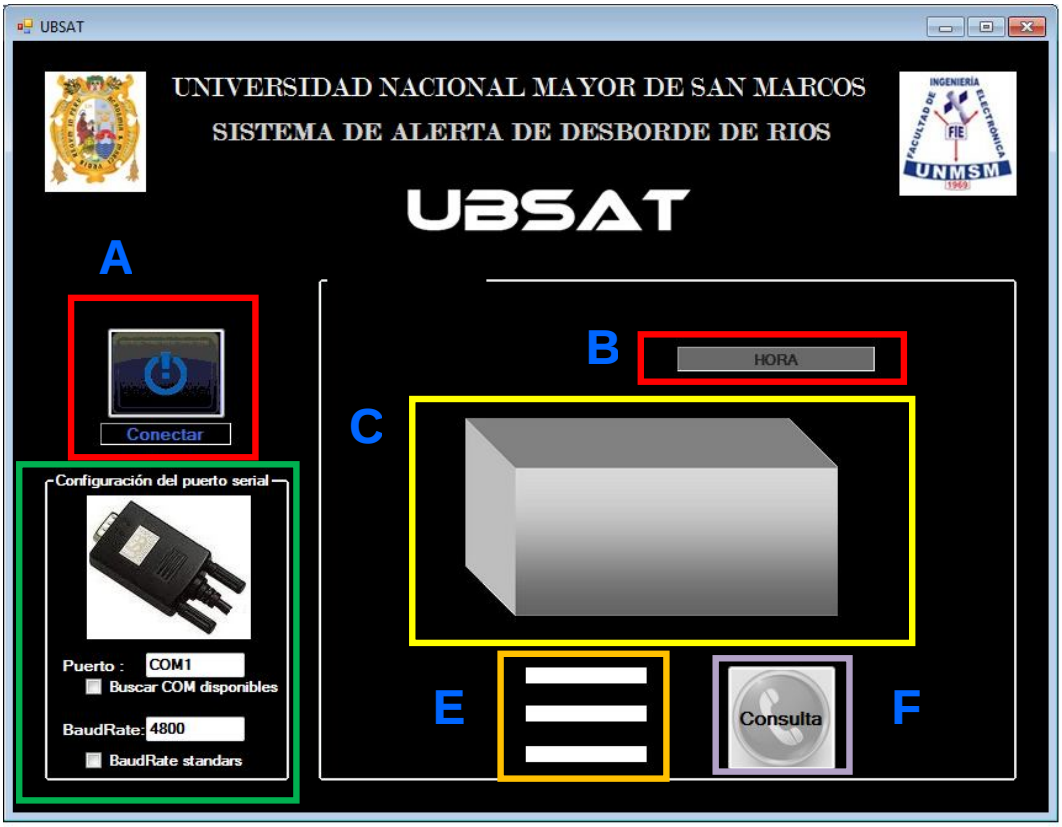


Figura 6.9. Interfaz visual del Módulo "UBSAT".

Descripción:

A= Conexión y Desconexión de la comunicación serial.
B= Hora de recepción del SMS.
C= Visor de nivel de agua referencial en tres dimensiones (3D).
D= Configuración de parámetros de comunicación serial.
E= Datos de humedad, temperatura y nivel de agua recibidos.
F= Botón para realizar consulta.

6.5. Medición de parámetros físicos mediante interfaz gráfica

Una vez configurado previamente los parámetros de comunicación serial y haber presionado el botón CONECTAR, algunos controles se activarán y algunos otros serán visibles, como el botón para realizar el modo consulta y estar activada la recepción y registro de hora de llegada de los mensajes de texto. Cuando el módulo GSM "UBSAT" de la central de monitoreo, reciba una llamada, esto es, señale que el nivel de agua está dentro del rango de factor de alerta, aparecerá en la interfaz un icono y la palabra PELIGRO indicando así al operador tomar las precauciones y el proceso respectivo de comunicación a una comunidad o grupo de personas sobre a fin de evacuar y salvar su integridad ante una posible inundación. Esta señal es mostrada en la figura 6.10.



Figura 6.10. Interfaz visual indicando peligro ante un posible desborde de río .

De manera predeterminada el visor de nivel de agua en tres dimensiones (3D) de la interfaz mostrará un cubo vacío, cuando reciba el primer dato, éste cambiará su aspecto mostrando el nivel referencial. Estos niveles mostrados en el visor son referenciales y son establecidos dentro de la programación en Visual Basic. El rango de niveles referencial está dado como sigue en la figura 6.11. en ella se muestra que los colores azules representan los valores permisibles de medición de nivel y el color rojo representa el rango para la generación de una señal de alerta.

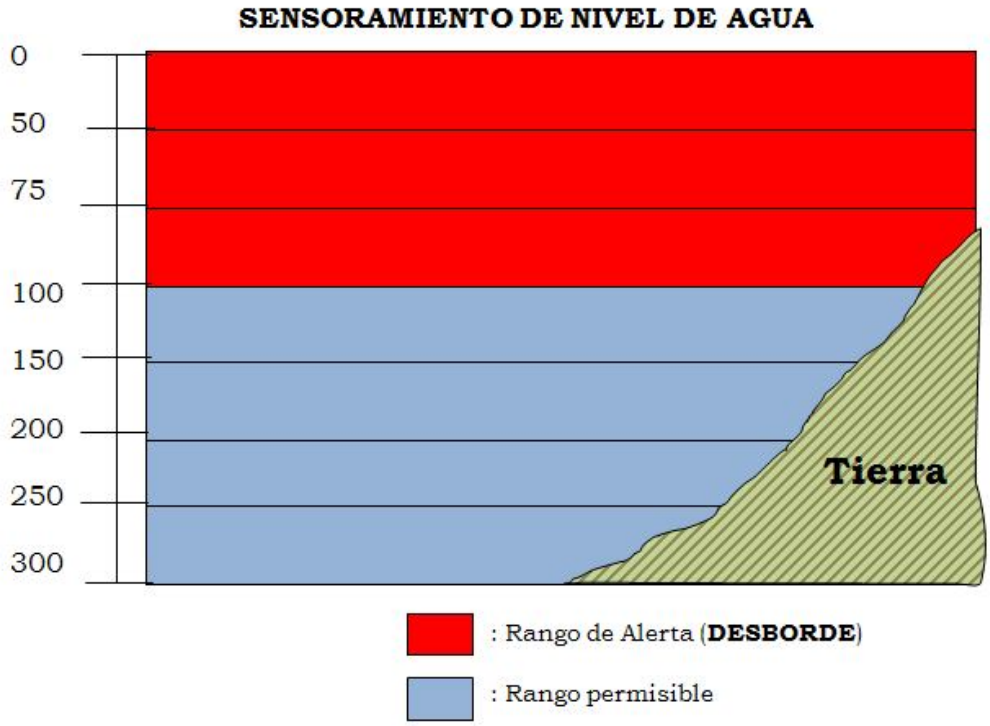


Figura 6.11. Rango de niveles referenciales para el visor de nivel de agua.

6.5.1. En modo CONSULTA

El modo CONSULTA de parámetros es inicializado presionando el botón CONSULTA en la interfaz, esto permitirá al módulo GSM de la central realizar llamadas al módulo de medición, generando así una respuesta traducida en el envío de la trama vía mensaje de texto SMS.

a) Descripción de la trama

La trama codificada por el microcontrolador PIC18F4550 consta de 16 dígitos, los cuales se distribuyen en inicio de trama, nivel de agua, temperatura, humedad relativa y fin de trama. El encabezado de la trama representa la letra I de inicio de trama y la F de final de trama como último dígito, este código al ser enviado a la central de monitoreo o emergencias es decodificado por la aplicación desarrollada en Visual Basic, esto es, dentro de la programación existe una codificación destinada a la lectura de la trama empezando por la letra I y terminando en F, con lo cual se garantiza la real lectura del dato de interés. A continuación la figura 6.13. muestra un ejemplo de trama y detalla la descripción de cada segmento.

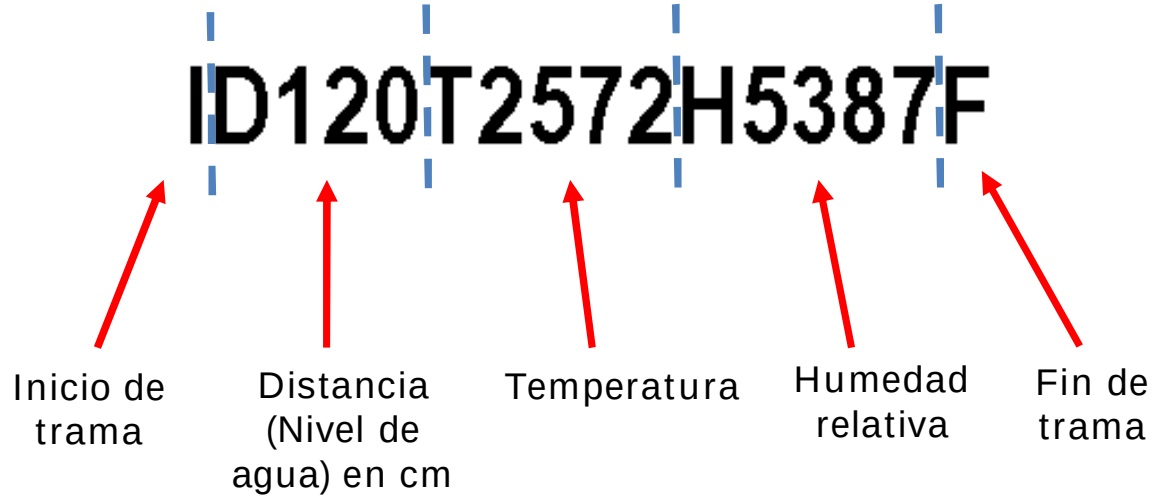


Figura 6.12. Descripción de la trama enviada mediante mensaje de texto.

Las figuras siguientes detallan las mediciones realizadas estableciendo valores relacionados a la figura 6.11. en puntos de medición de rango permisible, donde se comprueba la recepción, decodificación y muestra de los valores de nivel de agua en la interfaz.

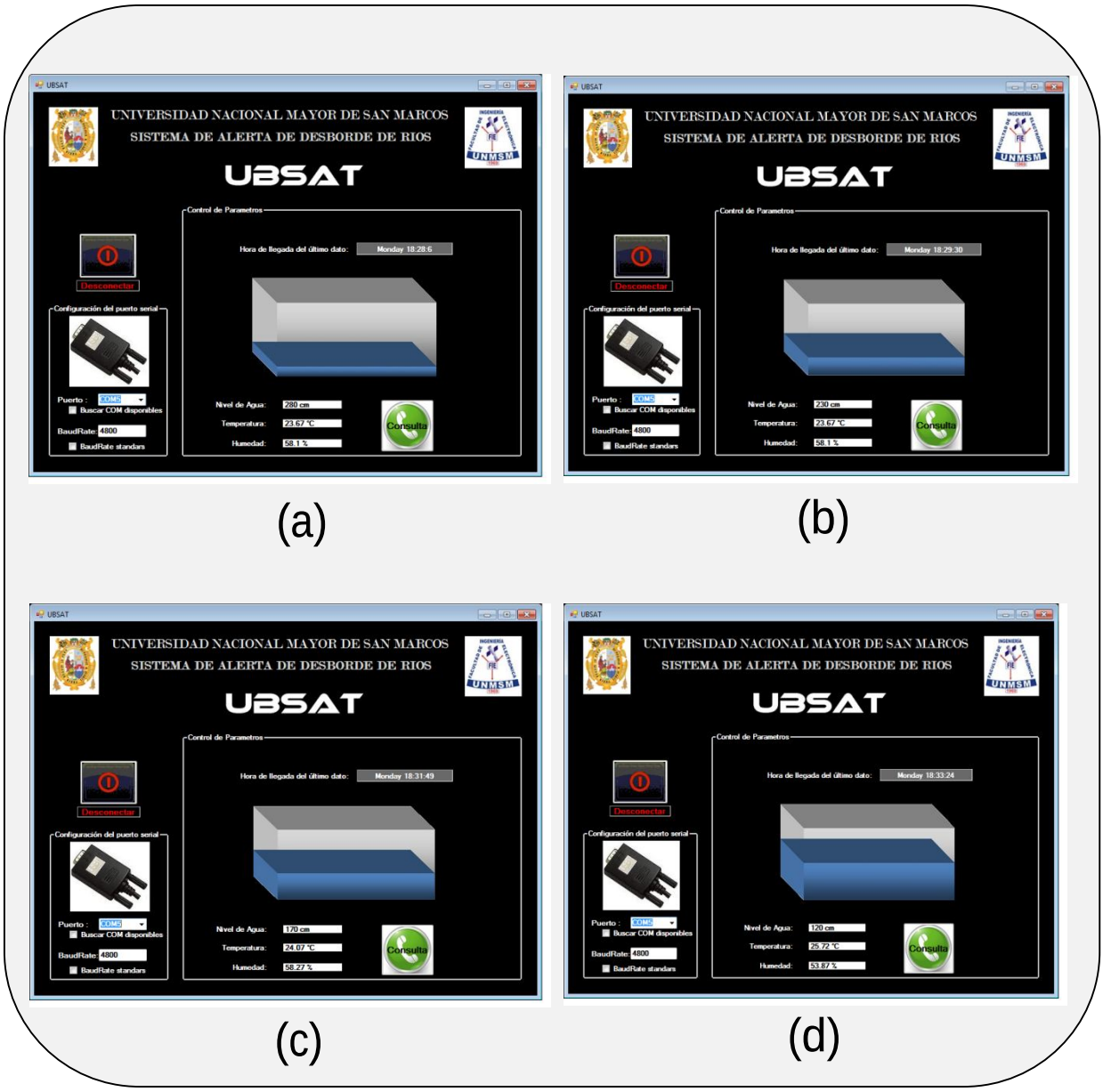


Figura 6.13. Visualización de nivel de agua a rangos permisibles. (a) A 280 cm del sensor. (b) a 230 cm del sensor. (c) A 170 cm del sensor. (d) A 120 cm del sensor.

6.5.2. En modo ALERTA

El nivel de agua referencial mostrado en el interfaz incrementa su contenido a medida que los valores de nivel de agua real aumenten. Hasta este momento todos los procesos realizados fueron en modo consulta, en el modo de ALERTA como se mencionó líneas atrás aparecerá en la interfaz el mensaje de PELIGRO, consecuentemente el nivel de agua incrementará pero esta vez el color del gráfico será rojo, señal de que se deben tomar las precauciones del caso. La figura 6.15. muestra el mensaje de PELIGRO mostrado en la interfaz.



Figura 6.14. Mensaje de PELIGRO mostrado en la interfaz.

Las figuras siguientes detallan las mediciones realizadas estableciendo valores relacionados a la figura 6.11. en puntos de medición de inminente peligro de desborde del río, donde se comprueba la recepción, decodificación y muestra de los valores de nivel de agua en la interfaz.

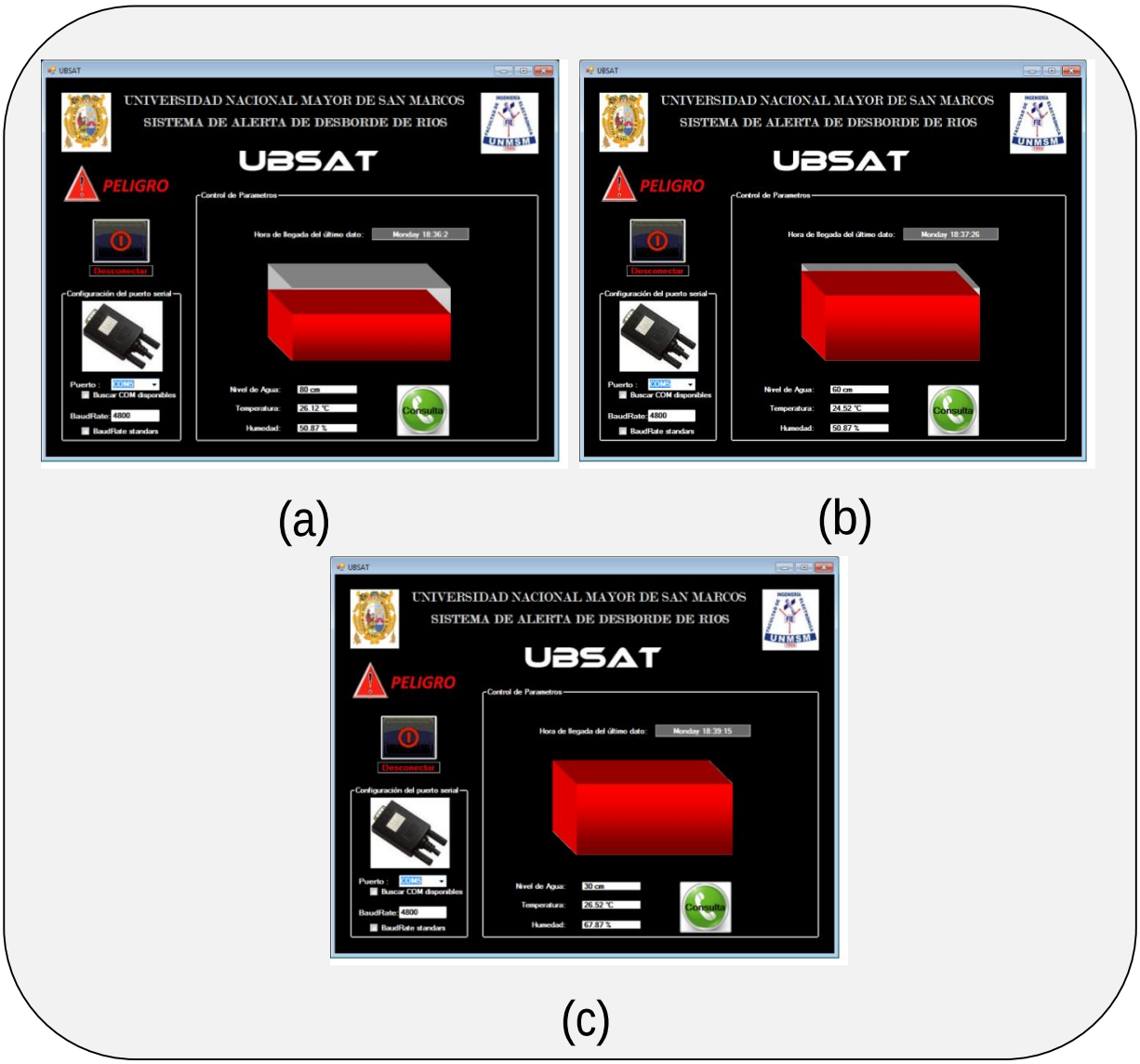


Figura 6.15. Visualización de nivel de agua en niveles de inminente peligro de desborde. (a) A 80 cm del sensor. (b) a 60 cm del sensor. (c) A 30 cm del sensor.

6.6. Pruebas realizadas mediante un terminal móvil

Finalmente como se indicó al inicio del capítulo, se realizaron pruebas con un terminal celular, esto con el objetivo de alertar a una persona, grupo de personas o jefe de una comunidad y así coordinar el proceso de evacuación o toma de decisiones ante un inminente desborde. Las mismas funciones realizadas por la central de monitoreo son también realizables desde un teléfono móvil, tanto en modo consulta como en ser alertado, con la diferencia que el mensaje enviado será un mensaje de texto donde los parámetros son detallados a fin de que la persona pueda interpretar las mediciones. La figura 6.17. es una ilustración de la recepción del mensaje de texto al terminal móvil.

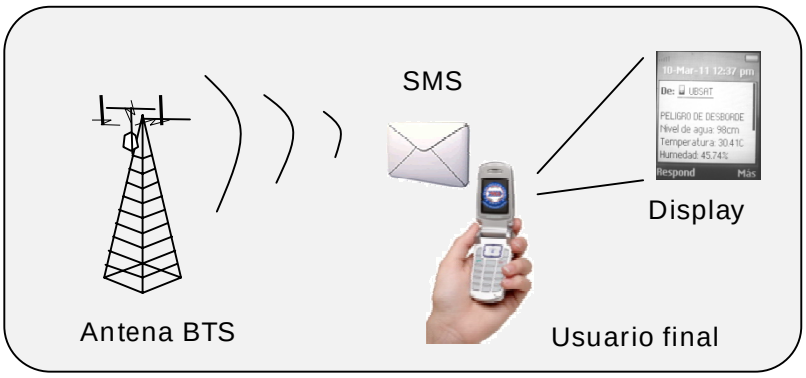


Figura 6.16. Ilustración de recepción del mensaje de texto al terminal móvil.

La figura 6.18.(a) muestra el mensaje de texto recibido indicando los parámetros de nivel de agua, temperatura y humedad relativa. Como se aprecia la lectura de nivel de agua es de 212 cm, el cual es un rango permisible al sistema, estos datos fueron obtenidos mediante la consulta al módulo a través de llamadas. La figura 6.18.(b) muestra el mensaje de texto recibido indicando PELIGRO DE DESBORDE y eso es corroborado con el nivel de agua de 98cm, indicándonos que está en el rango de alerta ante un inminente desborde.

1

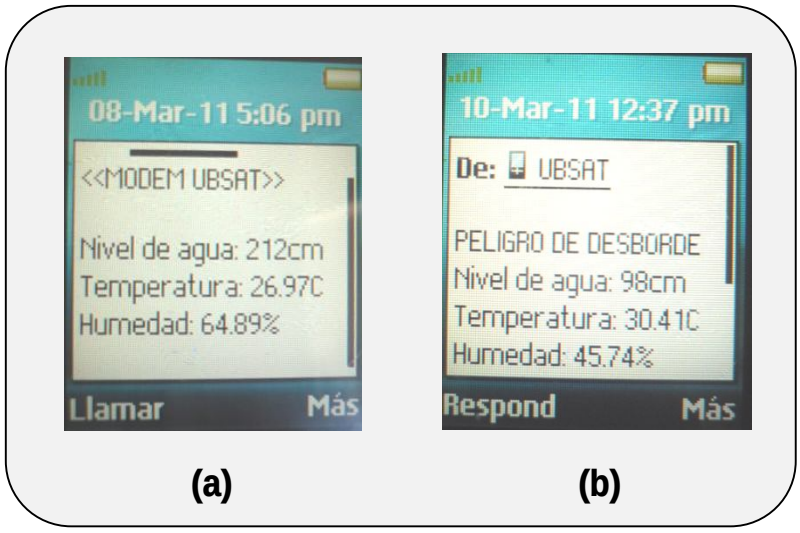


Figura 6.17. Visualización en terminal celular. (a) En modo CONSULTA. (b) En modo ALERTA indicando peligro de desborde.

Capítulo VII
Costos y presupuestos

7.1. Costo del prototipo del sistema

El presente trabajo contó con el respaldo de tres componentes para su realización, tanto en hardware, software y soportes (bibliográfico y acceso a internet), cuyos costos son detallados en la tabla 1.6.:

Tabla 7.1.- Costo de materiales empleados.

Hardware	Costo (US$)
Computador AMD Phenom II X4 955	990.00
Módulo SIM548C + Gastos de envio	120.00
2 Cables RF Murata MM9329-2700-B	2.00
Antena marca Richardson Electronics GSM/GPRS Modelo P1-GSM-3-SMA	15.00
Ante de GPS Richardson RFPD. RANG001312G	12.00
2 Chip's GSM de la empresa CLARO	6.00
Un celular GSM	120.00
Módulo de ultrasonido HFK-TS601	32.00
Microcontrolador PIC18F4550 de Microchip	15.00
Programador de microcontroladores Pickit2	40.00
Osciloscopio Tektronix TDS1012B 100MHz-USB	1,100.00
Multímetro UNITEST HEXAGON 110	140.00
Material para serigrafía + placas de cobre	30.00
Sensor SHT-11 de Sensirion	Donación
Otros componentes electrónicos	12.00
Soporte de madera para el montaje en campo	20.00
Software	
Windows XP SP 2.0	50.00
Visual Studio (Visual Basic 2010)	150.00
CADSoft Eagle Professional 5.4.0	500.00
Compilador en C CCS v.4.114 2011	450.00
Labcenter Electronics Proteus 7.7 sp2 (2010)	150.00
Soporte	
Material Bibliográfico	350.00
Acceso a internet	420.00
TOTAL	**4,724.00**

7.2. Costo de Ingeniería

Actualmente, en el Perú el salario mínimo vital es de S/.600.00 nuevos soles ($ 214.00 americanos) trabajando 8 horas diarias durante 1 mes (30 días), esto es, el costo de horas/hombre en un mes es de S/.2.50 nuevos soles (0.9 centavos de dólar).

El proyecto se empezó a realizar desde noviembre de 2010 a Febrero de 2011, se trabajó aproximadamente 5 horas diarias, en tal sentido, el costo total de horas hombre durante los 4 meses y considerando el factor de S/.2.50 nuevos soles como salario mínimo, el costo de ingeniería es de aproximadamente S/.1,500.00 nuevos soles ($ 536.00 americanos). La descripción y cantidades del costo total del proyecto se detalla en la tabla 7.2.

Tabla 7.2.- Costo total de Ingeniería.

Descripciones	Cantidades
Meses de Desarrollo del proyecto	4 meses (Noviembre 2010-Febrero 2011)
Factor costo horas/hombre	S/.2.50 nuevos soles (0.9 centavos de dólar)
Horas de trabajo al día	5 horas al día
Costo total de Ingeniería	**S/.1,500.00 nuevos soles ($ 536.00)**

7.3. Costo total del proyecto

El costo total del proyecto se describe muestra en la tabla 7.3. donde se consideran los costos de Ingeniería y costos de prototipo del sistema.

Tabla 7.3.- Costo total del proyecto.

Hardware	Costo (US$)
Costo de prototipo del sistema	4,724.00
Costo de Ingeniería	536.00
TOTAL	**5,260.00**

7.4. Comparativa de inversión versus pérdidas económicas

De acuerdo a los detalles de la tabla 7.1. se calculó que el monto final del prototipo del sistema es de aproximadamente $ 4,724.00 americanos, cifra elevada y justificable considerando que se trata del sistema inicial sometido a diversas pruebas de funcionalidad. En el caso de producción en serie, se estima que el presupuesto de producción es de aproximadamente $ 149.00 americanos considerando un único punto de medición, esto incluye, la fabricación del módulo “UBSAT” y el módulo de procesamiento de variables físicas, excluyendo costos referidos al computador, gastos de envío, elementos de medición, software de programación, materiales bibliográficos y de acceso a Internet propios de un prototipo inicial del sistema puesto que la metodología para el diseño de las mismas está debidamente estudiada y desarrollada; éstos montos se visualizan en la tabla 7.2.

Tabla 7.4.- Presupuesto de producción en serie.

Hardware	Costo (US$)
Módulo SIM548C	30.00
2 Cables RF Murata MM9329-2700-B	2.00
Antena marca Richardson Electronics GSM/GPRS Modelo P1-GSM-3-SMA	15.00
Ante de GPS Richardson RFPD. RANG001312G	12.00
2 Chip's GSM de la empresa CLARO	6.00
Módulo de ultrasonido HFK-TS601	32.00
Microcontrolador PIC18F4550 de Microchip	15.00
Sensor SHT-11 de Sensirion	25.00
Otros componentes electrónicos	12.00
TOTAL	**149.00**

De los datos anteriores de las tablas 7.3., tabla 7.4. y sabiendo que la prevención resulta más económico que la reconstrucción, los montos totales de elaboración del prototipo, producción en serie, instalación y mantenimiento resultan una buena inversión considerando que se calculan millones de dólares en gastos materiales y miles de vidas que corren en riesgo a causa de fenómenos e inundaciones, cifras que se pueden apreciar en la tabla 7.5. Esto nos demuestra que se puede minimizar las pérdidas humanas y planificar asimismo todo un sistema de prevención de forma organizada para reducir pérdidas materiales.

Tabla 7.5.- Monto estimado de daños materiales por suceso [34], [URL 7.1.], [URL 7.2.].

Antecedente	Año	Departamento	Monto (US$)
Fenómeno del Niño	1982-1983	Tumbes - Piura	990'000,000.00
Fenómeno del Niño	1997-1998	Tumbes - Piura	1,224'868,400.00
Inundación	2010	Cusco	238'000,000.00
Inundación	2011	Loreto	7'142,857.00

Capítulo VIII
Conclusiones y trabajos futuros

8.1. Conclusiones

La conclusión derivada de los resultados del trabajo de la tesis sobre el desarrollo de un sistema de alerta sobre el desborde de un rio con tecnología SMS basada en la red GSM son los siguientes:

De los resultados de la telemetría del sistema y el registro del nivel de agua del rio Rímac, en el cruce del rio con el puente Los Ángeles en el distrito de Chaclacayo, se encontró que el tiempo de demora fue de 10 segundos, desde la medición del nivel de agua y el envío al punto remoto de recepción mediante SMS vía GSM a usuarios organizados así como al Terminal de Datos de la Central de Monitoreo. Este resultado permite afirmar que este sistema de información sobre alerta temprana de desborde ha cumplido con los criterios de un sistema de alerta temprana de desborde de un río.

De las pruebas de nivel de agua realizadas, se desprende que dado que el sistema de telemetría opera las 24 horas en forma continua, los datos enviados a la Central de Monitoreo remoto y almacenado adecuadamente en una base de datos permitirán el estudio de la dinámica del comportamiento del nivel del agua de un río y éstos puedan ser correlacionados con otros factores climáticos, como es el caso de las precipitaciones pudiendo obtenerse como consecuencia modelos de este comportamiento para obtener futuros modelos de predicciones.

De los resultados obtenidos con el prototipo de sistema de alerta temprana contra desbordes de un río es muy necesario que el punto de medición se ubique a una distancia tal que desde el momento que detecte un incremento del nivel y sobre pase el nivel considerado de riesgo de desborde a la población en riesgo, esta disponga de un tiempo suficiente para su evacuación y así mismo disponga de una preparación para hacer frente a este tipo de desastres.

El módulo del sistema de alerta contra desbordes de un río está diseñado para ser inteligente con capacidad de enviar el dato en tiempo real acerca de las variaciones de nivel del agua de un río hacia una estación de monitoreo y/o usuarios remotos organizados sin importar la hora.

El costo de la implementación es muy económico y al alcance para una población en riesgo de inundación. La viabilidad económica de este módulo ayudará reducir los costos en caso de ocurrir el desastre.

La red GSM actualmente cubre una parte importante del país, sin embargo los operadores que actualmente ofrecen servicios en Perú continúan

ampliando su cobertura en este momento. Esperando que muy pronto, se cuente con casi el 100% cobertura.

Se llegó a comprobar la relación existente entre la temperatura y humedad relativa, corroborando así la existencia de una relación inversamente proporcional entre ambos parámetros , que es correlacionada con el concepto de Índice de Calor, en la que se señala que cuando aumenta la temperatura incrementa la posibilidad de subir la temperatura por parte de la atmósfera y retener vapor de agua (crece la presión de saturación) y como el aire sigue conteniendo la misma cantidad de agua (la misma humedad absoluta), entonces disminuye la humedad relativa (que es el cociente entre la presión del vapor de agua y la presión de saturación). Así a temperaturas altas corresponden generalmente humedades relativas bajas [7].

Se logró establecer una metodología de diseño y construcción de un sistema de telemetría usando microcontroladores y tecnología mediante la red de GSM.

8.2. Trabajos futuros

Un medio posible de la fuente de alimentación de energía eléctrica para los sensores, la unidad de procesamiento y transmisión sea a través de celdas solares. El uso de la energía solar proporcionará una fuente de energía más económica a todo el sistema dado que está siempre estará operando en lugares remotos.

Este módulo que constituye un piloto de experimentación motiva a que desarrollos futuros se orienten hacia la formación de una red de monitoreo continuo del flujo de las aguas de los ríos de todas las cuencas del Perú, tanto de las vertientes hacia el Océano Pacífico como a la selva peruana. Siendo la administración de esta red conducida por los gobiernos locales y gobierno central.

En el caso de un fallo del módulo del sistema de alerta, que incluya falla de la unidad de sensoramiento y/o de la fuente de alimentación en tiempo real, el reporte de estas averías pueden ser adicionadas en las mejoras del módulo prototipo

Otra mejora al sistema será de mostrar los datos a través de internet usando la red de GPRS.

Este sistema, tiene la posibilidad de incorporar otros sensores adicionales al de nivel de agua, temperatura y humedad, que permitan colectar datos de otras variables físicas de interés, como por ejemplo medir la velocidad de flujo de agua y/o la posición del lugar en inminente peligro de desborde mediante GPS.

En los posibles casos donde los datos de medición sean de difícil transporte se podrá recurrir a otras técnicas de comunicación, como es el caso del uso de radio enlaces o mediante el servicio de comunicación satelital, donde no exista presencia de red GSM.

Referencias Bibliográficas

[1] GAMINI JAYASINGHE, FARAZY FAHMY, NUWAN GAJAWEERA y DILEEKA DIAS. "*A GSM alarm device for disaster early warning*" University of Moratuwa, Sri Lanka. IEEE. 2006.

[2] SIVA KUMAR SUBRAMANIAM , VIGNESWARA RAO GANNAPATHY , SIVARAO SUBRAMONIAN y ABDUL HAMID HAMIDON. "*Flood level indicator and risk warning system for remote location monitoring using Flood Observatory System*" *Universiti Teknikal Malaysia Melaka.* WSEAS TRANSACTIONS on SYSTEMS and CONTROL. Marzo de 2010. ISSN: 1991-8763, pp. 160. 2010

[3] WINDARTO , JOKO. "*Flood Early Warning System Develop at Garang River Semarang using Information Technology base on SMS and Web"*. Diponegoro University Semarang – Indonesia. INTERNATIONAL JOURNAL OF GEOMATICS AND GEOSCIENCES. ISSN 0976 – 4380, pp. 27. 2010.

[4] S.M.KHALED REZA, SHAH AHSANUZZAMAN MD. TARIQ, S.M. MOHSIN REZA. "*Microcontroller based Automated water level Sensing and Controlling: Design and Implementation Issue"*. WCECS 2010. World Congress in Engineering and Computer Science 2010. Volumen I. San Francisco, USA 2010. IAENG, ISBN: 978-988-17012-0-6, ISSN: 2078-0958, pp. 220-224. 2010.

[5] INTERNATIONAL FEDERATION OF RED CROSS AND RED CRESCENT SOCIETIES *"Focus in early warning, early action"*. World disasters report 2009, pp. 166, 168, 173. 2009.

[6] PATRANABIS, D. "*Telemetry Principles*". Mc Graw Hill Publishing Company Limited. ISBN 0-07-463795-9, pp. 2-3. 1999.

[7] FRANK CARDEN, RUSELL JEDLICKA Y ROBERT HENRY. "*Telemetry Systems Engineering*". Artech House, pp. 1-3. 2002.

[8] HERNANDO RÁBANOS, JOSE MARÍA; *"Comunicaciones Móviles"*. Segunda Edición. Ed. CERASA. España. 2004.

[9] KATZ, James E.; "Handbook of mobile Communication Studies Communication Studies". Massachusetts Institute of Technology, pp. 17-21. 2008.

[10] BARCELÓ CARREOLA, Arturo; *"ZTE Mobile Vision to the future WCDMA, LTE y WiMAX retos y perspectivas hacia el futuro"*. Presentación ZTE Corporation México, 2007.

[11] HERRERA PALOMINO, Jorge Luis; *Curso de GSM, Arquitectura y Funcionamiento – Introducción a los sistemas celulares.* Curso de INICTEL, Lima, Perú, octubre 2004.

[12] CERNA SÁNCHEZ, EDUARDO; *"Sistemas GSM/GPRS"*. Área de Telecomunicaciones. Escuela de Ingeniería Electrónica. Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo, Lambayeque, Perú. Marzo 2008.

[13] LOAYZA MEJÍA, Ernesto; *"Sistema de Comunicaciones Móviles"*. Curso de Comunicaciones Inalámbricas. Inictel. Lima, Perú, pp. 13-14, 34. Noviembre 2008.

[14] DITZEL GUERRERO, Sergio Andrés; *"Comportamiento de RF en espacios, in-building"*. Tesis de titulación. Universidad Austral de Chile, pp. 26-43. 2008.

[15] HERNÁNDEZ, Enrique; Tema 5: *"Modulación Digital"*. Universidad Centroamericana. Ingeniería informática. Nicaragua., pp. 9-12. 2010.

[16] C. SEGURA, José y PÉREZ CÓDOBA, José Luis; *"Comunicaciones Móviles"*. Universidad de Granada. España, pp. 26-43. 2008.

[17] CRESPO, Carlos; Tema 6: *"Radio Digital"*. Curso de Radiación y Radiocomunicaciones. Universidad de Sevilla. España. 2006.

[18] LEIJA, Lorenzo; *"Métodos de Procesamiento avanzado e Inteligencia Artificial en Sistemas Sensores y Biosensores"*. Departamento de Ingeniería Eléctrica, CINVESTAV IPN, México, pp. 35-37,70, 2009.

[19] SÁEZ CARDADOR, Javier; *"Medidor de distancia por ultrasonido"*. Universidad Carlos III de Madrid. Proyecto de Fin de Carrera, No. 12, pp. 12-15, 23,24. España. Junio 2006.

[20] GUTIÉRREZ, J. y PORTA-GÁNDARA, M.A.; *"Medidor Ultrasónico de nivel de agua para estanques"*. INGENIERÍA Investigación y Tecnología VII.4.233-244,2006.

[21] VALENCIA ILARREGUI, D. Jorge; *"Caracterización mediante técnicas de ultrasonido de un laminado de fibra de vidrio"*. Proyecto de Fin de carrera, Universidad Carlos III de Madrid, pp. 17-29. España. Julio de 2009.

[22] CALVACHE, Bayron Andrés y BARANDICA LOPEZ, Asfur; *"Prototipo Industrial de un Medidor Ultrasónico de Nivel"*. Universidad del Valle. Colombia. 2004.

[23] BELTRÁN PROVOSTE, Christian; *"Medición de nivel"*. Escuela Industrial "San José". Departamento de Electrónica. Colegio Salesiano de Concepción. Chile. 2006.

[24] GARCÍA BREIJO, Eduardo; *"Compilador C CCS y simulador Proteus para microcontroladores PIC"*. Alfaomega y Marcombo; pp. 94,95. México. 2008.

[25] BURBANO DE ERCILLA, Santiago y GRACÍA MUÑOZ, Carlos; *"Física General"*. Editorial Tébar; pp. 305. España. 2003.

[26] AUCALLANCHI VELÁSQUEZ, Martín; *"Física"*. Editorial Racso; pp. 288. Lima, Perú. 1995.

[27] GIANCOLI, C. Douglas; *"Física: principios con aplicaciones"*. Pearson Educación. Sexta edición; pp. 288. México. 2006.

[28] SENSIRION. THE SENSOR COMPANY. "*Datasheet SHT1X. Humidity and Temperature Sensor*". Version 4.3. 2010.

[29] SONG, Jeffrey; *"Simcom Wireless Module Brief"*. SIM Technology Group. Mayo de 2007.

[30] SHANGHAI SIMCOM WIRELESS Solutions, Ltd.; *"Hardware Design SIM548C_HD_V1.01"*. SIMtech. 2008.

[31] CABRERA VÁSQUEZ, PAÚL CHRISTIAN; *"Sistema para notificación de informaciones académicas para estudiantes de la UPS, implementado con mensajería corta"*. Tesis de Pregrado Universidad Politécnica Salesiana .pp. 47,48. Ecuador. 2007.

[32] DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y EMERGENCIAS. Ministerio del Interior de España. *"Vademecum Remer".*
[Online].Disponible:
http://www.proteccioncivil.org/es/DGPCE/Informacion_y_documentacion/catalogo/carpeta02/carpeta24/vademecum/vdm004.htm

[33] SENSIRION. THE SENSOR COMPANY. *"Conditions of thermal Comfort"*. Influence of Humidity and Temperature on Personal Well-Being. Version 2.0. pp. 2. 2010.

[34] BAMBARÉN ALATRISTA, Celso V. *"Evaluación Económica de los daños causados por el Fenómeno El Niño"*. Curso Internacional "Mitigación de los Efectos causados por el Fenómeno El Niño". Universidad Nacional de Ingeniería - CISMID. Lima. Febrero de 2002.

[35] GODINEZ TELLO, Richard Junior Manuel; "Cálculos de posicionamiento global usando protocolo NMEA 0183 y Google Earth". Revista Semestral Electrónica – UNMSM Nº 25. Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica. ISSN 1531-0853. pp. 43-44. 2010.

[36] *NMEA REFERENCE MANUAL, Ed. Sirf Technology.* pp. 1-6. *2005.* [Online].Disponible: http://www.sparkfun.com/datasheets/GPS/NMEA%20Reference%20Manual1.pdf

Referencias URL

[URL 1.1.] Estadísitcas del portal de la Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU.
http://www.itu.int/ITU-D/ict/statistics/
Acceso el 6 de febrero de 2011.

[URL 1.2.]
http://www.3gamericas.org/documents/3G%20Americas-ATIS%20Conference%20Motorola%202010%2010%2026%2009.pdf
Acceso el 5 de febrero de 2011.

[URL 1.3.] Indicadores de Información y tecnología de comunicaciones 2005-2010. International Telecommunication Union, ITU.
http://www.itu.int/ITU-D/ict/material/FactsFigures2010.pdf
Acceso el 6 de febrero de 2011.

[URL 1.4.] Información del Portal de Europa Press.
http://www.europapress.es/latam/brasil/noticia-brasil-numero-muertos-inundaciones-estado-rio-llega-785-20110122060709.html
Acceso el 6 de febrero de 2011.

[URL 1.5.] Página del centro de información de cambio climático.
http://www.careclimatechange.org/index.php?Itemid=44&id=42:+humanitarian-implications-of-climate-change%3D42&option=com_content&view=article
Acceso el 6 de febrero de 2011.

[URL 1.6.] Compendio estadístico de prevención y atención de desastres 2010. Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).
http://www.indeci.gob.pe/estadisticas/serie_2003-2010/serie_03_10_2_eme_fen.pdf
Acceso el 18 de enero de 2011.

[URL 1.7.] Compendio estadístico de prevención y atención de desastres 2008. Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).
http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc1428/doc1428-4.pdf, pp. 581.
Acceso el 18 de enero de 2011.

[URL 2.1.] http://www.tech-faq.com/telemetry.html
Acceso el 8 de febrero de 2011.

[URL 2.2.] Introducción a la Telefonía Celular. Tecnologías de Banda Angosta 2003.
Autor: Prof. Renzo Mare. Universidad Nacional del Rosario.
http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/ftp/Tecnologias%20de%20banda%20angosta/introduccion%20telefon%EDa%20celular%202003.pdf
Acceso el 9 de febrero de 2011.

[URL 2.3.] Página web oficial del proyecto 3GPP
http://www.3gpp.org/-About-3GPP-
Acceso el 13 de febrero de 2011.

[URL 2.4.] Página web oficial del proyecto 3GPP2
http://www.3gpp2.org/Public_html/Misc/AboutHome.cfm
Acceso el 13 de febrero de 2011.

[URL 2.5.]
http://www.3gamericas.org/documents/3g_america.pdf
Acceso el 20 de enero de 2011.

[URL 2.6.] Mobile Broadband Everywhere: Spectrum for services. Wladimir Bocquet. Orange FT Group.
http://www.itu.int/ITU-D/tech/DevelopmentForums/2010/EUR/Presentations/Session8/RDF10_EUR_Presentation_WBocquet.pdf
Acceso el 14 de febrero de 2011.

[URL 2.7.]
http://www.andicom.org.co/memorias2009/jueves/9_00_erasmo_rojas_tendenscias_de_servicios_moviles_en%20america_latina.pdf
Acceso el 14 de febrero de 2011.

[URL 2.8.]
http://www.nqlogic.com/2010/04/broadband-goes-mobile.html
Acceso el 20 de enero de 2011.

[URL 2.9.]
http://greco.dit.upm.es/~catedra-alu/LTE_jornadas_catedra_UPM.pdf
Acceso el 14 de febrero de 2011.

[URL 2.10.] Página web de la Asociación GSM
http://www.gsmworld.com/newsroom/market-data/market_data_summary.htm
Acceso el 20 de marzo de 2011.

[URL 2.11.] Sistemas Móviles GSM. Octubre de 2002. Universidad Nacional del Rosario.
http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/ftp/Tecnologias%20de%20banda%20angosta/Sistemas%20de%20comunicaciones%20m%F3viles%20(GSM).pdf
Acceso el 20 de marzo de 2011.

[URL 2.12.]
http://mercadoenergia.com/mercado/2010/08/25/este-ano-penetracion-de-telefonia-movil-en-peru-llegaria-a-90.html
Acceso el 23 de marzo de 2011.

[URL 2.13.]Comunicado de Nextel Perú S.A.
http://www.google.com.pe/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CBkQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.nextel.com.pe%2Fportal%2Fserver.pt%3F%26uuID%3D%257B424DBCF2-E6C8-B90C-C6FD-E2F9FBA84000%257D%26mode%3D2&rct=j&q=wcdma%20nextel%20peru%203g%20huawei&ei=MpuJTbfkH8OohAeVppmkDg&usg=AFQjCNFZv4ZWe2OvRn67_HLuWZQ_K2E4tQ
Acceso el 23 de marzo de 2011.

[URL 2.14.] Diario El Comercio de Perú.
http://elcomercio.pe/economia/705249/noticia-vietnamita-viettel-cuarto-operador-telefonia-movil-pais
Acceso el 23 de marzo de 2011.

[URL 2.15.]
http://www.alsitel.com/tecnico/gsm/teoria%20(ii).htm
Acceso el 24 de marzo de 2011.

[URL 2.16.]
http://www.teleco.com.br/es/tutoriais/es_tutorialgsm/pagina_2.asp
Acceso el 24 de marzo de 2011.

[URL 2.17.]
http://www.kodemax.com/rastreo-satilital-gps-en-panama/
Acceso el 25 de marzo de 2011.

[URL 2.18.]
http://www.domoticaviva.com/Tienda/AMS100.htm
Acceso el 25 de marzo de 2011.

[URL 2.19.]
http://www.electronica-moviles.com/60-rastreador-gps-familiar-con-mensajeria-gsm-gprs-sms.html
Acceso el 25 de marzo de 2011.

[URL 3.1.]
http://www.agspecinfo.com/notas/Nota1/MDU-AG_files/Medidorultrasonico.pdf
Acceso el 26 de marzo de 2011.

[URL 3.2.] Página web de empresa HI-FI Electronics de Lima, Perú.
http://ledblink.com/
Acceso el 26 de marzo de 2011.

[URL 7.1.]
http://www.bnamericas.com/news/infraestructura/Danos_por_inundaciones_en_Cusco_totalizan_US*238mn1
Acceso el 25 de mayo de 2011.

[URL 7.2.]
http://peru21.pe/noticia/728990/loreto-millonarias-perdidas-inundacion
Acceso el 25 de mayo de 2011.

Anexo A
Ubicación geográfica del punto medición por GPS

A.1. Introducción

Debido a que el módulo SIM548C cuenta con un dispositivo de GPS (*Global Position System*) incorporado, en este Anexo se desarrolla la interpretación del protocolo NMEA 0183 orientado a la localización de un punto geográfico de interés. Además, se realizará una comparación de medidas con un GPS de marca GARMIN, ambas mediciones tendrán a los mapas de Google Earth como patrón de referencia.

El SIM548C posee un chip GPS SIRFSTAR III de la compañía SIRF TECHNOLOGY HOLDINGS, la cual es una familia muy usada por la mayoría de empresas fabricantes de receptores GPS aplicadas a redes asíncronas de 2G, 2.5G y 3G en GSM/GPRS [35], cabe indicar que éste GPS es de tipo diferencial. El diagrama funcional del receptor GPS es mostrado en la figura A.1.

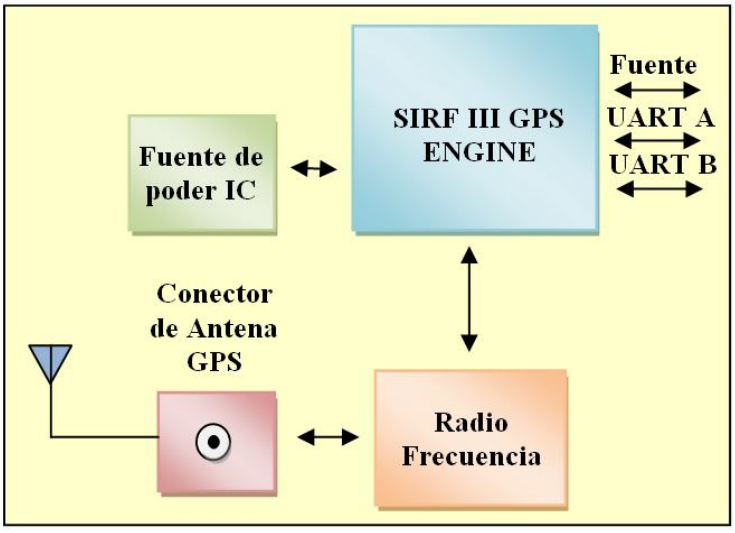


Figura. A.1. Diagrama funcional del receptor GPS SIRF STAR III CHIP [30].

A.2. Interpretación del comando GPRMC

El protocolo NMEA 0183 (NMEA - National Marine Electronics Association) es un estándar de comunicación de datos cuyas sentencias fueron establecidas por la Asociación Nacional de Marinos Electrónicos, hoy en día están en la versión 4.00 del protocolo, originalmente sirvió para comunicar dispositivos como sonares, anemómetros, girocompases, autopilotos, receptores GPS y muchos

otros tipos de instrumentos marinos.

La sentencia denominada GPRMC (*Recommended Minimum Specific)* a utilizar, servirá para calcular los parámetros de longitud y latitud, data de Tiempo, fecha, posición, curso y velocidad. La figura A.2. muestra la latitud y longitud en un globo terráqueo.

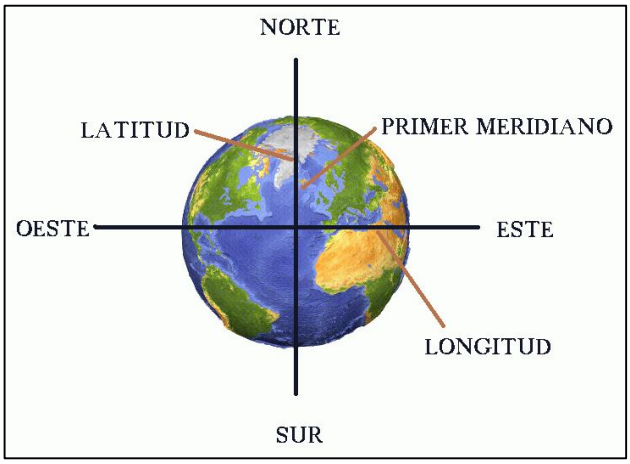


Figura. A.2. Latitud y Longitud de la tierra.

Ejemplo de trama GPRMC:

$GPRMC, 161229.487,A,3723.2475,N,12158.3416,W,0.13,309.62,120598, ,*10

Esta trama es decodificada de la siguiente manera, tal como se muestra en la tabla A.1.

Tabla A.1. Formato de la sentencia GPRMC [36]

Name	Example	Units	Description
Message ID	$GPRMC		RMC protocol header
UTC Time	161229.487		hhmmss.sss
Status[1]	A		A=data valid or V=data not valid
Latitude	3723.2475		ddmm.mmmm
N/S Indicator	N		N=north or S=south
Longitude	12158.3416		dddmm.mmmm
E/W Indicator	W		E=east or W=west
Speed Over Ground	0.13	knots	
Course Over Ground	309.62	degrees	True
Date	120598		ddmmyy
Magnetic Variation[2]		degrees	E=east or W=west
Mode	*A*		*A=Autonomous, D=DGPS, E=DR*
Checksum	*10		
<CR> <LF>			End of message termination

1. A valid status is derived from the SiRF Binary M.I.D 2 position mode 1. See the *SiRF Binary Protocol Reference Manual.*
2. SiRF Technology Inc. does not support magnetic declination. All "course over ground" data are geodetic WGS84 directions.

Las letras en italic rojo de las tablas son aplicadas solamente a las versiones NMEA 2.3 (y posterior) [36].

A.3. Fórmulas de conversión

Debido a que los datos proporcionados en sentencia GPRMC referentes a latitud y longitud, están dados en grados y minutos, se debe transformar dichos valores a grados, utilizando las siguientes fórmulas:

LATITUD:

$$Latitud = -(aa + \frac{bb.bbbb}{60}) \quad \text{(A.1.)}$$

LONGITUD:

$$Longitud = -(aaa + \frac{bb.bbbb}{60}) \quad \text{(A.2.)}$$

HORA:

En el caso de Perú:

$$\text{UTC-5} \quad \text{(A.3.)}$$

MILLAS POR HORA A METROS/SEGUNDO:

$$1mph = 0.44704m / s \quad \text{(A.4.)}$$

Durante el momento de inicialización se obtuvieron las siguientes sentencias:

```
$PSRFTXT,TOW:  0*25
$PSRFTXT,WK:   1421*63
$PSRFTXT,POS:  6378137 0 0*2A
$PSRFTXT,CLK:  96250*25
$PSRFTXT,CHNL: 12*73
$PSRFTXT,Baud rate: 4800*65
$GPGGA,235947.061,,,,,0,00,,,M,0.0,M,,0000*5F
$GPGSA,A,1,,,,,,,,,,,,,,*1E
$GPRMC,235947.061,V,,,,,,,310307,,,N*42
$GPVTG,,T,,M,,N,,K,N*2C
$GPGGA,235948.067,,,,,0,00,,,M,0.0,M,,0000*56
$GPGSA,A,1,,,,,,,,,,,,,,*1E
$GPRMC,235948.067,V,,,,,,,310307,,,N*4B
$GPVTG,,T,,M,,N,,K,N*2C
$GPGGA,235949.052,,,,,0,00,,,M,0.0,M,,0000*51
$GPGSA,A,1,,,,,,,,,,,,,,*1E
$GPRMC,235949.052,V,,,,,,,310307,,,N*4C
$GPVTG,,T,,M,,N,,K,N*2C
$GPGGA,235950.052,,,,,0,
```

El rango de baudios para comunicación serial se estableció en 4800. Según la sentencia GPRMC los datos no son válidos debido a la letra V en el tercer campo. Y las sentencias iniciales de PSRF indican el fabricante, en este caso

SIRF. De los datos obtenidos durante las mediciones en campo, se obtuvo la siguiente sentencia GPRMC:

$GPRMC,185002.000,A,1158.0456,S,07644.7145,W,0.08,20.43,100311,,,A*5C

Analizando la trama:

Los datos en GPRMC ya son válidos.

RMC	**Sentencia de cabecera.**
185002.000	**Hora UTC**
A	**STATUS = data válida**
1158.0456	**Latitud: 11 Grados 58.0456 Minutos**
S	**Sur**
07644.7145	**Longitud: 76 Grados 44.7145 Minutos**
W	**Oeste**
0.08	**Velocidad respecto a tierra en nudos.**
20.43	**Curso respecto a tierra, grados.**
100311	**Fecha dd-mm-yy**
Variación Magnética, Grados	
Modo A= Autonómo (versiones NMEA 2.3 y posterior)	
*5C	**Checksum**

Para la ubicación en google Maps usaremos los parámetros de latitud y longitud:

Datos de la secuencia GPRMC:

Latitud : 1158.0456 = 11º58.0456'
Longitud : 07644.7145= 76º44.7145'

De las formulas anteriores (A.1.) y (A.2.), si consideramos la latitud y longitud como:

Latitud : aabb.bbbb
Longitud : aaabb.bbbb

Tendríamos

Latitud : - (aa + bb.bbbb/60)
Longitud : - (aaa + bb.bbbb/60)

Reemplazando los valores obtenermos los valores de longitud en grados, ésta informació es insertada a Google Maps, mostrándonos la posición dada por el Módulo "UBSAT" y el GPS Sirf, como se aprecia en la figura A.3.

Latitud : -11.967426666666666666666666666667º
Longitud : -76.745241666666666666666666666667º

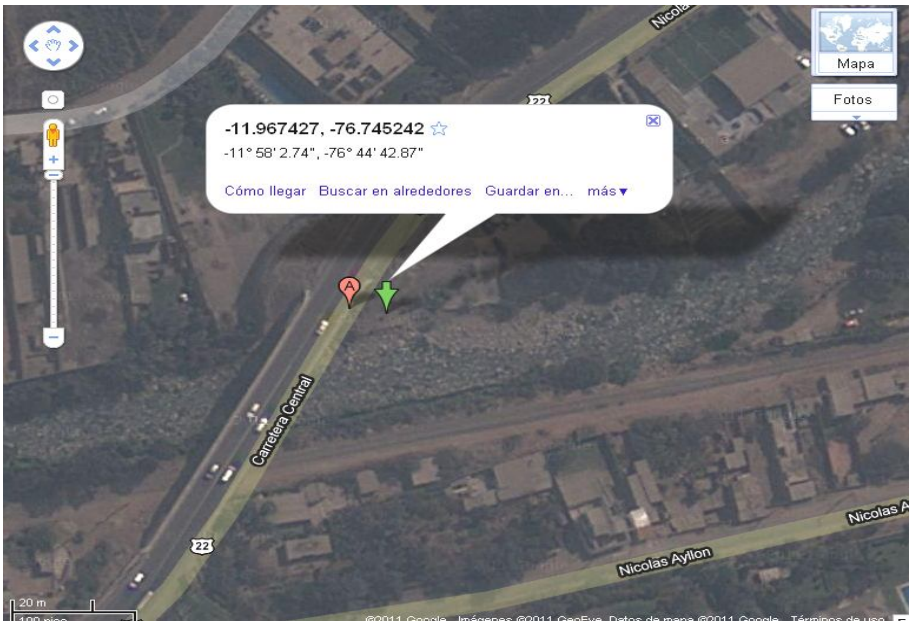


Figura A.3. Ubicación del lugar de medición registrado por el módulo “UBSAT”.

Para realizar la comparación de los valores anteriores, se utilizó el GPS de alta precisión de marca GARMIN, cuya fotografía es mostrada en la figura A.4.



Figura A.4. GPS Garmin serie etrex Vista HCX.

Los valores registrados por el GPS GARMIN fueron:

Latitud: 11º58.046’ s
Longitud: 76º44.715’ w

De las fórmulas (A.1) y (A,2), reemplazando se obtienen:

Latitud: 11.967433333333333333333333333333º

Longitud: -76.74525º

Finalmente, luego de reemplazar los valores a Google Maps, se obtiene la siguiente ubicación, que es mostrada en la figura A.5.

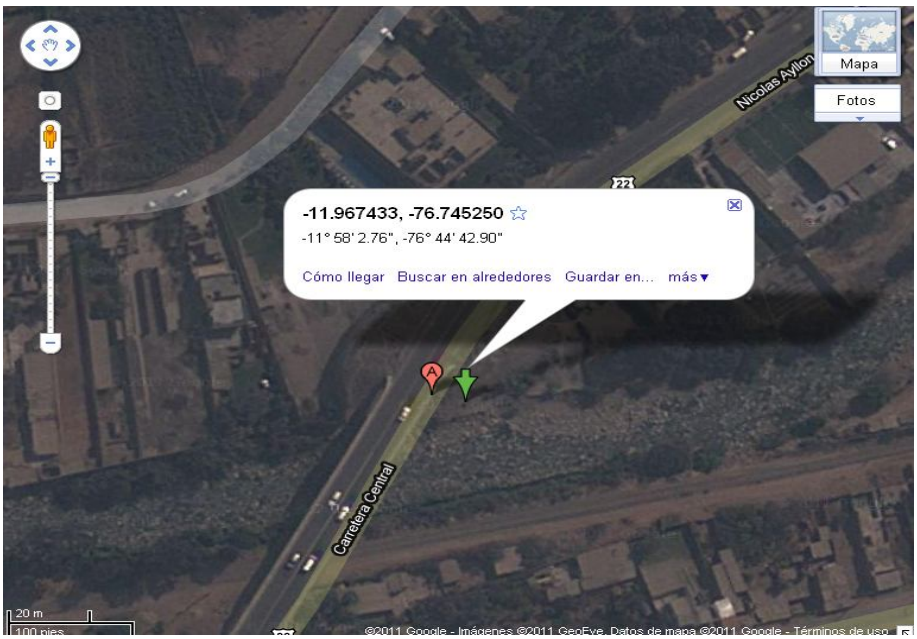


Figura A.5. Ubicación del lugar de medición registrado GPS GARMIN.

Anexo B
Diagrama de circuito de los módulos del sistema

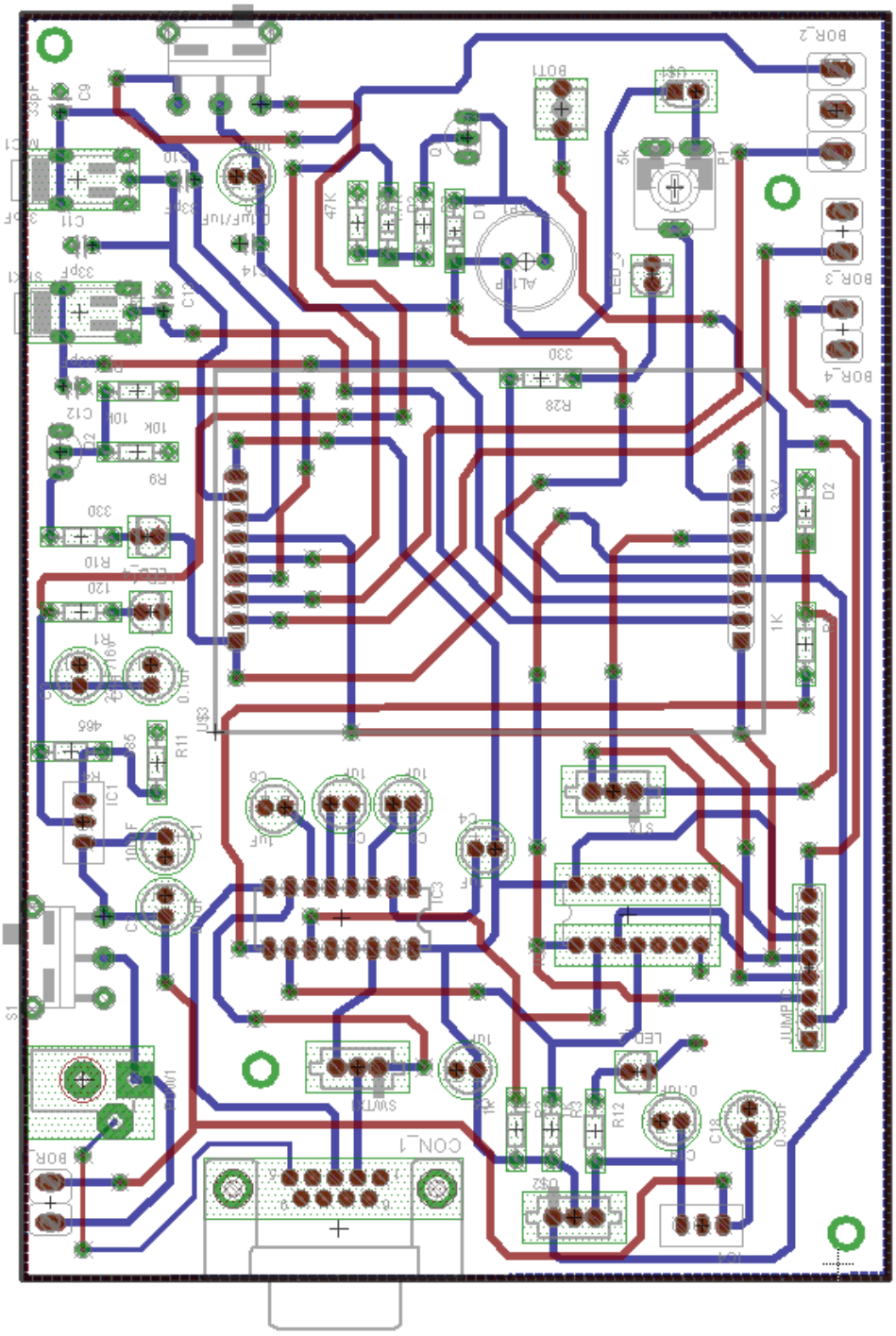


Figura. B.1. Layout del módulo de GSM “UBSAT” v 3.0.

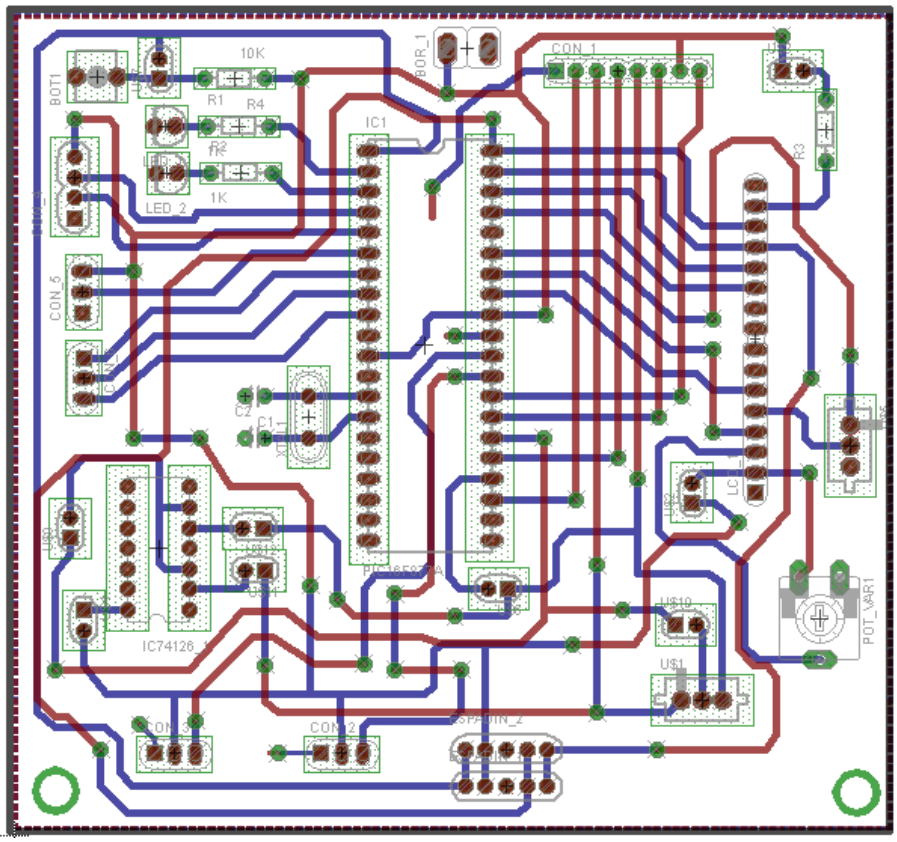


Figura. B.2. Layout del módulo de procesamiento de variables físicas.