

01130
31



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA RED DE
COMUNICACION DE DATOS INALAMBRICA
PARA EL MONITOREO DE SUBESTACIONES
ELECTRICAS TRIFASICAS EN C.U.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

PRESENTAN:

DIANA TOMIKO SAISHIO GARCIA
JUAN CARLOS ELIZALDE FRANCO

DIRECTOR:

ING. VALENTE VAZQUEZ TAMAYO



CIUDAD UNIVERSITARIA, 2003

A

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**TESIS
FALLA
DE
ORIGEN**

UNAM
Diana Tomiko
Saisiio Garcia
17-Nov-03

Agradezco a:

Mi madre, por ser mi mejor amiga, mi confidente y mi apoyo; por tus desvelos y preocupaciones; por los sacrificios que hiciste para que esta familia saliera adelante, siempre unida, apoyándose; y por tu ardua lucha para que cada una de tus princesitas fuera una persona de bien, responsable, y que pudiera contar con una carrera profesional para ser independiente. Aunque ya no estés conmigo en cuerpo, tus consejos, tus ejemplos y sobre todo, TU AMOR, siempre estarán en mi mente y en mi corazón. ¡Este logro también es tuyo, Te Quiero Mucho!

Mi padre, por ser origen de mi ser; por creer en mí; por tus consejos; por toda una vida de lucha y sacrificios para hacer de nosotras unas personas honradas, trabajadoras, responsables e independientes; por darnos un hogar y una familia en la cual siempre podremos refugiarnos y sentirnos seguras, apoyadas y queridas. ¡Este logro también es tuyo, Te Quiero Mucho!

Rosy, por ser la parte tierna y sensible de esta familia; por tu cariño y tus preocupaciones; por ser siempre un apoyo incondicional. Gracias por esa pequeña que trajiste a la familia, la cual nos unió más y nos regresó la inocencia. ¡Siempre estaremos juntas, Te Quiero Mucho!

Sachy, por ser la parte firme y segura; por ser mi ejemplo de perseverancia, lucha y éxito; por los consejos y regaños. Gracias por el pequeño (o pequeña) que viene en camino, quien reforzará nuestra unión y traerá una nueva luz a esta casa. ¡Apóyate en mí siempre, Te Quiero Mucho!

Mis cuñados, Julio y Martín, por demostrarme que si una familia se empieza a formar basándose en el amor, la confianza y el respeto, ésta crecerá siempre unida y firme. Gracias por proteger y amar a mis hermanas, pues al cuidarlas a ellas, me cuidan a mí.

Juancito, por ser mi amigo y mi cómplice durante estos seis años; por el empeño puesto en esta tesis; por consolarme y apoyarme en los momentos difíciles; por compartir muchos instantes hermosos e inolvidables; por crecer junto a mí como persona y como profesionista... gracias. ¡Te Amo!

Bere y Peter, por ser mis grandes cuatachos, siempre incondicionales, siempre atentos a lo que me pasa, siempre escuchándome, consolándome y regañándome. A mis compañeros de la infancia y de la prepa, pues sin los momentos que pasamos juntos, buenos y malos, no estaría en este punto. ¡Nunca los olvidaré!

La Universidad Nacional Autónoma de México, y en especial a la Facultad de Ingeniería, por los conocimientos adquiridos a través de mis profesores y mis compañeros, y por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente en sus aulas. ¡Arriba la FI!

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Ing. Diana Tomiko Saisiio Garcia

Agradezco:

A mi mamá, por tu invaluable sacrificio a lo largo de todo este tiempo, por tu ejemplo de lucha y perseverancia en los momentos difíciles, por tus consejos y la educación que me brindaste. Recuerda que te quiero y que este logro también es tuyo.

A mi papá. Por todo tu apoyo para lograr esta meta, por tus conversaciones y consejos, por todo tu esfuerzo de este tiempo. Recuerda que te quiero y que este logro también es tuyo.

A mi Tía Elvira y Padrino Andrés, por todos sus valiosos consejos y apoyo desde que era niño. Por su confianza y por querermme como a un hijo más.

A ^{mi} ~~mi~~ Tommy, por compartir este trabajo que hoy vemos realizado, por todos los momentos buenos y malos que pasamos juntos, por tu paciencia, por tu apoyo y por ser un ejemplo de lucha. ¡Siempre adelante!

Al Sr. Enrique, Sra. Bárbara † (El recuerdo es el único paraíso del cual no podemos ser expulsados), Rosy, Suchy, Kiomi, Julio y Martín, por sus pláticas y buenos momentos que hemos pasado.

A Trini, por tu cariño, por tu amistad sincera y apoyo incondicional, por tu confianza, por haber continuado con el proyecto del PEÉE. Merci mon chérie.

Al Dr. Rodolfo Neri Vela, por la gran oportunidad de haber sido su alumno y hacer mi sueño de la infancia realidad: conocer al primer y único astronauta mexicano.

Al Dr. Salvador Landeros Ayala, por su interés del proyecto del PEÉE y por haber confiado en nosotros para trabajar en él.

La Universidad Nacional Autónoma de México, la universidad más importante de América Latina, por brindarme la oportunidad de continuar mis estudios en los momentos más difíciles.

La Facultad de Ingeniería y a sus profesores, por todo lo aprendido en sus aulas durante la carrera.

A Fundación UNAM, Fundación TELSMEX, PRONAVDES, Fundación Arturo Rosenbluth, coord. de Instrumentación del Instituto de Ingeniería Edif. 12, PEÉE - UNAM, PEÉE Sección México.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Ing. Juan Carlos Elizalde Franco

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
1 ANTECEDENTES.....	4
1.1 Sistema de comunicación.....	5
1.2 Elementos de un sistema de comunicación.....	8
1.3 Espectro electromagnético.....	11
1.4 Alteraciones de la señal.....	11
1.4.1 Atenuación.....	12
1.4.2 Ruido.....	12
1.4.2.1 Tipos de ruido.....	13
1.4.2.2 Medición del ruido.....	14
1.5 Técnicas de Modulación.....	16
1.5.1 Amplitude Shift Keying (ASK).....	17
1.5.2 Frequency Shift Keying (FSK).....	18
1.5.3 Phase Shift Keying (PSK).....	19
1.5.4 Comparación entre los diferentes Métodos de Modulación.....	20
2 SISTEMA DE MONITOREO DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS TRIFÁSICAS.....	22
2.1 Descripción General.....	23
2.2 Sistema de medición de variables eléctricas (Analizador de Redes Eléctricas).....	24
2.3 Sistema de comunicación.....	30
2.4 Sistema de monitoreo y almacenamiento de datos.....	30
3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	32
4 ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS INALÁMBRICOS.....	34
4.1 Enlace dedicado de Microondas.....	34
4.1.1 Introducción.....	34
4.1.2 Funcionamiento.....	35
4.1.2.1 Transmisores.....	35
4.1.2.2 Receptores.....	36
4.1.2.3 Antenas.....	37
4.1.2.4 Torres.....	37
4.1.2.5 Trayectoria.....	38
4.2 Enlaces Satelitales.....	40
4.2.1 Introducción.....	40
4.2.2 Funcionamiento.....	40
4.2.3 Estaciones terrenas y terminales móviles.....	41
4.2.4 Bandas y frecuencias asignadas.....	42

**Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.**

4.2.4.1	FSS (Servicio Satelital Fijo)	43
4.2.4.2	MSS (Servicio Satelital Móvil)	43
4.2.4.3	BSS (Servicio Satelital de Radiodifusión)	43
4.3	Sistema Inalámbrico Celular	45
4.3.1	Introducción	45
4.3.1.1	Primera Generación (1G)	45
4.3.1.2	Segunda Generación (2G)	46
4.3.2	Técnicas de acceso múltiple para comunicaciones inalámbricas	47
4.3.2.1	Técnicas de Duplexación	47
4.3.2.2	Acceso Múltiple	47
4.3.2.2.1	FDMA	48
4.3.2.2.2	TDMA	49
4.3.2.2.3	CDMA	50
4.3.3	Generalidades de los sistemas de telefonía celular	51
4.3.3.1	Concepto de célula	51
4.3.3.2	Reuso de frecuencia	52
4.3.3.3	Handoff	52
4.3.3.4	Componentes de un sistema celular	53
4.4	Tablas comparativas de los sistemas inalámbricos	55
5	DISEÑO Y DESARROLLO DE LA RED INALÁMBRICA PARA EL MONITOREO DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS TRIFÁSICAS DE C.U.	57
5.1	Introducción	57
5.2	Descripción del Modem Celular	58
5.3	Norma IS-95	60
5.3.1	Fundamentos de Espectro Disperso	62
5.3.1.1	Frequency Hopping (FH)	63
5.3.1.2	Direct Sequence (DS)	64
5.3.2	DS-CDMA	64
5.3.2.1	Acceso Múltiple	65
5.3.2.2	Interferencia por multirayectoria	65
5.3.2.3	Interferencia de banda angosta	65
5.3.2.4	Baja probabilidad de interferencia (Low Probability Interference)	65
5.3.3	Receptor Rake	66
5.3.4	Control de potencia	67
5.3.5	Transferencia de llamada suave (<i>soft handover</i>)	67
5.3.6	Detección de multiusuario	68
5.4	Servicios de datos en Modo Circuito	69
5.4.1	Paquetes de Datos	70
5.4.2	Arquitectura	70
5.4.3	Stack de protocolo (<i>Rm Interface</i>)	71
5.4.4	Operación	73
5.5	Arquitectura del Sistema SARE IV © con el modem i-Port® de AnyDATA ©	73
5.5.1	Proceso de comunicación	75
5.5.1.1	Inicialización de la llamada	75
5.5.1.2	Establecimiento de la llamada	75
5.5.1.3	Transferencia de datos	76

*Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.*

5.5.1.4	Finalización de la llamada	76
6	PLAN DE TRABAJO.....	77
6.1	Introducción al control de gestión.....	77
6.2	Objetivos de los procedimientos de control de gestión	78
6.3	Los procedimientos de control de gestión	79
6.3.1	Control de cambios en general.....	79
6.3.2	Control de los cambios del alcance.....	79
6.3.3	Control de tiempos.....	79
6.3.4	Controlar la respuesta al riesgo.....	80
6.3.5	Controlar la calidad (en tiempo y en forma)	80
6.3.6	Redactar informes de desempeño	80
6.3.7	Gestionar las comunicaciones en el proyecto.....	80
6.4	Plan de trabajo del proyecto de monitoreo de Subestaciones Eléctricas	80
6.4.1	Descripción del Diagrama de Gantt.....	81
7	CONCLUSIONES	86
8	APÉNDICES	88
	APÉNDICE A	88
	APÉNDICE B	89
	APÉNDICE C	99
	APÉNDICE D	101
	APÉNDICE E.....	112
9	BIBLIOGRAFÍA Y CONSULTAS	116

TABLAS

Tabla 2.1. Lista de la ubicación de los analizadores	24
Tabla 2.2. Especificaciones técnicas del convertidor de corriente a voltaje	26
Tabla 2.3. Especificaciones del modem	29
Tabla 2.4. Especificaciones del equipo de cómputo	31
Tabla 4.1 Frecuencias asignadas para FSS y BSS con satélites geoestacionarios en la Región 2 ITU	44
Tabla 4.2. Sistemas de 1G de telefonía celular.....	46
Tabla 4.3. Ventajas de los sistemas inalámbricos	55
Tabla 4.4. Desventajas de los sistemas inalámbricos.....	56
Tabla 5.1. Características generales del modem AnyData i-Port®.....	58
Tabla 5.2. Características ambientales de operación del modem AnyData i-Port®.....	58
Tabla 5.3. Características mecánicas del modem AnyData i-Port®.....	59
Tabla 5.4. Características eléctricas de operación del modem AnyData i-Port®	59
Tabla 5.5. Protocolos integrados en el modem AnyData i-Port®.....	60
Tabla 5.6. Parámetros de un Sistema Celular Digital IS-95 DS-CDMA	61
Tabla 8.1. Comandos Básicos AT	90
Tabla 8.2. Registros S Básicos	93
Tabla 8.3. Comandos AT - CDTA	94
Tabla 8.4. Comandos AT para servicio de paquetes de datos	97
Tabla 8.5. Códigos resultantes para servicio de paquetes de datos celulares	97
Tabla 8.6. Circuitos RS-232 C y CCITT V.24	99
Tabla 8.7. Correspondencia de los pines DB-9 a DB-25	100
Tabla 8.8. Tarifas del Paquete "DC tu Tiempo" (SOS TELECOMUNICACIONES).....	101
Tabla 8.9. Descuentos del Paquete "DC tu Tiempo" (SOS TELECOMUNICACIONES).....	102
Tabla 8.10. Tarifas del Paquete "Corporativo" (SOS TELECOMUNICACIONES).....	102
Tabla 8.11. Descuentos del Paquete "Corporativo" (SOS TELECOMUNICACIONES).....	103
Tabla 8.12. Bloques de frecuencias válidos (AXTEL)	104
Tabla 8.13. Tarifas de servicio punto a punto (AXTEL)	105
Tabla 8.14. Descuento en renta (AXTEL)	107
Tabla 8.15. Tarifas en KBPS (SATMEX).....	108
Tabla 8.16. Contratos por un mes de servicio (SATMEX 5 C).....	109
Tabla 8.17. Contratos por un año de servicio (SATMEX 5 C).....	110
Tabla 8.18. Contratos por un mes de servicio (SATMEX 5 Ku NAFTA)	110
Tabla 8.19. Contrato por un año de servicio (SATMEX 5 Ku NAFTA).....	110
Tabla 8.20. Contrato mensual de servicio (SATMEX 5 Ku Continental).....	111
Tabla 8.21. Contrato por un año de servicio (SATMEX 5 Ku Continental)	111

FIGURAS

Figura 1.1. Diagrama a bloques del modelo básico de un sistema de comunicación	5
Figura 1.2. Señalización analógica y digital de datos	7
Figura 1.3. Diagrama a Bloques de un sistema completo de comunicación	9
Figura 1.4. Espectro electromagnético	10
Figura 1.5. Amplitud Shift Keying (ASK).....	17
Figura 1.6. Frequency Shift Keying (FSK).....	18
Figura 1.7. Phase Shift Keying (PSK)	20
Figura 1.8. Comparación de la probabilidad de error para diferentes técnicas de modulación.....	21
Figura 2.1. Esquema básico del Sistema de Monitoreo.....	23
Figura 2.2. Esquema de las conexiones eléctricas	27
Figura 2.3. Vista frontal del Analizador de Redes Eléctricas (SARE IV ®)	28
Figura 2.4. Acoplamiento óptico del Analizador de Redes.....	29
Figura 4.1. Componentes básicos de un enlace dedicado de microondas.....	35
Figura 4.2. Componentes básicos de un transmisor	36
Figura 4.3. Componentes básicos de un receptor	36
Figura 4.4. Propagación de las ondas a lo largo de la trayectoria	39
Figura 4.5. Diagrama simplificado de antenas y transpondedores	41
Figura 4.6. Diagrama de bloques de una estación terrena	42
Figura 4.7. Gráficas del comportamiento de las técnicas de acceso múltiple	48
Figura 4.8. Estructura del encabezado de TDMA	50
Figura 4.9. Elementos básicos de un sistema celular	53
Figura 5.1. Modem Celular AnyData i-Port®.....	58
Figura 5.2. Diagrama de bloques del forward link en IS-95	61
Figura 5.3. Diagrama de bloques del reverse link en IS-95	61
Figura 5.4. Densidad de potencia espectral de la señal antes y después de la dispersión.....	63
Figura 5.5. Principios de un receptor Rake	66
Figura 5.6. Esquema general de una red de CDMA	71
Figura 5.7. Stack de Protocolo	72
Figura 5.8. Diagrama de conexión de red	74
Figura 5.9. Diagrama simplificado de la Red de Monitoreo	75
Figura 6.1. El ciclo de control de gestión de un proyecto.....	78
Figura 8.1. Campos del encabezado de PPP	113

PAGINACIÓN DISCONTINUA

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de telecomunicaciones han presentado un rápido desarrollo en las últimas dos décadas, teniendo la visión principal de intercomunicar dos o más puntos en cualquier parte y en cualquier momento.

Los usuarios han requerido una transmisión de datos (incluyendo voz) de manera casi instantánea, confiable y con calidad en el servicio; todo ello por medio de servicios y aplicaciones que satisfagan cualquier necesidad de comunicación (alámbrica e inalámbrica).

El sector inalámbrico fijo soluciona el enlace de dos puntos distantes y/o con difícil acceso por medio de la tecnología satelital y con enlaces dedicados de microondas, las cuales sólo están disponibles para aquellas instituciones que puedan cubrir los elevados costos de renta por asignación de frecuencia, por equipamiento o por uso de transpondedores satelitales.

Por otra parte, el sector inalámbrico móvil ha sido utilizado para ofrecer servicios de telefonía celular, primeramente conferencias de voz, en áreas locales delimitadas en regiones y fuera de éstas con el servicio denominado "roaming".

En 1997 en nuestro país, cuando la mayoría de estos teléfonos celulares se basaban en tecnología AMPS (*Advanced Mobile Phone Service*) o de 1ª Generación (1G), se subastaron licencias de uso para las bandas de servicios PCS (*Personal Communication Services*, @ 1.9 Ghz) pertenecientes a la 2ª Generación (2G), y WLL (*Wireless Local Loop*, @ 3.4 Ghz) por un periodo de 20 años, abriendo así el mercado de telefonía móvil para nuevas empresas y nuevos servicios, como la integración de la transmisión de datos a baja velocidad, clasificada dentro de una generación intermedia (2.5G).

*Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.*

Hasta hace 2 años, el área móvil ha presentado un auge enorme, a tal grado que en nuestro país el número de suscriptores al servicio celular (15.6 millones) superó a los clientes de servicio fijo (12 millones).

Hoy en día, las empresas concesionadas han comenzado la planeación de la infraestructura de la Tercera Generación Inalámbrica Móvil (3G), cuya principal característica es la transmisión de voz, video y datos a una velocidad de hasta 2 Mbps. Esta característica promoverá, en un futuro próximo, nuevos servicios y mejoras de los existentes, tanto en el sector económico, como en el industrial, laboral y en el uso cotidiano.

La Coordinación de Instrumentación del Instituto de Ingeniería, trabaja en proyectos industriales de telemetría para la adquisición de datos de subestaciones eléctricas trifásicas. El presente trabajo de tesis, propone una migración de dicho sistema, basado actualmente en una red alámbrica, hacia una tecnología inalámbrica, acorde a una investigación teórica y a las aplicaciones existentes en el área de telecomunicaciones en nuestro país.

En el Capítulo 1, de carácter introductorio, se retoman de forma breve las principales características técnicas de los sistemas de comunicación y sus parámetros básicos relacionados.

La primera etapa del proyecto "Red Piloto de Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas", cuya comunicación se basa en el servicio telefónico no conmutado de Ciudad Universitaria, se describe en el Capítulo 2. La evaluación del desempeño del sistema y de las variables de su entorno, generarán en el Capítulo 3, un listado de los puntos en los que se requiere la mejora del sistema.

El Capítulo 4, contiene el análisis técnico y funcional de tres de los principales sistemas de comunicación inalámbrica que pueden proponerse como una solución a la transmisión de datos del proyecto de monitoreo. Como resultado del análisis, se presentan dos tablas comparativa de ellos, en la que se resalta las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, así como la opción más adecuada para solucionar las necesidades del proyecto.

El desarrollo de la opción seleccionada y su integración, se realizará en el Capítulo 5, el cual se constituirá como la segunda etapa del proyecto de monitoreo de subestaciones eléctricas trifásicas. En éste capítulo, se incluye una breve descripción de los conceptos técnicos asociados a la tecnología inalámbrica a implementarse.

En el Capítulo 6, describimos los antecedentes de la gestión de proyectos con el fin de proponer un Diagrama de Gantt para la implementación de este proyecto. El diagrama, desarrollado en el ambiente de Microsoft Project 2000®, representa los tiempos previstos de: planeación, contratación, compras, instalaciones y periodo de pruebas.

***Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.***

Finalmente, las conclusiones obtenidas de este trabajo se mencionan en el Capítulo 7.

En resumen, confiamos plenamente en que la descripción de este trabajo sirva como preámbulo de una serie de soluciones que podrían generarse, proponerse y mejorarse una vez llegada la 3G de comunicaciones móviles a nuestro país, además deseamos sea de gran aporte para nuevas líneas de investigación y desarrollo de nuestra máxima casa de estudios, encaminada hacia soluciones industriales y de la vida cotidiana.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1 ANTECEDENTES

En la actualidad, los sistemas de comunicación se encuentran en cualquier lugar donde se desee transmitir y/o recibir información. El teléfono, la radio y la televisión, se han convertido en factores de la vida diaria. Los circuitos de larga distancia cubren el globo terráqueo llevando voz, datos y hasta video. Los sistemas de radar y telemetría desempeñan papeles importantes, e incluso vitales, en navegación, defensa e investigación científica. Las computadoras literalmente "hablan" unas con otras por medio de enlaces transcontinentales.

A continuación describiremos los conceptos fundamentales relacionados con los sistemas de comunicación, así como la explicación de los términos básicos necesarios para un mejor entendimiento de temas más complejos que se discutirán más adelante.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.1 Sistema de comunicación

Un *sistema de comunicación* consiste en una infraestructura física a través de la cual se transmite información de un punto llamado *fuentes* a otro denominado *destino*. Con base en esa infraestructura se ofrecen a los usuarios los diversos servicios de telecomunicaciones. En la Figura 1.1 se muestra el diagrama a bloques del modelo básico de dicho sistema.

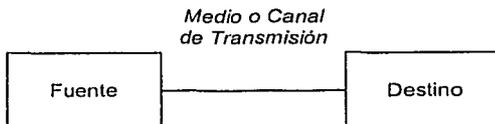


Figura 1.1. Diagrama a bloques del modelo básico de un sistema de comunicación

La forma en que la transmisión se lleva a cabo puede ser de diferentes modos: *simplex*, *half-duplex* o *full-duplex*. A éstos se les llama *modos de transmisión*. En la operación *simplex*, la transmisión sólo ocurre en una dirección: un punto puede ser transmisor o receptor, pero no puede ser ambos. En la operación *half-duplex*, la transmisión puede ocurrir en ambas direcciones, pero no al mismo tiempo: un punto puede ser transmisor y receptor, alternadamente. Por último, en la operación *full-duplex*, la transmisión puede ocurrir en ambas direcciones y al mismo tiempo.

En la transmisión de datos es importante tener conocimiento de su naturaleza, del medio físico usado para propagarlos, y de los procesos o ajustes que pueden ser requeridos para asegurar que su recepción sea correcta. Para todo esto, es necesario tratar con entidades analógicas y digitales.

Los términos analógico y digital son usados frecuentemente en tres contextos:

- Datos
- Señales
- Transmisión

Un *dato analógico* es una cantidad física que varía en forma continua con respecto al tiempo. Ejemplos de datos analógicos son la voz humana, un video, la música, y la mayoría de los parámetros físicos medidos por sensores, tales como la temperatura, la presión, etc.

Un *dato digital* es un dato constituido por una secuencia de elementos discretos. Algunos ejemplos son los números en código binario, códigos alfanuméricos, cadenas de caracteres, etc.

En un sistema de comunicación, los datos son transmitidos por medio de *señales eléctricas*. Una *señal analógica* es una onda electromagnética que varía continuamente y que puede propagarse sobre diferentes medios, dependiendo del espectro de frecuencias. En cambio, una *señal digital* es una secuencia de pulsos de voltaje que puede ser transmitida sobre un medio alámbrico; por ejemplo, un nivel de voltaje positivo constante puede ser representado por un 1 binario y un nivel de voltaje negativo constante puede ser representado por un 0 binario.

Generalmente, los datos analógicos son funciones del tiempo y ocupan un espectro de frecuencia limitado; tales datos pueden ser representados por una señal electromagnética que ocupa el mismo espectro. Los datos digitales pueden ser representados por señales digitales, con un nivel de voltaje diferente para cada uno de los dígitos binarios.

Pero como lo muestra la Figura 1.2, los datos digitales también pueden ser representados por señales analógicas por medio del uso de un *modem (modulador/demodulador)*. El modem convierte una serie de pulsos binarios (dato digital) en una señal analógica a través de la modulación. Los modems más comunes modulan este dato en una señal cuya frecuencia se encuentra en el espectro de la voz para así poder propagarlo a través de una línea telefónica ordinaria. Al otro lado de la línea, otro modem demodula la señal para así recuperar el dato original.

Con una operación muy similar a la que efectúa el modem, los datos analógicos pueden ser representados por señales digitales. El equipo que realiza esta función es un *codec (codificador-decodificador)*. En esencia, el codec toma una señal analógica que directamente representa la voz y aproxima dicha señal a una cadena de bits. En el receptor, la cadena de bits es usada para reconstruir el dato analógico.

Las señales analógicas y digitales pueden ser transmitidas a través de diversos medios. La forma en que estas señales son tratadas depende del sistema de transmisión. La *transmisión analógica*, es un medio de transmisión de señales analógicas sin poner atención a su contenido; las señales pueden representar un dato analógico (por ejemplo, la voz) o un dato digital (por ejemplo, un dato binario que pasa a través de un modem). En cualquier caso, la señal analógica llegará a ser más débil (se atenuará) después de cierta distancia. Para alcanzar distancias más largas, el sistema de transmisión analógico incluye amplificadores que aumentan la energía de la señal. Desafortunadamente, el amplificador también aumenta las componentes de ruido. Con una cascada de amplificadores para alcanzar grandes distancias, la señal llegará a estar cada vez más distorsionada. Para datos analógicos, tales como la voz, dejar pasar un bit de distorsión puede

ser tolerado y el dato faltante será inteligible. Sin embargo, para datos digitales, una cascada de amplificadores introduciría muchos errores.

La *transmisión digital*, en contraste, está relacionada al contenido de la señal. Una señal digital puede ser transmitida sólo a cortas distancias, antes de que la atenuación ponga en peligro la integridad del dato. Para lograr grandes distancias, se usan *repetidores*. Un repetidor recibe la señal digital, recupera el patrón de 1's y 0's, y retransmite la señal original.

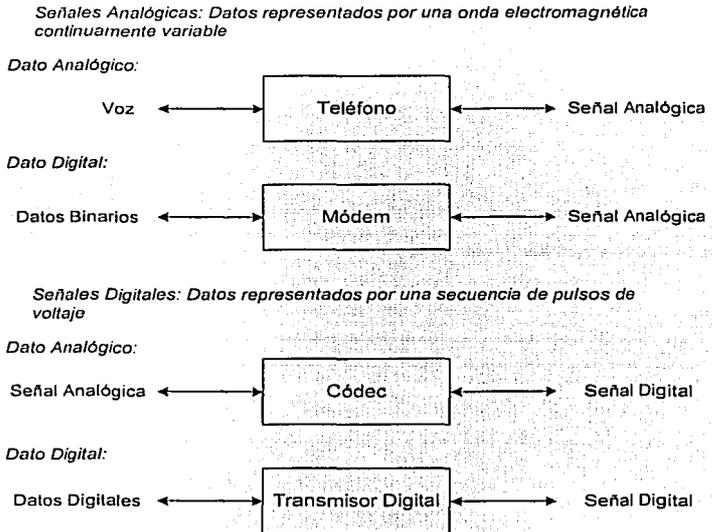


Figura 1.2. Señalización analógica y digital de datos

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La pregunta obligada a formular es cuál de estos métodos de transmisión es el mejor. La respuesta por parte de las industrias de telecomunicaciones y sus desarrolladores es: la transmisión digital. Las razones más importantes son:

- **Tecnología digital:** La llegada de la tecnología *Large-Scale Integration* (LSI) y de la *Very Large-Scale Integration* (VLSI) ha causado una continua disminución en el costo y tamaño de los circuitos digitales. En cambio, los equipos analógicos no han mostrado tal decremento.
- **Integridad de los datos:** Con el uso de repetidores en lugar de amplificadores, los efectos del ruido y otras alteraciones de la señal no son acumulables. Con esto es posible transmitir datos a distancias más largas por medios digitales, los cuales mantienen la integridad de la información.
- **Capacidad de transmisión:** La construcción de medios de transmisión de gran ancho de banda, incluyendo los canales satelitales y la fibra óptica, ha llegado a ser muy económico. Se necesita un alto grado de multiplexaje para aprovechar efectivamente tal capacidad, y esto es más fácil de lograr con técnicas digitales (*time-division*) que con técnicas analógicas (*frequency-division*).
- **Seguridad y privacidad:** Las técnicas de encriptación son aplicadas más fácilmente a datos analógicos que han sido digitalizados.
- **Integración:** Al tratar digitalmente los datos analógicos y digitales, todas las señales tienen la misma forma y pueden ser tratadas similarmente. Con esto se puede lograr una integración de voz, video y datos digitales.

1.2 Elementos de un sistema de comunicación

La Figura 1.3 muestra los elementos funcionales (imprescindibles uno del otro) de un sistema completo de comunicación: los *transductores de entrada y de salida*, el *transmisor*, el *receptor* y el *medio o canal de transmisión*.

- **Transductor de entrada:** Dispositivo que detecta variaciones en una magnitud física y las convierte en señales útiles para un sistema de medida o control.
- **Transmisor:** Adapta la información ya convertida en señal eléctrica al medio de transmisión. Para lograr una transmisión eficiente, se deben desarrollar varias operaciones de procesamiento de la señal, una de ellas es la *modulación*, la cual consiste en alterar algún elemento de una señal fija, llamada *portadora*, de acuerdo a las variaciones del mensaje. Otra operación

que puede efectuar el transmisor es comprimir o expandir la información, así como el utilizar una clave que proteja la privacidad de la comunicación.

- **Medio o canal de transmisión:** Es el enlace físico entre el transmisor y el receptor. Este medio puede ser un par de alambres, un cable coaxial, el aire, etc., pero sin importar el tipo de medio utilizado la señal sufre alteraciones indeseadas, tales como la *atenuación* y el *ruido*.
- **Receptor:** Tiene como función rescatar la señal del medio de transmisión. Realiza las operaciones inversas a las del transmisor para obtener la información original y la envía al transductor de salida. Por lo dicho anteriormente, la principal labor del receptor es la *demodulación*, proceso inverso a la modulación.
- **Transductor de salida:** Normalmente el destino de las transmisiones son el hombre o las máquinas, por lo tanto es necesario convertir la señal eléctrica en un dato adecuado para ellos, ésta es la función del transductor de salida. Como ejemplos tenemos: una pantalla o display gráfico, una impresora, una bocina, un graficador, etc.

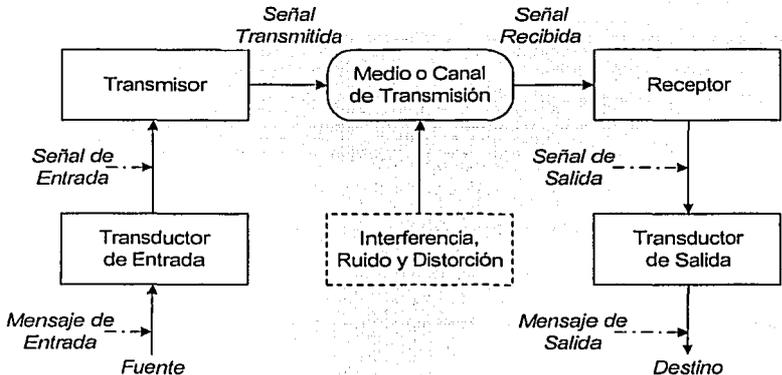


Figura 1.3. Diagrama a Bloques de un sistema completo de comunicación

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

**Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.**

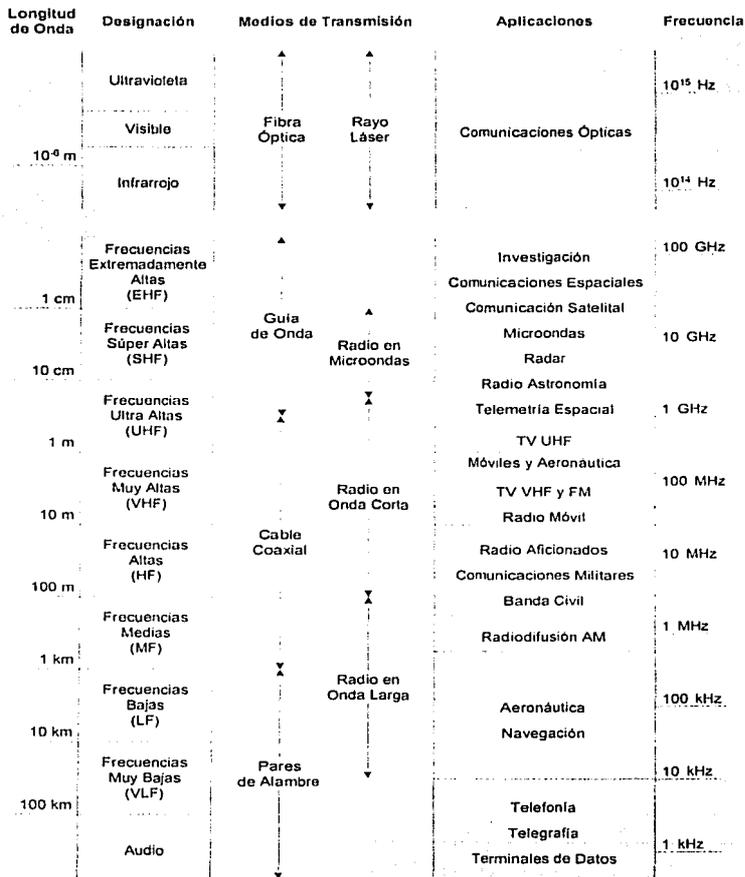


Figura 1.4. Espectro electromagnético

1.3 Espectro electromagnético

La señal eléctrica que se envía a través del medio de transmisión es energía electromagnética que se puede transmitir en diversos modos: como un voltaje o una corriente a lo largo de cables metálicos, como ondas de radio emitidas a través del espacio libre, o como ondas de luz dentro de una fibra óptica. En la Figura 1.4 se muestra la gama de frecuencias que permiten la propagación de esta energía. A esta compilación total de frecuencias se le llama *espectro electromagnético*.

Cuando tratamos con ondas de radio es común usar las unidades de longitud de onda en lugar de frecuencias. La *longitud de onda* es la longitud en metros que existe entre puntos similares de una señal eléctrica. Este valor es inversamente proporcional a la frecuencia de la onda y directamente proporcional a la velocidad de la luz:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

donde

λ = longitud de onda [metros/ciclo]

c = velocidad de la luz = 3×10^8 [m/s]

f = frecuencia [Hz]

1.4 Alteraciones de la señal

Como mencionamos, la señal enviada sufre alteraciones indeseadas durante su transmisión. Por ejemplo, en las señales digitales las alteraciones pueden producir errores en los bits: un 1 binario es transformado en un 0 binario, y viceversa.

Las alteraciones más importantes son:

- Atenuación
- Ruido

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.4.1 Atenuación

La potencia de la señal disminuye progresivamente, conforme aumenta la distancia recorrida.

En un medio no guiado o inalámbrico, esta reducción de potencia, o *atenuación*, es una función compleja de la distancia y de la composición de la atmósfera.

El concepto de atenuación conlleva tres consideraciones para los cálculos de la transmisión:

- a) La señal recibida debe tener la suficiente potencia para que el circuito electrónico en el receptor pueda detectar e interpretar la señal.
- b) La señal debe mantener un nivel más alto que el del ruido para ser recibida sin errores.
- c) La atenuación varía como una función directamente proporcional de la frecuencia (a mayor frecuencia tenemos mayor atenuación).

Tomemos como ejemplo la atenuación como una función de la frecuencia para una típica línea telefónica. Un tono de 1000 Hz con un nivel de potencia dado es aplicado a la entrada, y la potencia, P_{1000} , es medida a la salida. Para cualquier otra frecuencia f , se repite el procedimiento y la atenuación relativa en decibeles es:

$$N_f = -10 \log_{10} \frac{P_f}{P_{1000}}$$

1.4.2 Ruido

Para cualquier evento de transmisión de datos, la señal recibida consistirá de la señal transmitida, modificada por varias distorsiones impuestas por el medio de transmisión, más señales no deseadas que son insertadas en algún punto entre el transmisor y el receptor. Estas señales no deseadas son conocidas como *ruido*. Se realizan grandes mediciones para minimizar sus efectos. Los sistemas de comunicación normalmente emplean técnicas especiales de codificación y decodificación para optimizar la recepción de la señal. Mecanismos elaborados de detección y corrección de errores son creados a nivel de software y de hardware en los sistemas de comunicación para identificar y corregir los errores causados por el ruido.

1.4.2.1 Tipos de ruido

- **Relámpagos:** Los relámpagos son una fuente importante de ruido y son causados por descargas eléctricas de las nubes. Varios millones de volts, con corrientes mayores a los 20,000 A, son descargados por los relámpagos. Una banda angosta de frecuencias es generada durante esta descarga. Las amplitudes de los componentes de estas frecuencias son inversamente proporcionales a su frecuencia, por lo que afectan mayormente a las bandas de baja y alta frecuencia (LF y HF).
- **Ruido Solar:** Los gases ionizados del sol producen una amplia gama de frecuencias que penetran la atmósfera de la Tierra en frecuencias usadas por los sistemas de comunicación. La más alta porción de nuestra atmósfera, conocida como ionosfera, es directamente afectada por la radiación ultravioleta del sol. La actividad molecular en la ionosfera causa importantes disturbios en la región de las frecuencias altas (HF).
- **Ruido Cósmico:** Las estrellas distantes, como el sol, también radian intensos niveles de ruido en frecuencias que penetran la atmósfera de la Tierra. Estas frecuencias afectan a los sistemas de comunicación que trabajan de los 8 MHz a los 2 GHz.
- **Ruido Gaussiano:** El efecto acumulativo de todo el ruido generado interna o externamente al sistema de comunicación, en cierto periodo de tiempo, es conocido como *ruido Gaussiano*. El ruido Gaussiano incluye todas las frecuencias, de manera similar en la que la luz blanca incluye todas las longitudes de onda visibles. Si observáramos en un analizador de espectros de la distribución del ruido gaussiano para cierto ancho de banda, veríamos que se forma una curva uniforme de Bell.
- **Ruido Térmico:** Se debe a la agitación térmica de los electrones en un conductor. Está presente en todos los equipos electrónicos y en los medios de transmisión. Es una función de la temperatura y no puede ser eliminado.

El valor del ruido térmico presente en un ancho de banda de 1 Hz en cualquier equipo o conductor es:

$$N = kTW$$

o en decibeles-watts:

$$N = 10 \log k + 10 \log T + 10 \log W$$

$$N = -228.6 \text{ dBW} + 10 \log T + 10 \log W$$

donde:

N = ruido térmico [watts]

k = constante de Boltzman = 1.3803×10^{-23} [J/K]

T = temperatura [K]

W = ancho de banda [Hz]

- **Ruido por Intermodulación:** Cuando algunas señales de diferentes frecuencias comparten el mismo medio de transmisión, el resultado puede ser *ruido por intermodulación*. Su efecto es producir señales de una frecuencia que es la suma o diferencia de las frecuencias originales o múltiplos de aquellas. Por ejemplo, la mezcla de señales de frecuencias f_1 y f_2 podrían producir energía en la frecuencia $f_1 + f_2$. Esta nueva señal podría interferir con una señal cuya frecuencia sea $f_1 + f_2$.

- **Crosstalk:** Este fenómeno ha sido experimentado por cualquiera que, mientras hablaba por teléfono, haya escuchado otra conversación. Dicho efecto es un acoplamiento no deseado entre señales que comparten el mismo camino. Esto puede ocurrir por acoplamiento eléctrico entre cables cercanos de par trenzado o en cables coaxiales que transportan múltiples señales. El crosstalk también puede ocurrir cuando señales no deseadas son captadas por antenas de microondas. Típicamente el crosstalk es de la misma magnitud, o menor, que la del ruido térmico.

1.4.2.2 Medición del ruido

Han sido desarrolladas importantes herramientas matemáticas para evaluar los efectos del ruido, basándose en su magnitud relativa a una señal dada.

- **Relación Señal a Ruido:** Es la relación entre la potencia de la señal y la potencia del ruido. Este parámetro es de importancia primordial para nosotros, pues nos ayuda a evaluar y anticipar los efectos extrínsecos del ruido. La *relación señal a ruido* (SNR ó S/N) se mide al final del receptor del sistema de comunicación, previo a la detección de la señal. Matemáticamente, el SNR es expresado en decibelios por la siguiente ecuación:

$$SNR = 10 \log \frac{\text{potencia}_{\text{señal}}}{\text{potencia}_{\text{ruido}}} \text{ [dB]}$$

• **Factor de Ruido y Figura de Ruido:** El *factor de ruido* es una medida de qué tan ruidoso es un equipo. Esta medida es la relación entre la potencia señal a ruido en la entrada de un equipo (S_E/N_E) y la potencia señal a ruido a la salida del mismo equipo (S_S/N_S). Expresado en decibeles, el factor de ruido es llamado *figura de ruido*. Todos los amplificadores, por ejemplo, aportan cierto grado de ruido a la señal. Si un amplificador no genera ruido por sí mismo, sus SNR's de entrada y de salida serán iguales. El factor de ruido puede ser 1 en este caso ideal, el cual es equivalente a una figura de ruido de 0 dB. El factor de ruido (F) se calcula por la siguiente ecuación:

$$F = \frac{S_E / N_E}{S_S / N_S}$$

La figura de ruido (NF) se relaciona al factor de ruido por la expresión:

$$NF = 10 \log F = 10 \log \frac{S_E / N_E}{S_S / N_S} [dB]$$

• **Relación del Bit Erróneo:** El criterio de desempeño estándar en comunicaciones digitales es la *probabilidad de bit erróneo* o *relación de bit erróneo* (BER). Algunas aplicaciones, como la transferencia de datos financieros, aceptan BERs no mayores a 10^{-9} , otras aplicaciones tales como transmisión digital de voz en celulares o sistemas móviles de radio toleran BERs tan altas como 10^{-2} o 10^{-3} . Los sistemas de audio digital de alta fidelidad (por ejemplo, reproductores de CD's) demandan BERs del orden de 10^{-8} .

Casi siempre, para una técnica de modulación digital, el BER es expresado como una *función exponencial* o una *función de error complementario* (erfc), donde la función erfc está definida como:

$$\text{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2} dt$$

En forma matemática, el BER se obtiene a través de la *probabilidad del bit erróneo*, P_b , dada por la expresión general:

$$P_b = \alpha e^{-\beta \gamma_b}$$

donde α y β son valores dados, propios de cada técnica de modulación. La variable $\gamma_b = E_b / N_0$ es el *SNR por bit*, la cantidad normalmente usada para calcular la relación de error del sistema. La función *erfc* está delimitada por

una función exponencial. Como resultado, para una amplia clase de modulaciones, tenemos:

$$P_b = \alpha \text{erfc}(\beta \gamma_b) < \alpha e^{-\beta \gamma_b}$$

- **Capacidad del Canal:** Si el SNR de un sistema de comunicación digital es muy grande, es rara la vez en la que es posible vencer completamente los efectos causados por el ruido. Se han establecido cálculos matemáticos para determinar la *cantidad máxima teórica de datos que pueden ser transferidos sobre un canal*, basándose en el ancho de banda del canal y en el SNR. Esto es conocido como la *capacidad del canal*. Una de las leyes más importantes usadas en telecomunicaciones para calcular la capacidad del canal es la *Ley de Shannon*:

$$C = BW \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) [\text{bps}]$$

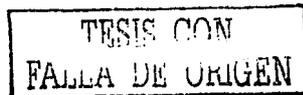
donde: C = capacidad del canal [bps]
BW = ancho de banda [Hz]
S/N = relación señal a ruido

1.5 Técnicas de Modulación

Como vimos al inicio de este capítulo, un dato puede ser representado por una señal y la nueva forma de ésta depende de la técnica de modulación empleada.

La base para la señalización analógica es una señal continua de frecuencia constante conocida como *señal portadora*. La frecuencia de esta señal es seleccionada de tal forma que sea compatible con el medio de transmisión a utilizar. La *modulación* es el proceso de convertir el dato fuente en una señal portadora con frecuencia f_c . Todas las técnicas de modulación implican operaciones con uno o más de los tres parámetros fundamentales en el dominio de la frecuencia:

- Amplitud
- Frecuencia
- Fase



La señal de entrada puede ser analógica o digital y es llamada *señal de banda base*. El resultado de la modulación es llamado *señal modulada*. La localización del ancho de banda en el espectro está relacionada a f_c , y normalmente es centrado en f_c .

En nuestro proyecto haremos uso de datos digitales (valores obtenidos del circuito eléctrico), los cuales serán transmitidos como señales analógicas (microondas). Por esta razón en esta sección explicaremos las técnicas para convertir un dato digital en una señal analógica.

1.5.1 Amplitud Shift Keying (ASK)

Es la forma más simple de modulación, en ella el modulador simplemente prende o apaga una señal portadora de amplitud fija de acuerdo con el valor de cada bit de información que será transmitido. Señalemos que la portadora es prendida para un 1 y es apagada para un 0, como lo muestra la Figura 1.5. La expresión general para la ASK es:

$$s_i(t) = A_i \cos(\omega_c t) \quad i = 0, 1$$

donde: A = amplitud de la señal

ω_c = frecuencia angular de la portadora

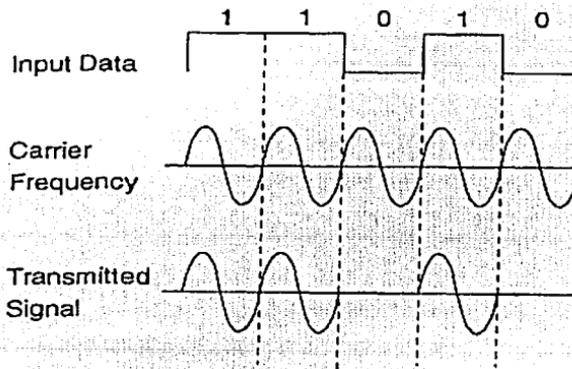


Figura 1.5. Amplitud Shift Keying (ASK)

Aunque este método de modulación es realmente simple, su uso implica algunos problemas no triviales en el diseño del demodulador. Además, el desempeño del BER en la modulación ASK es tan pobre que su implementación se complementa con otras técnicas de modulación igual de sencillas.

La modulación ASK es usada en ciertas redes inalámbricas de información, (WLANs ópticas en particular) donde diodos emisores de luz (LEDs) y fotodetectores ofrecen una práctica y económica transmisión. La luz se puede transmitir a través de una portadora, la cual es modulada simplemente apagando o prendiendo el LED. El fotodetector puede ser pensado como un detector de envolvente que demodula la señal transmitida eliminando la señal portadora óptica y detectando solamente la amplitud de la señal.

1.5.2 Frequency Shift Keying (FSK)

Esta forma de modulación usa dos tonos de señal. En cada intervalo de bit, el modulador envía un pulso de un tono o de otro dependiendo si el bit de información es un 1 o un 0. La implementación de un modulador en FSK solamente requiere dos osciladores, los cuales conmutan de acuerdo al bit que será transmitido, como se muestra en la Figura 1.6. La expresión analítica general para esta modulación es:

$$s_i(t) = A \cos(\omega_i t), \quad i = 0, 1$$

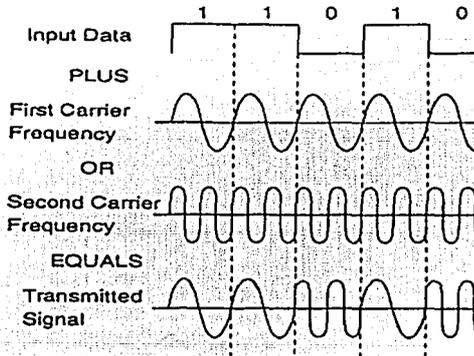


Figura 1.6. Frequency Shift Keying (FSK)

Para una correcta operación del sistema, estos dos tonos deben ser ortogonales de tal forma que no haya interferencia en la detección (crosstalk). La ortogonalidad requerida se expresa matemáticamente como:

$$\int_0^T s_1(t)s_0(t)dt = 0$$

donde T es la duración del pulso.

Cuando los dos tonos están separados entre sí por $\frac{1}{2T}$ Hz estamos hablando de MSK. El esquema MSK es la forma más eficiente, hablando de ancho de banda, del FSK, y una versión especial de esta modulación, llamada *Gaussian Filtered MSK* (GMSK), es ampliamente usado en las industrias de radio móvil.

Para la modulación FSK M-aria, tenemos $M = 2^m$ señales ortogonales, donde m es el número de bits por símbolo. La modulación FSK 4-aria es usada en algunas aplicaciones inalámbricas, incluyendo WLANs en 18-19 GHz y en radios móviles digitales que operan en las bandas VHF y UHF. Una ventaja práctica del FSK es el bajo costo en radios de FM para aplicaciones de voz analógica tales como AMPS. Para modificar el sistema y adaptarlo a la transmisión de datos sólo se necesita organizar los datos en una cadena de pulsos de cuatro niveles y usarlos como una entrada del modulador de FM. En el receptor, la cadena de símbolos es extraída en la salida de un simple discriminador de frecuencia. Esta aplicación provee una fácil integración de los servicios de voz y datos en un sólo medio de transmisión aportando bajos costos de producción.

1.5.3 Phase Shift Keying (PSK)

Esta técnica de modulación altera la fase de la portadora. La expresión analítica general para PSK es:

$$s_i(t) = A \cos(\omega_c t + \phi_i(t)), \quad i = 1, 2, \dots, M$$

en donde el término de fase, $\phi_i(t)$, contiene M valores discretos, típicamente dados por:

$$\phi_i = \frac{2\pi(i-1)}{M}, \quad i = 1, 2, \dots, M$$

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

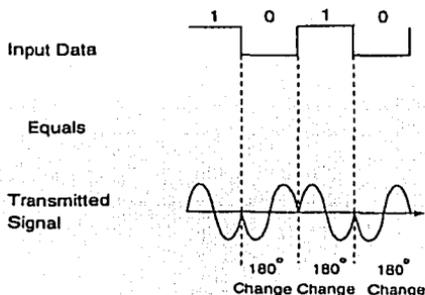


Figura 1.7. Phase Shift Keying (PSK)

Para el ejemplo de PSK Binario (BPSK), M es igual a 2, lo que implica que solo cuenta con dos fases, 0 y π . La forma de onda de la Figura 1.7 muestra una señal BPSK donde se observan claramente los cambios abruptos de fase en cada transición de símbolo.

La modulación PSK ofrece una forma simple de incrementar el número de niveles en la transición sin incrementar el ancho de banda pues se introducen pequeños desplazamientos de fase. Por ejemplo, la modulación QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) tiene cuatro fases: $0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}$. Para una cantidad dada de bits, QPSK requiere la mitad del ancho de banda que requiere PSK y es por este motivo que es más utilizada.

1.5.4 Comparación entre los diferentes Métodos de Modulación

Las probabilidades de bit erróneo para las técnicas de modulación más comunes están dadas por:

$$\text{FSK: } P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{\gamma_b}{2}}$$

$$\text{BPSK: } P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\gamma_b}$$

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Estas fórmulas están graficadas en la Figura 1.8. Basándonos en estas curvas podemos hacer las siguientes aseveraciones:

- La probabilidad de error para todos los sistemas decrementa monóticamente conforme incrementa el valor de γ_b .
- Para cualquier valor de γ_b , la modulación PSK produce un error más pequeño que el otro sistema, y que cualquier otro sistema. En efecto, esto puede mostrar que en casos de contar con sistemas perturbados con ruido blanco, el sistema PSK es el óptimo para transmitir datos binarios en el sentido de que éste logra la mínima probabilidad de bit erróneo para un valor dado de γ_b .
- La modulación PSK requiere un γ_b que es 3 dB menor que el valor correspondiente para la modulación FSK para obtener la misma probabilidad de error.

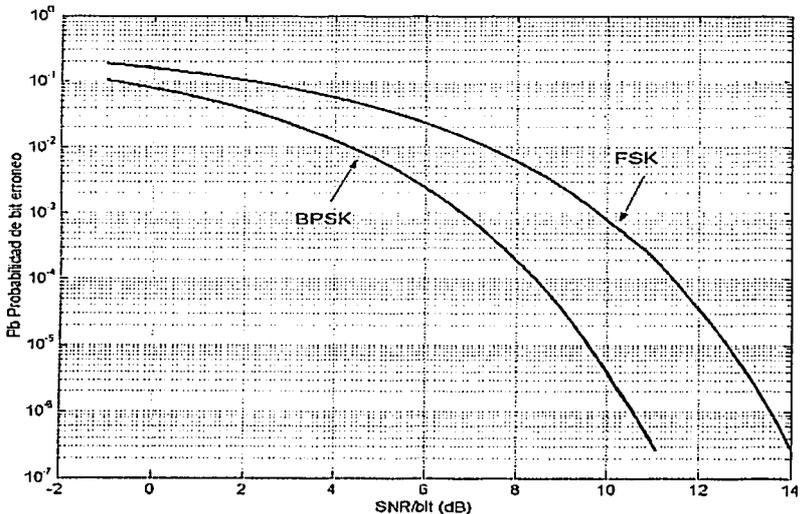


Figura 1.8. Comparación de la probabilidad de error para diferentes técnicas de modulación

2 SISTEMA DE MONITOREO DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS TRIFÁSICAS

De acuerdo a las actividades realizadas por el equipo de trabajo de la Coordinación de Instrumentación del Instituto de Ingeniería, se ha venido desarrollando una red para el monitoreo de las variables eléctricas más importantes de las subestaciones de distribución secundaria ubicadas en Ciudad Universitaria, a través de líneas telefónicas alámbricas.

Actualmente dicho sistema está compuesto por veinte *analizadores* ubicados en diversas subestaciones eléctricas de Ciudad Universitaria, así como de un *Puesto de Monitoreo Remoto*, localizado en la Coordinación de Instrumentación del Instituto de Ingeniería (edificio 12).

Esta red de monitoreo cuenta con el programa **SARE IV** ®, desarrollado en el lenguaje de LabView ® de National Instruments ®, para cumplir con las siguientes funciones:

- Programación del analizador ubicado en cada subestación eléctrica
- Monitoreo de valores instantáneos generados en las subestaciones eléctricas
- Captura de forma de onda y análisis espectral por fase
- Lectura y almacenamiento del perfil de consumo de energía eléctrica en un periodo establecido

Con la información obtenida del SARE IV ®, se puede determinar el consumo y la calidad de la energía eléctrica, así como presentar una evaluación de los avances en las acciones implementadas para su ahorro y uso eficiente en las instalaciones del campus de Ciudad Universitaria.

2.1 Descripción General

La red de monitoreo está diseñada para medir, procesar y almacenar el comportamiento de las variables eléctricas de cada subestación eléctrica, dentro de Ciudad Universitaria, inscrita al programa.

La transmisión de todos los datos hacia el *puesto de monitoreo*, se realiza por medio de la infraestructura de telefonía convencional de la UNAM, a través de los modems alámbricos.

Las variables mencionadas son importantes para determinar posteriormente la calidad en el suministro de la energía y su perfil de consumo.

Para llevar a cabo todas estas funciones, como se muestra en la Figura 2.1, la red de monitoreo consta de tres sistemas básicos:

- Sistema de medición de variables eléctricas.
- Sistema de comunicación.
- Sistema de monitoreo, almacenamiento y procesamiento de datos.

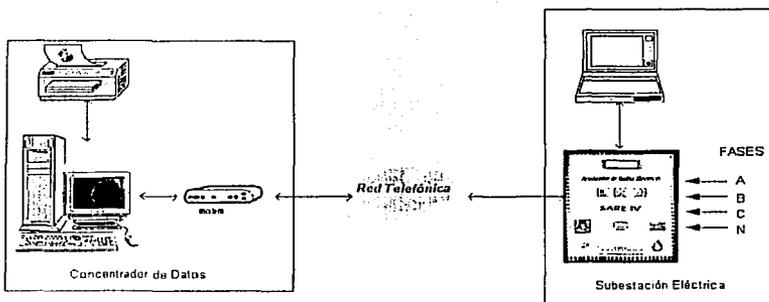


Figura 2.1. Esquema básico del Sistema de Monitoreo

2.2 Sistema de medición de variables eléctricas (Analizador de Redes Eléctricas)

La función de este sistema es el monitorear automáticamente las variables eléctricas en cada subestación con un tiempo de medición de 1 segundo y tiempo de integración programable desde 1 a 60 minutos.

Las variables a medir son:

- Voltaje eficaz por fase
- Corriente eficaz por fase
- Potencia real por fase
- Energía por fase y total
- Frecuencia por fase

La ubicación de los diferentes analizadores implementados, se listan en la Tabla 2.1:

Tabla 2.1. Lista de la ubicación de los analizadores

NO.	DEPENDENCIA	ESPECIFICACIONES
01	Facultad de Medicina Edificio "A-150"	150 KVA, 6000-220/127 VCA, 393.6 ACA, 60 HZ.
02	Facultad de Medicina Edificio "A-300"	300 KVA, 6000-220/127 VCA, 787.4 ACA, 60 HZ.
03	Facultad de Medicina Edificio "B" y "C"	500 KVA, 6000-220/127 VCA, 1312.2 ACA, 60 HZ.
04	Facultad de Medicina Edificio "D"	300 KVA, 6000-220/127 VCA, 787.4 ACA, 60 HZ.
05	Facultad de Medicina Edificio "Basamento"	300 KVA, 6000-220/127 VCA, 787.4 ACA, 60 HZ.
06	Facultad de Química Edificio "A"	500 KVA, 6000-220/127 VCA, 1312.2 ACA, 60 HZ.
07	Facultad de Química Edificio "B"	500 KVA, 6000-220/127 VCA, 1312.2 ACA, 60 HZ.
08	Facultad de Química Edificio "C-220"	225 KVA, 6000-220/127 VCA, 590.4 ACA, 60 HZ.
09	Facultad de Química Edificio "C-440"	150 KVA, 6000-440/254 VCA, 196.8 ACA, 60 HZ.
10	Facultad de Química Edificio "D"	750 KVA, 6000-220/127 VCA., 1968.5 ACA, 60 HZ.
11	Facultad de Química Edificio "Metalurgia"	750 KVA, 6000-440/254 VCA, 984.25 ACA, 60 HZ.

*Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.*

12	Facultad de Ingeniería Edificio "Principal"	500 KVA, 6000-220/127 VCA, 1312.2 ACA, 60 HZ.
13	Facultad de Ingeniería Edificio "Talleres"	500 KVA, 6000-220/127 VCA, 1312.2 ACA, 60 HZ.
14	Facultad de Ingeniería Edificio "Termofluidos"	300 KVA, 6000-220/127 VCA, 787.4 ACA, 60 HZ.
15	Posgrado de Ingeniería Edificio "A"	500 KVA, 6000-220/127 VCA, 1312.2 ACA, 60 HZ.
16	Posgrado de Ingeniería Edificio "B" y "C"	225 KVA, 6000-220/127 VCA, 590.5 ACA, 60 HZ.
17	Instituto de Ingeniería Edificio "1"	550 KVA, 6000-220/127 VCA, 1443.5 ACA, 60 HZ.
18	Instituto de Ingeniería Edificio "12"	300 KVA, 6000-220/127 VCA, 787.4 ACA, 60 HZ.
19	Torre de Rectoría	500 KVA, 6000-220/127 VCA, 1312.2 ACA, 60 HZ.
20	Dirección General de Obras y Conservación "Talleres"	300 KVA, 6000-220/127 VCA, 787.4 ACA, 60 HZ.

El sistema de medición o analizador de redes, está constituido por diversos elementos:

a) **Transformadores de corriente:** Fueron seleccionados de acuerdo a la capacidad nominal de corriente en el transformador secundario de cada subestación; su salida se normalizó a 5 Amperes. La precisión empleada es de 0.6 a 1.2, dependiendo de la escala máxima obtenida con una carga de 2.5 VA. El aislamiento es de 600 Vca, y su forma física puede ser circular, ovalada, rectangular o de núcleo partido.

b) **Convertidor de corriente a voltaje:** Está basado en una resistencia de baja impedancia y alta potencia con una protección por fase para sobre voltaje, tal como lo muestra la Figura 2.2. Este elemento está montado en un gabinete metálico y sus datos técnicos se presentan en la Tabla 2.2.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

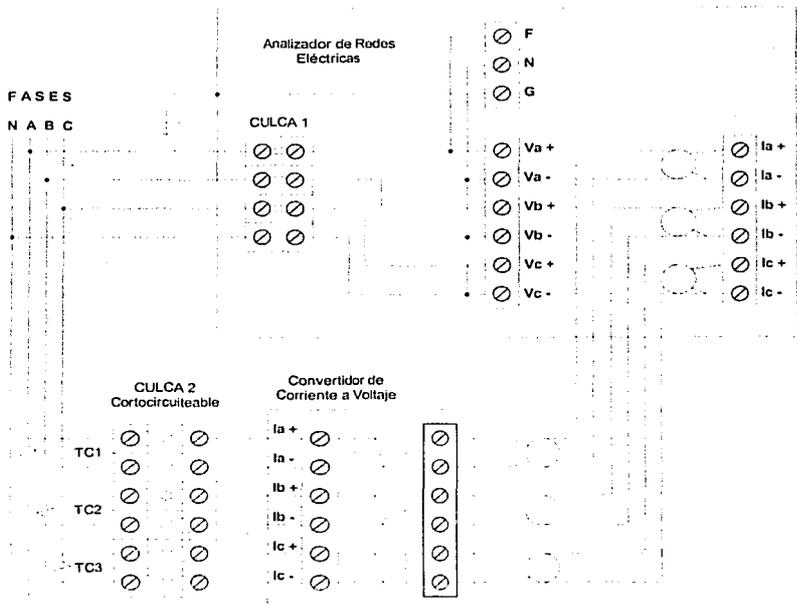
*Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.*

Tabla 2.2. Especificaciones técnicas del convertidor de corriente a voltaje

PARÁMETRO	ESPECIFICACIÓN
Corriente de entrada nominal	5 Arms
Voltaje de salida nominal	1 Vrms
Consumo de potencia máximo	5 Watts
Sobre corriente	7.071 Arms
Sobre voltaje	20 Vrms, 10 Arms, 1 mseg
Tipo de sensor por fase	Resistencia de alambre
Resistencia	0.2 Ω
Potencia	10 Watts
Tolerancia	10%
Temperatura de operación	-55 a + 275 °C
Calibre de las terminales axiales de cobre electrolítico de doble estaño	20 AWG

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

**Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.**



Notas:

Todos los cables unifilares son TWH calibre 14, 600 Vca

Todos los cables bifilares son AWG calibre 18 con malla

Para cualquier trabajo con el analizador cortocircuitar los transformadores de corriente TC's

Figura 2.2. Esquema de las conexiones eléctricas

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

c) **Panel frontal:** Permite la visualización en sitio de las variables eléctricas a través de una interfaz integrada por una pantalla fluorescente de 16 caracteres - 2 renglones, un teclado de 3 funciones y un programa de control creado en lenguaje ensamblador, como lo muestra la Figura 2.3.

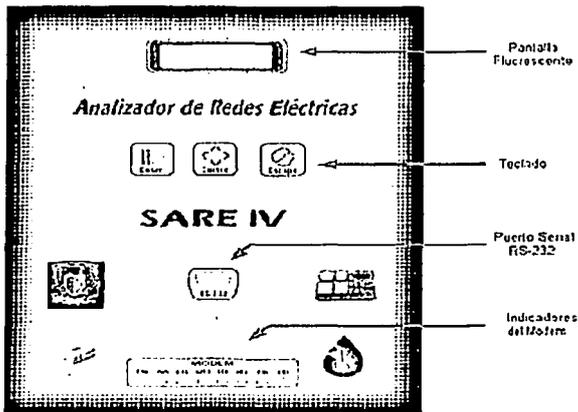


Figura 2.3. Vista frontal del Analizador de Redes Eléctricas (SARE IV ©)

Los indicadores del modem que se presentan en el panel frontal, son los siguientes:

- | | |
|------------------------|---|
| • TM (Test Mode): | Modo de prueba |
| • AA (Auto Answer): | Respuesta automática |
| • HS (High Speed): | Comunicación a una velocidad mayor a 4800 bps |
| • OH (Off Hook): | Control de línea telefónica para marcación |
| • SD (Send Data): | Transmisión de datos |
| • RD (Received Data): | Recepción de datos |
| • TR (Terminal Ready): | Comunicación entre el analizador y un modem |
| • CD (Carrier Detect): | Comunicación con otro modem. |

d) **Comunicación remota:** Se tiene una interfaz para comunicación remota vía telefónica basada en un puerto de comunicación RS-232 acoplado ópticamente y un modem compatible con comandos AT, configurado para transmitir los datos a una velocidad de 9600 bps.

**Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C. U.**

Las características del modem marca Bocamodem ® se enuncian en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Especificaciones del modem

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de transmisión de datos: 14.4k, 12k, 9.6k, 7.2k, 4.8k, 2.4k, 1.2k, 300 bps • Protocolos de transmisión de datos: V.34, V.32bis, V.32, V.23, V.22bis, V.22, V.22A/B, V.21 • Compatible con comandos AT • Conexión serial ITU-T V.24 (EIA/TIA-232-E) • Corrección de Errores: V.42 LAPM, MNP 2-4, MNP10-EC • Compresión de datos: V.42bis, MNP5 • Compatible para sistemas IBM ® y Macintosh ®

e) **Comunicación local:** Para lograr establecer comunicación con una computadora de forma local, se cuenta con un puerto RS-232 acoplado ópticamente y un adaptador (Figura 2.4). Se debe instalar el programa SARE IV ® en la PC para así controlar el analizador y poder leer, procesar, graficar, almacenar e imprimir los valores deseados. Esta alternativa de comunicación con el dispositivo analizador se utiliza cuando existe una deficiencia en la comunicación telefónica o cuando se presenta alguna falla en el modem.

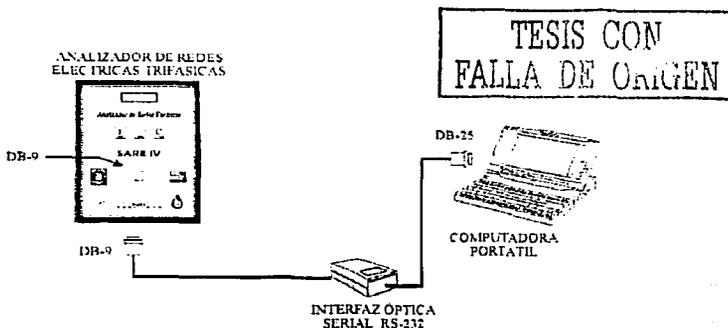


Figura 2.4. Acoplamiento óptico del Analizador de Redes

2.3 Sistema de comunicación

Este sistema está basado en la red telefónica convencional existente, operada por DGSCA, y emplea modems compatibles con comandos AT (descritos en la Tabla 8.1 – Apéndice A), programados para transmitir la información a una velocidad de 9600 bps, y que se encuentran ubicados en cada subestación eléctrica y en el puesto de monitoreo remoto. La comunicación se puede efectuar utilizando una línea directa o un número de extensión no digital compartida con alguna oficina.

2.4 Sistema de monitoreo y almacenamiento de datos

Está integrado básicamente por una computadora que tiene instalado el software SARE IV ®. Dicho programa controla automáticamente la comunicación telefónica y tiene la capacidad de reportar si hay alguna falla al inicio del enlace o durante la transmisión de los datos. Sus funciones principales son:

- Configuración del analizador de redes eléctricas
- Cambio de la clave de acceso y aseguramiento de la ejecución del programa.
- Configuración y prueba de los puertos de comunicación remota.
- Creación y edición de una base de datos, ordenada por áreas y por subestaciones.
- Selección y establecimiento de un enlace remoto a partir de la base de datos.
- Marcación automática y verificación del enlace remoto vía telefónica.
- Monitoreo continuo de valores instantáneos.
- Captura de forma de onda y análisis espectral de todas las fases.
- Lectura, graficación y almacenamiento del perfil de consumo.

En la Tabla 2.4 se enuncian las características mínimas que debe poseer el equipo de cómputo para poder operarlo como concentrador de datos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 2.4. Especificaciones del equipo de cómputo

PARÁMETRO	ESPECIFICACIÓN
Procesador	Pentium II a 230 MHz
Memoria RAM	32 Mbytes
Disco duro	1 Gbyte
CD-RW	Lectura/escritura, 24X
Unidad de disco flexible	1.44 Mb de 3 5"
Modem interno o externo	A 14.4 kbps, compatible con comandos AT
Puerto Serial	Compatible con RS-232

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

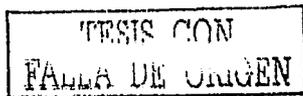
3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El presente proyecto de investigación, perteneciente a la Coordinación de Instrumentación del Instituto de Ingeniería de la UNAM, está dirigido al desarrollo de un sistema de adquisición de datos para el monitoreo de las diversas subestaciones eléctricas trifásicas de Ciudad Universitaria. La obtención e interpretación de dichos datos permitirá la toma de decisiones preventivas y/o correctivas, así como la medición de variables eléctricas que darán a conocer la funcionalidad en tiempo real de las subestaciones. La configuración de los equipos se basa en la arquitectura cliente/servidor, por medio del software de instrumentación y adquisición de datos LabView ® de National Instruments ®.

El proyecto, en su primer etapa, fue desarrollado bajo un sistema que utiliza la infraestructura convencional de telefonía por cobre; éste presenta una tasa máxima de transferencia de 9600 kbps mediante un modem genérico externo, así como problemas de conectividad, debido a la saturación de líneas que actualmente existe en el conmutador principal ubicado en el edificio de DGSCA. Estas premisas impiden un monitoreo constante y eficiente de cada una de las subestaciones, perdiendo así la finalidad perseguida al principio del proyecto.

Los dos puntos anteriores, baja tasa de transferencia y problemas en la disponibilidad de enlace, son las causas de la búsqueda de una solución alterna basada en un sistema inalámbrico, que ofrezca soluciones adecuadas y presente mejoras importantes al sistema, como pueden ser:

- Mayor ancho de banda
- Mayor tasa de transmisión
- Disponibilidad de enlace



*Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.*

- Confidencialidad de la información
- Baja tasa de bit erróneo
- Recuperación de paquetes
- Movilidad del equipo cliente
- Bajo costo de mantenimiento y de operación
- Reducción de trabajos de instalación

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4 ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS INALÁMBRICOS

A continuación describiremos de forma breve y concreta los tres tipos de comunicación inalámbrica considerados factibles para la integración al proyecto. Al final de este capítulo se presentarán dos cuadros comparativos de las ventajas y desventajas de los sistemas descritos.

4.1 Enlace dedicado de Microondas

4.1.1 Introducción

Los principales objetivos de la comunicación en los sistemas de enlace dedicado de microondas incluyen:

- Alta calidad de transmisión que ofrece varios servicios como voz, datos, video, e interconexiones LAN, con una aceptable relación de bit erróneo.
- Sistemas de tiempo y transporte que ofrecen bajo costo en servicios de transmisión y un rápido retorno de inversión.
- Alta flexibilidad en servicios que ofrecen variedad de interfaces para proporcionar cualquier tipo de transmisión y la habilidad para aumentar o disminuir la tasa de transferencia acorde a las necesidades.
- Integración fácil en otras redes de servicios, como el de telefonía local, de larga distancia, gateways y redes privadas.

Mientras la frecuencia de operación se incrementa, la propagación de las ondas de radio comienza a tomar una trayectoria en línea recta. Esta forma de propagación permite la reutilización de frecuencias en distancias cortas, tantas veces como sea posible, sin que este proceso interfiera otro enlace. Este reuso representa un beneficio dentro de un espectro electromagnético de frecuencias limitado.

4.1.2 Funcionamiento

Los componentes de un enlace dedicado de microondas son: *transmisor*, *receptor*, *antenas*, *torres* y el concepto de *línea de vista*. Este tipo de sistema tiene al aire como medio de comunicación. El esquema se muestra en la Figura 4.1.

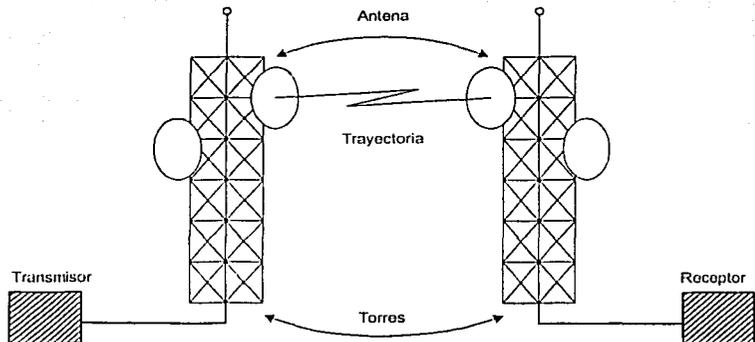


Figura 4.1. Componentes básicos de un enlace dedicado de microondas

4.1.2.1 Transmisores

El transmisor consiste en un modulador que introduce la información en una señal portadora, en un convertidor de frecuencia de entrada-salida, un dispositivo amplificador de salida para aumentar la señal para distancias largas de transmisión, y un acoplador a la antena con un circulador para combinar o separar las señales recibidas de las señales transmitidas para que ambas sean usadas en una misma antena. En la Figura 4.2 se muestra un diagrama conceptual de transmisión.

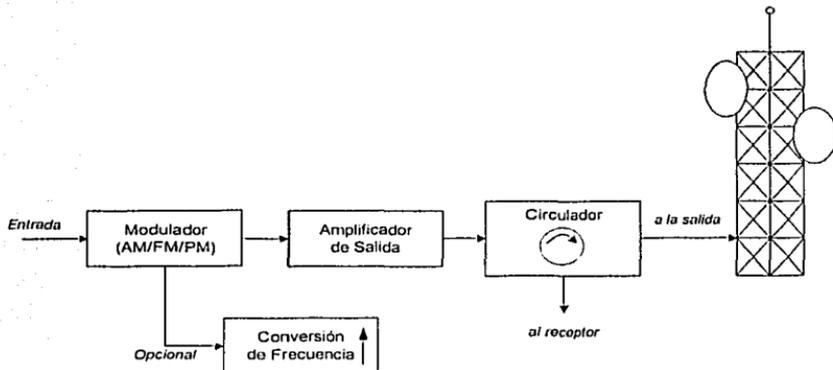


Figura 4.2. Componentes básicos de un transmisor

4.1.2.2 Receptores

Consiste en otro circulador que separa las señales recibidas de las transmitidas por una misma antena, un convertidor para bajar la frecuencia, y un demodulador para recuperar la información de la señal portadora. En la Figura 4.3 se muestra un diagrama conceptual de recepción.

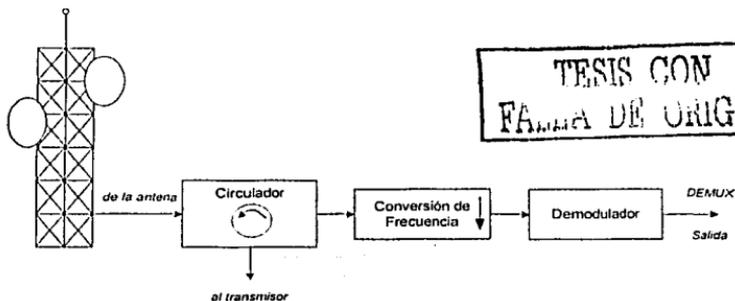


Figura 4.3. Componentes básicos de un receptor

4.1.2.3 Antenas

Una vez que han sido seleccionadas la frecuencia banda y el sistema de radiocomunicación, la antena a utilizar debe ser la adecuada para proporcionar un desempeño óptimo, asegurando alta fiabilidad de la transmisión, un proceso fácil de selección de frecuencia, y proveer un funcionamiento de acuerdo a normas. La antena es un enlace crítico entre el transmisor y el receptor. Para transmisiones punto a punto, la antena es altamente directiva, con forma parabólica o de corneta. Algunas de las consideraciones para seleccionar la antena son:

- a) El ancho de banda debe soportar la frecuencia de operación con distorsión mínima.
- b) La antena debe satisfacer las limitaciones regulatorias.
- c) La ganancia es una relación de potencia directamente proporcional al tamaño. A una antena más grande, la ganancia es mayor.

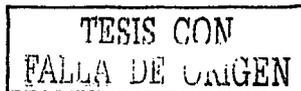
La antena parabólica es un reflector de plato curvado que recoge la energía de la señal y la dirige a un punto ubicado en el foco llamado alimentador. Estas antenas soportan todas las bandas de frecuencias y pueden ser clasificadas por normatividad o por su alto desempeño.

La antena de corneta utiliza una superficie parabólica con una corneta montada debajo de una sección del plato. El alimentador corneta está posicionado de tal forma que éste no interfiere la trayectoria principal de radiación. Las cornetas ofrecen mejoras sobre patrones de radiación, operan en varias bandas de frecuencia y proporcionan mejor desempeño que las parabólicas. Sin embargo, su instalación es más compleja, por su tamaño y peso, y además su costo es elevado.

4.1.2.4 Torres

Las torres juegan un papel importante en un sistema de enlace dedicado de microondas, son usadas para garantizar la línea de vista entre los sistemas ya que sobreponen los obstáculos y se adecuan a la curvatura de la Tierra a lo largo de la trayectoria. Varios factores deben considerarse al escoger una torre:

- Costo
- Restricciones regulatorias
- Tráfico aéreo en el área
- Condiciones terrestres y aéreas



- Clima (viento)
- Soporte propio o construcciones firmes
- Características de guía de onda

Las torres normales son prefabricadas y entregadas en secciones para ensamblarse en sitio. Las torres firmes son las más económicas, mientras que las autoportadas son más pesadas y más caras, y se utilizan cuando se requieren antenas más altas o cuando se necesitan plataformas para montar la antena. Las torres autoportadas pueden ser triangulares o cuadradas, aunque se prefieren las de tipo triangular por que proporcionan una mayor estabilidad al movimiento.

4.1.2.5 Trayectoria

La trayectoria de una señal de radiocomunicación está compuesta por una onda directa, una onda reflejada y una onda de superficie. Éstas se combinan para formar la onda terrestre. Otra porción de la onda, la onda refractada, es una función de las condiciones atmosféricas. La Figura 4.4 muestra la trayectoria entre dos antenas con los componentes resaltados. Cada uno de estos componentes afecta la transmisión de las señales de radio en términos de pérdida (atenuación) y distorsión. En sistemas de microondas, la onda directa o de libre espacio es el control de esas influencias. Sin embargo, la onda refractada debe ser considerada como un impedimento para obtener una alta calidad de transmisión, porque éste puede causar desvanecimiento por multitrayectoria.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

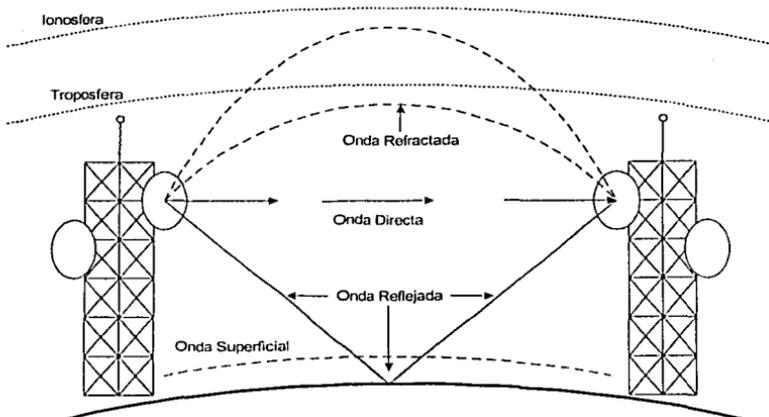


Figura 4.4. Propagación de las ondas a lo largo de la trayectoria

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.2 Enlaces Satelitales

4.2.1 Introducción

El 1945, Arthur C. Clarke sugirió la colocación de satélites artificiales en una órbita tal que al observarlos desde un punto fijo sobre la superficie terrestre pareciera que estuviesen fijos. Dicha característica tendría grandes ventajas: se simplificaría su operación y el costo de los equipos terrestres disminuiría con respecto al uso de otras órbitas. Por si fuera poco, el mundo estaría casi totalmente intercomunicado con sólo 3 satélites colocados en dicha órbita, denominada posteriormente como *geostacionaria*, la cual se ubica a 36000 km sobre el nivel del mar.

En los años 90's comenzaron a desarrollarse otros proyectos para colocar satélites de menor peso y costo a altitudes más cercanas a la superficie terrestre, en trayectorias circulares llamadas *órbitas bajas e intermedias*. Algunas empresas formaron "constelaciones" para lograr una comunicación constante en regiones importantes de la Tierra.

En un principio, las comunicaciones satelitales representaron un cambio radical en el procesamiento de llamadas de larga distancia. Como una alternativa de cableado para comunicaciones internacionales, la transmisión satelital fue muy competitiva. Más lejos, en áreas rurales y de bajo desarrollo, ésta provee soluciones rápidas de conectividad para usuarios con un limitado número de canales de alta frecuencia y permitía amplio ancho de banda en áreas donde no tenían una infraestructura de cableado. Finalmente, la transmisión satelital de señales de televisión de alta calidad proporcionaron mejor recepción, al igual que un nuevo acceso a la información.

4.2.2 Funcionamiento

Todas las señales provenientes de la Tierra con una determinada frecuencia, y dentro de cierta banda, entran al satélite por medio de la antena receptora. En el interior del aparato, las señales son separadas por grupos, amplificadas, en algunos casos procesadas digitalmente, y trasladadas a frecuencias más bajas dentro del espectro electromagnético; posteriormente son amplificadas aún más y reagrupadas, para que todas se envíen de regreso hacia la Tierra, a través de la antena transmisora. La palabra "grupo" se refiere a un canal de banda ancha; el número de grupos o canales de banda ancha que son amplificados y procesados en paralelo es variable, dependiendo del diseño del sistema. Generalmente los satélites comerciales que trabajan en las bandas C y Ku para una determinada polarización, cuentan con doce canales. Cada canal tiene un ancho de banda de varios MHz y pueden contener uno, algunos o cientos de canales de datos, de

telefonía o de televisión, según las tasas de transmisión y las técnicas empleadas (modulación, multiplexaje y acceso múltiple).

A cada canal de banda ancha o de microondas se le denomina *transpondedor*. Uno de ellos contiene toda la cadena de unidades o equipos interconectados en serie, desde la antena receptora hasta la antena transmisora (Figura 4.5); algunas unidades o equipos, por ejemplo el amplificador de bajo ruido o el demultiplexor de entrada, son comunes o compartidos entre todos los transpondedores. El término transpondedor es una traducción no muy ortodoxa de *transponder*, que en inglés es una contracción o mezcla de los vocablos *transmitter-responder* y se usa para designar a un equipo receptor empleado en aeronáutica para el sistema de radar. Aunque el transpondedor de un satélite es muy diferente, el término sigue en uso, dado que las señales son repetidas o retransmitidas por éste hacia la Tierra.

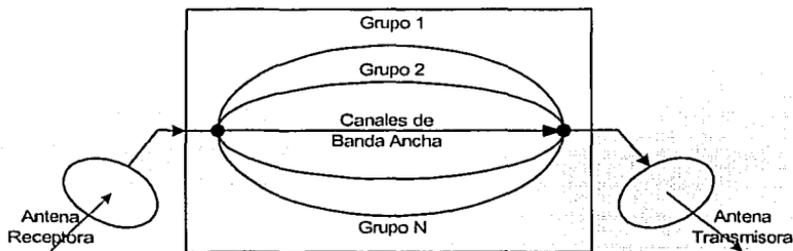


Figura 4.5. Diagrama simplificado de antenas y transpondedores

4.2.3 Estaciones terrenas y terminales móviles

El satélite funciona como nodo o punto intermedio de la red de comunicación a la que pertenece. Una *estación terrena* consiste en una serie de equipos interconectados entre sí, de los cuales el más representativo y conocido es la antena. El término se utiliza para indicar todo equipo terminal que se comunica desde la Tierra con un satélite, sin importar si se encuentra fijo en algún punto, o móvil, al ser instalado en un auto, barco o avión.

En el caso de las comunicaciones personales móviles, donde la unidad de enlace es muy pequeña y portátil, similar a un teléfono celular, es más apropiado utilizar el concepto de *terminal móvil* o *terminal de usuario*. En la Figura 4.6 se muestra un diagrama de bloques de una estación terrena, aunque puede ser más sencilla.

*Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.*

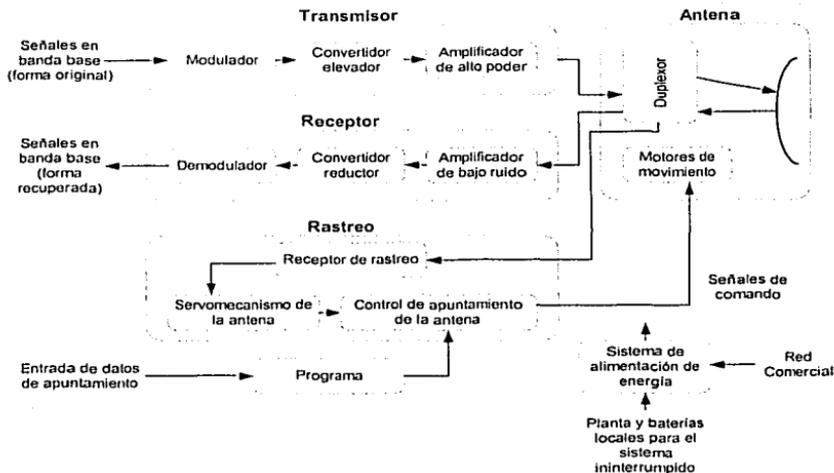


Figura 4.6. Diagrama de bloques de una estación terrena

En cuanto a las características de radiación, todas las estaciones terrenas que tengan antenas pequeñas no requieren de un sistema de rastreo, mientras que las antenas de gran tamaño sí lo necesitan para conservar el haz angosto directivo, apuntado hacia el satélite.

En estos sitios, la antena se utiliza tanto para transmitir como para recibir información, por lo que se interconectan los bloques de transmisión y recepción a través de un *duplexor*.

4.2.4 Bandas y frecuencias asignadas

La capacidad de tráfico de un satélite está limitada por dos factores: ancho de banda y potencia de los amplificadores. La ITU (*International Telecommunications Union*) ha asignado, para los satélites actuales de comunicaciones, las bandas VHF (*Very High Frequency*), UHF (*Ultra High Frequency*) y SHF (*Super High Frequency*). Estas bandas son muy amplias y han sido divididas por conveniencia en sub-bandas, también conocidas como "bandas"; así, UHF contiene las bandas

L y S, mientras que SHF incluye a las bandas C, X, Ku y Ka, que son empleadas actualmente por satélites civiles y militares para diferentes tipos de servicios. Los tres principales servicios, definidos por la ITU y por la FCC (*Federal Communications Commission*) de los E.U.A, son conocidos por las siglas FSS (*Fixed Satellite Service*), MSS (*Mobile Satellite Service*) y BSS (*Broadcast Satellite Service*).

4.2.4.1 FSS (Servicio Satelital Fijo)

FSS o servicio fijo por satélite, es un término genérico que se aplica a todo servicio de comunicaciones que no sea ni móvil ni de radiodifusión. La mayoría de los satélites de comunicaciones corresponde a esta categoría.

4.2.4.2 MSS (Servicio Satelital Móvil)

MSS o servicio móvil por satélite, se refiere a toda comunicación entre dos puntos arbitrarios en tierra firme, aire o mar; uno de estos puntos puede estar cambiando de posición, o bien ambos.

4.2.4.3 BSS (Servicio Satelital de Radiodifusión)

BSS o servicio de radiodifusión por satélite, es una categoría especial en la que las señales transmitidas son recibidas directamente en los hogares. También suele llamársele DBS (*Direct Broadcast Service*) o DTH (*Direct-To-Home*).

Cada servicio tiene sus propias bandas de frecuencias, y los límites inferior y superior de cada una de ellas pueden variar dependiendo de la región.

Las bandas VHF, UHF, y en particular la L, son usadas generalmente para comunicaciones móviles con ancho de banda limitado; la S también es empleada para comunicaciones móviles y ciertos servicios de recepción de televisión; la L y la S tienen frecuencias centrales cercanas a 1.5 GHz y 2 GHz, respectivamente, pero su ancho de banda disponible es muy pequeño en comparación al de las bandas de frecuencias superiores.

Las bandas C y Ku son las más usadas actualmente por los satélites comerciales, pero como ya es casi imposible dar nuevas posiciones para más satélites que trabajen en estas bandas sin interferir con satélites vecinos ya existentes, también ha comenzado a ser aprovechada la banda Ka. Esta banda tiene un ancho muy atractivo de 3500 MHz, aunque no necesariamente tenga que ser empleado todo a la vez por cada satélite en cuestión, ya que se requeriría de

muchísima potencia. Además su principal desventaja es que cuando llueve los niveles de atenuación a esas frecuencias son mucho mayores que en las bandas C y Ku; por ello, la disponibilidad de diseño de los enlaces en banda Ka (típicamente 99.5%) es menor que la de los correspondientes en las bandas C y Ku. Finalmente la banda X está reservada para transmisiones militares y gubernamentales.

Tabla 4.1 Frecuencias asignadas para FSS y BSS con satélites geoestacionarios en la Región 2 ITU

BANDA [GHZ]	ENLACE ASCENDENTE [GHZ]	ENLACE DESCENDENTE [GHZ]	SERVICIO
C: 6/4	5.925 – 6.245 (Bw: 500 MHz)	3.700 – 4.200 (Bw: 500 MHz)	FSS
X: 8/7	7.900 – 8.400 (Bw: 500 MHz)	7.250 – 7.750 (Bw: 500 MHz)	Comunicaciones Militares
Ku: 14/12	14.0 – 14.5 (500 MHz)	11.7 – 12.2 (Bw: 500 MHz)	FSS
Ku: 17/12	17.3 – 17.8 (Bw: 500 MHz)	12.2 – 12.7 (Bw: 500 MHz)	BSS
Ka: 30/20	27.5 – 31.0 (Bw: 3500 MHz)	17.7 – 21.2 (Bw: 3500 MHz)	FSS
Q/V: 50/40	Banda V 47.2 – 50.2 (Bw: 3000 MHz)	Banda Q 39.5 – 42.5 (Bw: 3000 MHz)	FSS

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

4.3 Sistema Inalámbrico Celular

4.3.1 Introducción

Los primeros sistemas móviles convencionales se componían de pocos canales y éstos se utilizaban para atender una zona geográfica autónoma, es decir, que el usuario que iniciaba una llamada dentro de una zona tenía que reiniciar la llamada si se movía a una zona diferente. El área de cobertura era lo más grande posible, hasta que la potencia transmitida no rebasara los niveles permitidos.

A finales de los años 60's, se comenzó el trabajo para el primer sistema de telefonía celular. Se empleó el término "celular" para dividir el área de cobertura en varias regiones geográficas pequeñas compuestas por un transmisor de baja potencia. Se evitaron los cortes de comunicación al cambiar de célula y se implementó el reuso de frecuencias.

Los avances y cambios más importantes en la tecnología de la telefonía celular a lo largo del tiempo hizo que se definieran tres grupos llamados "generaciones", para distinguirlos acorde a sus características.

En este documento sólo describiremos la primera y segunda generación, dado que ya han sido implementadas en nuestro país. La tercera generación aún no se ha desarrollado completa y satisfactoriamente.

4.3.1.1 Primera Generación (1G)

Aparece en el año de 1979, cuya característica principal es ser una tecnología analógica y orientada únicamente a transmitir voz. Su calidad era muy baja, con enlaces a 2400 baudios y sin medidas de seguridad o encriptación.

Los sistemas de 1G ofrecieron un servicio con costos muy elevados y con la misma finalidad que se ofrece hoy en día: realizar y recibir llamadas en cualquier punto del que se tenga cobertura, con movilidad al cambiar de célula. En ese mismo periodo existían diversas normas en el mercado, había un consumo grande de frecuencias y los sistemas eran de tecnología propietaria, lo que implicaba un difícil mantenimiento de los equipos.

En la Tabla 4.2 se muestran los sistemas pertenecientes a la 1G:

Tabla 4.2. Sistemas de 1G de telefonía celular

SISTEMA	AÑO	# DE CANALES	ESPACIADO [kHz]
NTT-450	1979	2400	6.25
NMT-450	1981	180	25
AMPS	1983	832	30
TACS-900	1985	1000	125
RC-2000	1985	560	12.5
C-450	1986	573	10
RTMS	1986	200	25
NMT-900	1986	1999	12.5
ETACS	1997	1240	25
JTACS	1991	800	12.5

4.3.1.2 Segunda Generación (2G)

Fue hasta 1990 que llegó la 2G, caracterizada por utilizar tecnologías digitales y utilizando protocolos de codificación más sofisticados.

Esta generación soporta velocidades más altas para voz, y se ofrecen los servicios de fax y de mensajes cortos (*Short Message Service*), pero limitados en velocidad.

La ventaja que presentan los equipos terminales o teléfonos celulares de la 2G con respecto a los de 1G, es la utilización de una fuente de alimentación o batería de menor tamaño y con mayor duración, por lo que podemos concluir que se utiliza una menor potencia para su funcionamiento. Se ofrecen servicios de valor agregado, llamadas con mejor calidad y mejor recepción en lugares cerrados.

Las siguientes tecnologías se consideran como 2G:

- Global System for Mobile Communications (GSM) basado en TDMA
- IS-136 (TIA / EIA 136 o ANSI 136) basado en TDMA

- IS-95 basado en Code Division Multiple Access (CDMA)
- Cordless Telephone System (CTS GSM)
- DCS 1800 o GSM 1800 (Digital Cordless Standard)
- JS-008 (basado en CDMA @ 1900)
- TETRA
- GMSS (interfaz satelital)
- Personal Digital Communications (PDC) utilizado en Japón

4.3.2 Técnicas de acceso múltiple para comunicaciones inalámbricas

4.3.2.1 Técnicas de Duplexación

Los esquemas de acceso múltiple son usados para permitirle a varios usuarios móviles compartir de manera simultánea una porción finita del espectro electromagnético, con la finalidad de obtener una mayor capacidad sin degradar el desempeño del sistema.

La duplexación se puede realizar usando técnicas en el dominio de la frecuencia o del tiempo. La duplexación por división de frecuencia (FDD) requiere de dos diferentes bandas o frecuencias para cada usuario. La banda superior lleva el tráfico de la radiobase al móvil (*downlink*), y la banda inferior porta el tráfico del equipo móvil a la radiobase (*uplink*). En FDD, cualquier canal duplex consiste en dos canales simplex, y se utiliza un dispositivo duplexor en cada unidad móvil y radiobase para permitir transmisión y recepción simultánea. La distancia en frecuencia entre los canales de bajada y subida es constante.

La duplexación por división de tiempo (TDD) usa el tiempo en vez de la frecuencia para ofrecer los enlaces de bajada y subida. Si la separación en tiempo entre las ranuras de tiempo de bajada y subida es pequeña, entonces la transmisión y recepción de datos aparece de forma simultánea al usuario. TDD permite la comunicación sobre un solo canal, y simplifica el equipo móvil al no requerir duplexores.

4.3.2.2 Acceso Múltiple

Las tres técnicas de acceso (Figura 4.7) más utilizadas en los sistemas de comunicación inalámbrica son: *Frequency Division Multiple Access* (FDMA), *Time Division Multiple Access* (TDMA) y el *Code Division Multiple Access* (CDMA).

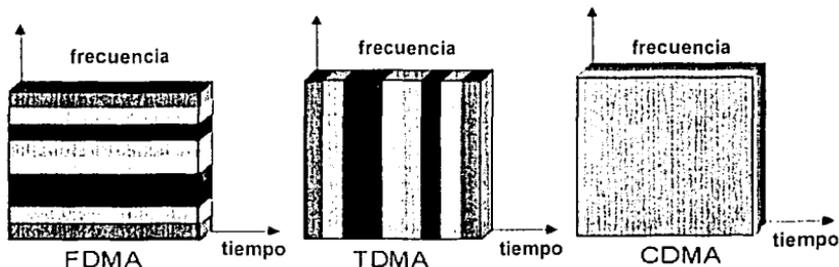


Figura 4.7. Gráficas del comportamiento de las técnicas de acceso múltiple

4.3.2.2.1 FDMA

Esta técnica asigna canales individuales a usuarios individuales. Se puede observar en la Figura 4.7 que a cada usuario se le otorga una frecuencia o canal único. Los canales son otorgados de acuerdo a la demanda de los usuarios que solicitan el servicio. Durante el lapso de la llamada ningún otro usuario puede utilizar la misma frecuencia.

Las características principales del FDMA son las siguientes:

- Requiere filtros de costo elevado para minimizar la interferencia de canal adyacente
- El canal asignado sólo puede llevar una llamada telefónica a la vez
- Debe estar completamente liberado el canal para ser utilizado por otro usuario
- Los anchos de banda son relativamente angostos (30 khz)
- La interferencia intersímbolo es baja, por lo que no se requiere equalización al trabajar en banda angosta
- Las unidades móviles FDMA utilizan duplexores debido a que operan el transmisor y receptor al mismo tiempo
- A cada llamada se le asigna una portadora

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En este sistema muchos canales comparten la misma radiobase y la misma antena, por lo que se presentan frecuencias de intermodulación que pueden interferir con otros canales por medio de armónicas indeseables.

4.3.2.2.2 TDMA

Los sistemas de TDMA dividen el espectro electromagnético en ranuras de tiempo (*time slot*). A cada usuario se le asigna una ranura de tiempo más que un segmento de frecuencia, el ancho de banda completo está disponible para la duración de la ranura de tiempo asignada al usuario.

Para este sistema se requiere únicamente una portadora, ya que cada usuario accesa a la portadora durante 1 n del tiempo, y hay generalmente una secuencia ordenada en la sucesión de ranuras de tiempo. En la figura Figura 4.7 se muestra a grandes rasgos el comportamiento.

TDMA es considerado como un sistema de almacenaje y de ráfaga. El tráfico que llega del usuario se almacena en memoria, y cuando toca el turno para que el usuario transmita, el tráfico acumulado se transmite mediante una ráfaga digital (*digital burst*).

Las características principales del TDMA son las siguientes:

- La transmisión de datos para los usuarios no es continua, se realiza por medio de ráfagas
- El proceso de *handoff* es más simple para la unidad móvil, ya que es posible que "escuche" a otras estaciones durante las ranuras de tiempo inactivas
- Se utiliza el *Mobile Assisted Handoff* (MAHO), que es una transferencia de llamada asistida por la unidad móvil al "escuchar" sobre un slot inactivo en la trama de TDMA
- No se requieren duplexores
- El tiempo de guarda debe ser minimizado
- Se requieren encabezados de alta sincronización debido a las transmisiones ráfagas. Las transmisiones en TDMA son ranuradas, por lo que requiere sincronizados los receptores para cada ráfaga de datos.
- La transmisión de varios usuarios es llevada en una estructura de trama repetitiva (Figura 4.8)

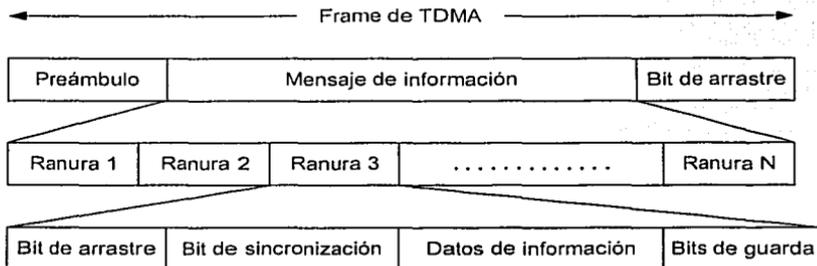


Figura 4.8. Estructura del encabezado de TDMA

4.3.2.2.3 CDMA

CDMA se basa en el concepto de *Espectro Disperso*, del cual existen dos tipos:

- Frequency Hopping Spread Spectrum ó de Salto en Frecuencia
- Direct Sequence Spread Spectrum ó Secuencia Directa (Pseudoruido)

Para cuestiones de telefonía celular, se utiliza la Secuencia Directa. Se comprende por una secuencia de códigos llamada *pseudoruido (PN)*, con una tasa de velocidad llamada *chip*, la cual tiene una magnitud mucho mayor a la velocidad de los datos del mensaje. En este sistema se utiliza la misma frecuencia de portadora con una transmisión simultánea. En la Figura 4.7 se muestra el comportamiento.

Cada usuario tiene su propio código de palabra pseudoaleatoria, la cual es prácticamente ortogonal a los demás códigos de palabra. El receptor desarrolla una operación de correlación en el tiempo para detectar únicamente el código de palabra deseado. Los demás códigos de palabra aparecen como ruido, operando independientemente sin conocimiento de los demás usuarios.

Las características principales del CDMA son las siguientes:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Conforme el número de usuarios sea mayor, el desempeño del sistema se corromperá gradualmente para todos los usuarios
- Los desvanecimientos por multirayectoria se pueden reducir al dispersarse la señal en un amplio espectro.
- Las velocidades de los canales son muy altas, por lo que la duración del chip es muy corta y usualmente mucho menor que el retardo esparcido por el canal. Debido a que las secuencias de *PN* tienen una baja autocorrelación, las multirayectorias que son retrasadas por más de un chip se interpretarán como ruido.
- El *receptor Rake* es utilizado para mejorar la recepción, capturando versiones de tiempo retardado de la señal requerida.
- Se presenta *autointerferencia*, causada por las secuencias esparcidas que no son ortogonales con exactitud.

4.3.3 Generalidades de los sistemas de telefonía celular

La característica esencial de las redes celulares es que el enlace final entre el suscriptor y la red fija se realiza por medio de ondas de radio, lo cual obliga a considerar los siguientes puntos:

- La porción de espectro electromagnético disponible para comunicaciones móviles es limitada.
- El medio ambiente está sujeto a la propagación por multirayectoria, desvanecimiento e interferencia.
- El suscriptor está capacitado para moverse y dicho movimiento debe ser captado por la red de telefonía, de tal forma que no se pierda la comunicación.

4.3.3.1 Concepto de célula

La intención de este concepto es utilizar varias antenas de baja potencia para atender regiones geográficas pequeñas, dividiendo así una gran ciudad en pequeñas áreas de cobertura llamadas *células*. De esta forma es posible reutilizar la misma frecuencia en distintas células con la técnica denominada *reuso de frecuencia*. Se utiliza una figura hexagonal para la representación de las células, con la finalidad de que el análisis técnico tenga una referencia de área geométrica casi similar a la de una circunferencia, siendo las caras del hexágono las fronteras (traslapes) con las otras células. En realidad el área de cobertura puede variar según la potencia y la dirección asignada a cada antena ubicada en la radiobase celular.

4.3.3.2 Reuso de frecuencia

Debido a que sólo una parte finita del espectro electromagnético está dedicado a la radiocomunicación celular, el número de frecuencias portadoras posibles es limitado, lo que significa que es necesario reutilizar las frecuencias para proveer canales suficientes y así cubrir la demanda. De esta manera, se introduce el concepto de reutilización de frecuencia y con esto la posibilidad de interferencia entre células usando la misma frecuencia de portadora.

Claramente con un número fijo de frecuencias de portadora posibles, la capacidad de un sistema puede ser incrementado solamente reusando las frecuencias varias veces (Figura 4.9), haciendo las células más pequeñas, lo que conlleva a dos consecuencias básicas:

- Incremento de la probabilidad de interferencia (conocido como interferencia de co-canal) entre células que utilizan la misma frecuencia.
- Si un móvil se traslada puede atravesar las fronteras celulares con mayor frecuencia cuando las células son pequeñas. Si el elemento móvil cruza una frontera éste debe cambiar de la portadora de la célula que está dejando hacia la portadora de la célula a la que se introduce, a dicho proceso se le conoce como handoff.

4.3.3.3 Handoff

El handoff ocurre cuando la red telefónica móvil automáticamente transfiere la llamada de un canal de radiofrecuencia a otro, por medio de las células adyacentes. Cuando el equipo móvil sale del área de cobertura de una radiobase en específico, la señal recibida por el equipo comienza a debilitarse, y al llegar a cierto umbral y detectar la señal originada en otra radiobase, comienza dicha transferencia. Este proceso es automático con plena intención de que sea desapercibido por el usuario durante la llamada y en ocasiones no puede ser procesado inmediatamente por lo que puede existir pérdida de comunicación. Si las células son muy pequeñas (microcélulas) los *handoffs* podrían ocurrir muy frecuentemente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

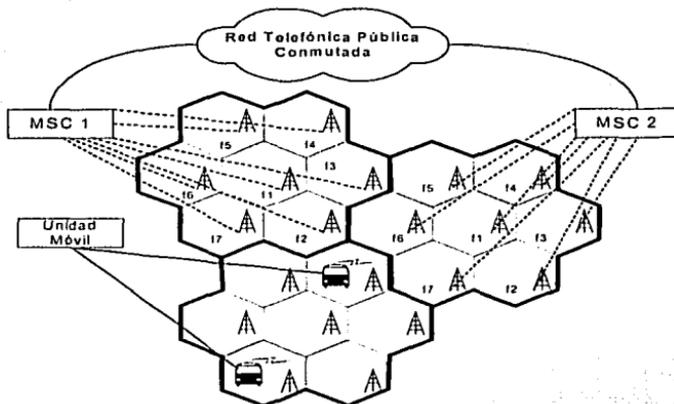


Figura 4.9. Elementos básicos de un sistema celular

4.3.3.4 Componentes de un sistema celular

Los elementos básicos de un sistema celular público se muestran en la Figura 4.9, y se describen a continuación:

a) **Red Telefónica Pública Conmutada (Public Switched Telephone Network):** Red que ofrece los servicios de telefonía pública alámbrica y es indispensable para realizar las llamadas de un teléfono móvil a uno fijo y viceversa. Existen políticas regulatorias y de tarificación para la interconexión de estos servicios (alámbrico e inalámbrico) nacionales e internacionales

b) **Centro de Conmutación Móvil (Mobile Switching Center, MSC):** A las unidades móviles se les asigna un canal duplex y son comunicados con una radiobase asignada. Dicha radiobase se comunica simultáneamente con todos los móviles que se encuentran dentro de su área de cobertura (o célula) y a su vez son conectadas a los Centros de Conmutación Móvil (*Mobile Switching Centre, MSC*). Un MSC controla el número de células, se encarga de las conexiones en las radiobases y de los canales para la interconexión entre los equipos inalámbricos y la PSTN.

c) **Radiobase:** Ubicación física del equipo de radiocomunicación que proporciona la cobertura dentro de una célula. Está conformada por las fuentes de potencia, antenas, transmisores y receptores.

d) **Unidad Móvil:** Equipo terminal con el cual se desea entablar una conversación de origen y/o destino. La mayoría de los casos se hace referencia al teléfono celular, aunque éste puede constituirse por un modem celular conectado a un equipo remoto.

La Figura 4.9 indica que cada radiobase (de un grupo) se aloja una frecuencia de portadora diferente y cada célula tiene un ancho de banda utilizable asociado con esta portadora.

4.4 Tablas comparativas de los sistemas inalámbricos

Con base en las características de los sistemas inalámbricos, mencionadas en las secciones anteriores, se presenta de manera breve dos tablas comparativas, las cuales servirán para una elección dentro del proyecto de monitoreo de subestaciones eléctricas trifásicas de C.U.

Tabla 4.3. Ventajas de los sistemas inalámbricos

ENLACE MICROONDAS	<p>Ancho de banda amplio para la transmisión de datos a alta velocidad.</p> <p>Interconecta poblaciones donde el enlace terrestre es de difícil acceso o imposible.</p> <p>No existe infraestructura de cableado.</p>
ENLACE SATELITAL	<p>Insensibilidad a la distancia para los enlaces de comunicación, con trayectoria de transmisión de 35,000 km de subida y de bajada, se hace casi instantánea la comunicación entre dos puntos terrestres (0.5 segundos)</p> <p>Transmisión en single-hop: una transmisión de varios cientos de kilómetros puede ser realizado usando un sólo repetidor (el satélite).</p> <p>Brinda conectividad en áreas remotas y a países en desarrollo donde no existe una infraestructura de cableado o no pudiera ser factible instalarla.</p> <p>Buen desempeño del BER: desde que la señal sale de la atmósfera terrestre, la probabilidad de bit erróneo es de $\approx 10^{-10}$.</p> <p>Ancho de banda amplio por lo que pueden transferir datos a altas tasas de transmisión.</p>
ENLACE CELULAR (transmisión de datos)	<p>El modem celular y su antena son de tamaño pequeño, no se requieren hacer grandes modificaciones para su implementación.</p> <p>La renta por el servicio y el costo del equipo es menor.</p> <p>La tecnología CDMA ofrece seguridad de la información a transmitir.</p> <p>Ofrece movilidad y acceso al equipo designado al monitoreo sin hacer cambios en la infraestructura.</p> <p>En datos se ofrece reenvío de paquetes de datos.</p> <p>Se cuentan con cobertura amplia del servicio.</p> <p>Requiere de menor potencia para operar.</p>

<p>TESIS CON FALLA DE ORIGEN</p>

*Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.*

Tabla 4.4. Desventajas de los sistemas inalámbricos

ENLACE MICROONDAS	<p>Los costos por la renta de un espacio en el espectro electromagnético y por la compra de equipo son elevados.</p> <p>Se necesita línea de vista para entazar dos puntos lejanos, en caso de no cumplir se necesitarían uno o más repetidores para concretar la comunicación.</p> <p>La absorción por lluvia, en el rango de las frecuencias altas, afecta el desempeño e incrementa la pérdida por trayectoria.</p>
ENLACE SATELITAL	<p>El retardo de propagación de un cuarto de segundo puede ser disruptivo y desconcertante para las transmisiones de voz y para la transferencia de datos en modo de bloque.</p> <p>El uso de repetidores incrementa el retardo, además de la pérdida de potencia en la transmisión de voz, video y datos.</p> <p>Las pérdidas en la trayectoria pueden ser de hasta 200 dB.</p> <p>La absorción por lluvia, en el rango de las frecuencias altas, afecta el desempeño e incrementa la pérdida por trayectoria.</p> <p>La transmisión de datos debe ser encriptada para minimizar la posibilidad de una interceptación. Cualquier sitio sintonizado a la frecuencia que trabaja el receptor, puede interceptar la información, sin que sea detectado.</p> <p>Los costos por la renta de un espacio en el espectro electromagnético y por la compra de equipo son elevados.</p>
ENLACE CELULAR	<p>La absorción por lluvia, en el rango de altas frecuencias, afecta el desempeño e incrementa la pérdida por trayectoria.</p> <p>Pueden existir zonas sin cobertura del prestador de servicios de datos.</p> <p>Saturación de los canales de comunicación en la radiobase en horas pico.</p> <p>Solo está registrada una compañía en COFETEL para transmisión de datos bajo el esquema celular.</p>

De las tablas, podemos concluir que el sistema de transmisión de datos por medio de la infraestructura de telefonía celular proporciona una solución aceptable, técnica y económicamente, para ser implementada en la red de monitoreo de subestaciones eléctricas de C.U. En el Apéndice D, se muestran las tarifas vigentes a la fecha, publicadas por Cofetel, de algunas compañías que ofrecen los servicios anteriores.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

5 DISEÑO Y DESARROLLO DE LA RED INALÁMBRICA PARA EL MONITOREO DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS TRIFÁSICAS DE C.U.

5.1 Introducción

Con base en la descripción de los sistemas inalámbricos de comunicación, presentada en el capítulo anterior, a continuación desarrollamos la propuesta de la red inalámbrica para el sistema de monitoreo, utilizando la transmisión de datos por telefonía celular. Se hizo esta selección debido a que este tipo de sistema presenta mayores ventajas que las que poseen las otras dos opciones.

El análisis se hace considerando al sistema de transmisión de datos de la empresa DataCell ® (SOS Telecomunicaciones), perteneciente al grupo de telefonía celular IUSACELL ®. El equipo básico para este sistema es un modem celular marca AnyData ®, modelo *i-Port* ®. La empresa *Data Wireless Integration de México* ® es la proveedora de dicho equipo. A través de ella se obtuvieron los datos necesarios para poder estudiarlo y así integrarlo al proyecto.

Describimos, además, los fundamentos técnicos y el método de operación del modem celular en la red de datos.

5.2 Descripción del Modem Celular

De la Tabla 5.1 a la Tabla 5.5, se muestran las características generales de dicho modem, así como sus características ambientales, mecánicas, eléctricas y los protocolos que soporta. Igualmente, en la Figura 5.1 se muestra el modelo analizado.



Figura 5.1. Modem Celular AnyData i-Port®

Tabla 5.1. Características generales del modem AnyData i-Port®

CARACTERÍSTICAS	
Interfaz RS-232C o stand alone	
Velocidad de transmisión de hasta 153 kbps	
Control Remoto por medio de comandos AT	
Optimizado para aplicaciones OEM (<i>Original Equipment Manufacturer</i>)	
Soporte de voz	
SMS de 2 vías	
Características específicas de telemetría	
Tecnología CDMA (Voz/SMS)	

Tabla 5.2. Características ambientales de operación del modem AnyData i-Port®

CARACTERÍSTICA	RANGO DE OPERACIÓN
Temperatura de operación	- 30° C ~ 60° C
Temperatura de almacenamiento	- 40° C ~ 100° C

*Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.*

CARACTERÍSTICA	RANGO DE OPERACIÓN
Humedad (Operación)	0% - 90% no condensado, 35° C

Tabla 5.3. Características mecánicas del modem AnyData i-Port®

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Dimensiones	Largo: 121 mm; Ancho: 57 mm; Grosor: 24 mm
Peso	Aprox. 112 gramos
Conector de Antena	Tipo SMA
Montaje	4 cavidades
Interfaz del modem	RS-232C (conector de 9 pines) hembra
Indicador de CDMA	Modo de Espera / Modo de Tráfico
Indicador SMS	Recepción
Indicador Alimentación	Encendido

Tabla 5.4. Características eléctricas de operación del modem AnyData i-Port®

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Cumplimiento de las normas	TIA/EIA/IS-98A
Voltaje de operación	6.0 - 12 [Vdc]
Potencia máxima de salida	0.2 - 0.3 [W]
Consumo de corriente	18 [mA] (modo de espera) 1 [A] (modo de tráfico)
Frecuencia de recepción	864.04 - 893.97 (EM / EM II-800) 1841.25 - 1868.75 (EM / EM II-1800) 1931.25 - 1988.75 (EM II-1900)
Frecuencia de Transmisión	824.04 - 848.97 (EM / EM II-800) 1751.25 - 1778.75 (EM / EM II-1800) 1851.25 - 1908.75 (EM II-1900)

TESIS CON PLATA DE ORIGEN

Tabla 5.5. Protocolos integrados en el modem AnyData i-Port®

PROTOCOLO	DESCRIPCIÓN
CDMA 2000 1XRTT	Protocolo CDMA 2000 (entre equipos móviles y radiobase)
IS-95A/B	Protocolo CDMA (entre equipos móviles y radiobase)
IS-707-A.4	Short Message Service
IS-707-A.5	Asynchronous Data Service, G3 Fax Service
TCP/IP	Packet Data Service
J-STD-008	Protocolo PCS (entre equipos móviles y radiobase)

5.3 Norma IS-95

En junio de 1989, Qualcomm® Inc. propuso el uso de la tecnología DS-CDMA con la finalidad de vencer las limitaciones de capacidad de los sistemas celulares analógicos. Posteriormente, Qualcomm desarrolló dicha idea, al grado de llegar a la implementación de un sistema adoptado por la Telecommunications Industry Association (TIA) como Norma Interina (Interim Standard IS-95). Con esto, los carriers de los sistemas analógicos celulares en Estados Unidos de América, aceptaron esta norma para transmitir a una frecuencia de 800 MHz. Este protocolo (con posibles modificaciones) también ha sido propuesto para ser utilizado en la banda de frecuencia de los sistemas de comunicación personal (PCS), en los 1850 a 1970 MHz. Versiones de prueba se han desarrollado en San Diego y Washington.

El sistema IS-95 ha sido diseñado para reemplazar cierto número de canales celulares analógicos de radiocomunicación por un solo carrier de DS-CDMA. Métodos asimétricos de modulación han sido utilizados en el *forward link* (enlace Base-Móvil) y en el *reverse link* (enlace Móvil-Base); sin embargo, ambos enlaces son dispersados a una tasa de 1.2288 Mchips/seg, permitiéndoles ocupar el mismo ancho de banda. La Tabla 5.6 resume varios de los parámetros de un sistema IS-95. En la Figura 5.2 y Figura 5.3 se muestran los diagramas conceptuales del *forward link* y del *reverse link*, respectivamente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

**Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.**

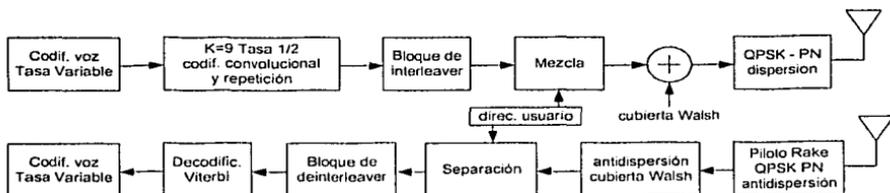


Figura 5.2. Diagrama de bloques del forward link en IS-95

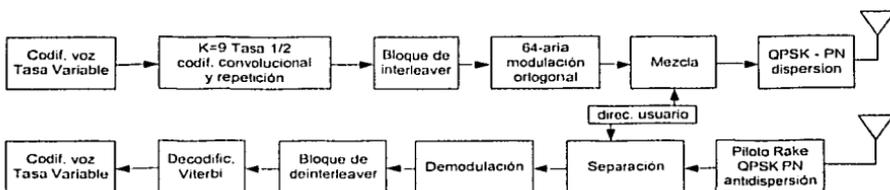


Figura 5.3. Diagrama de bloques del reverse link en IS-95

Tabla 5.6. Parámetros de un Sistema Celular Digital IS-95 DS-CDMA

PARÁMETRO	FORWARD LINK	REVERSE LINK
Banda de frecuencia [MHz]	869-894	824-849
Método de Acceso	DS/CDMA-FDMA	DS/CDMA-FDMA
Patrón de reuso de células	Sector simple	Sector simple
Modulación	BPSK secuencia Walsh ortogonal	Señalización ortogonal 64-aria
Dispersión DS	Dispersión: QPSK Periodo = 2^{15}	Dispersión: OQPSK Periodo = 2^{15}
Tasa de chip [Mchips/seg]	1.2288	1.2288
FEC	Tasa: 0.5 K=9 código convolucional	Tasa: 0.33 K=9 código convolucional
Interleaving	Bloque: 20 [mseg]	Bloque: 20 [mseg]

PARÁMETRO	FORWARD LINK	REVERSE LINK
Estructura del Receptor	Rake de 3 ramas	Rake de 4 ramas
Encabezado	Duración: 20 [mseg]	Duración: 20 [mseg]

Debido a que el sistema IS-95 incorpora el control de potencia, métodos múltiples de modulación / codificación, y varias formas de diversidad, un breve acercamiento al análisis del sistema no predecirá adecuadamente su desempeño. Como un resultado, varios de los análisis publicados parecen contradecirse entre sí. Para este sistema, las simulaciones de Monte Carlo parecen ser el mejor método de análisis de su desempeño, especialmente sobre canales desvanecientes.

5.3.1 Fundamentos de Espectro Disperso

Al utilizar el Espectro Disperso en una transmisión, la señal origen, que ocupa un ancho de banda de B [Hz], es enviada, después de una dispersión espectral, hacia un ancho de banda N veces mayor, donde N es la *ganancia de procesamiento*. En términos prácticos, dicha ganancia se ubica en el rango de 10 – 30 [dB]. Este concepto, en el dominio de la frecuencia, se ilustra en la Figura 5.4.

Como puede observarse, la potencia de la señal de espectro disperso transmitida se expande N veces sobre el ancho de banda original, mientras que la densidad espectral se reduce en la misma proporción. Por lo tanto, la ganancia de procesamiento está dada por: $N = \frac{B_s}{B}$, donde B_s es el ancho de banda de la señal de espectro disperso, mientras que B es en ancho de banda de la señal original. Esta técnica es la clave para perfeccionar su detección en un medio de radiocomunicación móvil, y proporcionar a señales de banda angosta una mayor densidad espectral para compartir la misma banda de frecuencia.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

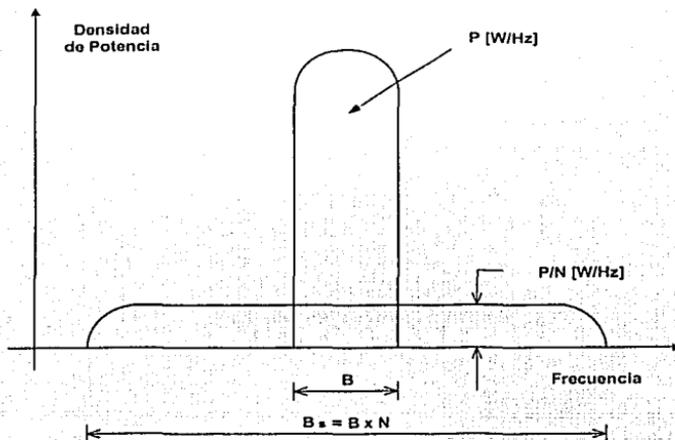


Figura 5.4. Densidad de potencia espectral de la señal antes y después de la dispersión

Existen dos sistemas principales de espectro disperso:

- Frequency Hopping Spread Spectrum
- Direct Sequence Spread Spectrum

5.3.1.1 Frecuencia Hopping (FH)

En dispersión por FH, la señal de banda angosta se transmite usando una portadora con frecuencias diferentes en tiempos diferentes. De esta manera, la señal con la información es realmente transmitida sobre un espectro ancho. Hay dos clases de patrones de FH: FFH (*Fast Frequency Hopping*), que tiene una portadora que cambia varias veces por símbolo transmitido, y el SFH (*Slow Frequency Hopping*), que tiene una frecuencia de portadora que cambia comúnmente después de un cierto número de símbolos o de una ráfaga de datos. La secuencia exacta de los saltos en frecuencia es conocida por el receptor, por lo que, al ser demodulada, el patrón será detectado en orden.

5.3.1.2 Direct Sequence (DS)

Comúnmente es más utilizado en CDMA. En esta dispersión, la señal de información es multiplicada por una secuencia señalizada de alta frecuencia, conocida como *código de dispersión* o *secuencia de dispersión*. Esta secuencia facilita la detección de diferentes señales de usuarios en forma ordenada, para lograr una capacidad de acceso múltiple en CDMA. Mientras que en CDMA la "separación" de usuarios se logra utilizando códigos ortogonales de dispersión, en FDMA y TDMA son suministrados por ranuras (slots) ortogonales de frecuencia y tiempo, respectivamente.

5.3.2 DS-CDMA

CDMA es una técnica de comunicación de espectro disperso que soporta transmisión digital simultánea de varias señales de usuarios en un medio de acceso múltiple. Además, tiene la propiedad única de soportar multiplicidad de usuarios en el mismo canal de radiocomunicación con una degradación por interferencia de multiusuario aceptable para su desempeño. Por lo tanto, cualquier reducción en dicha interferencia puede proporcionar un incremento en su capacidad. El factor de reuso de frecuencia, en un medio de CDMA, puede llegar a ser la unidad, y convertirse en lo que se denomina Sistema de Banda Ancha, conviviendo con otros sistemas de microondas de banda angosta, los cuales pueden corromper el espectro de la señal de CDMA en una banda angosta de frecuencias sin interferir significativamente. Esto facilita el problema de administración de frecuencia, además de permitir una evolución de sistemas de banda angosta a sistemas de banda ancha. Pero quizás la ventaja más deslumbrante de CDMA, es su capacidad de mejorar el desvanecimiento por multirayectoria.

La técnica de espectro disperso debe satisfacer dos consideraciones importantes:

- El ancho de banda de transmisión debe ser mayor al ancho de banda de la información.
- El ancho de banda de radiofrecuencia resultante es determinado por una función diferente al de la información enviada, con la finalidad de que sean independientes, estadísticamente, de la señal original.

La relación entre el ancho de banda transmitido y el ancho de banda de información es denominado *ganancia del sistema* de espectro disperso,

$$G_p = \frac{B_t}{B_i}$$

donde B_t es el ancho de banda de transmisión y B_s el de la señal original.

En el receptor se correlaciona la señal recibida con una réplica del esparcimiento de código generada sincronamente para recobrar la señal de información original. Esto significa que el receptor debe conocer el código usado para modular la información.

5.3.2.1 Acceso Múltiple

Si varios usuarios transmiten una señal de espectro disperso al mismo tiempo, el receptor los distinguirá de tal forma que les proporcionará a cada uno un código único con correlación suficientemente baja con respecto a los otros códigos. Correlacionando la señal recibida con una señal de código de cierto usuario, sólo será recuperada la señal de éste, mientras las otras señales del espectro disperso permanecerán sobre el ancho de banda.

5.3.2.2 Interferencia por multitrayectoria

Si la secuencia de código tiene una función de autocorrelación ideal, entonces la función de correlación es cero fuera del intervalo $[-T_c, T_c]$, donde T_c es la duración del *chip*. Esto significa que si la señal deseada y las versiones que son retrasadas más de $2T_c$ son recibidas, la demodulación coherente tratará a las versiones retrasadas como una señal de interferencia.

5.3.2.3 Interferencia de banda angosta

La detección coherente en el receptor involucra una multiplicación de la señal recibida por una secuencia de código generada localmente, pero al multiplicar una señal de banda angosta con una secuencia de banda ancha se provoca que el espectro de la señal de banda angosta se disperse de tal forma que la potencia en el ancho de banda de la información disminuya con un factor igual al proceso de ganancia.

5.3.2.4 Baja probabilidad de interferencia (Low Probability Interference)

Dado que la señal de secuencia directa utiliza el espectro completamente en todo momento, el sistema tendrá muy baja potencia de transmisión por cada Hz. De esta forma, es casi imposible detectar una señal de secuencia directa.

5.3.3 Receptor Rake

Una señal de espectro disperso se asimila a un canal de multitrayectoria. En dichos canales, la señal original transmitida se refleja en diversos obstáculos, tales como edificios y montañas, por lo que al receptor llegan varias copias de la señal con diferentes retardos. Si dichas señales llegan con más de un chip de diferencia, el receptor funciona sin mayores problemas. Actualmente, desde el punto de vista de cada señal de multitrayectoria, las otras multitrayectorias pueden ser consideradas como interferencia, y son suprimidas por el proceso de ganancia. Sin embargo, se pueden obtener mejores beneficios si las señales de multitrayectoria son combinadas utilizando un *receptor Rake*, por lo que la forma de onda de las señales de CDMA facilitan la utilización de diversidad de multitrayectoria.

El receptor Rake consiste de correlacionadores, cada uno recibiendo una señal de multitrayectoria. Después de invertir el proceso de dispersión por los correlacionadores, las señales son combinadas. Debido a que las señales de multitrayectoria recibidas tienen desvanecimientos independientes, el desempeño es mejorado. En la Figura 5.5 se muestra el desempeño del receptor Rake.

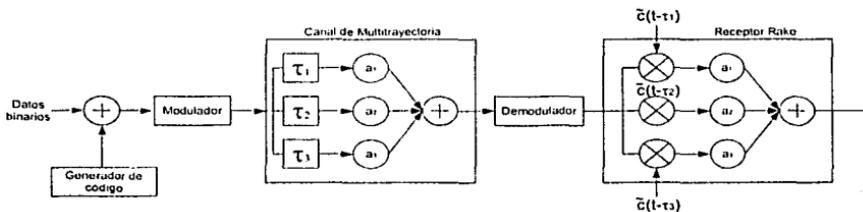


Figura 5.5. Principios de un receptor Rake

Después de la dispersión y de la modulación, la señal es transmitida y pasa a través de un canal multitrayectoria. Existen en la figura tres componentes multitrayectoria con diferentes retardos (τ_1 , τ_2 y τ_3) y factores de atenuación (a_1 , a_2 y a_3), cada uno correspondiente a una diferente trayectoria de propagación. El receptor Rake tiene un receptor llamado *finger* para cada componente multitrayectoria. En cada *finger*, la señal recibida es correlacionada por un código de esparcimiento, el cual está alineado en el tiempo con el retardo de la señal multitrayectoria. Después del esparcimiento, las señales son valoradas y combinadas. Se puede observar en la figura, que cada señal es valorada por la ganancia de la trayectoria (factor de atenuación). Aplicando este concepto a la

telefonía celular vemos que, debido a que el móvil se desplaza, el medio ambiente dispersivo cambiará y por ello también cambiarán los factores de atenuación y de retardos.

5.3.4 Control de potencia

En el enlace de subida de un sistema DS-CDMA el requerimiento de control de potencia es el problema más serio. El problema de control de potencia crece debido a la interferencia de acceso múltiple. Todos los usuarios en un sistema DS-CDMA transmiten los mensajes usando el mismo ancho de banda al mismo tiempo y debido a esto se interfieren entre sí. Debido al mecanismo de propagación, la señal recibida por una radiobase de un usuario cercano será más fuerte que la señal de otro usuario más alejado. Así, los usuarios distantes serán dominados por los usuarios cercanos. Esto es llamado efecto *near-far*. Para lograr una capacidad considerable, todas la señales, independientemente de la distancia, deben llegar a la radiobase con el mismo nivel de potencia. Una solución a este problema es el control de potencia, el cual busca tener un nivel de potencia constante para cada usuario. Debido a esto, el desempeño del control de potencia del transmisor (TPC) es uno de varios factores que afectan en la capacidad de un sistema DS-CDMA.

En contraste al enlace de subida, en el enlace de bajada todas las señales se propagan a través de un mismo canal y, debido a esto, son recibidas por el equipo móvil con la misma potencia.

Otra utilidad del control de potencia es el minimizar la interferencia hacia otras radiobases y compensar la interferencia recibida de éstas. Además, el control de potencia mejora el desempeño de DS-CDMA contra el desvanecimiento del canal, compensando las caídas de la señal.

Hay dos principios de control de potencia: de lazo abierto y de lazo cerrado. El control de potencia de lazo abierto mide las condiciones de interferencia de canal y ajusta la potencia de transmisión. Sin embargo, debido a que en los desvanecimientos rápidos no hay correlación entre el alcance de subida y el enlace de bajada, el control de potencia de lazo abierto logrará la potencia correcta sólo en promedio. Por lo que se requiere un control de potencia de lazo cerrado, el cual mide la relación señal a interferencia (signal-to-interference ratio), y envía comandos al transmisor para ajustar su potencia de transmisión.

5.3.5 Transferencia de llamada suave (*soft handover*)

En esta transferencia, un equipo móvil es conectado a más de una radiobase simultáneamente. Además, esta transferencia se utiliza en CDMA para reducir la

interferencia entre células y mejorar el desempeño a través de una macro diversidad. Una *transferencia de llamada suave* (soft handover) es una transferencia entre dos sectores de una misma célula.

Normalmente un equipo móvil realiza una transferencia de llamada cuando la intensidad de la señal de una célula vecina excede el nivel de umbral dado por la célula actual. A esto se le llama *transferencia de llamada dura*. Debido a que en un sistema CDMA las frecuencias de las células vecinas son las mismas a la de una célula dada, este tipo de acercamiento podría causar interferencia excesiva en las células vecinas y así una degradación de la capacidad. Con el fin de evitar esta interferencia, es requerida una transferencia de llamada instantánea de la célula actual a la nueva célula cuando la intensidad de la señal de la nueva célula exceda el nivel de la célula actual. Sin embargo esto no es factible en la práctica. El mecanismo de *handover* siempre debe permitir al equipo móvil conectarse a una célula, cuando la vea con un mayor nivel de potencia. Debido a que en el *soft handover* el equipo móvil se conecta a dos o más radiobases, su transmisión de potencia puede ser controlada por la radiobase de la que el equipo móvil reciba mayor intensidad de señal. Un equipo móvil entra a un estado de *soft handover* cuando la intensidad de la señal de una célula vecina excede cierto umbral, pero aún está por debajo de la intensidad de la radiobase actual.

La estructura de CDMA es apropiada para la implementación del *soft handover* debido a que en un enlace ascendente dos o más radiobases pueden recibir la misma señal, pues el factor de reuso es uno. En cuanto al enlace descendente el equipo móvil puede combinar coherentemente las señales de radiobases diferentes, ya que las ve únicamente como componentes adicionales de multitrayectoria. Esto ofrece un beneficio adicional llamado *macro diversidad*. Usualmente, un canal independiente, llamado *piloto*, se utiliza con el fin de realizar mediciones de nivel de intensidad de señal y realizar la transferencia de llamada.

Sin embargo, en el enlace descendente, el *soft handover* crea más interferencia al sistema, pues la nueva radiobase transmitirá una señal adicional al equipo móvil. Es posible que éste no reciba toda la energía transmitida por la radiobase debido a un número limitado de *fingers* del receptor Rake. De esta manera la ganancia del *soft handover* en el enlace descendente depende de la ganancia de macro diversidad y de las pérdidas de desempeño debido al incremento de la interferencia.

5.3.6 Detección de multiusuario

Los actuales receptores de CDMA están basados en el receptor Rake. Sin embargo, en un receptor óptimo todas las señales pueden ser detectadas en conjunto, o la interferencia de otras señales pueden ser removida sustrayéndola

de la señal deseada. Esto es posible debido a que son conocidas las propiedades de la correlación entre las señales.

La capacidad de un sistema DS-CDMA, usando el receptor Rake, es limitada por la interferencia. En la práctica, significa que cuando un nuevo usuario o interferente entra a la red, la calidad del servicio de los demás usuarios caerá por debajo de un nivel aceptable. La mayoría de los usuarios puede resistir a esta interferencia. La interferencia por acceso múltiple que perturba a las radiobases y móviles es una suma de interferencia intercélula.

La detección multiusuario (*multiuser detection*), también llamada cancelación de interferencia (*interference cancellation*), ofrece un medio para reducir la interferencia de acceso múltiple, considerada sólo para la interferencia intracélula, significando ésto que en un sistema práctico, la capacidad será limitada por la eficiencia del algoritmo y la interferencia intercélula.

Adicionalmente, al mejoramiento de la capacidad, la detección multiusuario ayuda a disminuir el problema near-far. Un móvil cercano a la radiobase puede bloquear todo el tráfico de la radiobase usando una potencia de transmisión muy alta. Si este usuario es detectado y sustraído de la señal entrante, los demás usuarios no verán la interferencia.

Debido a que una óptima detección multiusuario es muy compleja, y en la práctica es imposible de implementar para un número razonable de usuarios, han sido desarrollados un número de multiusuarios subóptimos y receptores de cancelación de interferencia. Los receptores subóptimos pueden ser divididos en dos categorías principales: *detectores lineales* y *canceladores de interferencia*. Los *detectores lineales* aplican una transformación lineal a la salida de los filtros para tratar de remover la interferencia de acceso múltiple. En los *canceladores de interferencia*, primero se estima la interferencia de acceso múltiple y posteriormente se sustrae la señal recibida.

5.4 Servicios de datos en Modo Circuito

En una red inalámbrica, datos en modo circuito se refieren a los servicios de datos y fax asincrónicos que son provistos a través de una conexión de línea dedicada hacia una terminal remota por medio de la *red telefónica pública conmutada* (Public Switched Telephone Network). El *controlador de radiobase* (BSC), y la *Inter-Working Function* (IWF) proporcionan conjuntamente la funcionalidad que se encuentra usualmente asociada con un modem.

A continuación se dará una visión de cómo los servicios de paquetes de datos son implementados en una red CDMA y específicamente cómo una *Interfaz A* se utiliza para proporcionar este servicio. Igualmente se explica cómo opera el modem de AnyDATA® con el sistema CDMA.

5.4.1 Paquetes de Datos

El servicio de paquetes de datos puede ser de dos tipos. El primero proporciona conexiones de paquetes basados sobre stacks de protocolos de Internet e ISO, mientras que el segundo tipo los proporciona basándose en CDPD (*Cellular Digital Packet Data*). Dos tasas pueden ser establecidas utilizando identificadores únicos para cada tipo de servicio. El primero se utiliza para pedir el servicio de paquetes a través del IWF, mientras que el segundo se utiliza para hacer la petición por medio de CDPD sobre una interfaz de PPP (*Point-to-Point Protocol*). De ésta forma, CDMA es soportado por el primer tipo.

5.4.2 Arquitectura

La arquitectura de la red de paquetes de datos incluye diferentes interfaces con el IWF, los cuales proporcionan un gateway para la red. Este IWF sirve como un punto terminador para la conexión de paquetes de datos desde la red de Internet, y proporciona una conexión directa en la capa de enlace por PPP hacia la aplicación del equipo móvil.

Una visión de la arquitectura de la red CDMA, con soporte de los servicios de paquetes de datos se muestra en la Figura 5.6. La aplicación comúnmente reside en el *Terminal Equipment 2* (TE2), que es un dispositivo terminal de datos conectado físicamente a un equipo móvil (modem celular). Al equipo móvil se le conoce como *Mobile Termination 2* (MT2), y cuenta comúnmente con una interfaz RS-232 (Apéndice C) para ser conectado al TE2. A dicha interfaz se le refiere como *Rm-Interfaces*.

Del lado de la infraestructura, el *controlador de radiobase* (Base Station Controller) proporciona la interfaz de enlace aérea *Um* hacia el equipo móvil y las fuentes de radiocomunicación asociadas para establecer la "llamada". El *controlador de equipo móvil* (Mobile Station Controller) se involucra únicamente para establecer la "llamada" de paquetes de datos y no participa en la transferencia.

Detrás del BSC, el IWF proporciona las funciones necesarias para soportar servicios de paquetes de datos para una terminal móvil. Éste establece una capa, usando los protocolos comunes de enlace, como PPP. La *L-Interface* conecta el BCS/MSC con el IWF.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

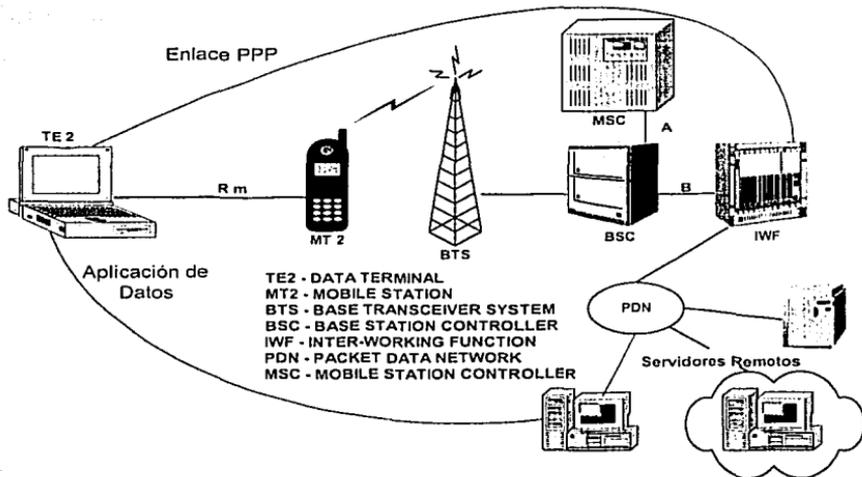


Figura 5.6. Esquema general de una red de CDMA

5.4.3 Stack de protocolo (Rm Interface)

La Figura 5.7 muestra una visión del stack de protocolo en una aplicación de paquetes de datos entre una terminal móvil y un servidor remoto. El stack está dividido en diferentes capas: física, enlace, red, y aplicación. La capa de aplicación incluye la capa de transporte y otros protocolos de capa superior.

La capa física es la principal responsable de la transmisión de datos a través de varias interfaces, conectando entidades en la red inalámbrica y de datos. La interfaz entre la terminal de datos (TE2) y el equipo móvil (MT2) es típicamente un RS-232, aunque puede ser de otro tipo. Entre el equipo móvil y el BSC se utiliza la tecnología CDMA para la transferencia de paquetes. Debido a que la pérdida de bits de datos en un enlace de paquetes tiene mayores efectos negativos que en voz, se deben tomar otras consideraciones para una mejor transmisión. Para lograr esto, en la parte aérea se utiliza un protocolo de radio enlace RLP (*Radio Link Protocol*) para encapsular los datos y poner la información dentro de los encabezados de CDMA. El RLP también utiliza esquemas de retransmisión para

*Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.*

reducir la tasa de error. Desde el BSC/MSO hasta el IWF, y en el servidor remoto, cualquier tecnología puede utilizarse.

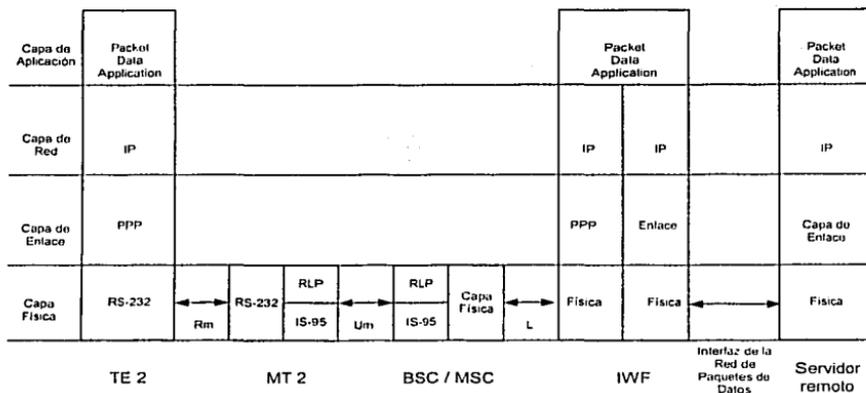


Figura 5.7. Stack de Protocolo

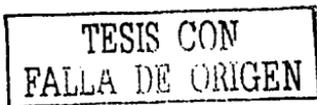
La capa de enlace es responsable de establecer una conexión confiable con baja tasa de errores entre la terminal móvil y el servidor remoto. Entre la aplicación móvil y el IWF, una capa de PPP es utilizada para transportar los paquetes de IP, por medio de una conexión serial.

Cualquier protocolo de enlace, como Ethernet, X.25, Frame Relay, ATM, y Token Ring puede ser utilizado desde el IWF hasta el servidor remoto sobre la red de datos.

Cabe notar que la conexión de PPP del IWF es terminada en diferentes puntos del lado móvil, dependiendo de cual de los 2 protocolos se escoja para la RM-Interface.

- Relay Layer Rm
- Network Layer Rm

El modem de AnyDATA ® únicamente soporta la primera opción, donde el TE 2 implementa el protocolo de enlace, como PPP, al igual que los protocolos de red



y capas superiores. Por lo que la capa PPP es establecida entre la terminal móvil y el IWF. La Figura 5.7 muestra esta opción.

5.4.4 Operación

Una "llamada" de paquete de datos se inicia desde el equipo móvil cuando se establece primeramente una conexión con el BSC. La selección del tipo de servicio puede ser realizada usando los comandos AT entre la terminal de datos y el equipo móvil o directamente, usando la interfaz de usuario en el móvil. El equipo móvil establece el canal de radiocomunicación con el BSC y realiza una configuración de "llamada" de datos, similar a una llamada de voz, originada en el móvil utilizando la opción de servicio de datos soportada por el BSC y el MSC.

Una vez que el servicio de datos se establece y se asigna el canal de radiocomunicación, comienza la sincronización RLP entre el móvil y el BSC; posteriormente, los encabezados de PPP son intercambiados entre el equipo móvil y el IWF para establecer un enlace sobre este protocolo. En una operación sencilla, el IWF le asigna una IP dinámica.

5.5 Arquitectura del Sistema SARE IV ® con el modem i-Port® de AnyDATA ®

Basándose en el esquema general de la red de CDMA (Figura 5.6), se presenta a continuación la integración del modem i-Port ® con un equipo analizador, conectados entre sí por medio de un puerto RS-232, acoplado ópticamente (Figura 5.8). El diagrama presentado es una descripción general de los elementos que intervendrán en el nuevo diseño de la red de monitoreo de subestaciones eléctricas trifásicas. Los acrónimos utilizados en la figura son:

TE2: Data Terminal
MT2: Mobile station
BTS: Base Transceiver System
BSC: Base Station Controller
MSC: Mobile Station Controller
VLR: Visitor Location Register
HLR: Home Location Register
IWF: Inter-Working Function
PDN: Packet Data Network

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.

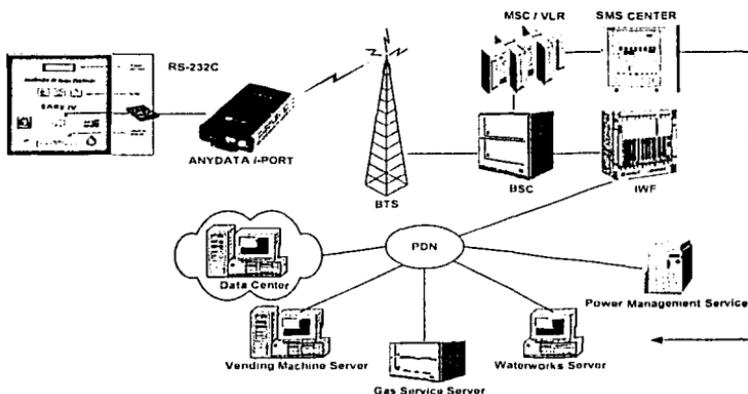


Figura 5.8. Diagrama de conexión de red

El funcionamiento y las aplicaciones de los servicios de la red de voz/datos de la empresa IUSACELL®, son completamente transparentes para la operación del proyecto. Por ello nos enfocaremos en el funcionamiento del equipo que se instalará dentro de Ciudad Universitaria.

En la Figura 5.9 se muestra, de manera simplificada, los dos puntos más importantes de la red de comunicación de datos inalámbrica, los cuales serán administrados por la Coordinación de Instrumentación del Instituto de Ingeniería.

El primer punto se ubica dentro de cada una de las veinte subestaciones eléctricas que pertenecen al proyecto de monitoreo. En ellas se instalará: el módem inalámbrico i-Port®, el acoplador óptico y el equipo analizador SARE IV®.

El segundo punto se ubicará en el puesto de monitoreo del Instituto de Ingeniería, y estará compuesto por: el módem inalámbrico y la computadora con el programa desarrollado en LabView®. A dicho programa, se le actualizará únicamente la base de datos con los nuevos números telefónicos de los modems celulares ubicados en las subestaciones eléctricas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.

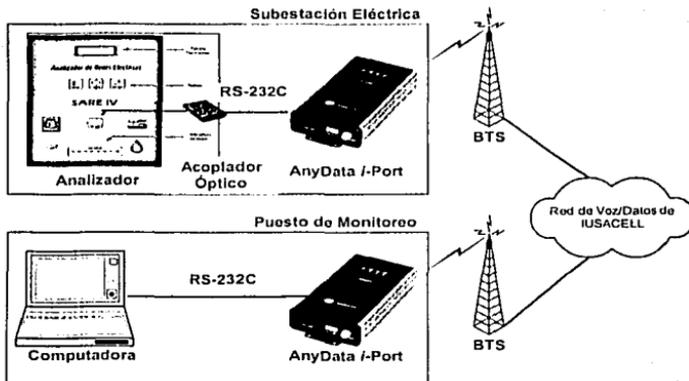


Figura 5.9. Diagrama simplificado de la Red de Monitoreo

5.5.1 Proceso de comunicación

Las etapas importantes del proceso de comunicación entre dos modems celulares (puesto de monitoreo – subestación eléctrica).

5.5.1.1 Inicialización de la llamada

El modem celular ubicado en el puesto de monitoreo, es quien inicia la llamada hacia una subestación eléctrica, de acuerdo a la base de datos con los números telefónicos que tiene almacenada la computadora en el programa SARE IV®.

El modem puede configurarse previamente con los comandos AT descritos en el Apéndice B.

5.5.1.2 Establecimiento de la llamada

Existe un período, después del marcado, en el que trata el modem origen de encontrar el modem destino. Cuando lo encuentra, a través de la red celular, se establece una etapa de autonegociación entre ellos. En dicho proceso se establece una conexión de Datos en Modo Circuito, el cual fue descrito anteriormente.

*Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.*

5.5.1.3 Transferencia de datos

Una vez establecidos los parámetros de comunicación, puede iniciarse el intercambio de datos. La petición se hace desde el equipo en el puesto de monitoreo, donde pueden establecerse los periodos de integración, la visualización en gráficas de los datos almacenados en los analizadores remotos, la impresión de datos, y otras funciones que proporciona el SARE IV ®

5.5.1.4 Finalización de la llamada

La finalización puede realizarse por configuración del modem o de manera manual, desde el programa SARE IV®.

Existen comandos AT con los que se configura la finalización de llamada al permanecer, por un tiempo programado, en estado inactivo o al perder la referencia de la portadora.

6 PLAN DE TRABAJO

6.1 Introducción al control de gestión

La *gestión de un proyecto* es el conjunto de actividades de decisión que tienen lugar dentro de un proyecto; de esta forma, *gestionar un proyecto* consiste en seleccionar ciertas acciones a partir de la información generada durante su proceso de desarrollo.

Por otro lado, la palabra *control* se le puede asociar dos significados primordiales:

- El primero responde a la idea de *supervisión*. En este sentido, controlar significa verificar que las cosas se desarrollan de acuerdo con lo que se desea. Este deseo proviene de la formulación de los objetivos del proyecto.
- Un segundo significado está asociado a la palabra *dominio*. Así, controlar es dominar, siendo tal dominio llevado a cabo al mismo tiempo que la supervisión.

Dentro de esta perspectiva, el control de gestión de proyectos es el conjunto de procedimientos de recolección de información que tienen por objeto supervisar y dominar la evolución de los proyectos en cualquiera de sus etapas de desarrollo.

La definición anterior se puede expresar gráficamente como la muestra la Figura 6.1.

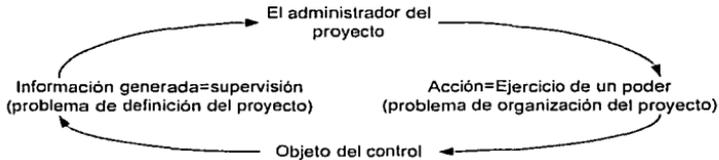


Figura 6.1. El ciclo de control de gestión de un proyecto.

El control de gestión de cualquier proyecto inicia con la solicitud a todos los participantes en el proyecto para que se ajusten a determinados procedimientos y normas, con el fin de crear un "lenguaje" común y compartido que permita ahorrar tiempo y mejorar la comunicación entre los participantes en el proyecto. Por ello, el éxito del control de gestión del proyecto depende de que todos los participantes comprendan y acepten los procedimientos y normas a utilizar durante su desarrollo con lo cual se evitarán muchos posibles errores y contratiempos.

Así, se puede concluir que los procedimientos de control de gestión son aquellos que verifican que los objetivos del proyecto se pueden cumplir al monitorear y medir el progreso de las actividades y al tomar acciones correctivas en el momento adecuado.

6.2 Objetivos de los procedimientos de control de gestión

De lo expuesto anteriormente, se deriva que los objetivos principales que persiguen los procedimientos de control de gestión son dos:

- Asegurar que los objetivos se cumplan en tiempo y forma al:
 - Monitorear el desarrollo y medir el avance del proyecto.
 - Determinar las causas y las posibles formas de actuar al presentarse desviaciones (cambios y riesgos) en el desarrollo del proyecto.
 - Tomar las acciones de control necesarias para corregir las tendencias desfavorables o tomar ventaja de las tendencias favorables poco comunes.
- Responder objetivamente a las siguientes preguntas:
 - ¿Cuál es el avance real proyecto?
 - ¿El proyecto terminará en tiempo, cumpliendo con la calidad, las especificaciones, etc.?

6.3 Los procedimientos de control de gestión

Para hacer cumplir los objetivos anteriores se requiere llevar a cabo los siguientes procedimientos:

6.3.1 Control de cambios en general

Este proceso se refiere a controlar los factores que generan los cambios y estar seguros que éstos son de beneficio para el proyecto, para determinar la ocurrencia de un cambio y para administrar los cambios actuales.

Para llevar a cabo el proceso se requiere:

- Mantener la integridad del proyecto tal como se planificó y aprobó.
- Estar seguros que los cambios al proyecto se reflejan en la descripción del alcance del proyecto.
- Coordinar los cambios realizados en el proyecto de forma que todos los participantes en el proyecto los conozcan.

6.3.2 Control de los cambios del alcance

Este proceso se refiere a:

- Controlar los factores que generan los cambios en el alcance y estar seguros que los cambios son de beneficio para el proyecto.
- Determinar la ocurrencia de un cambio en el alcance del proyecto.
- Administrar los cambios actuales del alcance.

6.3.3 Control de tiempos

Este proceso se refiere a:

- Controlar los factores que generan los cambios en el calendario y estar seguros que los cambios son de beneficio para el proyecto
- Determinar la ocurrencia de un cambio en el calendario
- Administrar los cambios actuales en el calendario

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

6.3.4 Controlar la respuesta al riesgo

Comprende responder a las posibilidades de surgimiento de riesgos en el transcurso del proyecto. Cuando se presentan cambios en el plan del proyecto siempre existen riesgos inherentes a él, los cuales se identifican repitiendo el siguiente ciclo básico: identificación, cuantificación y respuesta al riesgo.

6.3.5 Controlar la calidad (en tiempo y en forma)

El control de la calidad se refiere a monitorear los resultados específicos del proyecto para determinar si cumplen con las normas de calidad utilizados en el mismo. Además, debe de identificar las formas de eliminar las causas que provocan resultados no satisfactorios. Este procedimiento se debe llevar a cabo en puntos específicos de verificación durante todo el proyecto.

6.3.6 Redactar informes de desempeño

Comprende recolectar y distribuir la información referente al avance del proyecto con el fin de proporcionar a la media y alta gerencia una visión resumida del progreso, las dificultades, las acciones correctivas y la utilización de los recursos del proyecto.

6.3.7 Gestionar las comunicaciones en el proyecto

Comprende los procedimientos requeridos para asegurar que la información del proyecto se genere, recolecte, distribuya, y almacene a tiempo y de forma apropiada. Provee los mecanismos de vinculación entre las personas, las ideas y la información necesaria para lograr el éxito en el proyecto.

6.4 Plan de trabajo del proyecto de monitoreo de Subestaciones Eléctricas

El presente plan de tiempos se elaboró en el software de *Microsoft Project 2000®*, aplicando la teoría de gestión de proyectos, descrito con anterioridad y, siguiendo las recomendaciones normalizadas del *Project Management Institute (PMI)*. Por medio de un *Diagrama de Gantt* se representará el avance del proyecto y los hitos importantes a realizarse.

La gestión económica y de recursos, tanto materiales como humanos, estarán vinculados y sujetos a planificarse de acuerdo con la reglamentación interna del Instituto de Ingeniería y de la Universidad Nacional Autónoma de México.

6.4.1 Descripción del Diagrama de Gantt

El presente diagrama está constituido por *tareas o actividades*, y por *hitos*. Una tarea es aquella actividad o proceso a elaborarse durante el proyecto y se representa mediante un bloque rectangular; un hito es un evento trascendente para el proyecto con duración de cero días, por ejemplo la firma de un contrato o la entrega de un equipo.

Cada tarea o hito a su vez, puede o no estar vinculada con otras tareas o hitos, es decir, la inicialización o finalización de una tarea puede depender del comienzo o término de otra, por lo que tendremos cuatro tipos de vinculación de tareas: inicio-inicio, inicio-fin, fin-inicio y fin-fin.

Un grupo de hitos y actividades pueden englobarse en *resúmenes*, ésto con el fin de facilitar la lectura e interpretación del documento.

Para la realización de actividades se consideró un calendario laboral de 5 días hábiles, con un horario de trabajo de 9:00 a 18:00 hrs. y con fecha inicial del proyecto el día lunes 5 de enero del 2004.

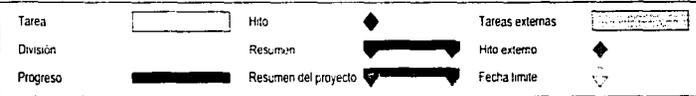
Cabe resaltar que este plan de trabajo es una propuesta que hacemos para la etapa de ejecución del proyecto. La duración y fechas de las actividades pueden ser sujetas a cambios hasta que se determine su aprobación y autorización a guardarse con *línea base*, es decir, cuando la etapa de planeación ha terminado y comenzará la ejecución. La aprobación e integración del plan de trabajo, únicamente se dará entre los principales responsables.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	octubre 2003							noviembre 2003								
				03	06	09	12	15	18	21	24	27	30	02	05	08	11	14	17
1	Red de Monitoreo de SE Trifásicas de C.U.	70 días	lun 05/01/04																
2	Planeación	5 días	lun 05/01/04																
3	Lugar del Modem Celular dentro de la SE	5 días	lun 05/01/04																
4	Lugar de la Antena dentro de la SE	5 días	lun 05/01/04																
5	Obra Civil requerida	5 días	lun 05/01/04																
6	Determinación del periodo de Instalación y Pruebas	0 días	vie 09/01/04																
7	Contratación y Compras	20 días	vie 09/01/04																
8	Servicio de Transmisión de Datos	20 días	vie 09/01/04																
9	Términos de Contratación	0 días	vie 09/01/04																
10	Periodo de Evaluación del Contrato	5 días	lun 12/01/04																
11	Trámites Legales	15 días	lun 19/01/04																
12	Firma de contrato	0 días	vie 06/02/04																
13	Módems Celulares	20 días	vie 09/01/04																
14	Términos de Compra	0 días	vie 09/01/04																
15	Periodo de Evaluación de la Compra	5 días	lun 12/01/04																
16	Trámites Legales	15 días	lun 19/01/04																
17	Fecha de Compra	0 días	vie 06/02/04																
18	Material	20 días	vie 09/01/04																
19	Términos de Compra	0 días	vie 09/01/04																
20	Periodo de Evaluación de Compra	5 días	lun 12/01/04																
21	Trámites Legales	15 días	lun 19/01/04																
22	Fecha de compra de material para Cableado	0 días	vie 06/02/04																
23	Fecha de compra de material para Obra Civil	0 días	vie 06/02/04																
24	Entregas	20 días	lun 09/02/04																
25	Periodo de Espera de Módems Celulares	20 días	lun 09/02/04																
26	Entrega de Módems Celulares	0 días	vie 05/03/04																
27	Asignación de Números Telefónicos	0 días	vie 05/03/04																
28	Material	20 días	lun 09/02/04																
29	Periodo de Espera de Material para Cableado y Obra Civil	20 días	lun 09/02/04																
30	Entrega de Material para Cableado	0 días	vie 05/03/04																
31	Entrega de Material para Obra Civil	0 días	vie 05/03/04																
32	Instalación y Pruebas	25 días	lun 08/03/04																

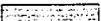
TESIS CON FALLA DE ORIGEN

82



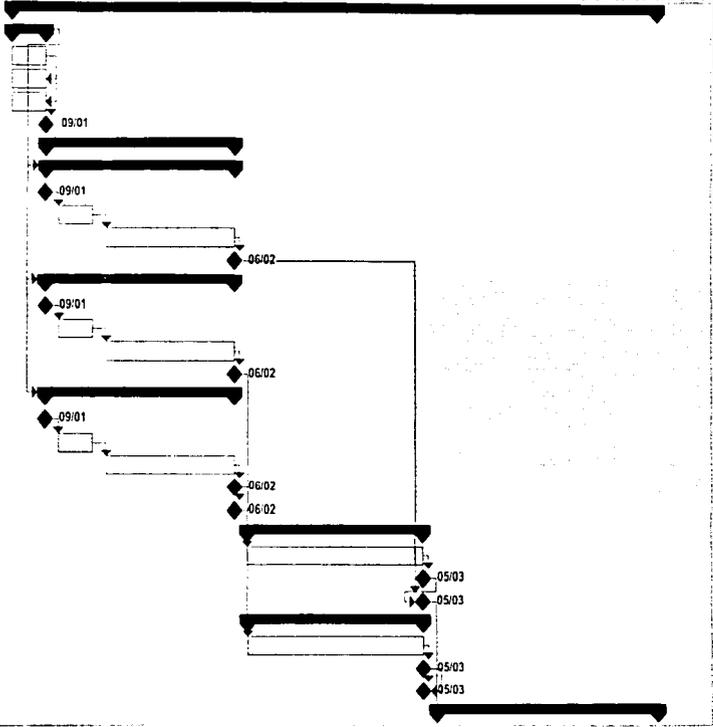
Id	Número de tarea	Duración	Comienzo	octubre 2003							noviembre 2003						
				03	06	09	12	15	18	21	24	27	30	02	05	08	11
33	Pruebas de Módems Celulares	2 días	lun 08/03/04														
34	Revisión del equipo recibido	2 días	lun 08/03/04														
35	Instalación en SE	15 días	mié 10/03/04														
36	Instalación de Módems Celulares	15 días	mié 10/03/04														
37	Instalación de Cableado	15 días	mié 10/03/04														
38	Adecuación de Obra Civil	15 días	mié 10/03/04														
39	Pruebas de Enlace y Transmisión de Información	3 días	mié 31/03/04														
40	Evaluación de Resultados	5 días	lun 05/04/04														
41	Fin de Pruebas	0 días	vie 09/04/04														

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

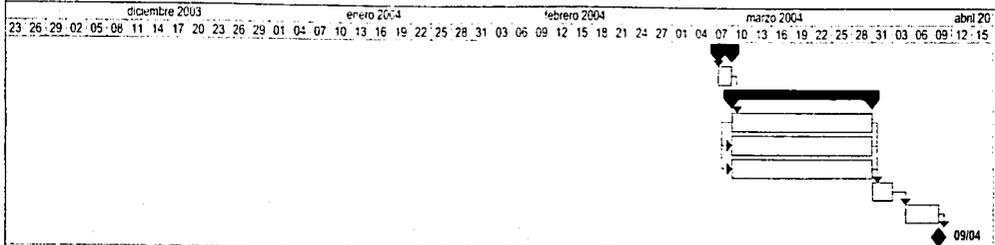
Tarea		Hito		Tareas externas	
División		Resumen		Hito externo	
Progreso		Resumen del proyecto		Fecha límite	

diciembre 2003 enero 2004 febrero 2004 marzo 2004 abril 2004
 23 26 29 02 05 08 11 14 17 20 23 26 29 01 04 07 10 13 16 19 22 25 28 31 03 06 09 12 15 18 21 24 27 01 04 07 10 13 16 19 22 25 28 31 03 06 09 12 15

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN



Tarea		Hito		Tareas externas	
División		Resumen		Hito externo	
Progreso		Resumen del proyecto		Fecha limite	



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Tarea		Hito		Tareas externas	
División		Resumen		Hito externo	
Progreso		Resumen del proyecto		Fecha limite	

7 CONCLUSIONES

El diseño de la "Red de Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas de C.U.", descrita en el presente trabajo, se basa en la transmisión de datos por medio de la infraestructura celular.

A continuación se mencionan los diversos aspectos que influyeron en la elección de dicha tecnología. Igualmente, estas características se pueden considerar como puntos a concluir de este trabajo escrito.

- El tamaño del modem celular para transmisión de datos, es mucho menor en comparación con los espacios que abarcarían los equipos de los otros dos sistemas analizados, además de que su instalación y transportación resulta ser mucho más práctica.
- La antena transmisora-receptora cuenta con una base imantada, lo cual facilita su colocación y fijación, además de que es bastante pequeña: aproximadamente 10 cm de largo.
- Debido a la gran movilidad que presenta, el puesto de monitoreo (computadora con el software SARE IV® y modem celular) puede ser reubicado muy fácilmente, dependiendo únicamente de la cobertura prestada por la compañía celular, que en este caso sería Iusacell®. Con esto se lograría que la persona encargada del monitoreo de las subestaciones pueda seguir su labor sin necesidad de estar en un punto específico.
- Los costos por renta de tiempo y por compra de equipo son menores, según las tarifas vigentes estipuladas por la Cofetel, en comparación con los sistemas satelitales y de microondas. Por lo que, al adquirir los 21 equipos

*Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.*

móviles (uno para cada subestación eléctrica), podremos ver reflejada una disminución en la inversión del proyecto.

- Una gran ventaja que presentan los modems celulares es que su integración al sistema actual de monitoreo no implica mayores inversiones, pues cuenta con una interfaz RS-232 que permite la comunicación con el analizador de las subestaciones por medio de un conector DB-9, y emplea comandos AT.
- La comunicación entre dos modems celulares (uno ubicado en la subestación eléctrica y otro en la central de monitoreo) es prácticamente transparente para el usuario o encargado del monitoreo.
- Dado que el sistema de telefonía celular trabaja con tecnología CDMA, implícitamente estamos contando con un elemento de seguridad contra la intervención de la llamada, pues este sistema cuenta con el encriptamiento de datos.
- Otra ventaja que presenta la tecnología CDMA es que utiliza los niveles mínimos de potencia permitidos.

En el presente trabajo anexamos un capítulo referente a la gestión de proyectos, el cual incluye un Diagrama de Gantt, que básicamente servirá para acotar el tiempo de planeación y desarrollo, además de que nos servirá en situaciones de riesgo que afecten al proyecto.

Una ventaja que presenta este proyecto, es que a futuro se le podrían anexar otras funciones para complementar su desempeño. Pudiera implementarse un bloque de alarmas, el cual se activaría como respuesta de alguna falla en el sistema de monitoreo o en el mismo suministro de energía eléctrica, o bien, podría ejecutar órdenes de manera remota

8 APÉNDICES

APÉNDICE A

Programa fuente en Matlab® de la Figura 1.8. Comparación de la probabilidad de error para diferentes técnicas de modulación:

```
x1=-1:0.1:11;
x2=x1/10;
for i=1:(length(x1))
    x(i)=10^x2(i);
    PSK(i)=0.5*erfc(sqrt(2*x(i))/sqrt(2));
end
x3=-1:0.1:14;
clear x2;
x2=x3/10;
for j=1:(length(x3))
    x(j)=10^x2(j);
    FSK(j)=0.5*erfc(sqrt(x(j))/sqrt(2));
end
figure(1);
semilogy(x1,PSK,x3,FSK);
grid;
xlabel('SNR/bit (dB)');
ylabel('Pb Probabilidad de bit erroneo');
```

APÉNDICE B

Comandos AT

Se hace a continuación una descripción de los encabezados de las tablas de este apéndice:

"Requerimientos IS-707".- Esta columna especifica los requerimientos IS-707 para el servicio de Fax 3G y para el servicio de paquetes. Cada uno de los siguientes casos es aplicable para cada servicio IS-707:

- Requiere (req)
- Opcional (opt)
- No aplicable (n/a)

"Estado de Implementación".- Estipula dónde Qualcomm ® ha implementado el comando acorde a las especificaciones IS-707:

- Completamente: Los comandos remotos no requieren acción del modem.
- Comando aceptado, ninguna acción tomada: El modem aceptará el comando y retornará un OK, pero no realizará la acción del comando. Esto permite que las líneas de comandos fijos operen con el modem de datos.
- No implementado: La versión 3.0 del Qualcomm ® DMSS 3000 no interpretará el comando (retorna ERROR).
- Soporta Móvil: La implementación móvil soportará el comando; sin embargo, el Inter-Working Function debe proporcionar la capacidad.

"Explicación".- Proporciona una visión del razonamiento detrás de la implementación. Muchos de los comandos son remotos pasados hacia el IWF para su procesamiento. Varios comandos AT han sido escogidos por Qualcomm ® para no ser implementados por presentar utilidad limitada al usuario de CDMA.

*Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.*

Tabla 8.1. Comandos Básicos AT

Parámetro	Descripción	Req. IS-707	Est. Implement.	Explicación
E0	No hacer "eco" en el estado de comando o estado de comando en línea	Async Req Pkt. Opt	Completa	-----
E1	Hacer "eco" en el estado de comando o estado de comando en línea	Async Req Pkt. Opt	Completa	-----
L0	Volumen de bocina bajo	Async Req Pkt. n/a	Comando aceptado. Ninguna acción tomada	Cadena de audio móvil no utilizado para 3G Fax y Datos Async
L1	Volumen de bocina bajo	Async Req Pkt. n/a	Comando aceptado. Ninguna acción tomada	Cadena de audio móvil no utilizado para 3G Fax y Datos Async
L2	Volumen de bocina medio	Async Req Pkt. n/a	Comando aceptado. Ninguna acción tomada	Cadena de audio móvil no utilizado para 3G Fax y Datos Async
L3	Volumen de bocina alto	Async Req Pkt. n/a	Comando aceptado. Ninguna acción tomada	Cadena de audio móvil no utilizado para 3G Fax y Datos Async
M0	Bocina apagado	Async Req Pkt. n/a	Comando aceptado. Ninguna acción tomada	Cadena de audio móvil no utilizado para 3G Fax y Datos Async
M1	Bocina encendida mientras se reporta la portadora (el soporte de esta característica es opcional)	Async Req Pkt. n/a	Comando aceptado. Ninguna acción tomada	Cadena de audio móvil no utilizado para 3G Fax y Datos Async
Q0	Retorna códigos resultantes	Async Req Pkt. Req.	Completa	-----
Q1	No retornar códigos resultantes	Async Req. Pkt. Req.	Completa	-----
V0	Despliega los códigos resultantes como números	Async Req. Pkt. Req.	Completa	-----
V1	Despliega los códigos resultantes como palabras	Async Req. Pkt. Opt.	Completa	-----
X1	Habilita códigos resultantes adicional CONNECT<rate> Deshabilita tono de marcado y detección de línea ocupada	Async Req. Pkt: n/a	Completa	Comando remoto Async/Fax

*Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.*

Parámetro	Descripción	Req. IS-707	Est. Implement.	Explicación
X2	Habilita códigos resultantes adicional CONNECT<rate> y NO DIALTONE Habilita tono de marcado y deshabilita detección de línea ocupada	Async. Req. Pkt. n/a	Completa	Comando remoto Async/Fax
X3	Habilita códigos resultantes adicional CONNECT <rate> y BUSY Deshabilita tono de marcado y habilita detección de línea ocupada	Async. Req. Pkt. n/a	Completa	Comando remoto Async/Fax
X4	Habilita códigos resultantes adicional CONNECT <rate> y BUSY y NO DIALTONE Habilita tono de marcado y detección de línea ocupada	Async. Req. Pkt. n/a	Completa	Comando remoto Async/Fax
Z0	Configuración de default	Async. Req. Pkt. Req.	Completa	_____
&C0	Circuito 109 (CF) siempre encendido	Async. Req. Pkt. Req.	Completa	_____
&C1	Circuito 109 (CF) encendido en acuerdo con el servicio especificado	Async. Req. Pkt. Req.	Completa	_____
&C2	Circuito 109 (CF) siempre encendido excepto parpadeando en canal desconectado	No hay referencia	Completa	Implementación Qualcomm
&D0	Ignora circuito 108/2 (CD)	Async. Req. Pkt. Req.	Completa	_____
&D1	Entra al estado de comando en línea siguiendo la transición encendido-apagado del circuito 108/2	Async. Req. Pkt. Req.	Completa	Servicio Asincrónico como estado de Paquete. Final de llamada siguiendo la transición encendido-apagado de 108/2
&D2	Entra al estado de comando siguiendo la transición encendido-apagado del circuito 108/2	Async. Req. Pkt. Req.	Completa	Finaliza llamada siguiendo la transición encendido-apagado de 108/2

*Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.*

Parámetro	Descripción	Req. IS-707	Est. Implement.	Explicación
T	Selecciona tono de marcado	Async. Req. Pkt. n/a	Comando aceptado, Realiza marcado normal	Tono de marcado no relevante para servicio de datos en CDMA
P	Selecciona tipo de marcado	Async. Req. Pkt. n/a	Comando aceptado, Realiza marcado normal	Tipo de marcado no relevante para servicio de datos en CDMA
&FO	Efecto es implementación dependiente	Async. Req. Pkt. Req.	Completa	Igual que Z

*Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.*

Tabla 8.2. Registros S Básicos

Registro	Valor	Descripción	Req. IS-707	Est. Implement.	Explicación
S0	0	Deshabilita contestacion automatica	Async. Req Pkt. n/a	Completa	-----
	[1 a 255]	[Habilita la respuesta automática después de (<i>valor</i> - 1) * 0.5seg.]			
S3	13	Retorno de carro	Async. Req Pkt. Opt.	Completa	-----
S4	10	Salto de Línea	Async. Req Pkt. Opt.	Completa	-----
S5	8	Retroceso	Async. Req Pkt. Opt.	Completa	-----
S6	2 a 10 2	Pausado antes de un marcado ciego	Async. Req Pkt. n/a	Completa	Remoto Async / Comando de Fax
S7	1 a 255 [50]	Numero de segundos para establecer una conexión de datos terminal/terminal	Async. Req Pkt. Opt.	Completa	Remoto Async / Comando de Fax
S8	0 a 255 2	Numero de segundos para pausar cuando " " es encontrado en la cadena de marcado	Async. Req Pkt. n/a	Completa	Remoto Async / Comando de Fax
[S9]	0 a 255 6	Detección umbral de portadora en incrementos de 0.1 segundos	Async. Req Pkt. n/a	Completa	Remoto Async / Comando de Fax
S10	1 a 254 [14]	Numero de decimas de segundo de pérdida de portadora para desconectar	Async. Req Pkt. n/a	Completa	Remoto Async / Comando de Fax
	[255]	[Deshabilita detección de portadora]			
[S11]	50 a 255 95	Duración de tono de DTMF y espaciamento en milisegundos	Async. Req Pkt. n/a	Completa	Remoto Async / Comando de Fax

Tabla 8.3. Comandos AT - CDMA

Comando	Descripción	Req. IS-707	Est. Implement.	Explicación
+CXT=<value>	Extensión celular 0 – No pasar comandos no reconocidos hacia el IWF 1 – Cuando detecta a un comando AT no reconocido, abre una conexión de la capa de transporte y lo pasa al IWF	Async Req Pkt n/a	Completa	
+CFG=<string>	Configuración de cadena La cadena (incluyendo el carácter de fin) será almacenado por el MT2 y enviado a la radio base antes de la marcación. Cada transmisión de un comando AT+CFG desde el TE2 reemplaza los contenidos de la cadena anterior. Puede contener hasta 248 caracteres.	Async Req Pkt n/a	Completa	
+CAD?	Respuestas a la petición de servicio analógico o digital 0 – Si el servicio no está disponible 1 – Si el servicio digital de CDMA está disponible 2/3 – No usados 4 – Si el servicio de datos de CDMA no está disponible 5 – Si el equipo móvil está en estado de tráfico	Async: Opt Pkt: Opt	Completa	
+CDR	Reporte de compresión de datos de la interfaz Um. El código resultante es el mismo que el TIA/EIA/IS-131 +DR.	Async: Req Pkt: n/a	Completa	
+CDS	Compresión de datos en Interfaz Um. Controla la función de compresión de datos V.42bis en la interfaz Um.	Async: Req Pkt: n/a	Completa	El móvil actual no soporta compresión V.42bis. Acepta 0 como un valor.
+CRM=<value>	Establece el protocolo en la interfaz Rm 0 – Fax o Datos Asíncronos 1 – Servicio de paquetes de datos. Capa física 2 – Servicio de paquetes de datos. Capa de red. PPP 3 – Servicio de paquetes de datos, Capa de red SLIP 4 – Servicio STU-III 127 – Datos Móvil a Móvil (LG Telecom. Korea) 130 – Servicio de paquetes de datos usando el stack de TCP/IP (propiedad AnyData)	Async: Req Pky Req	Completa	Móvil soporta únicamente Async-Fax y modelos de capa física La selección de modo ocurre automáticamente basados en los datos recibidos. El móvil aceptará solamente 0 y 1 como valores válidos. Ninguna llamada podrá ser inicializada.

*Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.*

Comando	Descripción	Req. IS-707	Est. Implement.	Explicación
*CBC?	Carga de batería Solo lectura Retorna <BCS> <BCL> BCS 0 – MT2 alimentado por batería BCL=status 1 – MT2 conectado a una fuente externa 2 – estado de batería no disponible 3 – Reconoce falta de potencia BCL 0 –100 – Batería restante 0 a 100 %	Async Req Pkt Opt.	Completa	
*CQD=<value>	Cronometro de estado de inactividad 0 – Ignorado 1 – 255 – Liberar llamada despues de 5x < value > segundos sin actividad. El valor default puede ser 10.	Async Req Pkt n/a.	Completa	Comando remoto Async/Fax
*CRC=<value>	Códigos resultantes celulares 0 – Deshabilita códigos resultantes 1 – Habilita códigos resultantes	Async Req Pkt n/a	Completa	Comando remoto Async/Fax
*CMIP?	Dirección IP del equipo móvil Solo lectura Retorna la dirección IP temporal del equipo móvil	Async Req Pkt n/a	Completa	
*CBIP?	Dirección IP de la radobase o IP destino Solo lectura Retorna la dirección IP si el CRM es 130, además retorna el valor de la dirección IP del equipo móvil	Async Req Pkt Opt	Completa	
*CSS?	Sistema servidor Solo lectura Retorna <BAND CLASS> <BAND>, <SID> Band Class: C –El equipo móvil está registrado con un sistema celular P –El equipo móvil está registrado con un sistema PCS Band: CA –El equipo móvil está registrado con un sistema celular en banda A CB –El equipo móvil está registrado con un sistema celular en banda B PA –El equipo móvil está registrado con un sistema PCS en banda A PB –El equipo móvil está registrado con un sistema PCS en banda B	Async Req Pkt Opt.	Completa	

*Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U*

Comando	Descripción	Req. IS-707	Est. Implement.	Explicación
	PC -El equipo móvil está registrado con un sistema PCS en banda C PD -El equipo móvil está registrado con un sistema PCS en banda D PE -El equipo móvil está registrado con un sistema PCS en banda E PF -El equipo móvil está registrado con un sistema PCS en banda F Z -El equipo móvil no está registrada SID 0 - 16383 -El equipo móvil está registrada con el sistema indicado 99999 -El equipo móvil no está registrada			
+CSQ?	Petición de calidad de señal recibida Retorna la medida de la calidad de la señal <SOM> y la tasa de error de encabezados <FER> Signal Quality Measure <SQM> 0 - 31 - Calidad de señal (El valor exacto debe ser definido por el fabricante. La menor calidad reportada de SQM debe ser definido como 00, y la mayor calidad debe ser 31) 99 - SQM no es conocido o detectable El resto de los valores son reservados Frame Error Rate <FER> 0 - <0.1% 1 - 0.01% a menos de 0.1% 2 - 0.1% a menos de 0.5% 3 - 0.5% a menos de 1.0% 4 - 1.0% a menos de 2.0% 5 - 2.0% a menos de 4.0% 6 - 4.0% a menos de 8.0% 7 - >= 8.0% 99 - <FER> no es conocido o no detectable Los demás valores son reservados	Async. Req Pkt. Opt.	Completa	
AT+CSQ=<n>	Cambia el tipo de servicio al tipo de servicio <n>	Async. Opt Pky. Opt.	No implementada	
AT+CMUX=<n>	Selecciona opción de multiplexaje 1 - Opción de multiplexaje 1 2 - Opción de multiplexaje 2	Async. Opt. Pkt. Opt	Completa	

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

*Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.*

Comando	Descripción	Req. IS-707	Est. Implement.	Explicación
AT+CAU=<n>	Audio entre DTE y MT2 0 – Audio deshabilitado 1 – Audio habilitado	Asíncrona Estática	No implementado	

Tabla 8.4. Comandos AT para servicio de paquetes de datos

Comando	Descripción	Est. Implement.	Explicación
+CTA=<value>	Cronómetro de inactividad de paquetes de datos 0 – Canal de tráfico no liberado durante los periodos de inactividad (valor default) 1 – 255 – Libera el canal de tráfico después de <value> - 1 segundos	Completada	Relevante únicamente para operar servicio de paquetes
+CPS=<value>	Selecciona la opción de servicio para ser usado para el servicio de paquetes de datos	No implementada	-----
+CPTC=<value>	Reporte del estado de la llamada de paquetes 0 – Deshabilita el reporte de estado de llamada 1 – Habilita el reporte de estado de llamada	No implementada	No soportado
+CPTC=<value>	Controla el estado del canal de tráfico sin afectar la conexión del IWF	No implementada	
+CPEP=<value>	Reporte de evento en llamada de paquete 0 – Deshabilita el reporte de evento 1 – Habilita el reporte de evento	No implementada	No soportado

Tabla 8.5. Códigos resultantes para servicio de paquetes de datos celulares

Comando	Descripción	Est. Implement.	Explicación
+CPACKET	Puede ser retornado después de AT+CRM=1 o 2 o 3. Indica que el estado de servicio de paquetes está Activo	No implementada	+CRM no actúa en móvil Qualcomm

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

*Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.*

Comando	Descripción	Est. Implement.	Explicación
+CPSR,<value>	Estado de llamada de paquete Enviado automáticamente cuando +CPSR=1 0 - Estado inactivo de servicio de paquetes 1 - Estado activo, y la función de control en estado de Inicialización/Detenido 2 - Estado activo, y la función de control en estado de Inicialización/Tráfico 3 - Estado activo, la función de control de llamada conectado, y la opción de servicio de paquetes de datos usa tráfico primario 4 - Estado activo, la función de control de llamada conectado, y la opción de servicio de paquetes de datos usa tráfico secundario 5 - Estado activo, función de control de tráfico esta en estado Durmiente/Detenido 6 - Estado activo, función de control de tráfico esta en estado Durmiente/Tráfico 7 - Estado activo, función de control de tráfico esta en estado Reconectar/Detenido 8 - Estado activo, función de control de tráfico esta en estado Reconectar/Tráfico 9 - 255 - Reservado	No implementada	No soportada
+CPER,<value>	Evento de llamada de paquete Enviado automáticamente cuando +CPER=1 0 - Entra estado detenido 1 - Handoff detenido, mismo sistema 2 - Handoff detenido, nuevo sistema 3 - Página recibida 4 - Origenación enviada 5 - Canal de tráfico asignada 6 - Hard Handoff 7 - 255 Reservado		No soportada
+CERROR: LINK FAIL	Equipo móvil ha declarado una pérdida en el canal de tráfico	No implementada	
+CERROR: NO SERVICE	Equipo móvil no esta disponible para monitorear un canal de Paging	No implementada	
+CERROR: RETRY	Reordenar servicio durante un intento de reconexión	No implementada	

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

APÉNDICE C

Norma EIA 232D / RS-232C / Interfaz V.24

La interfaz RS-232 especifica 25 circuitos o conductores que gobiernan el flujo de información entre un DTE (Data Terminal Equipment) y un DCE (Data Communication Equipment). Para una transmisión asincrónica, son requeridos normalmente de 9 a 12 conductores, mientras que para transmisiones síncronas se requieren de 12 a 16.

La señal en cada circuito ocurre basándose en el voltaje de transición predefinido. Una señal se considera en estado de "encendido" cuando el voltaje se encuentra entre +3 volts y +15 volts. El estado de "apagado" ocurre a los -3 volts y -15 volts. El rango de voltaje de -3 a 3 volts, es una región de transición que no tiene efecto para la condición del circuito.

El número de terminal y su función, más la nomenclatura del EIA RS-232 y CCITT V.24 se incluyen en la Tabla 8.6.

Tabla 8.6. Circuitos RS-232 C y CCITT V.24

PIN	EIA RS-232	CCITT V.24	Descripción
1	AA	101	Protective Ground (Shield)
2	BA	103	Transmitted Data
3	BB	104	Received Data
4	CA	105	Request to Send
5	CB	106	Clear to Send
6	CC	107	Data Set Ready
7	AB	102	Signal Ground
8	CF	109	Received Line Signal Detector
9	-----	-----	Reserved for Test
10	-----	-----	Reserved for Test
11	-----	-----	Not Assigned
12	SCF	122	Secondary received line Signal Detector
13	SCB	121	Secondary Clear to Send
14	SCA	118	Secondary Transmitted Data

TESIS CON
FALLA DE CALIDAD

**Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.**

FIN	EIA RS-232	CCITT V.24	Descripción
15	DB	114	Transmitter Signal Element Timing
16	SBB	119	Secondary Received Data
17	DD	115	Receiver Signal Element Timing
18	----	----	Not assigned
19	SCA	120	Secondary Request to send
20	CD	108.2	Data Terminal Ready
21	CG	110	Signal Quality Detector
22	CE	125	Ring Indicator
23	CH	111	Data Signal Rate Selector (DTE driver)
23	CI	112	Data Signal Rate Selector (DCE driver)
24	DA	113	Transmitter Signal Element Timing
25	----	----	Not Assigned

La Tabla 8.7 contiene la lista, de los pines utilizados en un conector DB-9 al usar el protocolo RS-232, así como su correspondencia con respecto a un conector DB-25.

Tabla 8.7. Correspondencia de los pines DB-9 a DB-25

DB-9		DB-25
1	Carrier Detect	8
2	Receive Data	3
3	Transmitted Data	2
4	Data Terminal Ready	20
5	Signal Ground	7
6	Data Set Ready	6
7	Request to send	4
8	Clear to send	5
9	Ring Indicator	22

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

APÉNDICE D

A continuación se presentan las tarifas de servicios de enlaces de datos por medio de la red celular, de enlaces punto a punto por microondas, y de enlaces satelitales, vigentes a la fecha, según la página de Internet de la Comisión Federal de Telecomunicaciones.

Plan tarifario de SOS TELECOMUNICACIONES, S.A. de C.V. (IUSACELL)
Paquetería para Servicios Celular Datos (Vigente a partir del 20 de Diciembre de 2002)
(Folio 3222) (Fecha de actualización: Jueves, 25 - Septiembre - 2003)

a) Paquete "DC-Tu Tiempo"

- Descripción: Servicio de transferencia de datos sin plazo forzoso, por cada línea activada en el sistema
- La unidad de tiempo se ha denominado Unidad de Transferencia de Datos (UTD), y es equivalente a 10 segundos.

Tabla 8.8. Tarifas del Paquete "DC tu Tiempo" (SOS TELECOMUNICACIONES)

	Sin equipo propio	Con equipo propio
Renta Mensual	\$ 120.00	\$ 94.00
Precio del UTD adicional dentro de las regiones Iusacell	-	-
de 0 a 1,000	\$ 0.48	\$ 0.48
de 1,201 a 2,400	\$ 0.38	\$ 0.38
de 2,401 a 3,600	\$ 0.35	\$ 0.35
de 3,601 en adelante	\$ 0.33	\$ 0.33
Roaming entre regiones Iusacell	\$ 0.71	\$ 0.71

- Fuera de las regiones Iusacell
 - Roaming nacional fuera de regiones Iusacell por minuto \$ 4.25
 - Roaming internacional
 - Cuota diaria.- El equivalente a DLS \$ 3.00, según tipo de cambio al final del período de facturación
 - Minuto.- El equivalente a DLS \$ 1.00, según tipo de cambio al final del período de facturación

**Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.**

- Recibo desglosado \$ 40.00
- Descuento a aplicar por volumen mensual

Tabla 8.9. Descuentos del Paquete "DC tu Tiempo" (SOS TELECOMUNICACIONES)

Rango definido en UTD's	Descuento
9,800	0.0%
9,801 a 98,000	2.0%
98,001 a 196,000	4.0%
196,001 a 343,000	6.0%
343,001 a 539,000	8.0%
539,001 a 784,000	10.0%
784,001 a n.a	15.0%

b) Paquete "Corporativo"

- Descripción :Servicio de transferencia de datos sin plazo forzoso, por cada línea activada en el sistema, a partir de 10 líneas

Tabla 8.10. Tarifas del Paquete "Corporativo" (SOS TELECOMUNICACIONES)

	Sin equipo propio	Con equipo propio
Renta Mensual	\$95.00	\$75.00
Precio del UTD adicional dentro de las regiones lusacell	--	--
de 0 a 1,000	\$0.45	\$0.45
de 1,201 a 2,400	\$0.34	\$0.34
de 2,401 a 3,600	\$0.31	\$0.31
de 3,601 en adelante	\$0.28	\$0.28
Roaming entre regiones lusacell	\$0.71	\$0.71

- Fuera de las regiones lusacell
- Roaming nacional fuera de regiones lusacell por minuto \$ 4.25
 - Roaming internacional
 - Cuota diaria.- El equivalente a DLS \$ 3.00, según tipo de cambio al final del periodo de facturación
 - Minuto.- El equivalente a DLS \$ 1.00, según tipo de cambio al final del periodo de facturación
- Recibo desglosado \$ 40.00
- Descuento a aplicar por volumen mensual

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.**

Tabla 8.11. Descuentos del Paquete "Corporativo" (SOS TELECOMUNICACIONES)

Rango definido en UTD's	Descuento
1 a 9,800	0.0%
9,801 a 98,000	2.0%
98,001 a 196,000	4.0%
196,001 a 343,000	6.0%
343,001 a 539,000	8.0%
539,001 a 784,000	10.0%
784,001 a n.a.	15.0%

C) Paquete "Datos Digital"

- Descripción :Servicio de transferencia de datos sin plazo forzoso, por cada línea activada en el sistema, a partir de 10 líneas
- Renta Mensual \$ 379.00
- Precio del UTD adicional dentro de las regiones lusacell
 - o de 0 a 1,000 \$ 0.49
 - o de 1,001 a 2,000 \$ 0.43
 - o de 2,001 en adelante \$ 0.39
 - o Roaming entre regiones lusacell \$ 0.71
- Fuera de las regiones lusacell
 - o Roaming nacional fuera de regiones lusacell por minuto \$ 4.25
 - o Roaming internacional
 - o Cuota diaria.- El equivalente a DLS \$ 3.00, según tipo de cambio al final del período de facturación
 - o Minuto.- El equivalente a DLS \$ 1.00, según tipo de cambio al final del período de facturación
- Recibo desglosado \$ 40.00

Condiciones Generales de la Paquetería Fija para la modalidad El que Recibe Paga

- Cargo adicional por minuto de acceso a un número con prefijo 044 \$ 2.25
- Los precios no incluyen IVA y en M.N.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.**

**Libro tarifario de AXTEL. Provisión de capacidad de enlaces de ondas punto a punto
(Tarifas vigentes a partir del 2 de Octubre de 2003) (Folio 3742)**

Fecha de actualización: Jueves, 2 - Octubre – 2003

a) Definiciones

Provisión de Capacidad.- Facilidad para instalar un enlace de microondas punto a punto utilizando alguna de las bandas de frecuencia concesionadas a AXTEL. Segmento de Tx.- Rango de frecuencias del espectro electromagnético necesario para la transmisión de una señal digital a través de un radio de microondas. Segmento de Rx.- Rango de frecuencias del espectro electromagnético necesario para la recepción de una señal digital a través de un radio de microondas. Reubicación.- Cambio de ubicación de los equipos de microondas.

b) Descripción del Programa Comercial

Este programa tiene la finalidad de presentar el esquema tarifario con el que se comercializa a nivel nacional el servicio de Provisión de Capacidad de espectro para el establecimiento de enlaces de microondas Punto a Punto en las bandas de 15 y 23 GHz de acuerdo con la concesión para el uso, aprovechamiento y explotación de bandas del espectro electromagnético con el que cuenta AXTEL.

Tabla 8.12. Bloques de frecuencias válidos (AXTEL)

Banda	Segmentos de Tx (MHz)	Segmento de Rx (MHz)
15 Ghz (2 bloques)	14,648 – 14,676 14,676 – 14,704	14,963 – 14,991 4,991 – 15,019
23 Ghz (1 bloque)	22,150 – 22,200	23,350 – 23,400

c) Reglas de Aplicación de las tarifas

Esta oferta comercial contempla un cargo inicial único por concepto de Emisión de Constancia de no Interferencia y una renta trimestral recurrente que varía dependiendo de la ciudad y la cantidad total de enlaces contratados.

Los equipos de radio de microondas que se utilicen en el establecimiento de los enlaces serán propiedad del Cliente y estarán bajo su responsabilidad, cualquier equipo de telecomunicaciones que se utilice deberá estar homologado ante la SCT.

d) Tarifas

La siguiente tabla muestra las tarifas que aplican para este plan comercial, todas las cantidades están expresadas en pesos mexicanos y no incluyen I.V.A.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.**

Tabla 8.13. Tarifas de servicio punto a punto (AXTEL)

Bandas de 15 y 23 Ghz			
Contratación en cualquier ciudad del territorio mexicano \$19,000 Pesos			
Número total de Enlaces Contratados	Renta Trimestral (aplica sólo D.F.)		
	7 Mhz	14 Mhz	28 Mhz
1 a 99	\$67,830	\$135,660	\$271,320
100 a 299	\$50,872	\$101,745	\$203,490
300 a 499	\$40,698	\$81,396	\$160,792
500 o +	\$33,915	\$67,830	\$135,660
Número total de Enlaces Contratados	Renta Trimestral (aplica sólo en Monterrey, N.L. y Guadalajara, Jal.)		
	7 Mhz	14 Mhz	28 Mhz
1 a 99	\$33,915	\$67,830	\$135,660
100 a 299	\$25,436	\$50,872	\$101,745
300 a 499	\$20,349	\$40,698	\$81,396
500 o +	\$16,957	\$33,915	\$67,830
Número total de Enlaces Contratados	Renta Trimestral (aplica en el resto del País)		
	7 Mhz	14 Mhz	28 Mhz
1 a 99	\$6,783	\$13,566	\$27,132
100 a 299	\$5,087	\$10,175	\$20,349
300 a 499	\$4,070	\$8,140	\$16,279
500 o +	\$3,392	\$6,783	\$13,566

NOTA. La Tarifa de contratación incluye el costo del estudio de No Interferencia.

e) Vigencia de las tarifas

Todas las tarifas mostradas en esta sección estarán vigentes hasta el 30 de Noviembre del 2003 o hasta que AXTEL emita y registre ante COFETEL nuevas tarifas que sustituyan las presentes.

f) Términos y Condiciones

- El esquema de tarifas contempla un cargo por Emisión de Constancia de No Interferencia y una renta trimestral.
- El cargo por la contratación deberá ser cubierto al momento de solicitar la asignación de espectro para cada enlace.

**Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.**

- El cargo por contratación cubre la realización del estudio de no interferencia pero no garantiza el resultado que éste arrojará por lo que el pago efectuado por el Cliente no se reembolsará aún cuando el estudio arroje resultados desfavorables. Por lo tanto se cancelará la contratación de dicho enlace y el Cliente no tendrá que cubrir los cargos por concepto de renta.
- En caso de solicitar la reubicación del espectro o algún cambio al ancho de banda del espectro provisto para un determinado enlace, se considerará como un nuevo requerimiento por lo que las tarifas de contratación y renta deberán ser cubiertas nuevamente.
- La tarifa de renta correspondiente a la asignación de espectro deberá pagarse de manera trimestral por adelantado, considerando el número de enlaces que tenga contratados el usuario al momento de hacer el pago.
- El primer pago trimestral se deberá cubrir a partir de la fecha en que AXTEL entrega la constancia de no interferencia al Cliente.
- Los siguientes pagos trimestrales deberán ser cubiertos una vez concluido el trimestre en que se efectuó la entrega de la constancia de no interferencia de cada enlace, conforme a la tarifa vigente para el servicio de Provisión de Capacidad para el establecimiento de enlaces de microondas punto a punto en las bandas de 15 y 23 Ghz.
- La presente oferta comercial podrá ser actualizada tomando como base el índice nacional de precios al consumidor publicado por el Banco de México en el Diario Oficial de la Federación o por medio de una nueva oferta comercial emitida por AXTEL, previo al registro de tarifas ante la Comisión Federal de Telecomunicaciones.
- La asignación de espectro estará sujeta a disponibilidad técnica, por lo que AXTEL determinará la frecuencia óptima de operación del enlace de acuerdo a sus criterios de planeación y administración del espectro electromagnético.
- El servicio de asignación de espectro no incluye ningún tipo de equipo.
- El enlace de microondas punto a punto que se instale al amparo del contrato correspondiente deberá apegarse invariablemente a las condiciones técnicas establecidas en la constancia de no interferencia correspondiente.
- El período mínimo de contratación de los servicios es de 12 meses.
- En caso de cancelación por parte del Cliente antes de completar el período mínimo de contratación, el Cliente deberá pagar un monto equivalente a la totalidad de las rentas faltantes para completar dicho período mínimo de contratación.
- Para fines de la presente tarifa, el Distrito Federal (área metropolitana) comprende: el Distrito Federal y los municipios de Atizapán de Zaragoza, Coacalco de Berriozabal, Cocolitlán, Cuautlilán Izcalli, Chalco, Chimalhuacán, Ecatepec, Ixtapaluca, Jaltenco, Melchor Ocampo, Nextlalpan, Nezahualcóyotl, La Paz, Tecamac (excepto el área geográfica que contiene a la población de Los Reyes Acozac), Temamalla, Tepozotlán, Tlalnepanitla de Baz, Tultepec, Tultitlán y Valle de Chalco Solidaridad, así como las áreas geográficas de Chicoloapan, Huixquilucan, Isidro Fabela, Jilotzingo, Naucalpan y Nicolás Romero, todos del Estado de México.
- Para fines de la presente tarifa, Monterrey (área metropolitana) comprende: los municipios de Monterrey, Abasolo, Apodaca, Carmen, García, General Escobedo, Guadalupe, Juárez, San Nicolás de los Garza, San Pedro Garza García y Santa Catarina, así como la población de Salinas Victoria, todos del Estado de Nuevo León.

**Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.**

- Para fines de la presente tarifa, Guadalajara (área metropolitana) comprende: los municipios de Guadalajara, Juanacatlán, El Salto, Tlaquepaque, Tonalá y Zapopan, así como las poblaciones de La Calera, Nicolás R. Casillas, Palomar, San Sebastián El Grande y Santa Cruz del Valle, todos del Estado de Jalisco.
- Para fines de la presente tarifa, el Resto del País comprende el territorio nacional que no forma parte del Distrito Federal (área metropolitana), Monterrey (área metropolitana) y Guadalajara (área metropolitana), conforme a lo establecido en el presente.

g) Promoción por Pagos Anuales para Enlaces De Microondas Punto a Punto en 15 y 23 Ghz.

Los Clientes que contraten más de 100 enlaces, antes del 30 de Noviembre del 2003 y que hagan los pagos anuales por adelantado se podrán hacer acreedores a los siguientes descuentos:

- Descuentos en Contratación

Contratación: 34.21% de descuento sobre el cargo de contratación.

- Descuentos en Renta:

Tabla 8.14. Descuento en renta (AXTEL)

	% Descuento		
	7 Mhz	14 Mhz	28 Mhz
México D.F.	91.30%	93.49%	95.70%
Monterrey y Guadalajara	82.60%	86.98%	91.40%
Otras Ciudades	13.01%	34.85%	57.00%

- Reglas de Aplicación de la Promoción

Sólo aplica para clientes que contraten 100 enlaces o más.

Sólo aplica para contrataciones realizadas antes del 30 de Noviembre del 2003.

Sólo aplica para pagos anuales por adelantado. No se pueden realizar pagos trimestrales; siempre deberán ser anuales y por adelantado.

El Cliente deberá cubrir el equivalente a 4 rentas trimestrales aplicando el correspondiente descuento para realizar el pago anual por adelantado.

El periodo mínimo de contrato es de 12 meses.

Todas las reglas y términos y condiciones comerciales descritas en el programa comercial regular de enlaces siguen aplicando a menos que se indique algo diferente como parte de la promoción.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

*Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.*

Plan tarifario de Satélites Mexicanos, S.A. de C.V.

**Servicios Satelitales Solidaridad en Kbps (Vigente a partir del 15 de mayo de 2000)
(Folio 1575)**

a) Tarifas en Kbps

Los precios aquí descritos son mensuales y se refieren a la prestación de servicio de segmento satelital en modalidad permanente, de acuerdo a la velocidad del enlace en el sistema de Satélites Solidaridad en las regiones R1 y R4

Tabla 8.15. Tarifas en KBPS (SATMEX)

Velocidad [Kbps]	Tarifa (Pesos)
64	8390.30
128	15057.30
192	21317.40
256	23751.70
384	35627.50
512	47503.30
768	71255.00
1024	94860.40
1544	118388.80
2048	124324.50

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

b) Condiciones Comerciales

- Circuitos completos con acceso SCPC (enlaces full duplex)
- Las tarifas se aplican en las dos bandas de los satélites Solidaridad 1 y 2 en regiones R1 y R4 exclusivamente
- Tarifas con un mínimo de contratación de un año sin descuento hasta por 5 años
- Restricciones en equipamiento:
 - Todos los enlaces deben de tener modulación QPSK
 - Banda C:
 - En velocidad de 64 Kbps antenas de 1.8m FEC 1/2
 - En velocidades de 128 Kbps a 192 Kbps antenas 2.4m FEC de 1/2
 - En velocidades de 256 Kbps a 1544 Kbps antenas de 3.5m FEC de 3/4
 - En velocidad de 2,048 Kbps antenas de 4.5m FEC de 3/4
 - Banda Ku:
 - En velocidades de 64 Kbps a 192 Kbps antenas de 1.2m FEC de 1/2

**Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.**

- o En velocidades de 256 Kbps a 1544 Kbps antenas de 2.4m FEC de 3/4
- o En velocidad de 2,048 Kbps antena de 3.5m FEC de 3/4
- Para que estas tarifas sean aplicables se deberá cumplir con las condiciones aquí descritas, ya que determinan el consumo de segmento espacial.
- Las cuotas de las tarifas están nominadas en moneda nacional para efectos únicamente de registro ante la Comisión Nacional de Telecomunicaciones. El tipo de cambio utilizado fue de 9.3988 pesos por dólar americano, el cual fue publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 17 de abril de 2000. El pago de los servicios en moneda nacional variará de acuerdo a la fluctuación cambiaria.
- El cliente debe de contar con el equipamiento y los permisos necesarios para la prestación de este servicio.

Libro tarifario de Satmex (Vigente a partir del 23 de Diciembre de 1998)

Servicio de señales por satélite SATMEX 5, en base permanente y no interrumpible.

Banda C

- Transpondedores en Región Continental, Ancho de banda: 36 MHz, Potencia nominal del transpondedor: 38 dBW

Tabla 8.16. Contratos por un mes de servicio (SATMEX 5 C)

Fracción del transpondedor asignada	Equivalente en ancho de banda	Cuota mensual en pesos mexicanos
0.139%	50 KHz	\$ 6,487.41
2.778%	1 MHz	\$ 116,672.80
100%	36 MHz	\$ 2,353,572.00

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

*Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.*

Tabla 8.17. Contratos por un año de servicio (SATMEX 5 C)

Fración del transpondedor asignada	Equivalente en ancho de banda	Cuota mensual en pesos mexicanos
0.139%	50 KHz	\$ 4,475.81
2.778%	1 MHz	\$ 80,464.00
100%	36 MHz	\$ 1,639,454.00

Banda Ku.

- Transpondedores en Región NAFTA. Ancho de banda: 36 MHz, Potencia nominal del transpondedor: 49 dBW

Tabla 8.18. Contratos por un mes de servicio (SATMEX 5 Ku NAFTA)

Fración del transpondedor asignada	Equivalente ancho de banda	Cuota mensual en pesos mexicanos
0.139%	50 KHz	\$ 9,856.84
2.778%	1 MHz	\$ 180,038.20
100%	36 MHz	\$ 3,550,474.00

Tabla 8.19. Contrato por un año de servicio (SATMEX 5 Ku NAFTA)

Fración del transpondedor asignada	Equivalente ancho de banda	Cuota mensual en pesos mexicanos
0.139%	50 KHz	\$ 0,839.44
2.778%	1 MHz	\$ 122,707.60
100%	36 MHz	\$ 2,474,268.00

***Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.***

- Transpondedores en Región Continental, Ancho de banda: 36 MHz, Potencia nominal del transpondedor: 46 dBW

Tabla 8.20. Contrato mensual de servicio (SATMEX 5 Ku Continental)

Fración del transpondedor asignada	Equivalente en ancho de banda	Cuota mensual en pesos mexicanos
0.139%	50 KHz	\$ 9,856.84
2.778%	1 MHz	\$ 178,026.60
100%	36 MHz	\$ 3,590,706.00

Tabla 8.21. Contrato por un año de servicio (SATMEX 5 Ku Continental)

Fración del transpondedor asignada	Equivalente en ancho de banda	Cuota mensual en pesos mexicanos
0.139%	50 KHz	\$ 6,889.73
2.778%	1 MHz	\$ 123,713.40
100%	36 MHz	\$2,464,210.00

APÉNDICE E

Point-to-Point Protocol (Protocolo Punto a Punto)

Introducción

El protocolo PPP originalmente surgió como un protocolo de encapsulamiento para transportar tráfico de IP sobre enlaces punto a punto. PPP además estableció una norma para la asignación y administración de las direcciones IP, encapsulamiento asíncrono (inicio/parada) y síncrono con bit de orientación, protocolo de red de multiplexación, configuración de enlace, pruebas de calidad de enlace, detección de error, y opción de negociación para aquellas capacidades como negociación de dirección en la capa de red y negociación de compresión de datos. PPP soporta estas funciones proporcionando una extensión del Link Control Protocol (LCP) y una familia de Network Control Protocols (NCPs) para negociar parámetros opcionales de configuración y facilidades. En adición a IP, PPP soporta otros protocolos, incluyendo el Novell's Internetwork Packet Exchange (IPX) y el DECnet.

Componentes PPP

PPP proporciona un método para transmitir datagramas sobre enlaces seriales punto a punto, para ella contiene tres componentes principales:

- Un método para encapsulamiento de datagramas sobre enlaces seriales. PPP usa el protocolo High-Level Data Link Control (HDLC) como una base de encapsulamiento de datagramas sobre enlaces punto a punto.
- Una extensión de LCP para establecer, configurar y probar la conexión de datos.
- Una familia de NCPs para establecer y configurar diferentes protocolos de la capa de red. PPP está diseñado para permitir el uso simultáneo de múltiples protocolos de la capa de red.

Operación General

Para establecer comunicaciones sobre un enlace punto a punto, el punto de origen primeramente envía encabezados de LCP para configurar y (opcionalmente) probar el enlace de datos. Después de que el enlace ha sido establecido y las facilidades opcionales han sido negociadas como se requieren

para el LCP, el punto de origen envía encabezados de NCP para escoger y configurar uno o más protocolos de la capa de enlace. Cuando cada uno de los protocolos de red escogidos han sido configurados, paquetes de cada protocolo de red pueden ser enviados sobre el enlace. El enlace permanecerá configurado para comunicarse hasta que explícitamente los encabezados de LCP o NCP cierren el enlace, o hasta que algún evento externo ocurra (por ejemplo, cuando el cronómetro de inactividad expira).

Requerimientos de la Capa Física

PPP es capaz de operar a través de cualquier interfaz DTE/DCE. Los ejemplos incluyen EIA/TIA-232-C (RS-232C), EIA/TIA-422 (RS-422), EIA/TIA-423 (RS-423), CCITT V.35. El único requisito impuesto por PPP es que se le proporcione un circuito dúplex, dedicado o conmutado, que pueda operar en modo asíncrono o síncrono con bit serial, transparente a los encabezados de capa de enlace. PPP no impone restricciones con respecto a la tasa de transmisión más que aquellas impuestas por las interfaces DTE/DCE en uso.

Capa de Enlace de PPP

PPP usa los principios, terminología y estructura de encabezados de los procedimientos de HDLC del ISO (ISO 3309-1979) así como los modificados por 3309:1984/PDAD1 "Addendum 1: Start/Stop Transmission." ISO 3309-1979 especifica la estructura del encabezado de HDLC para ambientes síncronos, mientras que ISO 3309:1984/PDAD1 especifica las propuestas modificatorias al ISO 3309-1979 que permiten su uso en ambientes asíncronos. Los procedimientos de control de PPP usan las definiciones y las codificaciones de control de campo normalizadas en ISO 4335-1979 y ISO 4335-1979/Addendum 1-1979. El formato de encabezado de PPP aparece en la Figura 8.1.

Field length,
in bytes

1	1	1	2	Variable	2 or 4
Flag	Address	Control	Protocol	Data	FCS

Figura 8.1. Campos del encabezado de PPP

A continuación se describirán los campos que contiene el encabezado de PPP:

- **Flag:** Indica el principio o fin del encabezado. El campo consiste en una secuencia binaria 01111110
- **Address:** Contiene la secuencia binaria 11111111, la cual es la dirección normalizada para broadcast. PPP no asigna direcciones individuales.
- **Control:** Contiene la secuencia binaria 00000011, la cual llama a la transmisión de los datos de usuario en un encabezado no secuenciado. Se proporciona un servicio de enlace sin conexión similar a los del Logical Link Control (LLC) Tipo 1.
- **Protocol:** Identifican el protocolo de encapsulamiento en el campo de información del encabezado. Los valores más actuales del campo son especificados en la versión más reciente del Assigned Numbers Request for Comments (RFC).
- **Data:** Contienen el datagrama del protocolo especificado. El final del campo de información es encontrado en la secuencia de la bandera de cierre y dejando 2 bytes para el campo de FCS. La máxima longitud del campo de información es de 1500 bytes.
- **Frame Check Sequence (FCS):** Por acuerdo previo, las implementaciones de PPP pueden usar 32 bits para introducir detección de errores.

Protocolo de Enlace-Control de PPP (Link-Control Protocol)

El PPP LCP proporciona un método de establecimiento, configuración, mantenimiento, y terminación de la conexión punto a punto. LCP pasa por 4 fases distintas.

Primero, ocurre el establecimiento y negociación de configuración. Antes de que cualquier datagrama de red (por ejemplo IP) pueda ser intercambiado, LCP debe abrir la conexión y negociar los parámetros de configuración. Esta fase se completa cuando los reconocimientos de configuración han sido enviados y recibidos.

Ésto es seguido por la determinación de la calidad del enlace. LCP permite una fase opcional de determinación de calidad de enlace después del establecimiento de enlace y la negociación. En esta fase, el enlace es probado para determinar si la calidad de enlace es suficiente para llevar los protocolos de la capa de red. Esta fase es opcional. LCP puede retrasar la transmisión de la información de los protocolos de la capa de red hasta que esta fase sea completada.

*Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.*

En este punto ocurre la negociación de la configuración de los protocolos de la capa de red. Después de que el LCP determina la calidad de enlace, los protocolos de red pueden ser configurados separadamente por el NCP apropiado y pueden llevarse y traerse en cualquier tiempo. Si el LCP cierra el enlace, se informa a los protocolos de red para que implementen la acción apropiada.

Finalmente, ocurre la finalización del enlace. LCP puede terminar el enlace en cualquier momento. Esto usualmente se hace en la petición de un usuario pero puede ocurrir debido a un evento físico, como la pérdida de portadora o debido a la expiración de un periodo de inactividad.

Existen tres clases de encabezados de LCP: el Link-establishment, utilizado para establecer y configurar el enlace; el Link-termination usado para finalizar el enlace, y el Link-maintenance, utilizado para administrar y suprimir un enlace.

9 BIBLIOGRAFÍA Y CONSULTAS

Hirsch, C., *Results of the Mexican PCS and WLL Auctions*, Global Communications Newsletter, IEEE Comm., Octubre 1998, Vol. 36 No. 10

Pahlavan, K., Levesque, A., *Wireless information networks*, John Wiley & Sons, E.U.A., 1995

Hioki, W., *Telecommunications*, Prentice Hall. 3ª Edición, E.U.A., 1998

Vázquez, V., Peters, R., *Red Piloto de Monitoreo de Subestaciones Eléctricas*, México, Instituto de Ingeniería, 2001

Bates, Regis J., *Wireless Networked Communications*, Mc Graw Hill, 1997

Neri Vela, R., *Comunicaciones por Satélite*, Thomson, México, 2003

Lee, William C. Y., *Mobile Cellular Telecommunications, Analog and Digital Systems*, Mc Graw Hill, 2ª Edición, Singapur, 1989

Couch II, Leon W., *Digital and Analog Communication Systems*, Macmillan, 4ª Edición, E.U.A., 1990

Dunlop, J., Girma, D., Irvine, J., *Digital Mobile Communications and the TETRA System*, John Wiley & Sons, 1999

***Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.***

Peterson, R., Ziemer, R., Borth, D., *Introduction to Spread Spectrum Communications*, Prentice Hall, 1995

Hanzo, L., Cherriman, P., Streit, J., *Wireless Video Communications*, IEEE Press (IEEE Series in Digital and Mobile Communication), 2001

Spragins, J., Hammond, J., Pawlikowski, K., *Telecommunications Protocols and Design*, Addison Wesley Publishing Co., 1994

Held, G., *Data Communications Networking Devices*, John Wiley & Sons, 1993, 3ª Edición.

Juárez, J., Téllez, S., *CDMA2000 Tecnología de Comunicaciones Inalámbricas celulares de Tercera Generación*, Facultad de Ingeniería, 2002

Ake, M., Flores, M., *Evolución hacia la Tercera Generación de Sistemas Móviles a través de la Tecnología GPRS*, Facultad de Ingeniería, 2002

Pardo, A., *Auditoría de Calidad de Servicio (Benchmarking) para Redes de Telefonía Celular*, Facultad de Ingeniería, 2002

CDMA DATA TERMINAL, *EMII-800 Reference Manual, Application Information*, 01-EMII800-1 X1, 18 de Diciembre de 2001

CDMA DATA TERMINAL, *AT Command User Manual*, Ver. 1.1 ASF02-V11, 28 de Junio de 2001

CDMA DATA TERMINAL, *Async Data & Fax User Manual*, Ver. 1.1 ASF02-V11, 28 de Junio de 2001

CDMA DATA TERMINAL, *AnyDATA Proprietary Packet Data User Manual*, Ver. 1.1 PD02-V11, 28 de Junio de 2001

*Diseño y Desarrollo de una Red de Comunicación de Datos Inalámbrica
para el Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas en C.U.*

Referencias en Internet:

<http://www.cofetel.gob.mx>

<http://www.anydata.net>

<http://www.telemetry.com.mx>

<http://www.qualcomm.com>

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

http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/ppp.htm

http://freespace.virgin.net/john.cletheroe/pc_int/glossary/o.htm