



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA GENERADOR
DE MENSAJES EN UNA RED DE TELEMEDIDA, ANTE FALLAS
DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

Fernando Mazariegos Lanseros

Asesorado por el Ing. Guillermo Antonio Puente Romero

Guatemala, enero de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA GENERADOR
DE MENSAJES EN UNA RED DE TELEMEDIDA, ANTE FALLAS
DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR:

FERNANDO MAZARIEGOS LANSEOS
ASESORADO POR EL ING. GUILLERMO ANTONIO PUENTE ROMERO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, ENERO DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Angel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio Cesar Solares Peñate
EXAMINADOR	Ing. Romeo Neftalí López Orozco
EXAMINADOR	Ing. José Aníbal Silva de los Angeles
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA GENERADOR DE MENSAJES EN UNA RED DE TELEMEDIDA, ANTE FALLAS DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, el 13 de julio de 2007.

Fernando Mazariegos Lanseros

Guatemala, 13 de noviembre de 2008

Señor Coordinador de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Coordinador:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado, "**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA GENERADOR DE MENSAJES EN UNA RED DE TELEMEDIDA, ANTE FALLAS DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA**", desarrollado por el estudiante **Fernando Mazariegos Lanseros**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Por lo tanto, el autor de este trabajo y yo como asesor, nos hacemos responsables del contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo

Atentamente,



Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
ASESOR



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica y Regional de Post-grado de Ingeniería Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 17 de noviembre de 2008

Señor Director
Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado: **“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA GENERADOR DE MENSAJES EN UNA RED DE TELEMEDIDA, ANTE FALLAS DEL SUMINISTRO DE ENERGIA ELECTRICA”**, desarrollado por el estudiante **Fernando Mazariegos Lanseros**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS




Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador de Electrónica

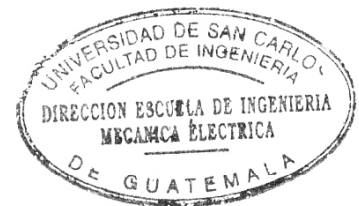
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; Fernando Mazariegos Lanseros, titulado: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA GENERADOR DE MENSAJES EN UNA RED DE TELEMEDIDA ANTE FALLAS DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA, procede a la autorización del mismo.


Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
DIRECTOR



GUATEMALA, 27 DE NOVIEMBRE 2,008.

ACTO QUE DEDICO A

Mis padres Jorge Fernando Mazariegos Marroquín y
María Inmaculada Lanseros Arjona

AGRADECIMIENTOS A

- Dios** Por darme la fuerza y la oportunidad de culminar esta etapa de mi vida.
- Mi familia** Mis padres, Jorge e Inma, por vuestro apoyo incondicional en todo momento. Por fundar en mí las bases que me sostienen en el camino de la vida y enseñarme con vuestro ejemplo, que siempre es posible alcanzar las metas con dedicación, pasión, y optimismo. Gracias por escucharme en los momentos de alegría, tristeza y preocupación, por apoyarme siempre que lo he necesitado y por quererme como lo hacéis. Espero que esto sea un pequeño regalo a vuestro esfuerzo, por brindarme el amor y la atención que siempre he tenido. Os lo agradezco desde lo más profundo de mi corazón.
- Mis hermanos María, Alejandro, Mónica y Alberto, por apoyarme en los momentos difíciles, por hacerme reír y disfrutar de la vida. Por enseñarme a ver la vida desde un punto de vista diferente y compartir conmigo el fruto de vuestros éxitos. Gracias por estar siempre a mi lado y por ser mi fuente de motivación para emprender nuevos retos.

- Mi novia** Navi, por alegrarme los días, por escucharme, comprenderme, aceptarme como soy, y por compartir todos esos momentos que hacen de nuestras vidas una experiencia inolvidable.
- Mis compañeros de estudio y amigos** En especial a Sebastián Klee, Mario Silvestre, Kelvin Silvestre, Milton Barahona, Mynor Marroquín, Jorge López, José Santos, William Hernández, Cefv Velarde, Fernando Chavarría, Jorge Dávila, Jimena Ochoa, Edgar Bártres, Héctor Mendoza, Andrea Xitumul, Eduardo Alvarado, Karla Morataya, Alejandro Vettorazzi, Karin Rodríguez y Cynthia Centeno, por compartir conmigo momentos de alegría.
- Mis compañeros de labores** Por compartir sus conocimientos y experiencias con entusiasmo y de forma desinteresada.
- Mis catedráticos** Por su dedicación y enseñanza, en especial al los ingenieros Guillermo Puente, Edgar Montufar, Enrique Ruiz, Julio Solares, Romeo López, Renato Escobedo e Ingrid de Loukota.
- Mi centro de estudios superiores** Universidad de San Carlos de Guatemala, por ser el ente que me formó a nivel profesional, dándome las herramientas necesarias para desarrollar un alto nivel académico y hacerme competitivo en el ámbito laboral.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO.....	VII
LISTA DE ABREVIATURAS.....	XIII
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. SISTEMA DE TELEFONÍA GSM.....	1
1.1 Introducción a la red celular	1
1.1.1 Reutilización de frecuencias para minimizar el ancho de banda	2
1.2 Arquitectura del sistema GSM.....	5
1.2.1 Funciones y elementos de la red GSM.....	7
1.2.1.1 El suscriptor terminal.....	8
1.2.1.2 La estación base	8
1.2.1.3 El controlador de estaciones base	8
1.2.1.4 El centro móvil de conmutación.....	8
1.2.1.5 El registro de localización del visitante.....	9
1.2.1.6 El registro de localización del suscriptor	9
1.2.1.7 El centro de autenticación del suscriptor	10
1.2.1.8 El centro de operaciones y mantenimiento	10
1.2.2 Interfaces de la red GSM.....	10
1.2.2.1 Interfaz de radio Um.....	11
1.2.2.2 Interfaz A-bis	11
1.2.2.3 Interfaz A.....	11

1.2.2.4 Interfaz X.25.....	12
1.2.3 Subsistemas de la red GSM.....	12
1.3 Servicio de datos en la red GSM	14
1.3.1 Servicio de mensajes cortos.....	14
1.3.2 Recepción de un mensaje corto por un terminal	16
1.3.3 Transmisión de un mensaje corto por un terminal.....	18
2. MICROCONTROLADORES.....	21
2.1 Introducción a los microcontroladores.....	21
2.1.1 Diferencia entre controlador, microcontrolador y microprocesador ...	25
2.2 Estructura del microcontrolador	26
2.2.1 Arquitectura de los microcontroladores	26
2.2.2 Unidad central de proceso.....	28
2.2.2.1 Computadores con juego de instrucciones complejo.....	29
2.2.2.2 Computadores con juego de instrucciones reducido	29
2.2.2.3 Computadores con juego de instrucciones específico	30
2.2.3 Memoria	31
2.2.3.1 Memoria ROM con máscara	31
2.2.3.2 Memoria OTP.....	32
2.2.3.3 Memoria EPROM.....	32
2.2.3.4 Memoria EEPROM	33
2.2.3.5 Memoria <i>Flash</i>	33
2.2.4 Buses de comunicación.....	34
2.2.4.1 Bus de control.....	34
2.2.4.2 Bus de datos.....	35
2.2.4.3 Bus de direcciones.....	35
2.2.5 Puertos de entrada y salida.....	36
2.2.6 Reloj principal.....	36
2.2.7 Recursos especiales	37
2.2.7.1 Temporizadores.....	38

2.2.7.2	Perro guardián o <i>watchdog</i>	38
2.2.7.3	Protección ante fallo de alimentación.....	39
2.2.7.4	Estado de reposo ó de bajo consumo	39
2.2.7.5	Convertor analógico/digital	40
2.2.7.6	Convertor digital/analógico	40
2.2.7.7	Comparador analógico	40
2.2.7.8	Modulador de anchura de impulsos	41
2.2.7.9	Puertos de comunicación	41
2.3	Herramientas de programación	42
2.3.1	Lenguaje de alto nivel	42
2.3.2	Lenguaje ensamblador	43
2.3.3	Lenguaje máquina	44
2.3.4	Depuración y simulación.....	44
3.	TELEMEDIDA A TRAVES DE LA RED TELEFÓNICA	47
3.1	Introducción a la telemedida.....	47
3.1.1	Los sensores o transductores	48
3.1.2	La terminal remota	48
3.1.3	Sistemas de comunicación	48
3.1.4	Centro de supervisión y control y programa especializado.....	49
3.2	Arquitectura de la red de telemedida existente	50
3.2.1	Centro de gestión.....	52
3.2.2	Sistema de comunicación	52
3.2.2.1	EI MODEM	53
3.2.3	Terminal remota o equipo de medición.....	59
3.3	Funcionamiento del sistema de telemedida	61
3.3.1	Comunicación serial de la planta celular.....	62
3.3.2	Comunicación serial del medidor.....	65
3.3.3	Interconexión de equipos.....	66
3.3.4	Programación de la planta celular	66

3.3.5 Telemedición	68
4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA GENERADOR DE MENSAJES.....	69
4.1 Etapa de diseño	69
4.1.1 Elementos del sistema generador de mensajes	69
4.1.1.1 Comunicación serial entre los equipos	70
4.1.1.2 Fuente de voltaje de respaldo.....	72
4.1.1.3 Monitoreo del suministro de energía eléctrica	75
4.1.2 Ingeniería de programación.....	75
4.2 Implementación del sistema.....	78
4.2.1 Requerimientos del sistema para la instalación.....	78
4.2.2 Integración del sistema a la red de telemedida	79
4.2.3 Fase de prueba y evaluación de desempeño del sistema.....	82
4.3 Estimación de costos	84
CONCLUSIONES.....	87
RECOMENDACIONES.....	89
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91
BIBLIOGRAFÍA.....	93

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Concepto de la red celular	2
2. Arreglo de celdas con un factor de reutilización de $N = 7$	3
3. Arreglo de celdas con un factor de reutilización de $N = 3$	4
4. Arquitectura básica del sistema GSM	6
5. Arquitectura del sistema GSM	7
6. Subsistemas que conforman la red GSM	13
7. Servicio de mensajes cortos punto a punto	15
8. Servicio de mensajes cortos de celda en difusión	16
9. Recepción de un mensaje corto por un terminal.....	17
10. Transmisión de un mensaje corto por un terminal	18
11. Producción de microcontroladores por año a nivel mundial.....	21
12. Uso del microcontrolador en áreas de mayor difusión	22
13. Esquema general de un sistema programable.....	23
14. Arquitectura von Neumann de un microcontrolador.....	27
15. Arquitectura Harvard de un microcontrolador	28
16. Arquitectura de un microcontrolador	30
17. Fases de programación	42
18. Arquitectura de la red actual de teledifusión.....	51
19. Medidor Alpha A1RL+.....	60
20. Construcción interna del medidor Alpha A1RL+	61
21. Conector DB-25 y DB-9 para un DTE	63
22. Conector DB-25 y DB-9 para un DCE.....	64
23. Interconexión entre la planta celular y el medidor remoto.....	66

24. Red de telemedida (1 punto)	69
25. Funcionamiento del difusor.....	71
26. Interconexión serial de equipos	72
27. Fuente de voltaje de respaldo	75
28. Diagrama de flujo del sistema generador de mensajes.....	77
29. Sistema integrado.....	79
30. Telemedida.....	80
31. Generador de mensajes	81
32. Eficiencia del sistema	83

TABLAS

I. Estándares de MODEMs	55
II. Compresión de datos	56
III. Señales del puerto serial	65
IV. Comandos AT utilizados	67
V. Registro de fallas	82
VI. Estimación de costos	84

GLOSARIO

Abonado	Persona natural o jurídica usuaria, bajo contrato, de una red pública de telecomunicaciones, a la cual tiene derecho a acceder para establecer sus comunicaciones.
Amperio	En el Sistema Internacional, es la unidad de intensidad de la corriente eléctrica
Bit	Es la unidad de datos más pequeña que puede procesar un ordenador. Sólo puede tomar los valores de "0" ó "1".
Bus	Conjunto de conductores eléctricos en forma de pistas metálicas impresas sobre la tarjeta del equipo o computador, por donde circulan las señales que corresponden a los datos binarios con que opera el Microprocesador.
Canal Dm	Canal utilizado en el sistema GSM de telefonía móvil para transmitir la señalización y los mensajes cortos. Su velocidad de transmisión es de 382bps.

Célula	Es la unidad geográfica básica del sistema de telefonía celular. Es el área cubierta por una estación base.
Código	Sistema de símbolos y reglas para expresar una información
Controlador de estaciones base	Es la estación que se encarga de controlar y administrar un grupo de estaciones base transceptoras, en relación con su potencia, distribución de los recursos y transferencias de llamadas.
Demodulación	Engloba el conjunto de técnicas utilizadas para recuperar la información transportada por una onda portadora, que en el extremo transmisor había sido modulada con dicha información.
DSC1800	Adaptación del estándar GSM900 a la banda de los 1800MHz
Estación base	Es una instalación fija de radio para la comunicación bidireccional. Se utiliza para comunicar uno o más radios móviles.
Estación móvil	En los sistemas de radiotelefonía móvil es el equipo portátil con el cual se desplaza el usuario dentro de la red.

Frecuencia	Número entero de períodos o ciclos alcanzados en la unidad de tiempo por una magnitud o fenómeno periódico (onda acústica o electromagnética). Es el valor inverso del período de una onda sinusoidal. Se expresa en hercios.
Gateway	Puerta de enlace que sirve como punto de acceso a otra red.
GPRS	Del inglés <i>General Packet Radio Service</i> . Es una red de conmutación de paquetes que está superpuesta a la red GSM. Permite una mayor velocidad de transmisión de datos (de hasta 50Kbps) y posibilita a los terminales estar conectados permanentemente a la red.
GSM900	Estándar GSM que opera en la banda de los 900MHz, está adoptado por gran parte de Europa, el norte de Africa, Medio Oriente, varios países de Asia y Australia.
Hardware	Corresponde a todas las partes físicas y tangibles de un equipo o computador, sus componentes eléctricos, electrónicos, electromecánicos y mecánicos.
Integrado	Componente electrónico que agrupa diferentes elementos en un mismo encapsulado, para cumplir con alguna tarea.

Interfaz	Es un punto de una vía de comunicación que permite el intercambio de información entre dos dispositivos o sistemas, para el que se han especificado sus características físicas, eléctricas y el tipo de señales a intercambiar, así como su significado.
Modulación	Modificación de alguno de los parámetros que definen una onda portadora (amplitud, frecuencia, fase), por una señal moduladora que se quiere transmitir (voz, música, datos).
Modulación de Amplitud	Sistema de modulación en el que se modifica el valor de la amplitud de una onda portadora, conforme al valor instantáneo de la señal moduladora que se quiere transmitir. Con frecuencia se expresa como "AM".
Modulación de Fase	Sistema de modulación en el cual la fase de la señal portadora varía o es modulada proporcionalmente con el valor instantáneo de la amplitud de la señal moduladora.
Modulación de Frecuencia	Sistema de modulación en el que la señal moduladora modifica el valor instantáneo de la frecuencia de la señal portadora. Se expresa normalmente como "FM".

Señal moduladora	Es una señal de banda base que contiene la información que se desea transmitir (voz, música, video, datos, etc.)
Onda	Oscilación periódica que se define por su amplitud, fase y frecuencia
Operador	Proveedor de un servicio telefónico
Señal portadora	Es un señal generalmente sinusoidal de alta frecuencia que sirve para transportar la información de una señal moduladora.
Protocolo de comunicación	Conjunto de reglas que gobiernan las comunicaciones entre sistemas de telecomunicación.
Radiación Electromagnética (Ionizante)	Es una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, que se propagan a través del espacio transportando energía (información) de un lugar a otro.
Radiación ultravioleta	Radiación electromagnética cuya longitud de onda está comprendida aproximadamente entre los 400 y los 15 nanómetros

Software	Es la parte intangible de una computadora. Se refiere al soporte lógico y algoritmos de programación de un equipo o computador digital.
Suscriptor	Persona suscrita a una red de telefonía
Transceptor	Transmisor y receptor de radio combinados en un único equipo provisto de un sistema de conmutación que le permite trabajar alternativamente en emisión y recepción.
Voltio	Es la unidad derivada del Sistema Internacional para el potencial eléctrico, fuerza electromotriz y el voltaje.

LISTA DE ABREVIATURAS

AM	<i>Amplitud Modulation</i> (Modulación en Amplitud)
AT	<i>Attention Command</i> (Comando de Atención)
AUC	<i>Authentication Centre</i> (Centro de Autenticación)
BSC	<i>Base Station Controller</i> (Controlador de Estaciones Base)
BSS	<i>Base Station Sub-System</i> (Subsistema de Estación Base)
BTS	<i>Base Transceiver Station</i> (Estación Base Transceptora)
CBE	<i>Cell Broadcast Entity</i> (Entidad de Celda de Difusión)
CCITT	<i>Consultative Committee for International Telegraph and Telephone</i> (Comité Consultivo Internacional de Telégrafos y Teléfonos)
CISC	<i>Complex Instruction Set Computer</i> (Computadoras con Juego de Instrucciones Complejo)

CPU	<i>Central Process Unit</i> (Unidad Central de Proceso)
CRC	<i>Cyclic Redundancy Check</i> (Prueba de Redundancia Cíclica)
CTS	<i>Clear To Send</i> (Listo Para Enviar)
DCD	<i>Data Carrier Detected</i> (Detección de Portadora de Datos)
DCE	<i>Data Communication Equipment</i> (Equipo de Comunicación de Datos)
DTE	<i>Data Terminal Equipment</i> (Equipo Terminal de Datos)
EEPROM	<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i> (Memoria de Solo Lectura Programable y Borrable Eléctricamente)
EIA	Electronic Industries Association (Asociación de Industrias Electrónicas)
EPROM	<i>Erasable Programmable Read Only Memory</i> (Memoria de Solo Lectura Programable y Borrable)
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i> (Instituto Europeo de Normalización de las Telecomunicaciones)

FM	<i>Frequency Modulation</i> (Modulación en Frecuencia)
GND	<i>Ground</i> (Tierra)
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i> (Servicio General de Paquetes vía Radio)
GSM	<i>Global System for Mobile Communication</i> (Sistema Global para Comunicaciones Móviles)
HLR	<i>Home Location Register</i> (Registro de Localización del Suscriptor)
ISDN	<i>Integrated Services Digital Network</i> (Red Digital de Servicios Integrados)
Kbps	Kilobits por segundo
LAP	<i>Link Access Protocol</i> (Protocolo de Acceso al Medio)
LAPDm	<i>Link Access Protocol on Dm channel</i> (Protocolo de Acceso al Medio sobre un canal Dm)
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i> (Pantalla de Cristal Líquido)
MHz	Megahercios

MNP	<i>Microcom Networking Protocol</i> (Protocolo de Red Microcom)
MODEM	Modulator-Demodulator (Modulador y Demodulador)
MS	<i>Movil Station</i> (Estacion Móvil)
MSC	<i>Movil Switching Center</i> (Centro Móvil de Conmutación)
NSS	<i>Network Sub-System</i> (Subsistema de Red)
OMC	<i>Operations and Maintenance Centre</i> (Centro de Operaciones y Mantenimiento)
OSS	<i>Operacional Sub-System</i> (Subsistema de Operación)
OTP	<i>One Time Programmable</i> (Programable una vez)
PM	<i>Phase Modulation</i> (Modulación en Fase)
PSTN	<i>Public Switching Telephone Network</i> (Red Pública Conmutada de Teléfono)
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i> (Modulación por ancho de pulso)

RAM	<i>Random Access Memory</i> (Memoria de Acceso Aleatorio)
RD	Recepción de Datos
RI	<i>Ring Indicator</i> (Indicador de llamada)
RISC	<i>Reduced Instruction Set Computer</i> (Computadores con Juego de Instrucciones Reducido)
ROM	<i>Read Only Memory</i> (Memoria de Solo Lectura)
RTS	<i>Request To Send</i> (Petición de Envío)
SISC	<i>Specific Instruction Set Computer</i> (Computadores con Juego de Instrucciones Específico)
SME	<i>Short Message Entity</i> (Entidad de Mensajes Cortos)
SMS	<i>Short Message Service</i> (Servicio de Mensajes Cortos)
SMSCB	<i>Short Message Service Cell Broadcast</i> (Servicio de Mensaje Corto de Celda en Difusión)
TD	Transmisión de Datos
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver Transmitter</i> (Transmisor y Receptor Universal Asíncrono)

UHF	<i>Ultra High Frequency</i> (Frecuencia ultra alta)
UIT	Unión Internacional de Comunicaciones
USART	<i>Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter</i> (Transmisor y Receptor Universal Síncrono y Asíncrono)
USB	<i>Universal Serial Bus</i> (Bus Universal Serial)
VAC	Voltaje de corriente alterna
VDC	Voltaje de corriente continua o directa
Vdd	Voltaje de Alimentación
VHF	<i>Very High Frequency</i> (Frecuencia muy alta)
VLR	<i>Visitor Location Register</i> (Registro de Localización del Visitante)

RESUMEN

Las redes de comunicaciones electrónicas son sistemas que transmiten información a través de líneas de un lugar a otro. Estas redes cambian rápidamente con el pasar del tiempo, creando tecnologías nuevas que proveen de mayores beneficios al usuario final. En el presente trabajo de graduación se detalla el diseño de un sistema generador de mensajes de texto que actúa al momento de ocurrir una falla en el suministro eléctrico en puntos remotos ubicados en el interior de la República. Este sistema se implementa en una red de teledatada existente, que proporciona canales de comunicación entre un ente central ubicado en la Ciudad de Guatemala y los medidores de energía eléctrica ubicados en el interior del país.

En el capítulo uno se detalla los componentes que conforman la red GSM, entre los que se destacan la estación móvil, estación base y el controlador de estaciones base, a estas se agrega una breve descripción de los elementos que las complementan y de las funciones que ofrecen al usuario final.

En el segundo capítulo, se explica los conceptos básicos de la arquitectura de un microcontrolador, haciendo énfasis en las diferencias que existen con los microprocesadores y controladores. Posteriormente se detallan las funciones de cada elemento que lo compone y la amplia gama de opciones que brindan al programador. Adicionalmente, se da un pequeño esbozo de la etapa concerniente a la programación de microcontroladores.

En el capítulo tres, se estudia la red de teledatada existente, la cual provee la telemetría de los puntos remotos ubicados en el interior del país.

Se detalla las ventajas y desventajas del sistema implantado y se hace hincapié en los equipos electrónicos que proporcionan la conexión de los puntos remotos y el ente central, explicando brevemente las características especiales de cada uno de ellos y sus funciones.

Finalmente, en el capítulo cuatro se enfoca toda la atención en el diseño e implementación del sistema generador de mensajes de texto ante fallas del suministro eléctrico. En este apartado se detallan los elementos que forman parte del nuevo sistema y se explica el funcionamiento de cada uno de ellos. Adicionalmente se dedica una sección para explicar la lógica de programación utilizada.

Luego del diseño de la nueva red, se detalla la etapa de implementación, donde se evalúa el desempeño y la eficiencia del equipo generador mensajes, analizando los datos recolectados durante seis meses de operación. El capítulo cuatro se finaliza con la estimación de costos del sistema completo.

OBJETIVOS

GENERAL

Diseñar un sistema generador de mensajes que sea capaz de monitorear la red eléctrica, notificando por medio de mensajes de texto las fallas y restablecimientos de energía, e implementarlo a una red de teledadida existente.

ESPECÍFICOS

1. Definir los principios básicos y arquitectura del sistema GSM.
2. Describir que es un microcontrolador y como está conformado.
3. Definir los conceptos básicos de un sistema de teledadida a través de la red telefónica y los elementos que la conforman.
4. Aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera en el diseño e implementación del sistema generador de mensajes a base de microcontroladores.

INTRODUCCIÓN

Por el constante crecimiento y adelantos en el campo de la tecnología, se hace necesaria la automatización de muchos procesos, con el fin de incrementar la producción de los sistemas y economizar la operación de los mismos.

Para realizar la lectura de los contadores, se hace imprescindible la implementación de una red de teledadida a través de la telefonía celular, por medio de la cual, un ente central pueda recopilar las lecturas de los contadores electrónicos remotos, sin tener la necesidad de enviar personal al punto.

La teledadida en este caso se realiza haciendo uso de la tecnología GSM (del inglés *Global System for Mobile Communications*). El Sistema Global para Comunicaciones Móviles es uno de los mas utilizados alrededor del mundo en el ámbito de la telefonía celular, ofrece servicios de voz de alta calidad, enlace de datos, mensajes de texto, y seguridad, entre otros.

En Guatemala existe una red de teledadida instalada sobre la plataforma GSM, esta red brinda servicios de monitoreo y consumo de los diferentes clientes ubicados en el interior del país. Al momento de suceder una falla de energía eléctrica por motivo de algún disparo de ramal o algún evento inesperado, el cliente muchas veces queda fuera de servicio y no es hasta pasado un buen tiempo que las personas encargadas del mantenimiento ubican la falla y acuden al lugar para resolverla. Este tiempo de respuesta genera

pérdidas tanto al ente encargado de la distribución de energía eléctrica al detener su venta, como al cliente afectado al interrumpir su producción.

Por lo anterior, se ve la necesidad de implementar en Guatemala, un sistema nuevo que pueda integrarse y complementar al sistema de teledistribución actual, con el fin de aprovechar los equipos ya instalados.

El sistema generador de mensajes ante fallas de energía eléctrica, pretende proveer de herramientas adicionales en el monitoreo de la red de energía eléctrica, con el fin de reducir los tiempos de falla. Este sistema es capaz de dar ubicaciones exactas donde ocurren las fallas y agiliza el movimiento de la brigada de mantenimiento al lugar, mejorándose de esta forma el servicio prestado a los clientes y reduciendo las pérdidas de ambas partes. El diseño e implementación de este sistema se desarrollará a lo largo del presente trabajo de graduación, aportando una solución sencilla en la identificación de fallas y restablecimientos del suministro eléctrico.

1. SISTEMA DE TELEFONÍA GSM

1.1 Introducción a la red celular

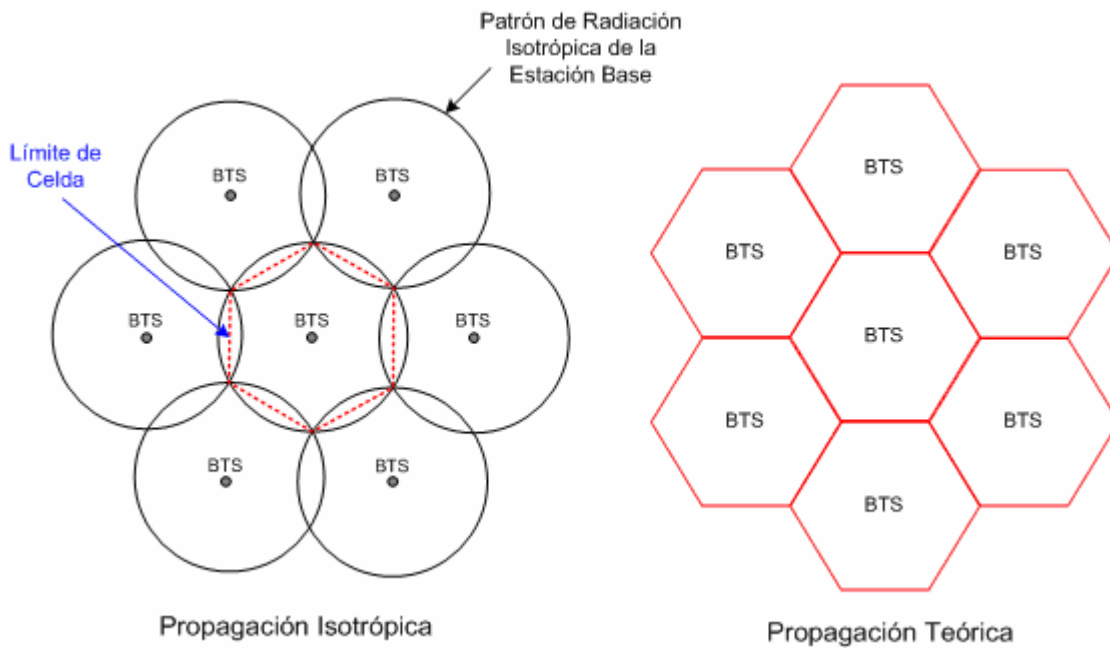
La evolución de los sistemas celulares móviles se inició a principios de la década de los cincuenta cuando la Compañía de Teléfonos Bell estableció en Estados Unidos los primeros canales de comunicación. Inicialmente esta tecnología se reservaba a instituciones privadas y gubernamentales, pero por su acelerado crecimiento, en poco tiempo quedó disponible a todo el público.

Un sistema celular está compuesto por estaciones base ubicadas en diferentes puntos. Estas estaciones se entrelazan formando el área de cobertura del sistema. Cuando un usuario desea realizar una llamada, el teléfono móvil busca la estación base más cercana y se engancha a la frecuencia de esta para poder efectuar la llamada. Cuando la estación móvil comienza a salir del área de cobertura de la estación base a la que está enganchada, ésta busca la estación base más próxima y pega un salto en frecuencia para engancharse a la nueva estación base, evitando con ello la caída del canal.

Las Estaciones Base (BTS, del inglés *Base Transceiver Station*) idealmente poseen una propagación isotrópica de ondas electromagnéticas, es decir que las ondas electromagnéticas se propagan de igual forma en todas direcciones. Como se puede observar en la figura 1, el patrón de radiación isotrópico origina en sus fronteras traslapes en el área de cobertura entre una y otra estación, creando con ello áreas de incertidumbre en las cuales la estación móvil no puede definir a que estación base debe engancharse. Por este motivo se

origina el concepto de célula o celda, el cual define de forma simple los límites para el cambio de portadora o frecuencia que realiza la unidad móvil entre una y otra estación base.

Figura 1. **Concepto de la red celular**

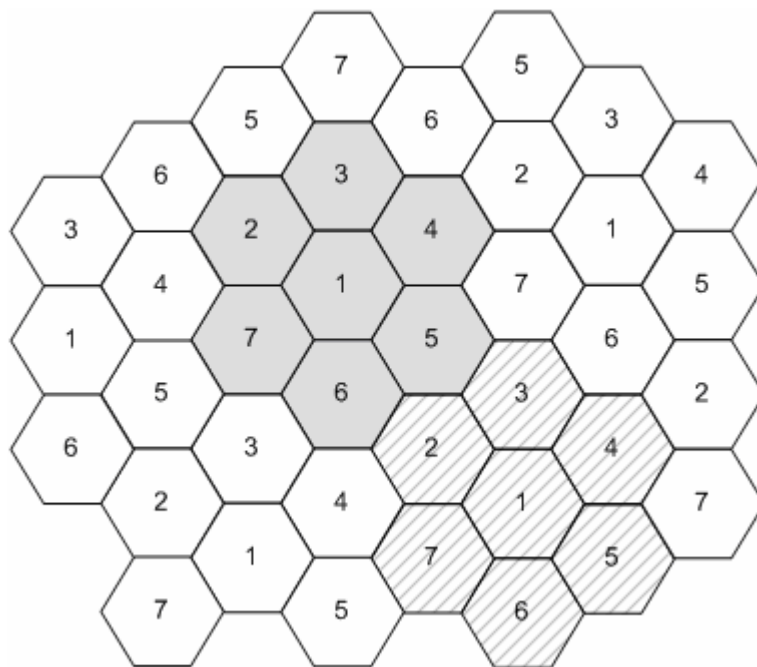


1.1.1 Reutilización de frecuencias para minimizar el ancho de banda

Los conceptos claves de la red celular fueron descubiertos en los laboratorios de Teléfonos Bell en la década de los cincuenta. En ese entonces se determinó que, subdividiendo un área geográfica relativamente grande en secciones más pequeñas denominadas celdas o células, se podría aplicar un concepto de reutilización de frecuencias, incrementando con ello la capacidad de un canal de telefonía móvil.

La reutilización de frecuencias asigna un mismo conjunto de frecuencias a células diferentes. Para aplicar este concepto se debe cumplir con una distancia mínima de separación entre células que utilizan la misma frecuencia, con el fin de evitar interferencias mutuas. En el esquema de la figura 2 se presenta la explicación grafica de este concepto.

Figura 2. Arreglo de celdas con un factor de reutilización de $N = 7$



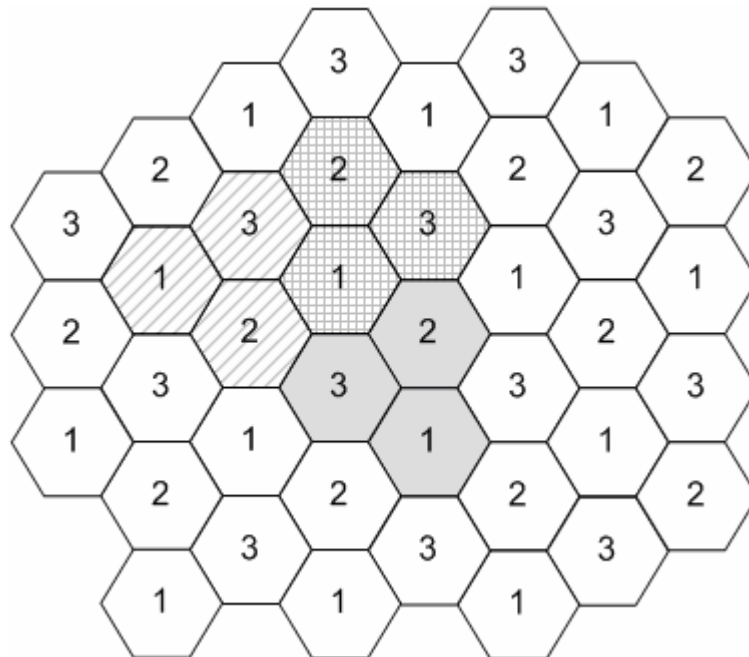
Fuente: Vijay K. Garg & Joseph E. Wilkes, **Principles & Applications of GSM**, Pág. 48

El número asignado a cada célula representa una frecuencia en particular. Esta red celular posee un factor de reutilización de $N = 7$, ya que existen siete frecuencias diferentes para establecer la comunicación entre las estaciones base y la unidad móvil. Cuando la unidad móvil se engancha a la estación base

con frecuencia 1, esta permanecerá enganchada mientras se encuentre dentro de los límites de la célula. Si la unidad móvil pasa la frontera entre la estación base con frecuencia 1 y la estación base con frecuencia 5, ésta se enganchará a la estación con frecuencia 5 y se mantendrá en ella hasta que pase nuevamente otra frontera.

Con un factor de reutilización de $N = 7$, es imposible que dos estaciones base que trabajen con la misma frecuencia, se encuentren colindantes y puedan ocasionar interferencias. Con este esquema, el operador únicamente necesita 7 frecuencias portadoras para cubrir un área infinita. En la práctica es también posible encontrar redes celulares con factores de reutilización de $N = 3$.

Figura 3. Arreglo de celdas con un factor de reutilización de $N = 3$



Fuente: Vijay K. Garg & Joseph E. Wilkes, **Principles & Applications of GSM**, Pág. 48

1.2 Arquitectura del sistema GSM

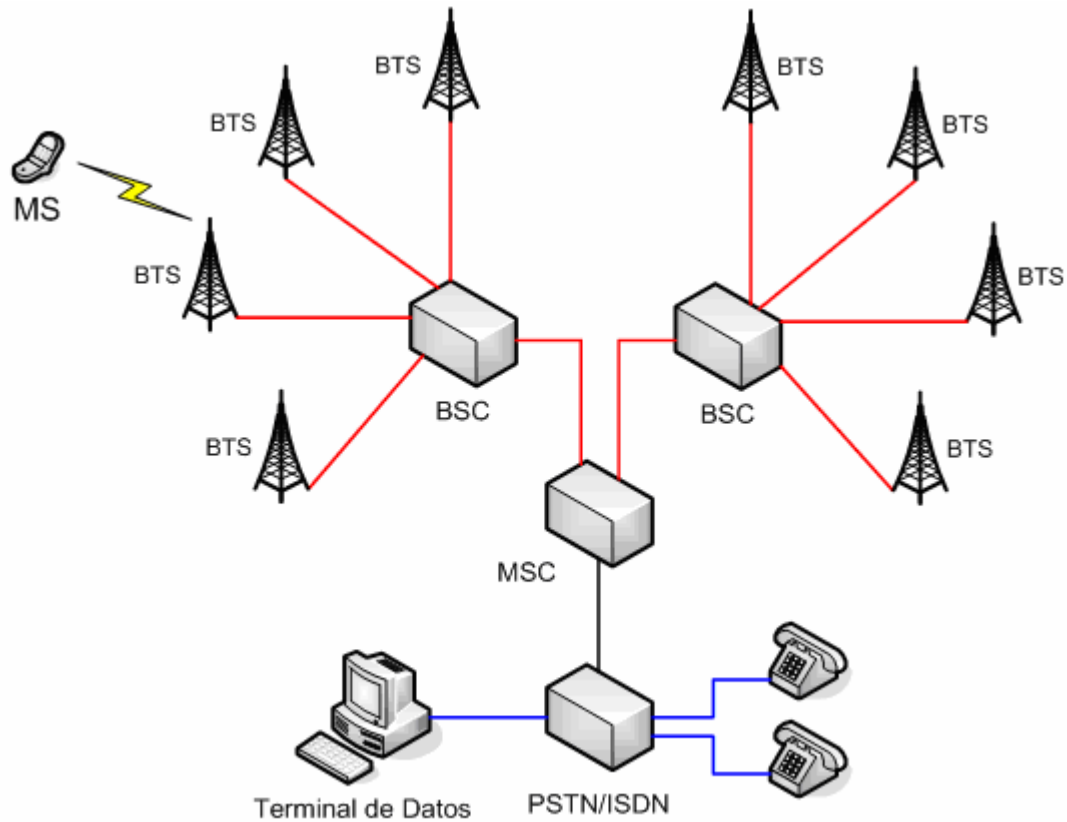
El Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM, del inglés *Global System for Mobile Communications*) es un sistema modulado en frecuencia y tiempo. Cada canal de comunicación está caracterizado por una frecuencia portadora y un cuadro de tiempo. El sistema GSM incluye dos bandas de frecuencias a 900MHz y 1800MHz comúnmente referidas como el sistema GSM-900 y el sistema DCS-1800 del inglés *Digital Cellular System 1800*.

Para el sistema GSM-900, se definen 124 radio-portadoras asignadas en dos sub-bandas de 25MHz cada una en el rango de 890-915MHz y 935-960MHz, con anchos de canal de 200KHz. Cada portadora es dividida en tramas de 8 cuadros de tiempo con una duración de aproximadamente 4.6 milisegundos.

Para el sistema DCS-1800, existen dos sub-bandas de 75MHz en el rango de 1710-1785MHz y 1805-1880MHz.

En lo que se refiere a la estructura básica del sistema GSM, este se organiza como una red de células radioeléctricas continuas que proporcionan cobertura completa al área de servicio. Cada célula pertenece a una Estación Base (BTS, del inglés *Base Transceiver Station*), que opera en un conjunto de canales de radio diferentes a los usados en las células adyacentes y que se encuentran distribuidas según un plan celular. Un grupo de estaciones base se encuentran conectadas a un Controlador de Estaciones Base (BSC, del inglés *Base Station Control*). En consecuencia, el BSC se encarga del manejo y administración de toda la red de radio.

Figura 4. Arquitectura básica del sistema GSM

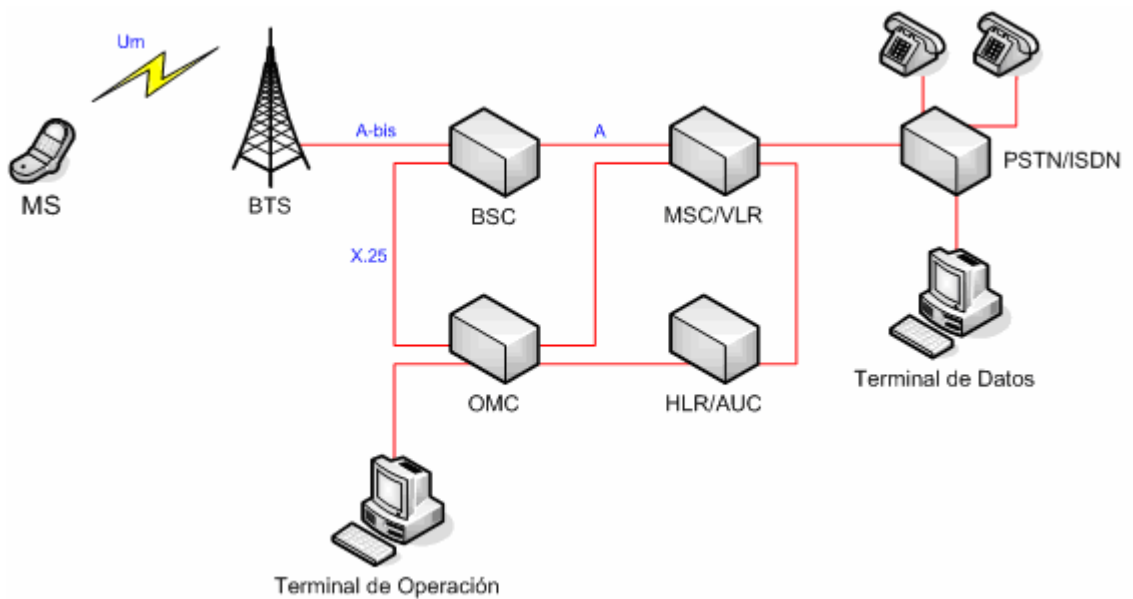


En el sistema GSM se utiliza una Central de Conmutación de Móviles (MSC, del inglés *Movil Switching Center*), a la que se conecta una o varias estaciones base. La MSC es el corazón del sistema GSM, es la responsable de la inicialización, enrutamiento, control y finalización de llamadas, así como de la información sobre la tarificación. Es también, la interfaz entre diversas redes GSM o entre una de ellas y las redes públicas de telefonía o datos.

1.2.1 Funciones y elementos de la red GSM

En el diagrama de la figura 5 se puede observar cada uno de los elementos que conforman el sistema GSM. Seguidamente se detallarán las partes y sus funciones.

Figura 5. Arquitectura del sistema GSM



Fuente: Joachim Tisal, **The GSM Network**, Pág. 44

1.2.1.1 El suscriptor terminal

Es el equipo físico utilizado por el usuario GSM para acceder a los servicios proporcionados por la red. Se conoce también con el nombre de Estación Móvil (MS, del inglés *Mobile Station*).

1.2.1.2 La estación base

La Estación Base (BTS, del inglés *Base Transceiver Station*), es un radio transmisor y receptor que permite a la estación móvil interactuar con la infraestructura de la red.

1.2.1.3 El controlador de estaciones base

El Controlador de Estaciones Base (BSC, del inglés *Base Station Controller*), es la unidad que se encarga de manejar y realizar las interconexiones de un grupo de estaciones base.

1.2.1.4 El centro móvil de conmutación

El Centro Móvil de Conmutación (MSC, del inglés *Mobile Switching Centre*), se encarga de proveer conexiones entre la red GSM y las redes externas PSTN

o ISDN. La PSTN del inglés *Public Switching Telephone Network*, es la red pública conmutada de teléfono, mientras que la ISDN del inglés *Integrated Services Digital Network*, es un sistema de conexiones telefónicas digitales diseñado para el envío de voz, video y datos simultáneamente, este sistema trabaja con velocidades más altas y de mejor calidad que los sistemas analógicos. La ISDN es un servicio internacional para la transmisión de datos con velocidades de hasta 64Kbps por canal.

1.2.1.5 El registro de localización del visitante

El registro de localización del visitante (VLR, del inglés *Visitor Location Register*), es una base de datos que memoriza de modo temporal los datos de todos los abonados que se encuentran en un área geográfica bajo su control. Este registro fue diseñado para evitar sobrecargar el registro de localización del suscriptor.

1.2.1.6 El registro de localización del suscriptor

El registro de localización del suscriptor (HLR, del inglés *Home Location Register*), es un registro que al momento de suscribirse un abonado, guarda toda la información necesaria para su identificación, como por ejemplo, el número del abonado, posición del móvil, prefijo internacional, etc.

1.2.1.7 El centro de autenticación del suscriptor

El Centro de Autenticación del Suscriptor (AUC, del inglés *Authentication Centre*), es un sistema que se ocupa de verificar si el servicio fue solicitado por un abonado legítimo. Este proporciona los códigos para la autenticación y protege al abonado y al operador de intrusiones al sistema por parte de terceros.

1.2.1.8 El centro de operaciones y mantenimiento

El Centro de Operaciones y Mantenimiento (OMC, del inglés *Operations and Maintenance Centre*), es el ente responsable de las operaciones lógicas y técnicas de la red. Entre sus funciones se pueden mencionar, el acceso remoto de los elementos que conforman la red GSM, gestión de alarmas, supervisión del tráfico, administración de los suscriptores, etc.

1.2.2 Interfaces de la red GSM

Las interfaces son también partes importantes de la red GSM, por medio de ellas se puede establecer un dialogo entre los diferentes equipos. La estandarización de las interfaces garantizan la comunicación entre cada uno de los elementos sin importar las marcas y características de los mismos. Como resultado, el Instituto Europeo de Telecomunicaciones (ETSI, del inglés

European Telecommunications Standards Institute) estandarizó las interfaces de la red GSM como sigue.

1.2.2.1 Interfaz de radio Um

Esta interfaz está situada entre la estación móvil y la estación base. Es la interfaz más importante del sistema. Utiliza el Protocolo de Acceso al Medio (LAP del inglés *Link Access Protocol*) sobre un canal Dm (LAPDm). Este protocolo está basado en el Protocolo de Acceso al Medio en una ISDN sobre un canal D (LAPD).

1.2.2.2 Interfaz A-bis

La interfaz A-bis interconecta la estación base con el controlador de estaciones base. Esta interfaz soporta dos tipos de canales, un canal de tráfico a 64kbps portando información de voz o datos y un canal de señalización a 16kbps por medio del cual se sincroniza e interactúa la estación base con el controlador de estaciones base.

1.2.2.3 Interfaz A

Esta interfaz permite la interconexión entre el Subsistema de Estación Base BSS del inglés *Base Station Sub-System* y el centro móvil de conmutación. La capa física de la interfaz A es una conexión digital de 2Mbps/64Kbps según el

estándar propuesto por la CCITT, del inglés *Consultative Committee for International Telegraph and Telephone*.

1.2.2.4 Interfaz X.25

Por medio de esta interfaz se conecta el Centro de Operaciones y Mantenimiento (OMC del inglés *Operations and Maintenance Center*) al controlador de estaciones base.

1.2.3 Subsistemas de la red GSM

Entre los subsistemas de la red GSM tenemos:

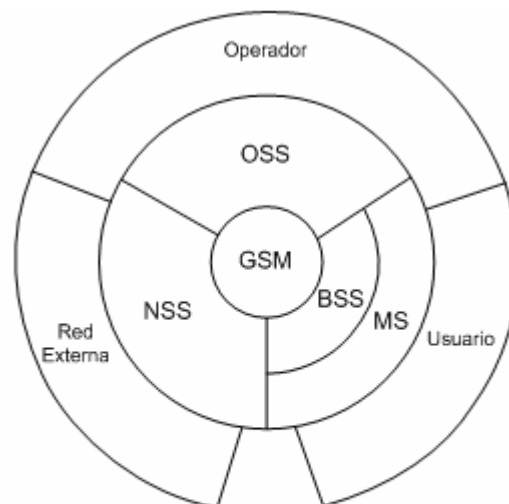
- El subsistema de estación base (BSS, del inglés *Base Station Sub-System*) compuesto por las estaciones base y el controlador de estaciones base.
- El subsistema de red (NSS, del inglés *Network Sub-System*) constituido por los registros HLR y VLR y el centro de conmutación y autenticación.
- El subsistema de operación (OSS, del inglés *Operational Sub-System*) que provee las herramientas necesarias para controlar y administrar el sistema GSM.

En el sistema GSM la interacción entre los subsistemas pueden ser agrupadas en dos partes principales:

- Operacional, que agrupa la interacción entre redes externas y el subsistema de red, el subsistema de red y la estación móvil y la estación móvil y el suscriptor.
- Control, que se centra en la interacción entre el subsistema de operación y el proveedor de servicios.

En el esquema de la figura 6 se representa la estructura de cada uno de los subsistemas que conforman la red GSM.

Figura 6. **Subsistemas que conforman la red GSM**



BSS del inglés *Base Station Subsystem*
NSS del inglés *Network and Switching Subsystem*
OSS del inglés *Operational Subsystem*
MS del inglés *Mobile Station*

Fuente: Vijay K. Garg & Joseph E. Wilkes, **Principles & Applications of GSM**, Pág. 75

1.3 Servicio de datos en la red GSM

La red GSM brinda múltiples servicios de voz y datos al usuario. Por medio de estos servicios el usuario puede enviar y recibir mensajes de texto, mensajes de voz, navegar por internet, intercambiar información, etc. Uno de los servicios más ampliamente utilizado es el Servicio de Mensajes Cortos (SMS, del inglés *Short Message Service*). Por medio de este servicio los usuarios poseen la capacidad de enviar mensajes de texto alfanuméricos de una estación móvil a otra.

1.3.1 Servicio de mensajes cortos

El sistema GSM soporta dos tipos de servicios de mensajes cortos. El primer tipo es llamado servicio punto a punto. En este servicio el usuario envía un mensaje corto el cual interactúa con la Entidad de Mensajes Cortos (SME, del inglés *Short Message Entity*) para tener acceso al sistema, una vez que el mensaje se encuentra dentro de la red, la SME lo reenvía al centro móvil de conmutación, el cual se encarga de dirigir el mensaje hacia la unidad móvil destino.

Si el usuario tiene habilitado la comunicación internacional, una puerta de enlace (*gateway*) en el centro móvil de conmutación redirecciona el mensaje al país donde se encuentre el destinatario. En la figura 7 se presenta el servicio de mensajes cortos punto a punto.

Figura 7. Servicio de mensajes cortos punto a punto

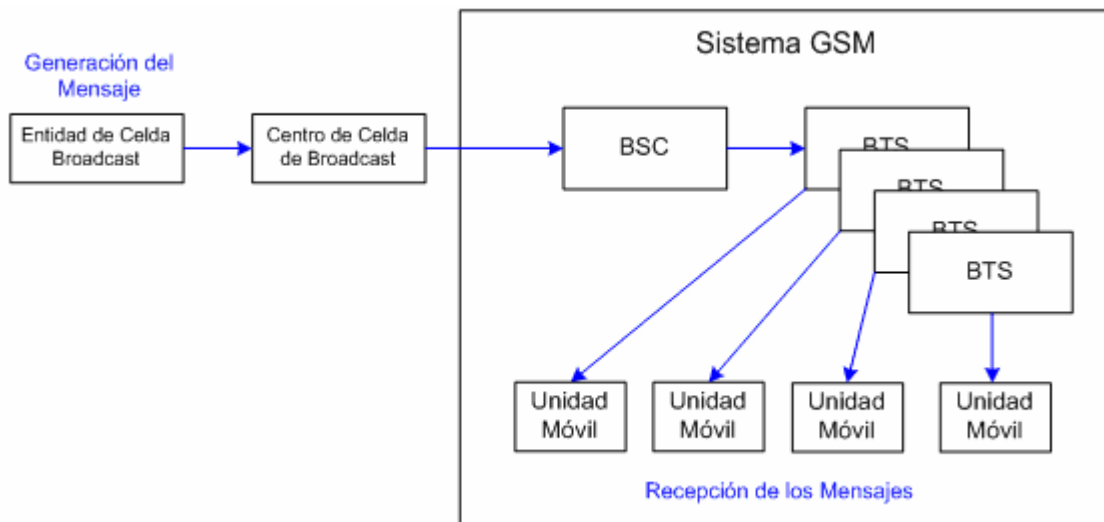


Fuente: Vijay K. Garg & Joseph E. Wilkes, **Principles & Applications of GSM**, Pág. 187

El segundo tipo es llamado servicio de mensaje corto de celda en difusión (SMSCB, del inglés *Short Message Service Cell Broadcast*). En este servicio un mensaje es enviado simultáneamente a diferentes destinatarios haciendo uso de la difusión. El propósito de este servicio es brindar una misma información a varias estaciones móviles del sistema, que pueden consistir, en reportes de noticias, clima, ventas, etc.

A la entidad que origina los mensajes de difusión es llamada Entidad de Celda de Difusión (CBE, del inglés *Cell Broadcast Entity*) y esta se encarga de transferir los mensajes cortos al centro de celda de difusión, esta a su vez interconecta los controladores de estaciones base con las estaciones base y las unidades móviles del sistema.

Figura 8. Servicio de mensajes cortos de celda en difusión



Fuente: Vijay K. Garg & Joseph E. Wilkes, **Principles & Applications of GSM**, Pág. 188

1.3.2 Recepción de un mensaje corto por un terminal

El proceso de recepción se inicia cuando la fuente del mensaje envía el mensaje al servidor de mensajes cortos, el cual graba el mensaje y sus características dentro de su memoria temporal (origen, destinatario, prioridad, etc.).

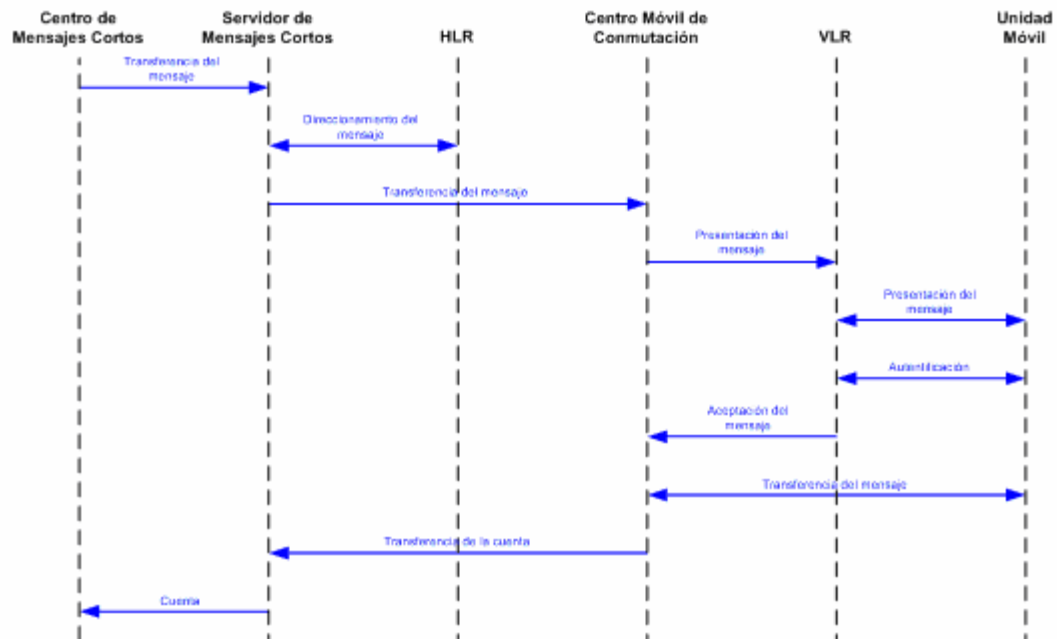
Seguidamente el servidor de mensajes cortos interroga al registro de localización del suscriptor (HLR) de la unidad móvil para poderlo ubicar. El registro HLR provee la ubicación del suscriptor al centro móvil de conmutación (MSC), y este identifica el dominio del suscriptor localizado.

Posteriormente el centro móvil de conmutación interroga al registro de localización del visitante (VLR) para obtener las más recientes coordenadas del suscriptor. Este requerimiento esta acompañado por un procedimiento para la presentación del mensaje, la verificación del estado del terminal, la identificación y la autenticación del suscriptor.

Finalmente, el centro móvil de conmutación entrega el mensaje al terminal y provee al servidor de mensajes cortos la información detallada del envío. En contestación, el servidor de mensajes cortos envía una respuesta al transmisor.

En la figura 9 se muestra la interacción de cada una de las entidades que forman parte de la cadena de recepción de un mensaje corto.

Figura 9. Recepción de un mensaje corto por un terminal

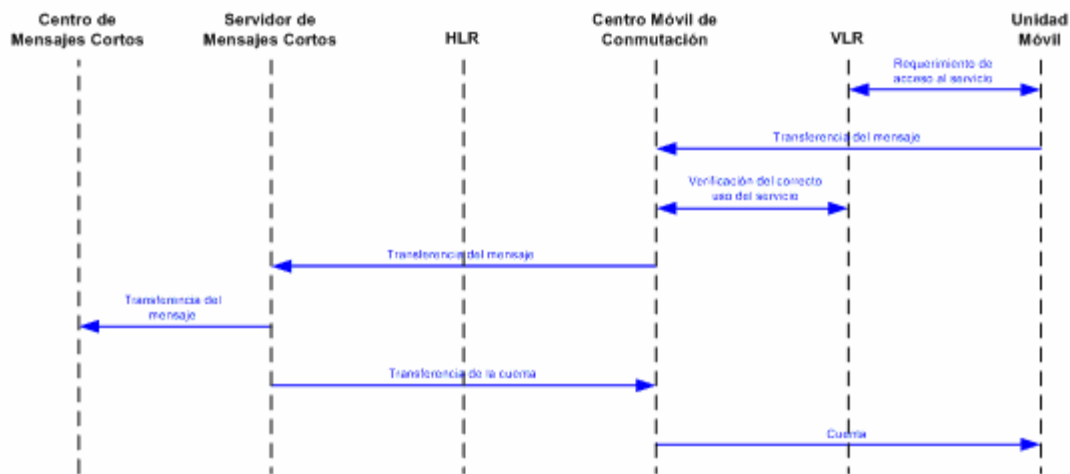


Fuente: Joachim Tisal, **The GSM Network**, Pág. 152

1.3.3 Transmisión de un mensaje corto por un terminal

En la figura 10 se muestra las seis entidades de la red que participan en la cadena de transmisión de un mensaje corto enviado desde una unidad móvil hacia otro terminal.

Figura 10. Transmisión de un mensaje corto por un terminal



Fuente: Joachim Tisal, **The GSM Network**, Pág. 153

Para empezar la cadena de transmisión, la unidad móvil solicita autorización al registro de localización del visitante (VLR) para poder transmitir el mensaje. Si el VLR reconoce al suscriptor le otorga el permiso correspondiente, de lo contrario se lo niega.

Luego de la autorización, el terminal transmite el mensaje al centro móvil de conmutación (MSC), el cual actualiza el registro de localización del visitante (VLR), agregando la fecha y tiempo de la transmisión del mensaje. Con esta

información, el centro móvil de conmutación esta listo para realizar la entrega al suscriptor destino.

El centro móvil de conmutación enruta el mensaje al servidor de mensajes cortos, por medio del cual se guarda y se graban sus características (transmisor, destinatario, prioridad, etc.).

Finalmente, el servidor de mensajes cortos retransmite el mensaje al destinatario y provee el detalle de la entrega al centro móvil de conmutación para que este a su vez, informe al suscriptor origen de la entrega del mismo.

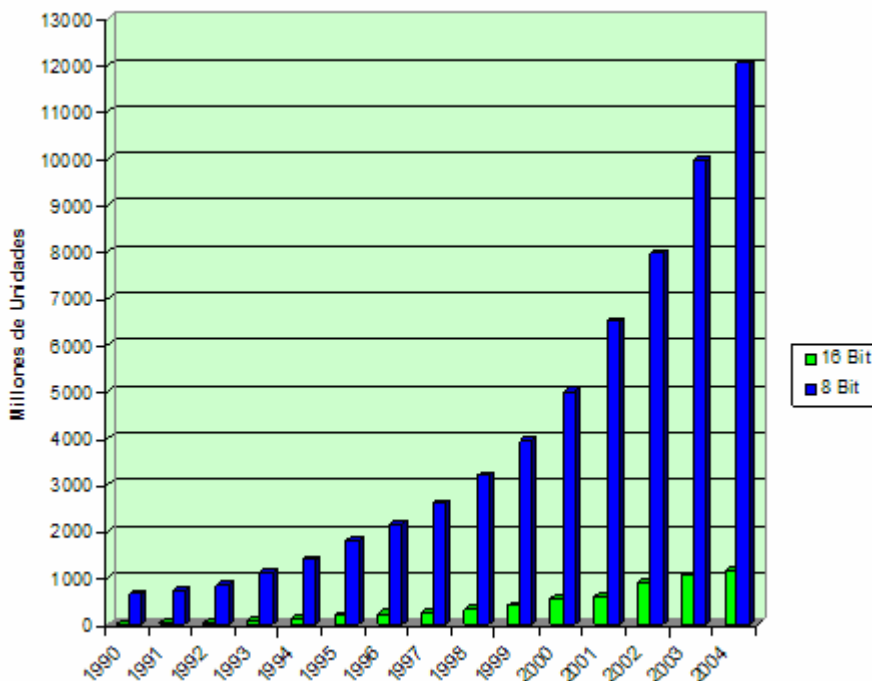
2. MICROCONTROLADORES

2.1 Introducción a los microcontroladores

Desde la invención del circuito integrado, el desarrollo constante de la electrónica digital ha dado lugar a dispositivos cada vez más complejos. Entre ellos están los microcontroladores.

La figura 11 visualiza el creciente desarrollo de la producción de microcontroladores por año a nivel mundial en la década de los noventa y principios del siglo veintiuno.

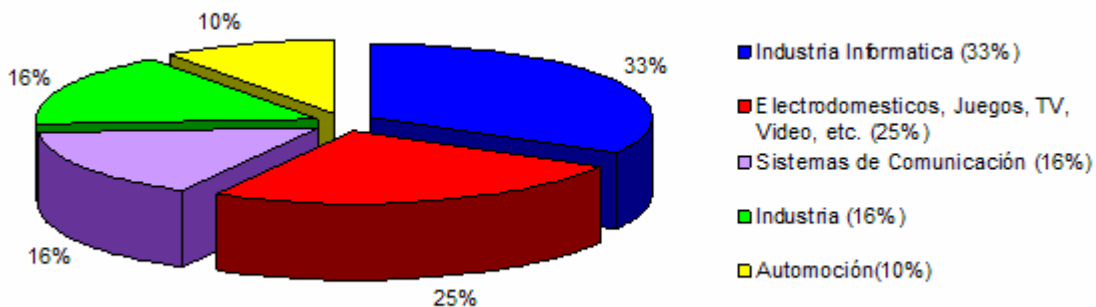
Figura 11. Producción de microcontroladores por año a nivel mundial



Fuente: <http://perso.wanadoo.es/pictob/microcr.htm>

En el mercado existe una gran diversidad de microcontroladores. Una de las clasificaciones más importantes que se encuentran, se fundamenta en la capacidad que tienen los microcontroladores de manejar palabras de 4, 8, 16 ó 32 bits simultáneamente. Aunque las prestaciones de los microcontroladores de 16 y 32 bits son superiores a los de 4 y 8 bits, la realidad es que los microcontroladores de 8 bits dominan el mercado. La razón de esta tendencia, es que los microcontroladores de 4 y 8 bits son apropiados para la gran mayoría de aplicaciones, lo que hace innecesario emplear microcontroladores más robustos y consecuentemente más caros.

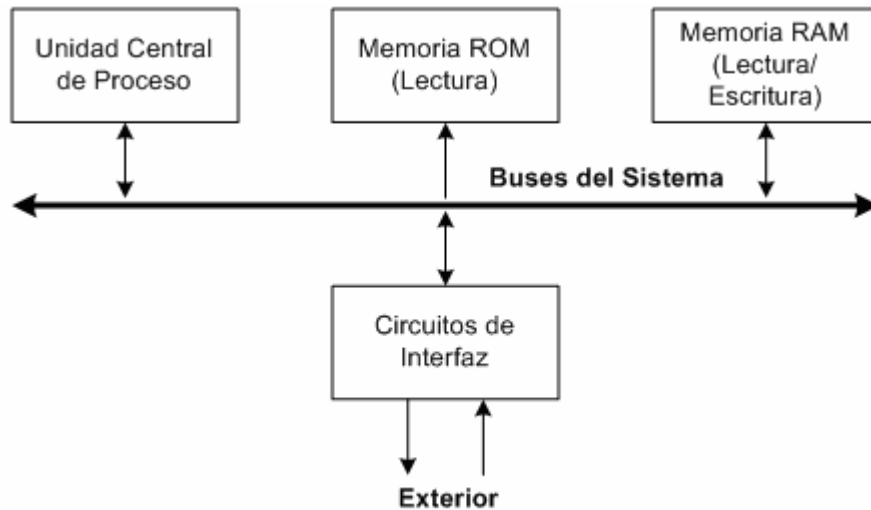
Figura 12. **Uso del microcontrolador en áreas de mayor difusión**



Fuente: <http://perso.wanadoo.es/pictob/microcr.htm>

Antes de ver que es un microcontrolador y analizar sus ventajas y desventajas, es útil hacer un repaso relacionado con la estructura de cualquier sistema programable que pueda hacer uso de un microcontrolador.

Figura 13. Esquema general de un sistema programable



Fuente: <http://www.abcdatos.com/tutoriales/tutorial/I9745.html>

La figura 13 representa el esquema general de cualquier sistema programable. Los elementos necesarios para su funcionamiento son los siguientes:

- La unidad central de proceso
- La memoria ROM del inglés *Read Only Memory* (solo lectura)
- La memoria RAM del inglés *Random Access Memory* (lectura y escritura)
- Los circuitos de Interfaz
- Los buses de interconexión

La presencia de estos elementos básicos es indispensable y aun cuando no se representen tan claramente como en la figura 13, siempre existen.

La unidad central de proceso generalmente esta constituida por un microprocesador, esta ejecuta el programa que da vida a la aplicación. Los programas pueden ser muy diversos, puesto que, como es evidente, el que asegura la gestión de un termostato inteligente no tiene nada que ver con el que controla el correcto funcionamiento de una fotocopiadora. Sin embargo, estos programas tienen en común el hecho de que muy raramente necesitan cálculos complejos y, en cambio, sí suelen incluir numerosas manipulaciones de la información de entrada y salida.

El programa se almacena en un segundo elemento, que es la memoria ROM. Esta memoria puede constituirse de diferentes formas: EPROM del inglés *Erasable Programmable Read Only Memory*, EEPROM del inglés *Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory* y memoria *flash*. Cualquiera que sea la que se utilice es una memoria no volátil desde la que se ejecutará el programa una vez alimentado el sistema. Para poder trabajar correctamente, el microprocesador necesita, a menudo, almacenar datos temporales en alguna parte, y aquí es donde interviene la memoria RAM. La memoria RAM es de lectura y escritura y no necesita ser de grandes dimensiones.

El último elemento y que generalmente, es el más importante en una aplicación susceptible de utilizar un microcontrolador es todo lo concerniente a los circuitos de interfaz con el mundo exterior, esta interfaz relacionará al microprocesador con elementos tan dispares como un motor paso a paso, una pantalla de cristal líquido o una botonera hexadecimal.

El objetivo principal de este capítulo consiste en hacerse de las herramientas necesarias para poder efectuar posteriormente el diseño e implementación del sistema generador de mensajes de texto a través de la red de telefonía móvil,

para ello, a continuación se definen los conceptos básicos de los microcontroladores.

2.1.1 Diferencia entre controlador, microcontrolador y microprocesador

Un controlador es un dispositivo que se emplea para el gobierno de uno o varios procesos. Por ejemplo, el controlador que regula el funcionamiento de un horno eléctrico dispone de un sensor que mide constantemente su temperatura interna y actúa sobre las resistencias para mantener la temperatura dentro del rango establecido.

Aunque el concepto de controlador ha permanecido invariable a través del tiempo, su implementación física ha variado frecuentemente. Hace tres décadas, los controladores electrónicos se construían exclusivamente con componentes de lógica discreta, posteriormente se emplearon los microprocesadores que se rodeaban de integrados de memoria y puertos de entrada y salida sobre una tarjeta de circuito impreso. En la actualidad, todos los elementos del controlador se han podido incluir en un solo circuito integrado, conociéndose a este concepto con el nombre de microcontrolador.

Por lo tanto, un microcontrolador es un circuito integrado de alta escala de integración, que incorpora la mayor parte de los elementos que configuran un controlador y que contiene todos los componentes fundamentales de una computadora, aunque de limitadas prestaciones.

Finalmente, la diferencia entre un microprocesador y un microcontrolador radica en que un microprocesador es simplemente un elemento del

microcontrolador, formando lo que se conoce como la Unidad Central de Proceso (CPU del inglés *Central Process Unit*) que a su vez se divide en, la unidad de control, la unidad aritmética-lógica, los registros y dependiendo del procesador, la unidad de coma flotante.

2.2 Estructura del microcontrolador

Al estar los microcontroladores en un solo circuito integrado, su estructura fundamental y sus características básicas son muy parecidas. Todos disponen de procesador, memoria de datos, memoria de instrucciones, líneas de entrada y salida, oscilador de reloj y módulos controladores de periféricos. Sin embargo, cada fabricante intenta enfatizar los recursos más idóneos para las aplicaciones a las que se destinan preferentemente.

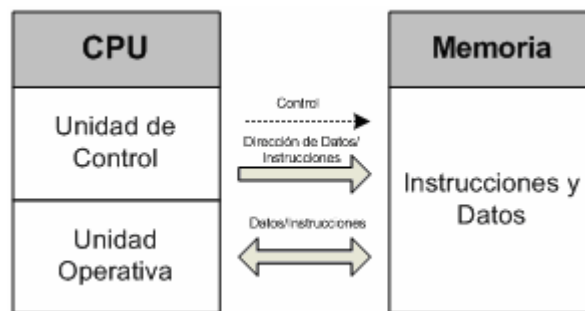
En este apartado se hace un recorrido de todos los elementos que se hallan en la mayoría de los microcontroladores, además de hacer énfasis en las características especiales del microcontrolador 16F877 utilizado en la etapa de diseño e implementación.

2.2.1 Arquitectura de los microcontroladores

Existen dos tipos de arquitecturas, la arquitectura Harvard y la arquitectura von Neumann. Inicialmente todos los microcontroladores adoptaron la arquitectura clásica de von Neumann, pero en el presente se impone la arquitectura Harvard.

La arquitectura de von Neumann se caracteriza por disponer de una sola memoria principal donde se almacenan datos e instrucciones de forma indistinta. A dicha memoria se accede a través de un sistema de buses único (direcciones, datos y control).

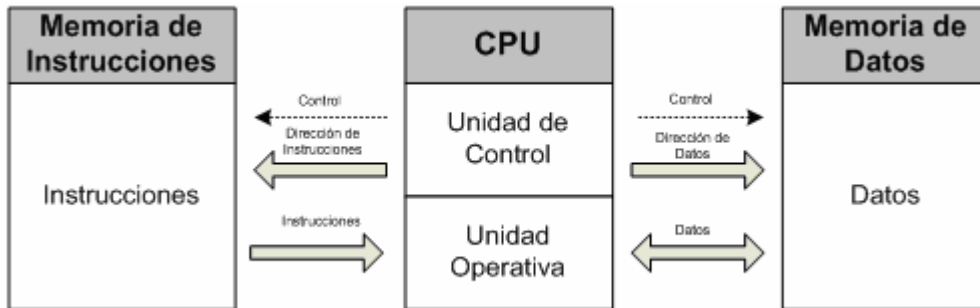
Figura 14. **Arquitectura von Neumann de un microcontrolador**



Fuente: http://www.unicrom.com/Tut_arquitectura_microcontrolador.asp

Por otro lado, la arquitectura Harvard dispone de dos memorias independientes entre sí, una que contiene sólo instrucciones y otra, sólo datos. Ambas disponen de sus respectivos sistemas de buses de acceso, permitiendo de esta manera la realización de accesos (lectura o escritura) simultáneos en ambas memorias. Los microcontroladores utilizados en la solución responden a la arquitectura Harvard.

Figura 15. **Arquitectura Harvard de un microcontrolador**



Fuente: http://www.unicrom.com/Tut_arquitectura_microcontrolador.asp

2.2.2 Unidad central de proceso

Es el elemento más importante del microcontrolador y determina sus principales características, tanto a nivel de *hardware* como de *software*.

La unidad central de proceso se encarga de direccionar la memoria de instrucciones, recibir el código de operación de la instrucción en curso, su decodificación y la ejecución de la operación que implica la instrucción, así como el almacenamiento del resultado.

Existen tres orientaciones en cuanto a la arquitectura y funcionalidad de los procesadores actuales.

2.2.2.1 Computadores con juego de instrucciones complejo

Estos procesadores disponen de más de 80 instrucciones en su repertorio de programación, estas ofrecen al programador muchas mas herramientas de manejo y procesamiento de información, pero tienen el inconveniente que debido a la complejidad de algunas instrucciones, el procesador requiere de muchos ciclos de reloj para poder ejecutar las operaciones. Generalmente a esta filosofía se le refiere como CISC del inglés *Complex Instruction Set Computer*.

2.2.2.2 Computadores con juego de instrucciones reducido

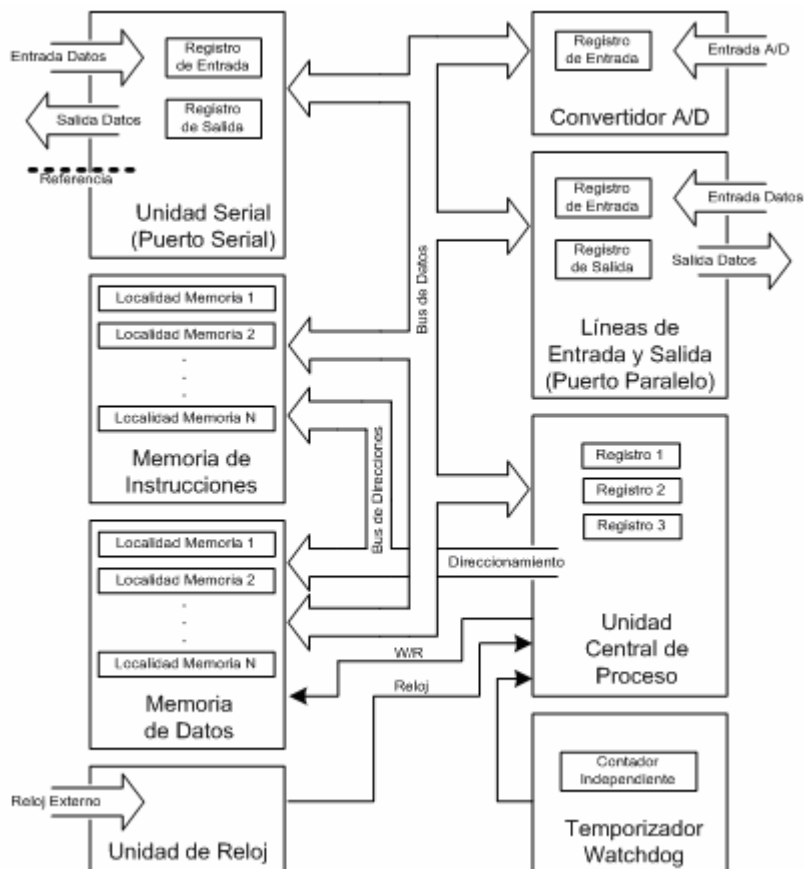
Tanto la industria de los computadores comerciales como la de los microcontroladores están migrando hacia la filosofía RISC del inglés *Reduced Instruction Set Computer*. En estos procesadores el repertorio de instrucciones es muy reducido y las instrucciones son simples y generalmente se ejecutan en un solo ciclo de reloj.

La sencillez y rapidez de las instrucciones permiten optimizar el *hardware* y el *software* del procesador. El microcontrolador utilizado en la solución responde a la filosofía RISC.

2.2.2.3 Computadores con juego de instrucciones específico

En los microcontroladores destinados a aplicaciones muy concretas, el juego de instrucciones, además de ser reducido, es específico, esto quiere decir, que las instrucciones se adaptan a las necesidades de la aplicación prevista. Esta filosofía se ha referido con el nombre de SISC del inglés *Specific Instruction Set Computer*.

Figura 16. Arquitectura de un microcontrolador



2.2.3 Memoria

En los microcontroladores la memoria de instrucciones y datos está integrada en el mismo chip. Una parte debe ser no volátil (tipo ROM), y se destina a contener el programa de instrucciones que gobierna la aplicación. Otra parte de memoria es volátil (tipo RAM), y se destina a guardar las variables y los datos.

La memoria RAM en estos dispositivos es de poca capacidad pues sólo debe contener las variables y los cambios de información que se produzcan en el transcurso del programa. Por otra parte, como sólo existe un programa activo, no se requiere guardar una copia del mismo en la memoria RAM pues se ejecuta directamente desde la memoria ROM.

Según el tipo de memoria ROM que dispongan los microcontroladores, la aplicación y utilización de los mismos es diferente. A continuación se describen las cinco versiones de memoria no volátil que se pueden encontrar en los microcontroladores del mercado.

2.2.3.1 Memoria ROM con máscara

Es una memoria no volátil de sólo lectura cuyo contenido se graba durante la fabricación del integrado. El elevado coste del diseño de la máscara sólo hace aconsejable el empleo de los microcontroladores con este tipo de memoria, cuando se precisan cantidades superiores a varios miles de unidades.

2.2.3.2 Memoria OTP

La memoria OTP del inglés *One Time Programmable*, permite al usuario cargar el código del programa una sola vez en la memoria del microcontrolador. La versión OTP es recomendable cuando es muy corto el ciclo de diseño del producto, o bien, en la construcción de prototipos y series muy pequeñas.

Tanto en este tipo de memoria como en la memoria EPROM, se suele usar la encriptación mediante fusibles para proteger el código contenido.

2.2.3.3 Memoria EPROM

Los microcontroladores que disponen de memoria EPROM pueden borrarse y grabarse muchas veces. La grabación se realiza, como en el caso de las memorias OTP, con un grabador gobernado desde una computadora. Si posteriormente se desea borrar el contenido, estos disponen de una ventana de cristal en su superficie por la que se somete a radiación ultravioleta durante varios minutos hasta lograr el borrado.

Las cápsulas son de material cerámico y son más caros que los microcontroladores con memoria OTP que están hechos con material plástico.

2.2.3.4 Memoria EEPROM

Se trata de memorias de sólo lectura, tanto la programación como el borrado, se realizan eléctricamente desde el propio grabador y bajo el control programado de una computadora. Es muy cómoda y rápida la operación de grabado y borrado. No disponen de ventana de cristal en la superficie.

El número de veces que puede grabarse y borrarse una memoria EEPROM es finito, por lo que no es recomendable una reprogramación continua. Son muy idóneos para la enseñanza y la ingeniería de diseño. Un inconveniente es que este tipo de memoria es relativamente lenta.

El microcontrolador elegido para este proyecto está provisto de este tipo de memoria, ofreciendo una gran flexibilidad y facilidad al programador en la etapa de diseño.

2.2.3.5 Memoria *Flash*

Se trata de una memoria no volátil, de bajo consumo, que se puede escribir y borrar. Funciona como una memoria ROM y una memoria RAM pero con la diferencia que consume menos potencia y es más pequeña.

A diferencia de la memoria ROM, la memoria *flash* es programable en el circuito. Es más rápida y de mayor densidad que la memoria EEPROM.

La alternativa *flash* está recomendada frente a la EEPROM cuando se precisa gran cantidad de memoria de programa no volátil. Es más veloz y tolera más ciclos de escritura y borrado.

Las memorias EEPROM y *flash* son muy útiles al permitir que los microcontroladores que las incorporan puedan ser reprogramados en circuito, es decir, sin tener que retirar el circuito integrado de la tarjeta. Así, un dispositivo con este tipo de memoria incorporado al control del motor de un automóvil permite que pueda modificarse el programa durante la rutina de mantenimiento periódico, compensando los desgastes y otros factores tales como la compresión, la instalación de nuevas piezas, etc. La reprogramación del microcontrolador puede convertirse en una labor rutinaria dentro de la puesta a punto.

2.2.4 Buses de comunicación

Para lograr la comunicación entre los elementos del microcontrolador, es necesario interconectarlos por medio de tres buses o canales de información. Los buses utilizados para trasladar la información son los siguientes.

2.2.4.1 Bus de control

A través de este bus se envían las señales que controlan los distintos dispositivos del microcontrolador. Es el encargado de manejar el sentido de la información. Si se desea acceder a la memoria de lectura en lugar de un puerto

de salida, este bus se encarga abrir el camino para acceder a la memoria de lectura y anula la comunicación hacia los demás periféricos.

2.2.4.2 Bus de datos

A través de este bus viaja la información que se manipulará es transferida de una unidad a otra para ser procesada o desplegada. En la etapa de diseño e implementación se hace uso de un microcontrolador que tiene una capacidad de 8 bits de datos.

2.2.4.3 Bus de direcciones

Este bus de comunicación se utiliza para encontrar la ubicación de la información que se va a manipular. En una memoria de lectura y/o escritura, cada palabra guardada (información) esta asociada a una localidad de memoria que posee una dirección hexadecimal. Cuando se desea obtener información de la memoria, el procesador traslada la dirección hexadecimal hacia la memoria a través del bus de direcciones, con este valor, la memoria ubica la palabra solicitada y la retorna a través del bus de datos para su manipulación.

2.2.5 Puertos de entrada y salida

Los puertos de entrada y salida permiten al microcontrolador interactuar con los elementos que lo rodean. Por medio de estos, un microcontrolador puede manejar un motor paso a paso, acceder a localidades de memorias externas, controlar una pantalla de cristal líquido (LCD del inglés *Liquid Crystal Display*), etc.

Es muy importante conocer los niveles de voltaje y corriente que se manejan, con la finalidad de evitar daños tanto al microcontrolador como a los elementos externos.

El dispositivo microcontrolador utilizado en este diseño maneja voltajes de salida y entrada de 5 voltios para un uno lógico y cero voltios para un cero lógico.

2.2.6 Reloj principal

Todos los microcontroladores deben disponer de un circuito oscilador que genere una onda de alta frecuencia. Cada microcontrolador posee un rango de frecuencias a la cual puede operar satisfactoriamente. Al momento de diseñar, hay que tomar en cuenta que el aumentar la frecuencia del reloj supone disminuir el tiempo en que se ejecutan las instrucciones, pero lleva aparejado un incremento en el consumo de energía.

Generalmente, el circuito de reloj está incorporado en el microcontrolador y sólo se necesitan unos pocos componentes externos para seleccionar y estabilizar la frecuencia de trabajo. Dichos componentes suelen consistir en un cristal de cuarzo, un resonador cerámico o una red R-C. Para el presente caso, se hace uso de un cristal de cuarzo de 20 MHz.

2.2.7 Recursos especiales

Cada fabricante oferta numerosas versiones de una arquitectura básica de microcontrolador. En algunas amplía las capacidades de las memorias, en otras incorpora nuevos recursos, en otras reduce las prestaciones al mínimo para aplicaciones muy simples, etc. La labor del diseñador es encontrar el modelo mínimo que satisfaga todos los requerimientos de su aplicación, minimizando el coste final del producto.

Entre los principales recursos específicos que incorporan los microcontroladores podemos mencionar:

- Temporizadores
- Perro guardián o *watchdog*
- Protección ante fallo de alimentación
- Estado de reposo o de bajo consumo
- Conversor analógico/digital
- Conversor digital/analógico
- Comparador analógico
- Modulador de anchura de impulsos (PWM del inglés *Pulse Width Modulation*)

2.2.7.1 Temporizadores

Se emplean para controlar periodos de tiempo (temporizadores) y para llevar la cuenta de acontecimientos que suceden en el exterior (contadores).

Para la medida de tiempos se hace uso de un registro al cual se carga un valor definido, este valor se irá incrementando o decrementando, según sea el caso, en función de los impulsos de reloj, algún múltiplo de este o cambios de flanco en alguna línea de entrada. Cuando el valor del registro se desborda y llega a cero, el microcontrolador produce un aviso que puede ser utilizado para ejecutar alguna rutina establecida.

2.2.7.2 Perro guardián o *watchdog*

El perro guardián consiste en un temporizador que cuando se desborda, provoca un reinicio automático en el sistema. Para evitar que el microcontrolador se reinicie automáticamente, debe preverse en el código refrescar o re-inicializar el registro que concierne al perro guardián, para ello existe una instrucción que reinicia el conteo del perro guardián evitando con ello el desborde y por ende el reinicio del sistema.

Este recurso es de vital importancia cuando se tiene un microcontrolador que funciona sin el control de un supervisor y de forma continuada las 24 horas del día. La ventaja principal que brinda este recurso, es que el microcontrolador

tiene la capacidad de reiniciarse completamente cuando sufre un bloqueo inesperado en el sistema.

2.2.7.3 Protección ante fallo de alimentación

Se trata de un circuito que reinicia al microcontrolador cuando el voltaje de alimentación (V_{DD}) es inferior a un voltaje mínimo. Mientras el voltaje de alimentación sea inferior al voltaje mínimo, el dispositivo se mantiene reiniciado, comenzando a funcionar normalmente cuando sobrepasa dicho valor.

2.2.7.4 Estado de reposo ó de bajo consumo

Son abundantes las situaciones reales de trabajo en que el microcontrolador debe esperar a que se produzca algún acontecimiento externo que le ponga de nuevo en funcionamiento. Para ahorrar energía, (factor clave en los equipos portátiles), los microcontroladores disponen de una instrucción especial, que obliga al microcontrolador a pasar a un estado de reposo o de bajo consumo, en el cual los requerimientos de potencia son mínimos. En dicho estado se detiene el reloj principal y sus circuitos asociados, quedando el microcontrolador únicamente sensible a las interrupciones. Al activarse una interrupción ocasionada por un acontecimiento esperado, el microcontrolador regresa a su operación normal y reanuda su trabajo.

2.2.7.5 Conversor analógico/digital

Los microcontroladores que incorporan un conversor analógico/digital suelen disponer de un multiplexor que permite aplicar a la entrada del conversor diversas señales analógicas y convertirlas en valores digitales que son guardados en registros internos del microcontrolador para ser procesados. Este modulo es muy utilizado en aplicaciones de digitalización de señales.

2.2.7.6 Conversor digital/analógico

A la inversa que el recurso anterior, este convertidor transforma los datos digitales obtenidos del procesamiento del microcontrolador, en señales analógicas de salida en algún puerto del integrado.

2.2.7.7 Comparador analógico

Algunos modelos de microcontroladores disponen internamente de un amplificador operacional que actúa como comparador entre una señal fija de referencia y otra variable. La salida del comparador proporciona un nivel lógico "1" ó "0" cuando una de las señales sea mayor o menor que la otra.

2.2.7.8 Modulador de anchura de impulsos

Es un modulo que proporciona en una línea de salida impulsos de anchura variable. Estos son utilizados generalmente para manejar la potencia de motores pequeños.

2.2.7.9 Puertos de comunicación

Los puertos de comunicación ofrecen al microcontrolador la posibilidad de comunicarse con otros dispositivos externos que trabajan bajo algún protocolo específico, entre estos podemos mencionar:

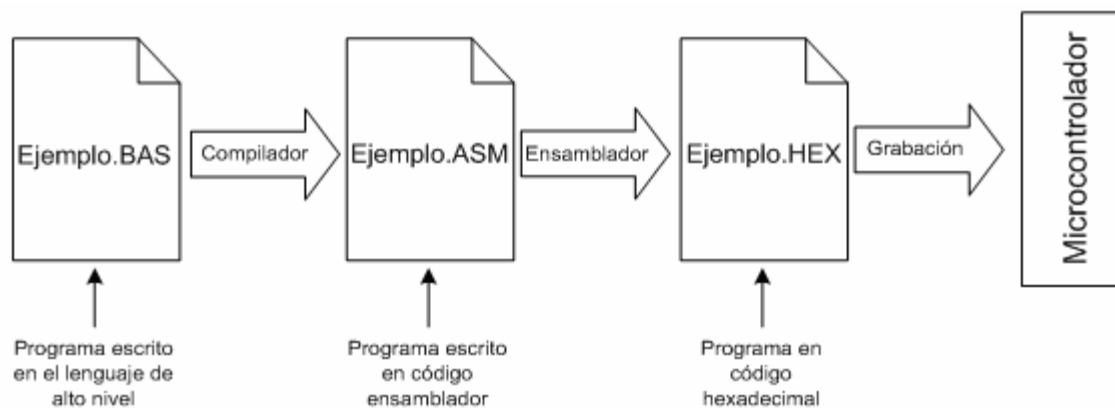
- Puerto UART del inglés *Universal Asynchronous Receiver Transmitter*, es un adaptador de comunicación serie asíncrona.
- Puerto USART del inglés *Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter*, es un adaptador de comunicación serie síncrona y asíncrona.
- Puerto paralelo esclavo, utilizado para la conexión con otros microprocesadores.
- Puerto USB del inglés *Universal Serial Bus*, es un adaptador de comunicación serial de reciente creación.

2.3 Herramientas de programación

La programación es una de las partes más importantes de cualquier diseño con microcontroladores, esta definirá la eficiencia y desempeño del sistema. Para lograr un buen resultado, se debe conocer las diferentes etapas de programación y las herramientas disponibles para la simulación y prueba del código del programa ó código fuente.

A continuación se detallará cada una de las fases que implica la programación de microcontroladores.

Figura 17. Fases de programación



2.3.1 Lenguaje de alto nivel

Con el avance de la tecnología, cada vez se proveen de más y mejores herramientas que facilitan a los programadores el diseño del código fuente para el microcontrolador. Los lenguajes de alto nivel se caracterizan por expresar

algoritmos de una manera adecuada a la capacidad cognitiva humana, en lugar de la capacidad ejecutora de las maquinas, es decir, que son lenguajes mas orientados al entendimiento humano.

La programación en un lenguaje de alto nivel (como C++ ó Basic) permite disminuir el tiempo de desarrollo de un producto. No obstante, si no se programa con cuidado, el código resultante puede ser mucho más ineficiente que el programado en el lenguaje ensamblador.

Los lenguajes de alto nivel crean un archivo de texto que contiene cada una de las sintaxis propias del lenguaje. Una vez que el diseñador termina la programación, el código fuente debe pasar a una fase denominada compilación. Por medio de la compilación el software puede analizar si todas las líneas cumplen con las sintaxis establecidas por el lenguaje. Si existiera algún error de sintaxis, este es anunciado para el que programador pueda detectarlo y corregirlo. De lo contrario, si todas las sintaxis son correctas, el compilador crea un nuevo archivo que contiene el programa en código ensamblador.

2.3.2 Lenguaje ensamblador

El código ensamblador puede obtenerse de dos formas, la primera, mediante la compilación de una código fuente realizado en un lenguaje de alto nivel, tal y como se explico anteriormente, y la segunda, programando en un lenguaje que soporte la programación en código ensamblador.

La programación en lenguaje ensamblador permite desarrollar programas muy eficientes, ya que otorga al programador el dominio absoluto del sistema.

Los fabricantes suelen proporcionar el programa ensamblador de forma gratuita y en cualquier caso siempre se puede encontrar una versión gratuita para los microcontroladores más populares.

2.3.3 Lenguaje máquina

El lenguaje máquina es el único que entiende directamente el procesador. Este lenguaje utiliza el alfabeto binario conformado por unos y ceros. Los códigos en lenguajes máquina se consiguen al momento de ensamblar el código ensamblador recién obtenido. El archivo que se origina del ensamble, está formado por valores hexadecimales que representan los unos y ceros del código, estos valores son cargados al microcontrolador a través de un programa y equipo especial para cada microcontrolador.

2.3.4 Depuración y simulación

Además de los programas especializados en la programación de microcontroladores, existen herramientas igualmente importantes para el desarrollo de proyectos.

La depuración es una herramienta que comúnmente esta incluida en los programas de programación. Con esta herramienta se puede evaluar el programa escrito para encontrar errores lógicos en el código diseñado. Muchas veces los errores no son provocados por una mala sintaxis, sino por una mala programación de condiciones.

Otra herramienta importantísima en el desarrollo de proyectos lo conforman los simuladores. Los simuladores son capaces de ejecutar en una computadora o tarjeta los programas realizados para el microcontrolador. Los simuladores permiten tener un control absoluto sobre la ejecución de un programa, siendo ideales para la depuración de los mismos.

Hoy en día existen simuladores más sofisticados que permiten al diseñador introducir señales en las líneas de entrada del microcontrolador y poder reflejar las respuestas de este, en un puerto serial, en una matriz de puntos, en una pantalla de cristal líquido, etc.

3. TELEMEDIDA A TRAVES DE LA RED TELEFÓNICA

3.1 Introducción a la telemetria

Un sistema de telemetria está conformado por un grupo de elementos que tienen como objetivo comunicarse remotamente entre sí, ofreciendo de esta manera, un canal de comunicación para la transferencia de datos y monitoreo entre un ente central y una o más estaciones remotas.

La telemetria se encuentra ampliamente difundida por su extensa gama de aplicaciones que van desde lo más simple como lo es una telemetría de un consumo energético, hasta lo más complejo como lo es la telemetría de estaciones espaciales.

Las redes de telemetria se caracterizan por disponer de un alto número de puntos de medición, ubicados a grandes distancias del ente central (áreas geográficamente dispersas). Estas redes permiten el registro de datos en tiempo real.

Los principales elementos de una red de telemetria son:

- Los sensores o transductores
- La terminal remota
- El sistema de comunicaciones
- El centro de supervisión y control
- El programa de supervisión

3.1.1 Los sensores o transductores

Son los sistemas que convierten cada magnitud física a monitorear o controlar, en una señal analógica o digital que podrá ser procesada por la terminal remota.

Estos dispositivos normalmente tienen una respuesta lineal. Debe tomarse en cuenta todos los parámetros que se encuentren implicados en la medición, como por ejemplo, la magnitud a medir, el rango, la precisión de la medida, la resolución, el margen dinámico (rango de los valores de la salida que cumplen con la linealidad), la señal de salida (analógica o digital), etc.

3.1.2 La terminal remota

Es una unidad electrónica de adquisición de datos. Normalmente es un sistema electrónico diseñado con microprocesador o microcontrolador de bajo consumo que dispone de los dispositivos analógico-digital o de las interfaces necesarias para tomar periódicamente las muestras de los sensores. Este elemento dispone de interfaces de comunicación.

3.1.3 Sistemas de comunicación

Son equipos electrónicos que reciben los datos de la terminal remota y los transmite al centro de supervisión y control. Dependiendo de la distribución

geográfica y las distancias entre el ente central y las unidades remotas, se pueden ofrecer diversas modalidades de comunicación, entre ellas se pueden mencionar:

- Redes de cable dedicadas (redes de área local)
- Redes de cable públicas (red telefónica básica, red digital de servicios integrados, línea de abonado digital asimétrica, etc.).
- Fibra óptica
- Radio (VHF, del inglés *Very High Frequency*, UHF, del inglés *Ultra High Frequency*)
- Telefonía móvil (GSM del inglés *Global System for Mobil Communication*, GPRS, del inglés *General Packet Radio Service*)
- Radio microondas
- Satélites (geoestacionarios).

La elección de un tipo u otro va a depender varios factores, entre ellos, la existencia o no de servicios de comunicación en el lugar de interés, el coste del tráfico de datos, el coste de los equipos, velocidad de transferencia, consumo de los equipos, etc.

3.1.4 Centro de supervisión y control y programa especializado

Es el lugar donde se recibe, centraliza y almacena la información en tiempo real, de forma periódica y automática o a solicitud del operador. Los principales elementos que lo componen son los equipos informáticos conectados en la red local tales como servidores, pantallas gráficas o impresoras.

A través del programa de supervisión y/o control el operador puede interactuar con los elementos remotos del sistema. Según sea la aplicación, el programa puede disponer de interfaces de comunicación normalizados, registros de alarmas, registro y presentación gráfica de datos históricos, etc.

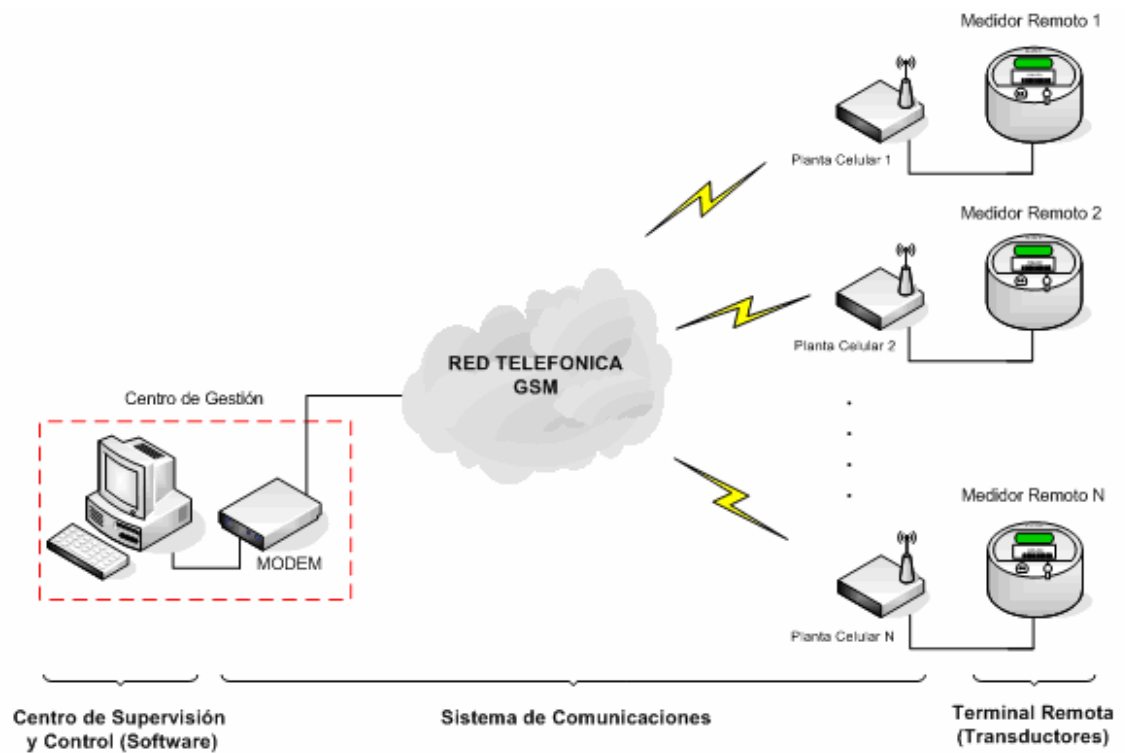
Entre las ventajas que se pueden obtener de la implementación de una red de telemedida se pueden mencionar las siguientes.

- Facturación y lecturas automáticas programadas según los requerimientos del operador.
- Visualización de potencias y energías en modo digital, logrando con ello una mayor precisión en las mediciones.
- Mantenimiento en memoria de los datos de facturación de periodos anteriores.
- Acceso en cualquier momento a las unidades remotas de medición.
- Controlar desde un punto central el estado de consumos y facturación de multipuntos sin necesidad de desplegar recurso humano.
- Mediante la instalación de un programa específico, es posible realizar simulaciones de facturación, por medio del cual podemos anticipar el importe de la factura que se estaría generando al final del ciclo mensual.

3.2 Arquitectura de la red de telemedida existente

En este apartado se estará detallando la arquitectura de la red de telemedida existente en la que se implementará la solución. Esta arquitectura se rige en base al modelo recién explicado.

Figura 18. Arquitectura de la red actual de telemedida



El sistema de telemedida existente se centra en el monitoreo y supervisión de consumos energéticos de grandes clientes y puntos frontera. Los grandes clientes lo conforman suministros que exigen un alto consumo energético, como lo son, fábricas, ingenios, centros comerciales, etc. Mientras que los puntos frontera son los puntos límite entre un distribuidor de energía eléctrica y otro, ejemplos de ellos pueden ser, los puntos en donde se entrega la energía eléctrica a una distribución eléctrica privada o municipal.

Este sistema hace uso de la red de telefonía celular para la transferencia e intercambio de información entre la unidad central y los puntos remotos. A

continuación se detallan cada uno de los elementos que conforman el sistema existente, así como sus características principales.

3.2.1 Centro de gestión

El centro de gestión corresponde al centro de supervisión y control del modelo explicado inicialmente. Está constituido por una computadora y un programa especializado, por medio del cual el operador puede interactuar con las unidades remotas para accederlas y descargar los diferentes perfiles de consumos energéticos, fallas, historiales, etc.

El programa también ofrece herramientas de facturación y lecturas automáticas programadas según sea la necesidad, además de un control de consumos de potencias activas y potencias reactivas.

3.2.2 Sistema de comunicación

El sistema de comunicación de la red de teled medida se encuentra constituida sobre la plataforma GSM del inglés, *Global System for Mobile Communication*. Como fue explicado en el primer capítulo, las principales ventajas de este sistema son las transferencias de datos, voz y mensajes de texto.

Por medio del sistema GSM, dos unidades pueden establecer una canal de comunicación serial asíncrona para la transferencia datos entre sí. Para

establecer este canal de comunicación, es necesario poseer en ambos extremos equipos especiales para acceder a la red, estos dispositivos electrónicos son conocidos como MODEM (Modulador-Demodulador).

3.2.2.1 EI MODEM

El MODEM es un equipo que sirve para modular y/o demodular (en amplitud, frecuencia u otro sistema), una señal llamada portadora mediante otra señal de entrada llamada moduladora (mensaje).

Para modular, un MODEM emite una señal portadora, cuya frecuencia es mucho mayor que la frecuencia de la señal de mensaje (moduladora). La función del modulador consiste en modificar alguna característica de la señal portadora en función de los cambios de la señal eléctrica del mensaje que se desea enviar. La señal resultante tendrá entonces, la información tanto de la portadora como del mensaje, de tal forma que el demodulador se encargará de eliminar la señal portadora y recuperar el mensaje original.

Las características mas importantes que se pueden modificar de una señal portadora pueden ser:

- Amplitud, dando lugar a una modulación de amplitud (AM, del inglés *Amplitud Modulation*)
- Frecuencia, dando lugar a una modulación de frecuencia (FM, del inglés *Frecuency Modulation*)
- Fase, dando lugar a una modulación de fase (PM del inglés *Phase Modulation*)

3.2.2.1.1 Estándares y protocolos

Para poder comunicarse dos MODEMs entre sí, necesitan emplear la misma técnica de modulación, velocidad, control de flujo, etc. Para ello, existen estándares y protocolos definidos por la Unión Internacional de Comunicaciones (UIT) que rigen los parámetros y características que se utilizarán en el intercambio de información.

Los protocolos de transmisión son utilizados para coordinar el proceso de envío y recepción de datos, y también influyen decisivamente en las velocidades que se pueden alcanzar. De manera similar, la estandarización de protocolos y métodos de conexión permiten la comunicación entre MODEMs de diversas marcas y modelos.

Ambos MODEMs en los extremos del circuito de comunicación deben de soportar cuando menos el mismo protocolo que se utiliza durante la comunicación.

El estándar más habitual y más moderno está basado en el estándar o norma V.90, cuya velocidad máxima es de 56.6 Kbps (Kilobits por segundo). Esta norma se caracteriza por un funcionamiento asimétrico, puesto que la mayor velocidad solo es alcanzable en la recepción, el envío de datos esta limitado a 33.6 Kbps.

Las normas que habitualmente se pueden utilizar se resumen en la tabla I.

Tabla I. Estándares de MODEMs

Estándar	Bps	Fecha	Descripción
V.17	14,400		Para transmisiones Fax a través de la línea telefónica
V.21	300		Transmisión de datos por líneas telefónicas
V.22	1,200		Transmisión de datos por líneas telefónicas y líneas dedicadas
V.22bis	2,400	1984	Transmisión de datos por líneas telefónicas dedicadas
V.23	600/1,200		Transmisión de datos por líneas telefónicas y dedicadas.
V.25			Estándar para llamada y contestación automática.
V.26	2,400		Transmisión de datos por líneas dedicadas.
V.26bis	1,200/2,400		Transmisión de datos por líneas telefónicas
V.26ter	2,400		Transmisión de datos por línea telefónica y dedicada
V.27	4,800		Transmisión de datos por línea dedicada.
V.27bis	2,400/4,800		Transmisión de datos por línea dedicada.
V.27ter	2,400/4,800		Transmisión de datos por línea telefónica.
V.29	9,600		Transmisión de datos por línea dedicada.
V.32	9,600	1984	Transmisión de datos por línea telefónica.
V.32bis	14,400	1991	Transmisión de datos por línea telefónica utilizando comunicación síncrona
V.32ter	19,200	1993	Se comunicará sólo con otro V.32ter.
V.33	14,400	1993	Transmisión de datos por línea dedicada.
V.34	28,800	1994	Transmisión de datos por línea telefónica con la posibilidad de bajar la velocidad cuando haya problemas con la línea
V.35	48,000		Transmisión de datos por línea dedicada
V.42	57,600	1995	Compatible con versiones de V.módems anteriores. Estándar con corrección de errores en líneas ruidosas
V.42bis	56,600		Comprensión de datos 4:1 para transferencias de alta velocidad
V.90	56,600	1998	Estándar de módem a 56K; resolvió la competencia para los estándares entre los estándares U.S. Robotics X2 y Rockwell K56 Flex.

Fuente: <http://mx.geocities.com/pcmuseo/mecatronica/modemprotocolos.htm>

3.2.2.1.2 Compresión de datos y corrección de errores

La compresión de datos trabaja normalmente con algoritmos error-corrección. Las técnicas de detección y corrección de error se pueden utilizar para garantizar la integridad de los datos a cualquier velocidad de transmisión.

V.42bis y MNP5 son los algoritmos de compresión que funcionan comúnmente con algoritmos de corrección. Los algoritmos de compresión de V.42 y de V.42bis se pueden poner en ejecución en módems con estándares V.32 y V.34 así como en otros equipos con capacidades más bajas de velocidad.

Haciendo uso del estándar V.42bis se puede lograr una razón de compresión de 4:1, es decir, que si se transmite a una tasa de 9600bps, haciendo uso de la compresión tendríamos un equivalente de 38,400bps de tasa de transmisión, cuatro veces más que la que tenemos sin hacer uso de la compresión.

Tabla II. **Compresión de datos**

Estándar	Velocidad	Velocidad Máxima con Algoritmo de Compresión de 4:1 (V.42bis)
V.90	56000	224000
V.34	28800	115200
V.32 turbo	19200	76800
V.32bis	14400	57600
V.32	9600	38400

Entre los protocolos de comprobación de errores podemos mencionar los más importantes.

- **Paridad:** Es una función donde el transmisor añade un bit adicional a los bits que codifican un símbolo. Se define como paridad par (bit adicional = 0), cuando el símbolo tiene un número par de bits de valor uno y se define como paridad impar (bit adicional = 1), cuando el número de unos en el símbolo es impar. El receptor recalcula el número de bits con valor uno, y si el valor recalculado coincide con el bit de paridad enviado, acepta el paquete. De esta forma se detectan errores de un solo bit en los símbolos transmitidos.
- **Prueba de redundancia cíclica (CRC del inglés *Cyclic Redundancy Check*):** Es una técnica de error que consiste en un algoritmo cíclico en el cual cada bloque o trama de datos es chequeada por el módem que envía y por el que recibe. El MODEM que está enviando la trama, inserta el resultado del cálculo en cada bloque en forma de código CRC, por su parte, el MODEM que está recibiendo, compara el resultado con el código CRC recibido y responde con un reconocimiento positivo o negativo dependiendo del resultado.
- **Protocolo de red microcom (MNP del inglés *Microcom Networking Protocol*):** Es un control de error desarrollado por Microcom Inc. Este protocolo asegura la transmisión libre de error por medio de una detección de error CRC y retransmisión de tramas equivocadas.

3.2.2.1.3 Control de flujo

El control de flujo es un mecanismo utilizado tanto por el MODEM como por la terminal para gestionar los intercambios de información. Estos mecanismos permiten detener el flujo de datos cuando uno de los elementos no se encuentra apto para la recepción. Los métodos más comunes de control de flujo son:

- **Control de flujo por *hardware*:** Este control se realiza mediante las líneas de control RTS del inglés *Request To Send* y CTS del inglés *Clear To Send*, que proveen los puertos seriales de comunicación. RTS y CTS permiten al terminal y al MODEM sincronizar el flujo de datos que existe entre ellos para lograr la comunicación. Este sistema es el más seguro y es el que soporta una operación adecuada a altas velocidades.
- **Control de flujo por *software*:** En esta configuración se utilizan dos características especiales XON y XOFF que controlan el flujo. Cuando el terminal desea que el MODEM detenga su envío de datos, le envía la palabra XOFF, mientras que cuando el terminal desea que el MODEM envíe datos nuevos, le envía la palabra XON. Este sistema no es adecuado para altas velocidades.

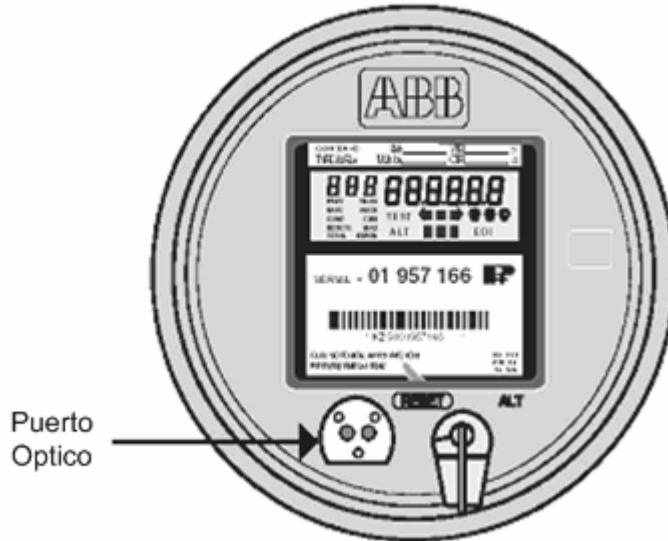
3.2.3 Terminal remota o equipo de medición

Como se mencionó en el modelo inicial, la terminal remota será la encargada de proveer la conversión de una magnitud física (energía eléctrica) a una señal digital (datos seriales asíncronos), que podrá ser enviada a través del sistema de comunicación y procesada por el centro de gestión.

El medidor remoto utilizado en la red de telemedida existente es un Alpha A1RL+ de la casa ABB. Este medidor de energía eléctrica es totalmente electrónico y posee un amplio abanico de funciones. Tiene la capacidad de efectuar desde una medición simple de consumo energético, hasta mediciones múltiples de potencias reales, potencias reactivas, calidad de potencia, perfiles de carga, etc.

Los medidores Alpha presentan dos opciones de comunicación, la primera se centra en el uso de tarjetas periféricas intercambiables, que permiten al medidor remoto comunicarse con el mundo exterior a través de alguna tecnología o protocolo establecido; y la segunda, la conforma el puerto óptico que trae integrado el medidor, a través de éste, el usuario puede acceder al medidor para programarlo o tomar lectura de los consumos. El cable de comunicación óptico es provisto por el fabricante.

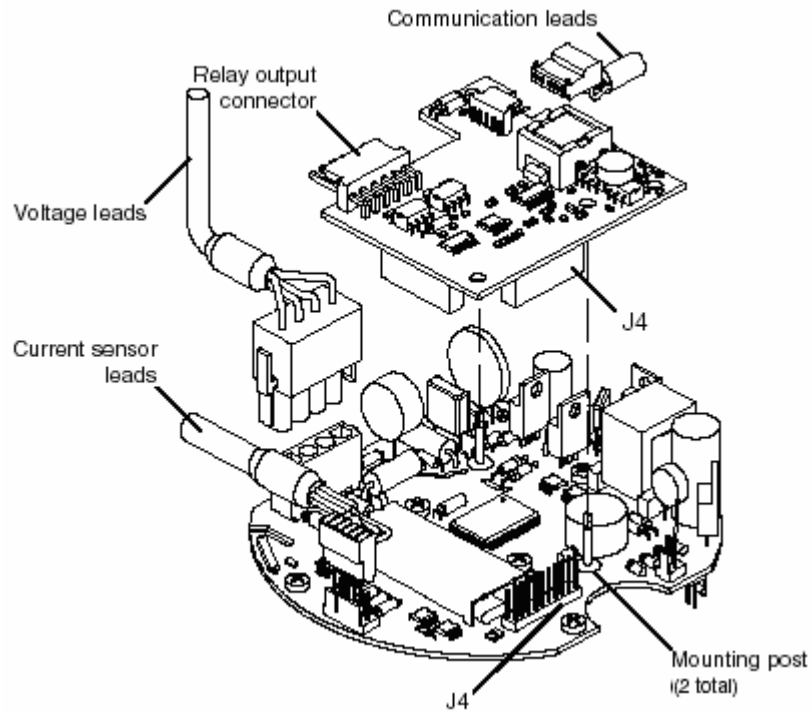
Figura 19. **Medidor Alpha A1RL+**



Fuente: ABB, **Manual de Usuario**

En el sistema de teledeteción existente se incluyó con el medidor remoto, una tarjeta periférica serial con interfaz RS-232 compatible con la planta celular. En la figura 20 se presenta la estructura básica del medidor utilizado.

Figura 20. **Construcción interna del medidor Alpha A1RL+**



Fuente: ABB, **Manual de Usuario**

3.3 Funcionamiento del sistema de telemedida

Para iniciar la transferencia de datos entre la unidad remota y el ente central, es necesario cumplir con varios requisitos, entre ellos, configurar los parámetros de la planta celular, contar con un cable especial que una la planta celular y el medidor remoto y contar con un servicio de telefonía móvil activo.

3.3.1 Comunicación serial de la planta celular

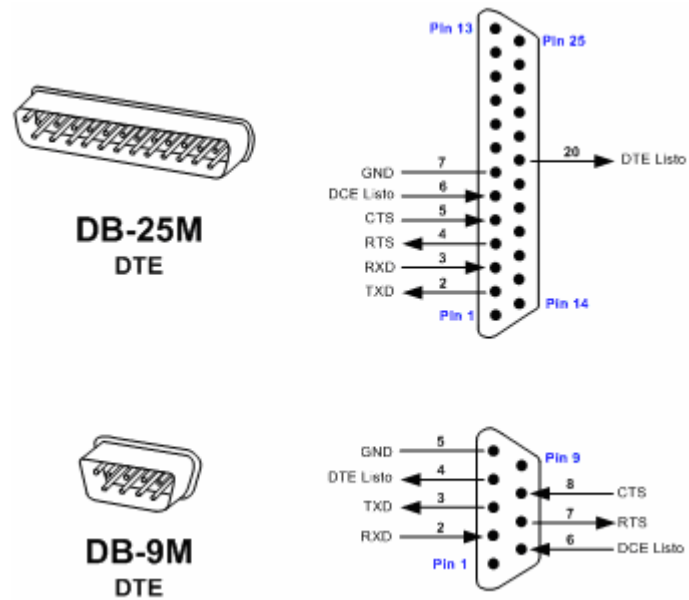
Para poder configurar los parámetros del equipo, la planta celular ofrece al usuario un puerto de comunicación serial por medio del cual el operador puede programar características como velocidad, control de flujo, contestación automática, transferencia de datos, etc.

El puerto serial de la planta celular es compatible con el estándar RS-232C. El estándar RS-232C constituye la tercera revisión de la antigua norma RS-232 propuesta por la Asociación de Industrias Electrónicas (EIA del inglés Electronic Industries Association). Posteriormente el Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico (CCITT del inglés Consultative Committee for International Telegraph and Telephone) creó el estándar conocido como V.24. Las diferencias entre ambos son mínimas, por lo que a veces se habla indistintamente de V.24 y de RS-232C, refiriéndose siempre al mismo estándar.

El RS-232C define un conector tipo DB-25 de 25 pines para la interconexión de equipos, aunque es normal encontrar la versión de 9 pines DB-9, que es mas barata e incluso de uso mas extendido. Además del numero de pines, se definen dos tipos de terminaciones que van en función del acomodo de las señales y el género del conector.

El estándar RS-232C define para Equipos Terminales de Datos (DTE del inglés *Data Terminal Equipment*) un conector de género macho con la configuración presentada en la figura 21.

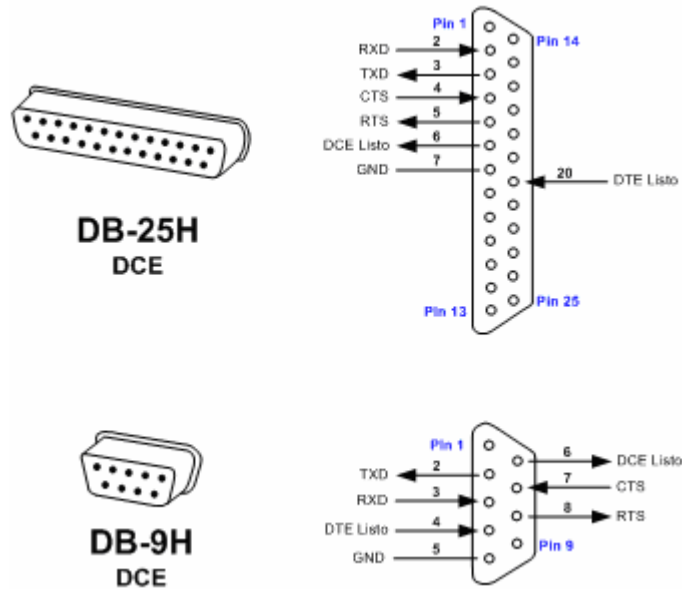
Figura 21. Conector DB-25 y DB-9 para un DTE



Fuente: <http://www.euskalnet.net/shizuka/rs232.htm>

Mientras que para Equipos de Comunicación de Datos (DCE, del inglés *Data Communication Equipment*) el estándar RS-232C define un conector de género hembra con la configuración presentada en la figura 22.

Figura 22. Conector DB-25 y DB-9 para un DCE



Fuente: <http://www.euskalnet.net/shizuka/rs232.htm>

Las señales de entrada y salida de las líneas de datos son digitales, Los voltajes varían entre 3 y 15 voltios para un 0 lógico y entre -3 a -15 voltios para un 1 lógico. Las señales de control se manejan a la inversa. En la tabla III, se detallan las señales más importantes del puerto serial.

Tabla III. Señales del puerto serial

Descripción del Pin	Conector DTE-DB9	Conector DCE-DB9	Función
RD	2	3	Recepción de Datos
TD	3	2	Transmisión de Datos
DTE Listo	4	4	Equipo Terminal de Datos Listo
DCE Listo	6	6	Equipo de Comunicación de Datos Listo
RTS	7	8	Solicitud de Envío
CTS	8	7	Listo para Envío
DCD	1	1	Detección de Portadora
GND	5	5	Referencia
RI	9	9	Indicador de Llamada

Fuente: http://www.camiresearch.com/Data_Com_Basics/RS232_standard.html

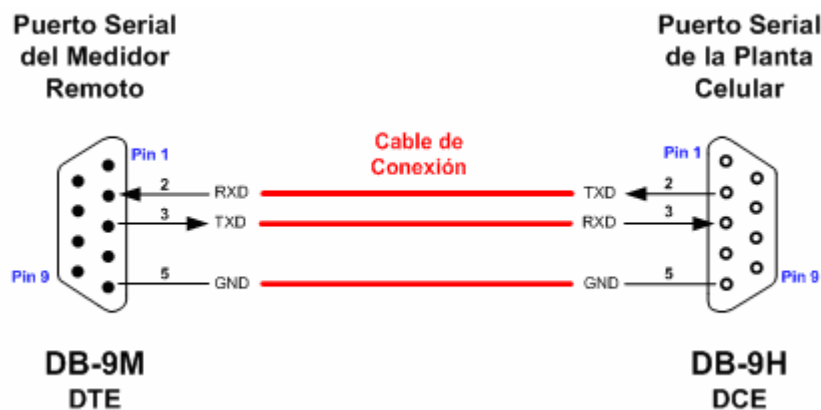
3.3.2 Comunicación serial del medidor

El medidor remoto maneja una comunicación serial a tres hilos que son transmisión, recepción y referencia, esto quiere decir que no posee señales de control que interactúen en el intercambio de información. Por lo anterior, las señales que realmente interesan tanto en el medidor remoto como en la planta celular son tres, la transmisión de datos (TD), la recepción de datos (RD) y la referencia (GND).

3.3.3 Interconexión de equipos

Para interconectar el medidor remoto con la planta celular, es necesario crear un cable que interconecte las señales de transmisión con las de recepción y las señales de referencia de cada terminal. En la figura 23 se muestra la conexión.

Figura 23. Interconexión entre la planta celular y el medidor remoto



3.3.4 Programación de la planta celular

Para establecer un canal de datos al momento de realizar una llamada, es necesario configurar varios parámetros de la planta celular. El modo de programación de la planta celular es a través de comandos AT del inglés *Attention Command*. Los comandos AT son instrucciones que permiten al usuario modificar las características de la planta.

Por medio de los comandos AT, el usuario puede definir la velocidad de transferencia, control de flujo, contestación automática, codificación, compresión, etc. En la tabla IV se presentan las instrucciones más importantes de la aplicación.

Tabla IV. **Comandos AT utilizados**

Comando AT	Descripción
AT+IFC=0,0	Controla la operación del flujo de control entre los equipos. El primer dígito (0) anula la señal RTS, mientras que el segundo dígito (0) anula la señal CTS. En el presente caso se define sin control de flujo, ya que el medidor maneja únicamente TD, RD y GND.
AT+IPR=9600	Define la velocidad del puerto serial de la planta celular. Se implementa a una tasa de 9600bps.
AT+CBST=7,0,0	Define los parámetros para la transferencia de datos. El primer dígito selecciona la velocidad de datos para las llamadas entrantes y salientes, en este caso 7 es el equivalente a 9600bps. El segundo dígito (0) especifica que no existe compresión de datos. Y el último (0) selecciona la planta de un modo transparente.
AT+CICB=0	Este comando establece el tipo de llamada (datos, fax ó voz). Para el caso de la telemedida se define como datos (0).
AT+S0=2	Esta instrucción establece que la planta contestará automáticamente después de dos tonos.
AT&W	Guarda en la memoria los cambios realizados
AT&V	Despliega la configuración actual.

Fuente: Multitech Systems, **AT Commands and Application Examples**

3.3.5 Telemedición

Después de configurar la planta celular y realizar la interconexión de equipos, se procede con la telemedición. Para esto, el operador por medio de un programa dedicado, realiza una llamada al número de la planta celular remota, tal y como se estuviera llamando a un número telefónico cualquiera.

Según la configuración explicada, la planta celular al recibir la llamada esperará dos tonos para contestar. Cuando la planta responde la llamada, en vez de crear un canal de voz entre el origen y el destino como normalmente sucede, ésta crea una comunicación serial entre ambos extremos a una velocidad de 9600bps. Cuando se habilita el canal de comunicación, los equipos involucrados en este enlace actúan en modo transparente de tal forma que el operador ve al medidor remoto como si estuviera conectado directamente al puerto serial de su computadora. De esta manera el operador dará lectura al medidor remoto, obteniendo los perfiles de consumo energético, potencias y magnitudes eléctricas en general.

Cuando se finaliza la sesión, el operador terminará la llamada y dejará a la planta celular libre para disponer de ella en cualquier otro momento.

4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA GENERADOR DE MENSAJES

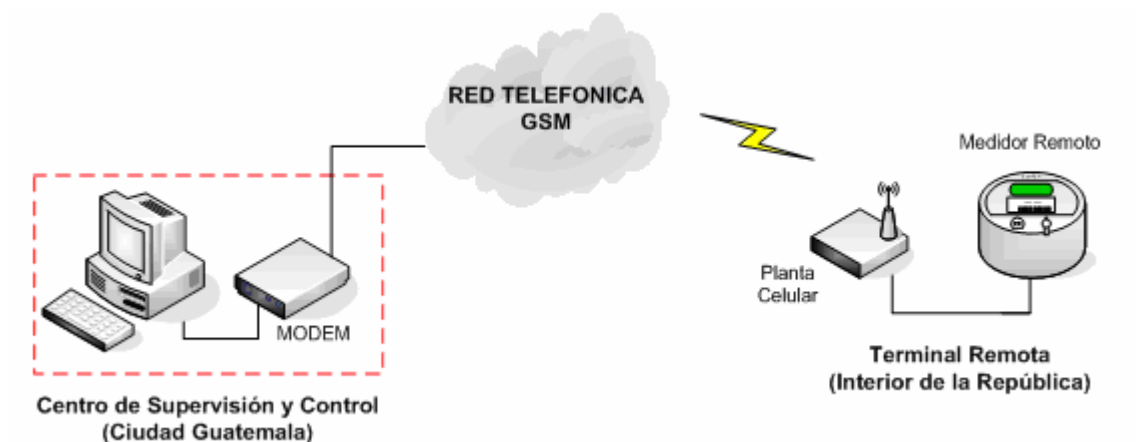
4.1 Etapa de diseño

Una de las etapas mas importantes en la fabricación de equipos lo constituye la etapa de diseño, en ella se define el alcance, flexibilidad, limitaciones y prestaciones del sistema. A continuación se detalla brevemente la creación del sistema.

4.1.1 Elementos del sistema generador de mensajes

La red de teledioda actual utiliza la red de telefonía celular para crear un canal de comunicación entre los medidores remotos, ubicados en el interior de la república, y el ente central ubicado en la ciudad de Guatemala.

Figura 24. Red de teledioda (1 punto)



Los requerimientos para integrar el sistema generador de mensajes de texto en la red de teledadida son los siguientes:

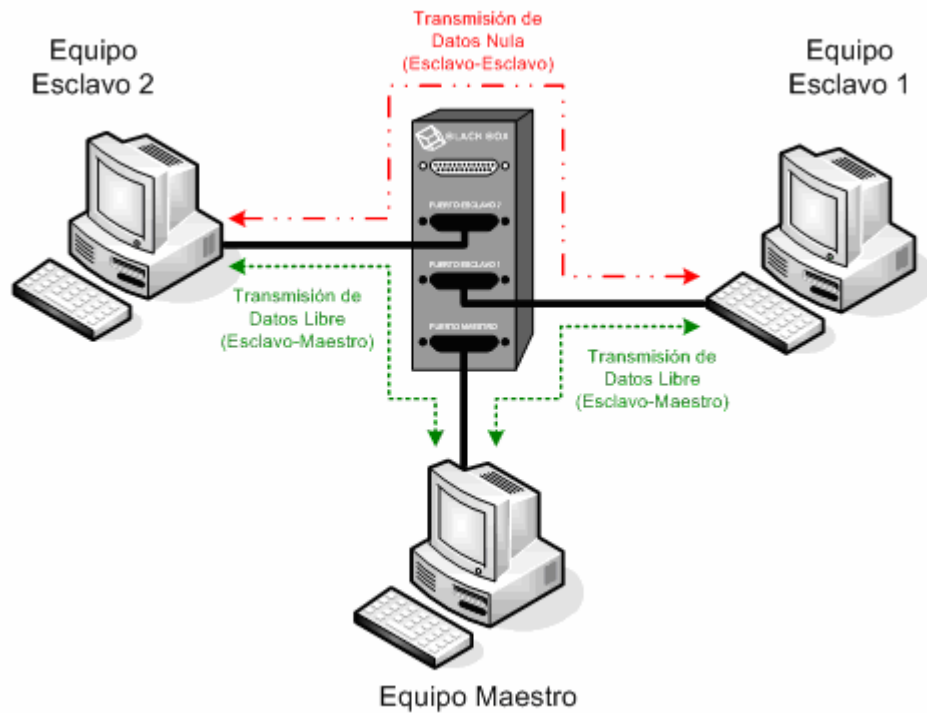
- Establecer una comunicación directa entre el puerto serial del sistema generador de mensajes y el puerto serial de la planta celular para el envío de mensajes.
- Implementar una fuente de voltaje de respaldo para suministrar corriente al equipo generador de mensajes y planta celular al momento que ocurra una falla de energía eléctrica.
- Proveerse de un punto de medición de 110VAC, para monitorear el suministro de energía eléctrica.

4.1.1.1 Comunicación serial entre los equipos

Como se plantea en el primer punto, el sistema generador de mensajes debe ser capaz de alcanzar el puerto serial de la planta celular sin interferir la operativa del medidor remoto. Para lograr esto, el sistema incluye un equipo denominado difusor.

Un difusor tiene la característica de agrupar varios puertos seriales esclavos con un puerto serial maestro, es decir, que toda la información enviada por el equipo que está conectado al puerto serial maestro, será escuchada por todos los equipos conectados en los puertos seriales esclavos y viceversa, la diferencia radica en que la información enviada por un equipo conectado a un puerto esclavo no podrá ser escuchada por otro equipo conectado a otro puerto esclavo del difusor. La figura 25 explica lo anterior.

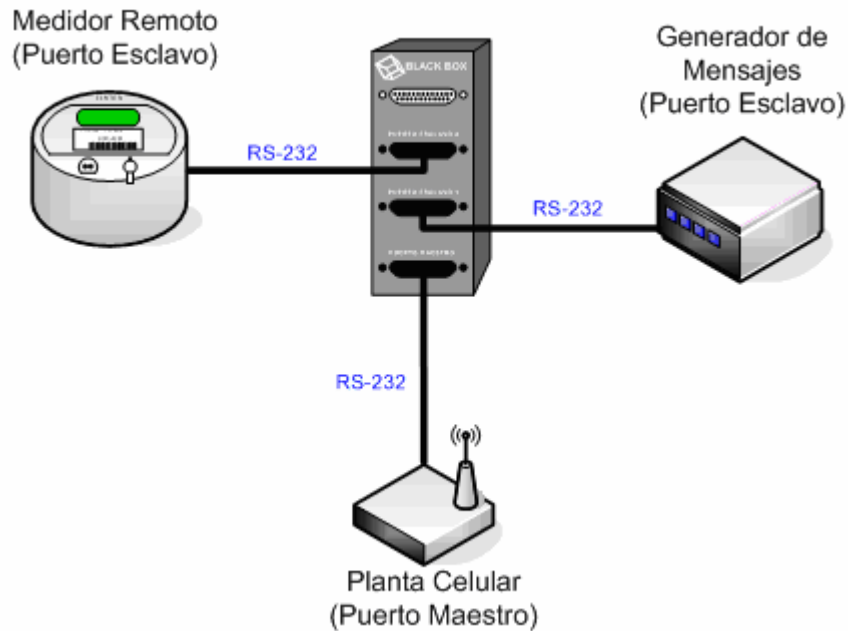
Figura 25. **Funcionamiento del difusor**



Fuente: BlackBox, **Manual de Usuario MS-3**

Para implementar el sistema generador de mensajes se necesita habilitar una comunicación bidireccional entre la planta celular y el medidor remoto, y de igual manera, entre la planta celular y el generador de mensajes, por lo tanto y según el esquema presentado, la planta celular sustituye al equipo maestro, mientras que el medidor remoto y el generador de mensajes sustituyen a los equipos esclavos, haciéndose la conexión como se indica en la figura 26.

Figura 26. Interconexión serial de equipos



4.1.1.2 Fuente de voltaje de respaldo

El segundo punto a cumplir es la implementación de una fuente de voltaje de respaldo. La función principal de la fuente de respaldo, es proveer de energía eléctrica a los equipos conectados, después de que ocurre una falla en el suministro eléctrico. Generalmente, las fuentes de respaldo están compuestas por bancos de baterías ó generadores de energía eléctrica a base de combustibles. Para aplicaciones pequeñas, lo más común es encontrar fuentes de respaldo compuestas por baterías.

Para seleccionar el tamaño y características de una batería, es necesario considerar el voltaje y corriente del sistema. La corriente define el consumo de

energía que realiza cada uno de los equipos energizados, mientras que el voltaje define la diferencia de carga eléctrica que existe entre los polos de la fuente de alimentación a la que opera el sistema. Para que el sistema pueda generar los mensajes de texto al momento que ocurra una falla de energía eléctrica, deben existir por lo menos dos equipos energizados, el generador de mensajes, que enviará la instrucción a la planta celular para el envío del mensaje, y la planta celular, que se encargará de procesar la instrucción enviada por el generador de mensajes y trasladar el mensaje al destinatario. Por lo anterior, la planta celular y el generador de mensajes son los equipos que definirán las características principales de la batería de respaldo.

Según las hojas de especificaciones del fabricante, la planta celular tiene un consumo de corriente de 0.6 amperios, mientras que el generador de mensajes consume 0.5 amperios. Para encontrar la corriente total del sistema, únicamente se suman las corrientes individuales, en este caso $0.6 + 0.5 = 1.1$ amperios.

Con lo que respecta al voltaje de alimentación, según las especificaciones del fabricante, la planta celular puede operar en un rango de 12 VDC a 30 VDC, mientras que el generador de mensajes opera únicamente a 12 VDC. Esto define que el voltaje del sistema (voltaje común) es de 12 VDC.

Después de definir el voltaje y la corriente total del sistema, se debe considerar el tiempo de operación de los equipos al momento que falle el suministro primario. Entre los parámetros más importantes de una batería se encuentra el amperio-hora. Este parámetro define la cantidad de corriente que puede proveer la batería en el transcurso de una hora. Por ejemplo, si la batería indica 3.2 amperios-hora, ésta será capaz de proveer 3.2 amperios de forma constante durante una hora, luego de cumplirse la hora, el valor de

voltaje comenzará a decaer pudiendo ocasionar problemas en el funcionamiento de los equipos.

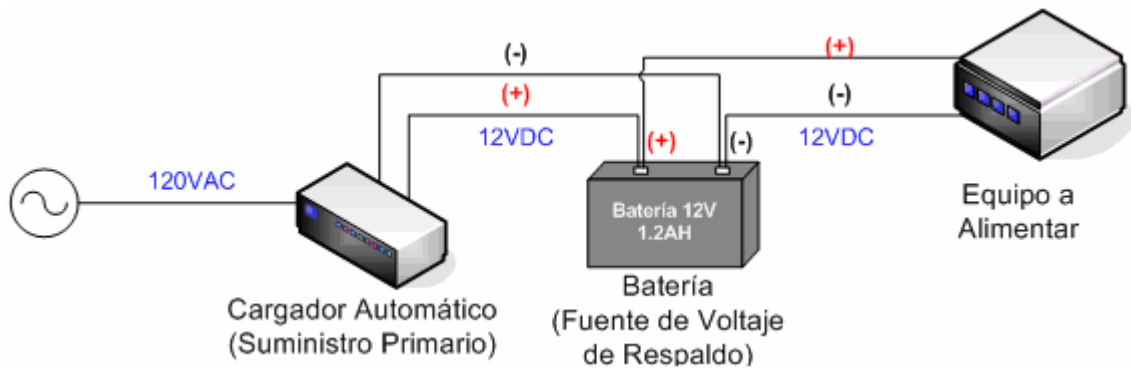
Por lo anterior, si deseamos que los equipos del sistema se mantengan en operación por lo menos una hora, necesitamos una batería que proporcione 1.1 amperios-hora (1.1Ah) con un voltaje de 12 voltios. En el mercado la batería más cercana a estas características es de 12 voltios y 1.2 amperios-hora, por lo tanto esta será la batería de respaldo.

Adicional a la batería, se debe considerar la integración de un cargador de baterías automático. Cada vez que la batería se descargue debe de existir un equipo que sea capaz de llevar a la batería a sus valores nominales.

La finalidad de un cargador automático es mantener la carga y el estado de la batería en óptimas condiciones, evitando a toda costa, la sobrecarga de la misma. Si la batería es sobrecargada, la vida útil se disminuye considerablemente.

El cargador utilizado en este sistema se alimenta con una fuente de voltaje de 110 VAC y provee una salida de 12 VDC utilizada para la carga de la batería. Estos cargadores automáticos están provistos por un sensor que mide el nivel de voltaje de la batería, cuando el nivel de voltaje baja de un valor umbral, el cargador se conecta automáticamente e inicia la fase de carga. Posteriormente, cuando el voltaje de la batería llega a un valor nominal, el cargador automático se desconecta de la batería dejando conectado únicamente el sensor de voltaje. De esta forma, se mantiene la batería en óptimas condiciones y se alarga su vida útil.

Figura 27. Fuente de voltaje de respaldo



4.1.1.3 Monitoreo del suministro de energía eléctrica

Para establecer cuando ocurre un evento en el suministro de energía eléctrica, el sistema cuenta con un punto de medición de 110 VAC. A través de este, el generador de mensajes monitorea constantemente el estado del suministro de energía eléctrica, pudiendo detectar la caída y el restablecimiento del sistema.

4.1.2 Ingeniería de programación

El sistema generador de mensajes está controlado por un microcontrolador que se encarga de monitorear y administrar el envío de mensajes cuando un evento ocurre. La programación de este equipo se desarrolla en una lógica de decisiones que evalúa los estados de diferentes variables para definir el procedimiento a realizar.

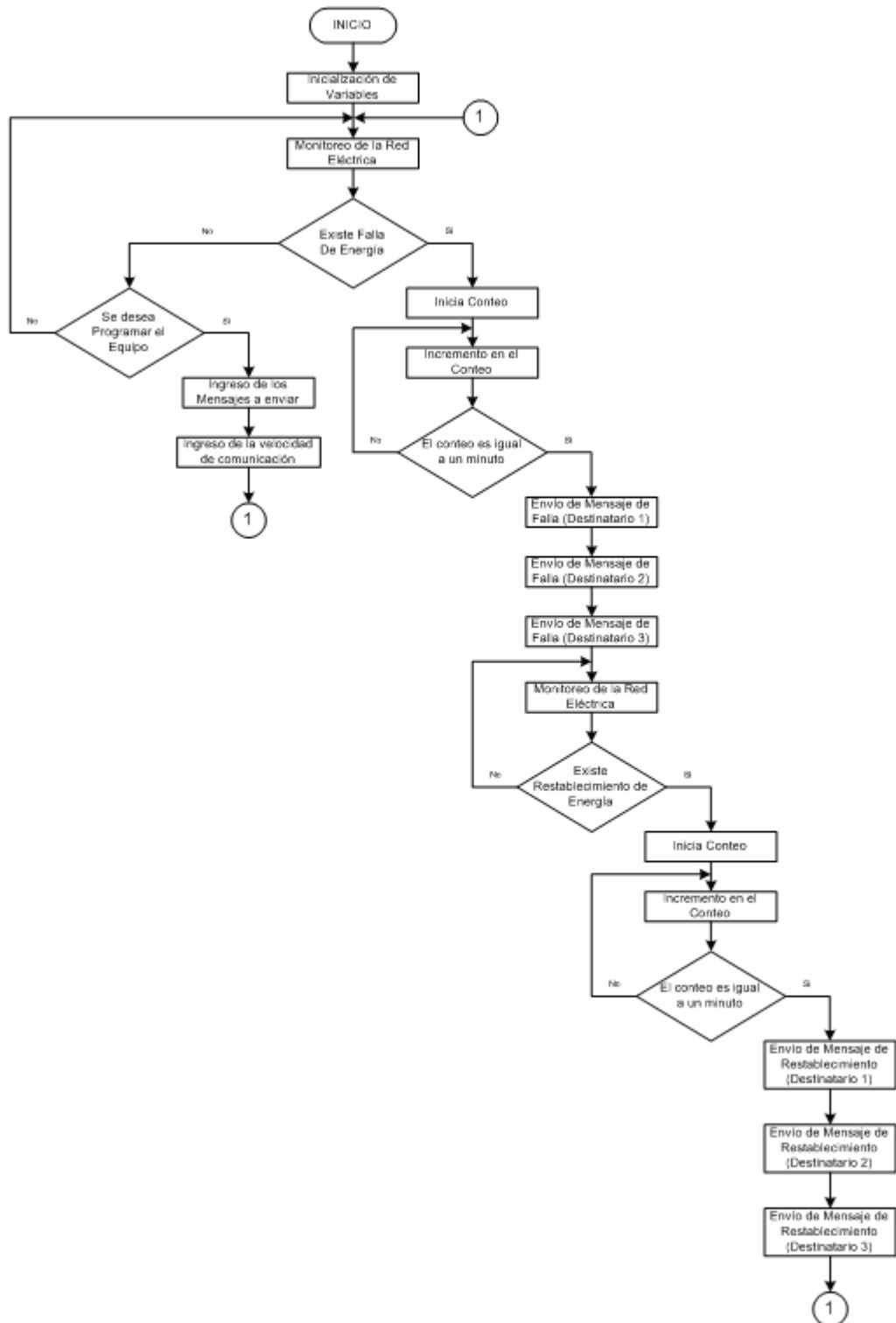
Para el buen desarrollo de la fase de programación, la primera etapa debe contemplar un diagrama flujo que defina todos los caminos posibles en el funcionamiento del equipo. Esta fase es la más importante en la ingeniería de programación, ya que a través de ella se definirá el alcance, seguridad, fiabilidad y robustez del sistema.

En función del cliente, el sistema generador de mensajes debe cumplir con los siguientes requerimientos.

- Identificación de la falla y del restablecimiento del suministro de energía eléctrica.
- Envío de mensajes de texto después de transcurrir un minuto desde el momento de la falla o del restablecimiento.
- Opción de programar el tipo de mensaje y velocidad del puerto serial de comunicaciones.
- Envío de mensajes de falla y restablecimiento a tres destinatarios diferentes.

Tomando en cuenta estos requerimientos, se diseña el diagrama de flujo para la programación del equipo generador de mensajes. En la figura 28 se puede apreciar la lógica utilizada.

Figura 28. Diagrama de flujo del sistema generador de mensajes



Después de definir los procedimientos que realizará el sistema generador de mensajes, se hace uso de programas dedicados que permiten trasladar la lógica presentada en el diagrama de flujo, a un código de ceros y unos que entenderá el microcontrolador. Este código es cargado a la memoria del microcontrolador para que comience a ejecutar las rutinas establecidas.

4.2 Implementación del sistema

Una vez explicado cada uno de los elementos del sistema generador de mensajes y sus requerimientos, se centra la atención en la implementación del sistema completo.

4.2.1 Requerimientos del sistema para la instalación

Este proyecto pretende integrar a un bajo costo, el sistema generador de mensajes de falla y restablecimiento de energía eléctrica a una red de telemedida existente, por lo tanto, el sistema busca aprovechar cada uno de los recursos existentes, obteniendo de ellos lo necesario para el funcionamiento de los nuevos elementos.

Básicamente los requerimientos del sistema son los siguientes.

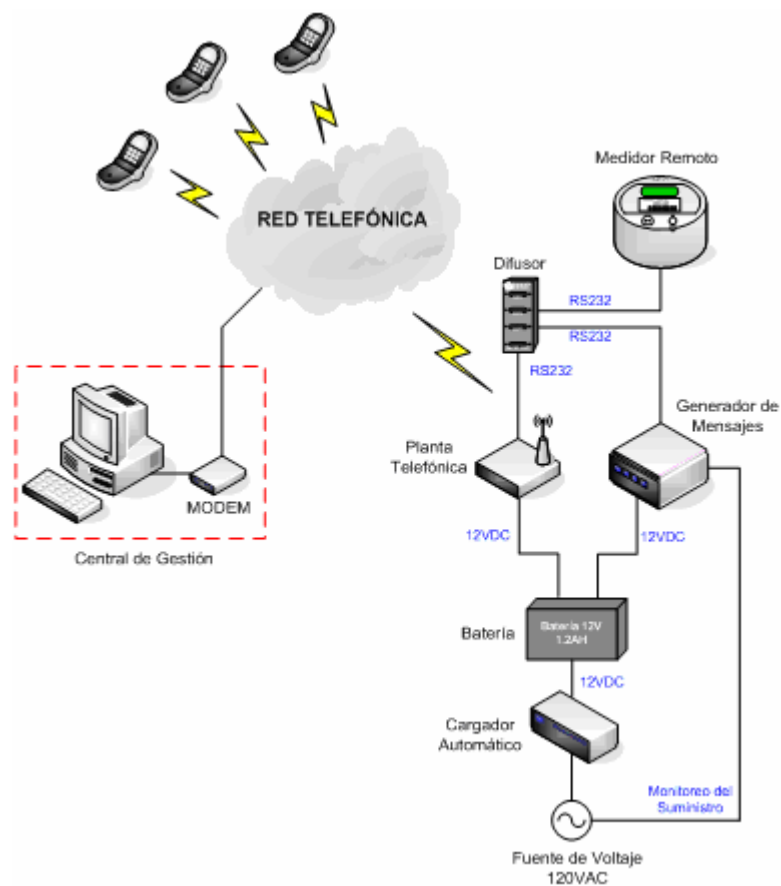
- Alimentación de 110 VAC, que provea el suministro de energía eléctrica a la fuente de alimentación y proporcione un punto de medición para el sensor del equipo.

- Cables de interconexión que permitan la comunicación serial entre los equipos del sistema.
- Caja metálica para intemperie, que resguarde a los equipos de climas variables a lo largo de la república.

4.2.2 Integración del sistema a la red de teledatada

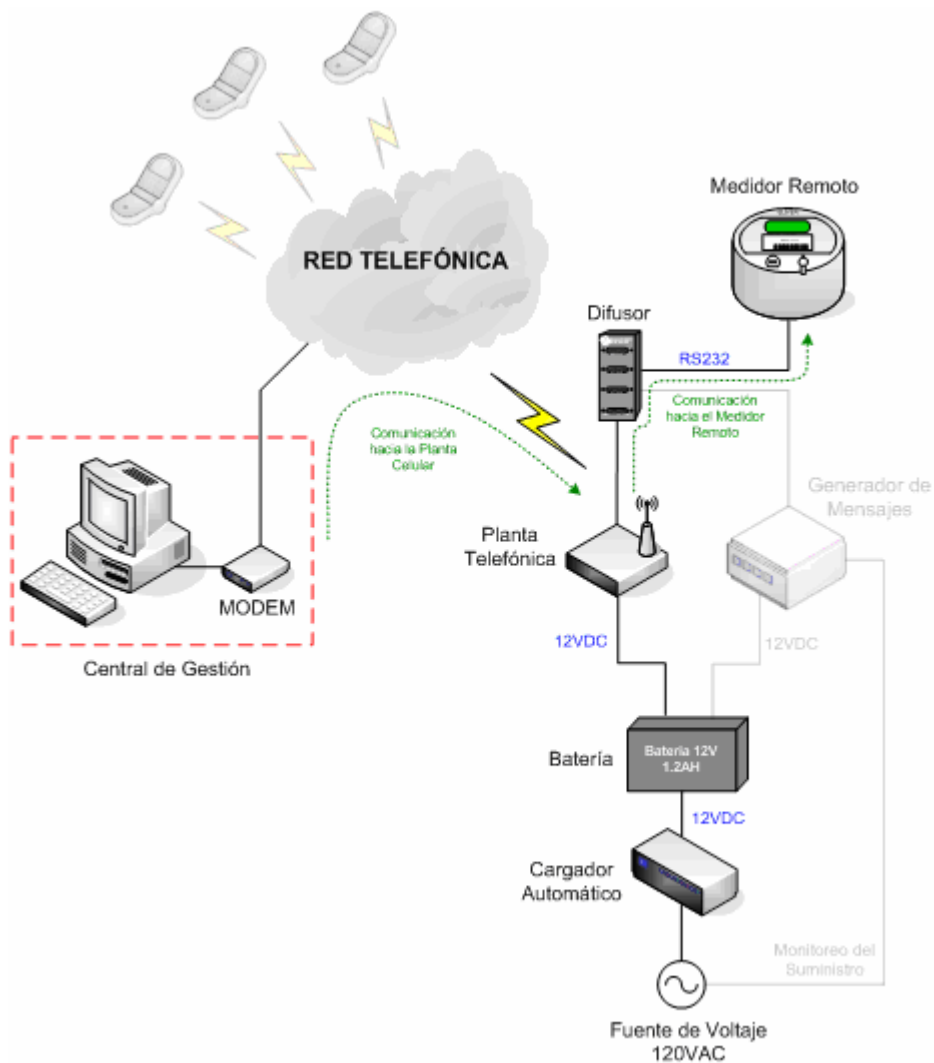
En la figura 29 se presenta el sistema completo que integra al generador de mensajes con la red de teledatada existente.

Figura 29. Sistema integrado



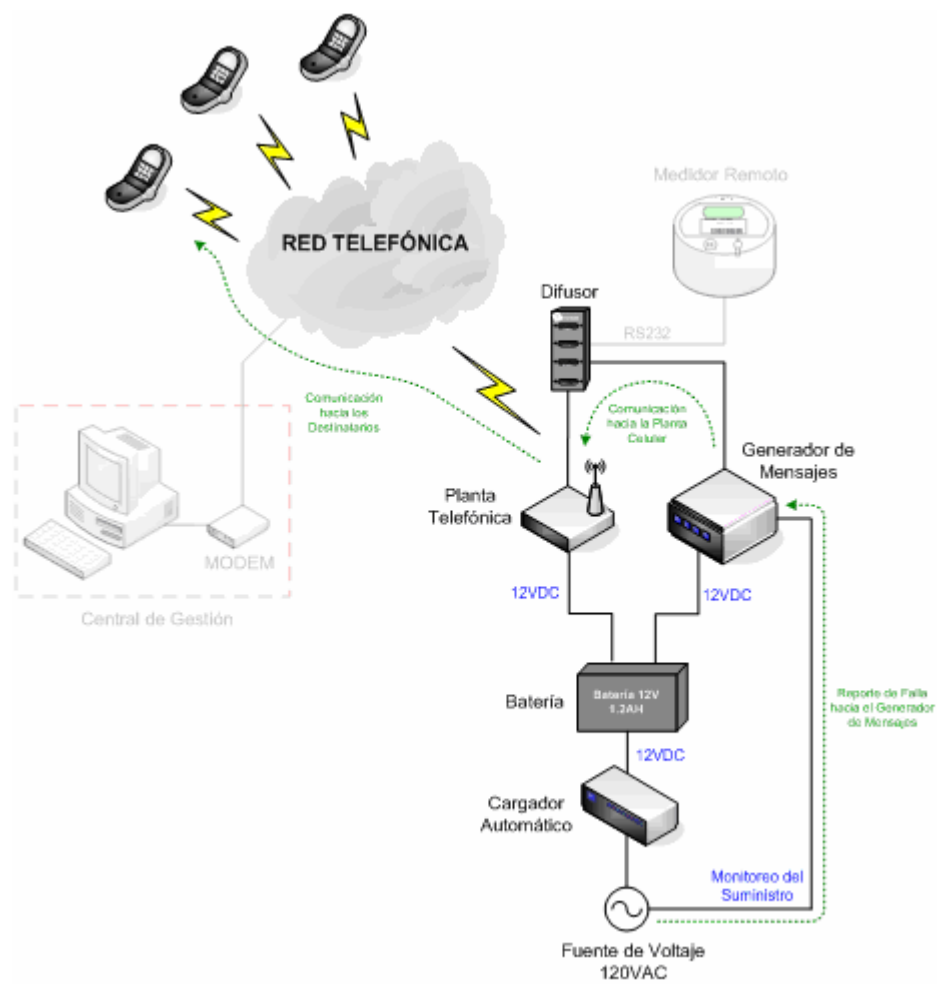
Cuando el usuario desea realizar una telemedición, el centro de gestión se enlaza con la planta telefónica celular y establece un camino de comunicación entre el medidor remoto y la planta celular a través del difusor, logrando con ello, una comunicación directa y transparente entre el centro de gestión y el medidor remoto.

Figura 30. Telemedida



Por otro lado, cuando exista una falla o un restablecimiento de energía eléctrica, el generador de mensajes trasladará a través del difusor, la instrucción para el envío del mensaje a la planta celular y esta a su vez, enviará el mensaje a los destinatarios programados.

Figura 31. **Generador de mensajes**



4.2.3 Fase de prueba y evaluación de desempeño del sistema

Luego de la integración, el sistema entra a una fase de prueba y evaluación de desempeño. El prototipo de este sistema se implementó el 17 de agosto de 2007. A partir de esa fecha, se ha llevado un cuadro de control que registra las fallas y restablecimientos ocurridos tomando en cuenta los mensajes de texto recibidos. Estos eventos son confirmados por el centro de operaciones de red que se encarga de monitorear los ramales de distribución de energía eléctrica.

En la tabla V se presenta parte del historial de las fallas registradas por el sistema generador de mensajes.

Tabla V. **Registro de fallas**

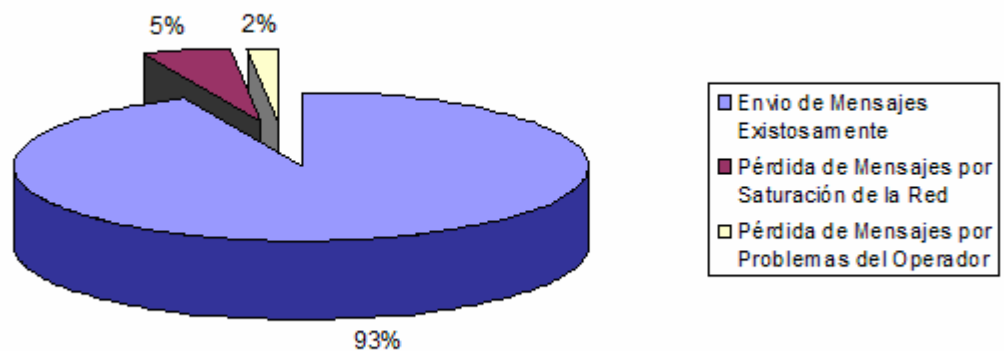
Evento Registrado	Fecha	Hora	Observaciones
Falla de Energía	17/08/2007	13:35	Falla simulada (Prueba del equipo)
Restablecimiento	17/08/2007	13:39	Restablecimiento simulado (Prueba del equipo)
Falla de Energía	17/08/2007	13:56	Falla simulada (Prueba del equipo)
Restablecimiento	17/08/2007	13:59	Restablecimiento simulado (Prueba del equipo)
Falla de Energía	28/08/2007	09:32	Falla confirmada
Restablecimiento	28/08/2007	09:54	Restablecimiento confirmado
Falla de Energía	03/10/2007	18:18	Falla confirmada
Restablecimiento	03/10/2007	18:25	Restablecimiento confirmado
Falla de Energía	08/10/2007	20:34	Falla confirmada
Restablecimiento	08/10/2007	20:47	Restablecimiento confirmado
Falla de Energía	11/11/2007	05:23	Falla confirmada
Restablecimiento	11/11/2007	05:28	Restablecimiento confirmado

Después de evaluar las fallas y restablecimientos de energía eléctrica detectados por el generador de mensajes y compararlo con el registro de fallas del centro de operaciones de red, se puede confirmar que el equipo reporta el 93.2% de las fallas y restablecimientos del suministro de energía eléctrica. El

6.8% faltante, se debe a mensajes que quedan perdidos por saturación de la red de telefonía móvil o por problemas con el operador (falta de señal, bloqueo del número telefónico, etc.).

Tomando en cuenta lo anterior, en la figura 32 se visualiza la eficiencia del sistema generador de mensajes obtenida después de 6 meses de operación.

Figura 32. **Eficiencia del sistema**



En esta etapa se pudo observar que en fechas festivas como navidad y año nuevo donde la demanda de los servicios de telefonía se incrementa considerablemente, un alto número de mensajes no llegan a su destino, o llegan con demasiado retraso. Esto define uno de los inconvenientes más importantes de este sistema, ya que depende completamente de la eficiencia del operador en el envío de mensajes.

4.3 Estimación de costos

Los costos presentados en la tabla VI corresponden a los precios encontrados en el mercado del presente año. Varios de los elementos del sistema generador de mensajes de texto ante fallas del suministro eléctrico no se encuentran en el mercado guatemalteco, lo que obliga a recurrir al mercado internacional. Por lo anterior, debe considerarse tiempos en envío y costos de transporte para la provisión.

Tabla VI. **Estimación de costos**

	Cantidad	Costo Unitario	Subtotal
Conector DB9H	1	Q10.77	Q10.77
Conector DB9M	1	Q10.77	Q10.77
Max232	1	Q25.59	Q25.59
Socket DIP16	1	Q4.64	Q4.64
Capacitor 10uf 50v	4	Q0.66	Q2.65
Compuerta Triestado	1	Q5.83	Q5.83
Socket DIP14	1	Q4.35	Q4.35
PIC16F877	1	Q71.63	Q71.63
Socket DIP40	1	Q15.71	Q15.71
Oscilador 20MHZ	1	Q21.24	Q21.24
Socket Oscilador	1	Q4.35	Q4.35
Leds	1	Q22.23	Q22.23
Interruptor	1	Q10.37	Q10.37
Pulsador	1	Q10.37	Q10.37
Regulador 5v	1	Q3.46	Q3.46
Conector Macho Alimentacion/sensor	1	Q5.43	Q5.43
Conector Hembra Alimentacion/sensor	1	Q4.25	Q4.25
Pines para conector de alimentacion	4	Q1.09	Q4.35
Fusible	1	Q2.47	Q2.47
Porta Fusible	1	Q3.26	Q3.26
Diodo Zener 5.1v	2	Q0.40	Q0.79
Capacitor 1uf	4	Q0.62	Q2.49
Resistencias	8	Q1.48	Q11.86
Optoaislador	1	Q2.37	Q2.37
Socket DIP6	1	Q2.87	Q2.87

Capacitor 100uf 50v	1	Q0.77	Q0.77
Transformador Sensor 4.5v	1	Q44.36	Q44.36
Terminales Bateria	2	Q3.06	Q6.13
Terminales Cargador	2	Q3.56	Q7.11
Cable	2	Q19.76	Q39.52
Bateria	1	Q197.60	Q197.60
Cargador Automatico	1	Q247.00	Q247.00
Caja Metalica	1	Q98.80	Q98.80
Placa Impresa y montaje	1	Q345.80	Q345.80
Caja para intemperie	1	Q247.00	Q247.00
TOTAL			Q1,498.18

El valor expresado en la tabla VI representa únicamente el costo del producto, no se incluye mano de obra ni impuestos.

CONCLUSIONES

1. El Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) es una tecnología inalámbrica de segunda generación (2G) que presta servicios de voz de alta calidad, así como servicios de datos. Por medio de este sistema de telefonía se puede establecer una comunicación bidireccional entre dos equipos geográficamente distantes, proveyéndoles de un canal de comunicación para la transmisión y recepción de datos.
2. En el sistema generador de mensajes de texto ante fallas del suministro eléctrico, el microcontrolador cumple con la función esencial de llevar a cabo todas las rutinas y procedimientos establecidos para el buen desarrollo de la aplicación. Los microcontroladores ofrecen una solución y flexible y práctica a los problemas de diseño a nivel industrial y reducen considerablemente los costos de fabricación e implementación.
3. A través de una red de telemedida es factible realizar mediciones de consumos energéticos desde un ente central, ubicado en la ciudad de Guatemala, hacia puntos remotos, ubicados en el interior del país. Este sistema permite la operación y monitoreo continuo de los clientes, reduciendo los costos de operación e incrementando la eficiencia del sistema.

4. Con la implementación del sistema generador de mensajes de texto ante fallas del suministro eléctrico, se logra mejorar el tiempo de respuesta para la recuperación de la red eléctrica y se disminuyen las pérdidas financieras ocasionadas por cortes prolongados de electricidad. Este sistema provee de una solución simple y de bajo costo al problema de identificación de fallas y restablecimientos de la energía eléctrica.

RECOMENDACIONES

1. Articular al sector productivo, académico y gubernamental para que en conjunto creen incentivos que promuevan el desarrollo tecnológico y profesional a nivel de toda la población.
2. Incentivar el diseño electrónico a gran escala para impulsar empresas guatemaltecas capaces de proveer equipos y soluciones sólidas que se equiparen o sobresalgan a las propuestas de empresas extranjeras, generando oportunidades de empleo a nivel nacional y promoviendo la competitividad de Guatemala a nivel internacional.
3. Crear postgrados que proporcionen las herramientas necesarias al profesional, con el objetivo de lograr un mejor desempeño en el mercado laboral y desarrollar proyectos especializados que exigen una alta preparación.
4. Que la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica promueva eventos donde el estudiante apoyado y orientado por catedráticos especializados, tenga la oportunidad de crear y diseñar sistemas que cubran las necesidades de las empresas guatemaltecas y pueda aplicar sus conocimientos de mejor forma en las áreas de la ingeniería de telecomunicaciones, automatización e instrumentación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Multimodem, Wireless Modems. **User Manual, Version 2.4**. Multitech Systems, 2005.
2. Reference Guide. **AT Commands and Application Examples**. Multitech Systems. Revisión C. Minnesota, United States of America, 2006.
3. BlackBox, **User Manual MS-3**. Obtenido de <http://www.blackbox.com/>. 2002.
4. ABB, **User Manual**. Automation and Power Technologies.
5. Pagina Principal ABCDATOS, <http://www.abcdatos.com/tutoriales>, **Tutorial de Microcontroladores**.
6. Pagina Principal UNICROM, <http://www.unicrom.com>, **Tutorial Arquitectura del Microcontrolador**.
7. Pagina Principal GEOCITIES, <http://mx.geocities.com>, **Protocolos de MODEMs**.
8. Pagina Principal CAMIRESEARCH, <http://www.camiresearch.com>, **Estándar RS-232**.

9. Pagina Principal WANADOO, <http://perso.wanadoo.es/pictob/microcr.htm>,
Microcontroladores.

10. Pagina Principal EUSKALNET, <http://www.euskalnet.net/shizuka>,
Estándar RS-232

BIBLIOGRAFÍA

1. Garg, Vijak K. & Joseph E. Wilkes, ***Principles & Applications of GSM.*** Editorial Prentice Hall. Estados Unidos. Año 2000.
2. Joachim Tisal, ***The GSM Network, GPRS Evolution: One Step Towards UMTS.*** Segunda Edición. Editorial Wiley. Inglaterra. Año 2001.
3. Myke Predko, ***Programming & Customizing PICmicro Microcontrollers.*** Editorial McGraw Hill. Estados Unidos. Año 2002.
4. Morris Mano, ***Diseño Digital.*** Editorial Prentice Hall. Año 1987.
5. J.A. Gualda S. Martínez, P.M. Martínez, ***Electrónica Industrial – Técnicas de Potencia.*** Segunda Edición. Editorial Marcombo. Año 1992.
6. Michel Mouly, Marie-Bernardette Pautet. ***The GSM System for Mobile Communications.*** Año 1992.
7. Microchip. ***Manual del Microcontrolador PIC16F877.*** Obtenido del sitio www.microchip.com/.
8. Siegmund M. Redl, Matthias K. Weber, Malcolm W. Oliphant. ***An Introduction to GSM.*** Artech House. Año 1995.