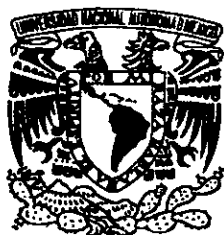


SO



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES.

CAMPUS ARAGON

**“INTEGRACIÓN DE REDES INFORMÁTICAS EN LA
TELEFONÍA CELULAR”.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECANICO
ELÉCTRICO**

P R E S E N T A :

OLIVARES REYES JUAN

ASESOR:

ING. DAVID B. ESTOPIER BERMUDEZ

MEXICO

2000



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS
PROFESIONALES ARAGÓN - UNAM

JEFATURA DE CARRERA DE INGENIERÍA
MECÁNICA ELÉCTRICA.

OFICIO No. ENAR/JAME/0731/2000.

ASUNTO: **Sínodo.**

LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS,
SECRETARIO ACADÉMICO.
P R E S E N T E

Por este conducto me permito relacionar los nombres de los Profesores que sugiero integren el Sínodo del Examen Profesional del alumno **OLIVARES REYES JUAN**, con Número de Cuenta: 9036259-4 con el tema de tesis: **"INTEGRACIÓN DE REDES INFORMÁTICAS EN LA TELEFONÍA CELULAR"**.

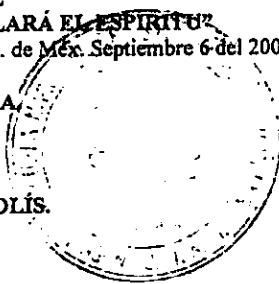
PRESIDENTE:	ING. RAÚL BARRÓN VERA	OCTUBRE	78
VOCAL:	ING. RAÚL BRIBIESCA CORREA	OCTUBRE	80
SECRETARIO:	ING. ELEAZAR M. PINEDA DÍAZ	OCTUBRE	80
SUPLENTE:	ING. DAVID B. ESTOPIER BERMUDEZ	JUNIO	87
SUPLENTE:	ING. PABLO LUNA ESCORZA	ENERO	96

Quiero subrayar que el Director de Tesis es el Ing. David B. Estopier Bermudez, el cuál está incluido en base a lo que reza el Reglamento de Exámenes Profesionales de esta Escuela.

A T E N T A M E N T E
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, Edo. de Méx. Septiembre 6 del 2000.

EL JEFE DE CARRERA,

ING. IVÁN MUÑOZ SOLÍS.



c.c.p. - Lic. Ma. Teresa Luna Sánchez. - Jefa del Depto. de Servicios Esportares.
c.c.p. - Ing. David B. Estopier Bermudez. - Asesor de Tesis.
c.c.p. - Alumno:

IMS/mlev*



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
CAMPUS ARAGÓN

SECRETARÍA ACADÉMICA

Ing. IVÁN MUÑOZ SOLÍS

Jefe de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica,

Presente.

En atención a la solicitud de fecha 8 de septiembre del año en curso, por la que se comunica que el alumno JUAN OLIVARES REYES, de la carrera de Ingeniero Mecánico Electricista, ha concluido su trabajo de investigación intitulado "INTEGRACIÓN DE REDES INFORMÁTICAS EN LA TELEFONÍA CELULAR", y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted, se autoriza su impresión; así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del Examen Profesional.

Sin otro particular, reitero a usted las seguridades de mi atenta consideración.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México, 11 de septiembre del 2000

EL SECRETARIO


Lic. ALBERTO IBARRA ROSAS

C p Asesor de Tesis.

C p Interesado.

AIR/REC/vr


A LA ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARÁGON.

AL ING. DAVID B. ESTOPIER BERMÚDEZ
Por su generosidad y valiosa dirección.

A QUIENES POR SU COLABORACIÓN
han contribuido a la elaboración de esta
tesis.

A MIS PADRES

En especial a mi madre, de la cual siempre he recibido el más grande amor y apoyo incondicional.

A MIS HERMANOS

En especial a mi hermana que siempre me ha brindado su cariño y comprensión.

A MIS FAMILIARES

Con el más sincero afecto.

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS.

Por haberme brindado en algún momento su comprensión.

INTEGRACIÓN DE REDES INFORMATICAS EN LA TELEFONÍA CELULAR.

ÍNDICE GENERAL.

OBJETIVOS.	I
------------	-------	---

INTRODUCCIÓN.	II
---------------	-------	----

CAPITULO I

CONCEPTO DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES INALÁMBRICA.

I.I SISTEMA DE COMUNICACIONES INALÁMBRICO	1
-------------------------------------------	-------	---

I.II TÉCNICAS DE MODULACIÓN	3
-----------------------------	-------	---

I.II.1 TÉCNICAS DE MODULACIÓN ANALÓGICAS.	3
-------------------------------------------	-------	---

Modulación en Frecuencia.	.....	5
Modulación Angular de Tono Unico.	.....	6
Modulación de Banda Angosta.	.....	7
Potencia Media en Señales de Modulación Angular.	.....	8
Ancho de Banda de las Señales Moduladas en Angulo	.....	8
Criterios para Determinar el Ancho de Banda.	.....	9
Generación de una Señal en Frecuencia Modulada.	.....	10

1. Método Directo.
2. Método Indirecto.

Demoduladores de Frecuencia Modulada.	11
---------------------------------------	-------	----

- a) Discriminador de Frecuencia.
- b) Circuitos de Amarre de Fase.

Efectos del Ruido en un Sistema de Frecuencia Modulada	13
--------------------------------------------------------	-------	----

I.II.2 TÉCNICAS DE MODULACIÓN DIGITALES.	14
------------------------------------------	-------	----

TÉCNICAS DE MODULACIÓN BINARIAS COHERENTES.	15
---------------------------------------------	-------	----

I Sistema FSK (Frequency Shift Keying) Binario Coherente	15
----------------------------------------------------------	-------	----

II. Sistema PSK (Phase Shift Keying) Binario Coherente	18
--------------------------------------------------------	-------	----

TÉCNICAS DE MODULACIÓN BINARIAS COHERENTES EN CUADRATURA.	21
-----------------------------------------------------------	-------	----

III. Sistema QPSK (Quadriphase Shift Keying) Binario Coherente.	22
-----------------------------------------------------------------	-------	----

IV. Sistema MSK (Minimum Shift Keying) Binario Coherente	26
----------------------------------------------------------	-------	----

V Sistema QAM M-ary (Quadrature Amplitude Modulation)	32
-------------------------------------------------------	-------	----

I.III APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE MODULACIÓN A LA TECNOLOGÍA DE CÉLULAS.	34
I.IV EL MEDIO AMBIENTE DEL SISTEMA RADIO MÓVIL.	35
I.IV.1 COMPORTAMIENTO DE LAS ONDAS DE RADIO.	36
a) Pérdidas por Espacio Libre.	37
b) Atenuación (Blockage).	38
c) Pérdidas por multitrayectorias.	40
1. Retardos de Dispersión.	
2. Desvanecimientos Rayleigh.	
3. Cambios Doppler.	
I.V CONCEPTO DE TRÁFICO EN REDES.	44
I.V.1 TRÁFICO TELEFÓNICO.	44
I.V.2 NATURALEZA DEL TRÁFICO.	44
A) El Flujo de Tráfico.	46
B) El Tráfico como un Proceso Aleatorio.	47
C) Las Variaciones de Tráfico (Las Horas de Ocupado - BH).	48
D) La distribución de Poisson.	48
E) Distribución Exponencial Negativa.	49
F) Ráfagas Aleatorias.	50
G) Grado de Servicio.	50
H) Algunas otras Fórmulas Importantes de la Teoría de Tráfico.	51
1. Fórmula de Erlang B.	
2. Fórmula de Erlang C.	
3. Fórmula de Pollaczek.	
4. Fórmula Binomial.	
I.V.3 EL TRÁFICO EN LOS SISTEMAS CELULARES.	52

CAPITULO II

LAS NORMAS Y LOS SISTEMAS CELULARES.

II.I SITUACIÓN ACTUAL DE LA NORMATIVIDAD EN LOS SISTEMAS CELULARES.	56
1. Código BCH.	57
2. Espaciamiento del Canal.	58
3. Compresor - Expansor (Compansor).	59
4. Secuencia Puntual y Códigos de Palabra de Sincronía.	60
5. Grado de Servicio.	60
6. Código de Protección de Datos.	60
7. Figura de Ruido.	61
8. Medición de la Calidad de la Conversación.	62
9. Emisiones Espurias.	62

II.1.1 EL SISTEMA AMPS	63
Características y Parámetros del Sistema.	63
II.1.2 EL SISTEMA TACS.	67
Características y Parámetros del Sistema.	67
II.1.3 EL SISTEMA NTT	68
Características y Parámetros del Sistema.	70
II.1.4 EL SISTEMA NMTS	71
Características y Parámetros del Sistema.	71
II.1.5 EL SISTEMA MATS-E.	72
Características y Parámetros del Sistema.	72
II.1.6 EL SISTEMA C-450.	74
Características y Parámetros del Sistema.	75
II. II SITUACIÓN EN MÉXICO DE LOS SISTEMAS CELULARES	76
INTRODUCCIÓN.	76
NORMA OFICIAL MEXICANA (NOM-081-SCT1-1993) SISTEMAS DE RADIOTELEFONIA CON TECNOLOGIA CELULAR QUE OPERAN EN LA BANDA DE LOS 800 MHZ.	78
II. II. I ESTACIÓN MÓVIL.	78
II. II. I. I TRANSMISOR.	78
II. II. I. I. 1 Parámetros de Frecuencia.	78
a) Designación y Espaciamiento de Canales.	
b) Tolerancia de Frecuencia.	
II. II. I. I. 2 Características de Potencia de Salida.	79
a) Condiciones <i>on/off</i> de la Portadora	
b) Potencia de Salida y Control de Potencia.	
II. II. I. I. 3 Características de Modulación.	80
a) Señales de Voz.	80
1 Compresor.	
2 Pre-énfasis.	
3 Limitador de Desviación	
4 Filtro Post-Limitador de Desviación.	

b) Señales de Datos de Banda Ancha.	81
II.II.1.1.4 Limitaciones en Emisiones.	81
II.II.1.2 RECEPTOR.	81
II.II.1.2.1 Parámetros de Frecuencia.	81
II.II.1.2.2 Características de Modulación.	81
II.II.1.2.3 Limitaciones en Emisiones.	81
II.II.1.2.3.1 Emisiones no Esenciales Conducidas.	81
II.II.1.3 SEGURIDAD E IDENTIFICACIÓN.	81
II.II.1.3.1 Número de Identificación de la Estación Móvil.	81
II.II.1.3.2 Número de Serie.	83
II.II.1.3.3 Marca de Clase de la Estación Móvil (SCMp).	83
II.II.1.3.4 Memoria de Registro.	84
II.II.1.3.5 Identificación del Sistema Local.	84
II.II.1.3.6 Transmisión Discontinua.	84
II.II.1.4 SUPERVISIÓN.	85
II.II.1.4.1 El Tono de supervisión de Audio (SAT).	85
II.II.1.4.2 Tono del SAT.	85
II.II.1.4.3 Transmisión del SAT.	86
II.II.1.4.4 Estado de Tiempo de Desvanecimiento.	86
II.II.1.4.5 Tono de Señalización (ST).	86
II.II.1.5 DETECCIÓN DE UN MAL FUNCIONAMIENTO.	86
II.II.1.5.1 Contador de Tiempo.	86
II.II.1.5.2 Transmisión Errónea.	86
II.II.1.6 PROCEDIMIENTO DE LA LLAMADA.	87
II.II.1.6.1 Inicialización.	87
II.II.1.6.2 Selección de Canal de Búsqueda.	88

II.II.1.6.3 Desocupado.	89
II.II.1.6.3.1 Respuesta a la Información de Encabezado.	89
II.II.1.6.3.2 Coincidencia de Búsqueda.	91
II.II.1.6.3.3 Orden.	91
II.II.1.6.3.4 Inicio de Llamada	91
II.II.1.6.4 Acceso al Sistema.	91
II.II.1.6.4.1 Ajuste de los Parámetros de Acceso.	91
II.II.1.6.4.2 Adquisición de los Parámetros de Intentos de Acceso.	92
II.II.1.6.4.3 Actualización de la Información de Encabezado.	93
II.II.1.6.4.4 Captura del Canal de Control hacia Atrás.	94
II.II.1.6.4.5 Retardo después de Falla.	95
II.II.1.6.4.6 Solicitud de Servicio.	95
II.II.1.6.4.7 Determinación del Sistema-Servidor.	96
II.II.1.6.4.8 Mensaje de Espera.	96
II.II.1.6.5 Control de la Estación Móvil en el Canal de Voz.	97
II.II.1.6.5.1 Pérdida de Continuidad en el Enlace de Radio.	97
II.II.1.6.5.2 Confirmación del Canal Inicial de Voz.	97
II.II.1.6.5.3 Conversación.	98
II.II.1.6.5.4 Liberación.	99
II.II.1.7 FORMATOS DE SEÑALIZACIÓN.	100
II.II.1.7.1 Canal de Control hacia Atrás (RECC).	100
II.II.1.7.1.1 Mensajes del RECC.	100
II.II.1.7.2 Canal de Voz hacia Atrás (RVC)	102
II.II.1.7.2.1 Mensajes RVC	102
II.II.2 ESTACIÓN BASE (E.B).	103
II.II.2.1 TRANSMISOR.	103
II.II.2.1.1 Parámetros de Frecuencia.	103

II.II.2.1.2 Características de Potencia de Salida.	103
II.II.2.1.3 Características de Modulación.	103
II.II.2.1.3.1 Señales de Voz.	103
1. Compresor.	
2. Pre-énfasis.	
3. Limitador de Desviación.	
4. Filtro Limitador de Post-Desviación.	
II.II.2.1.3.2 Señales de Datos de Banda Ancha.	104
II.II.2.1.4 Limitaciones en Emisiones.	104
a) Ancho de Banda Ocupado.	
b) Emisiones no Esenciales Conducidas.	
c) Intermodulación.	
II.II.2.2 RECEPTOR.	104
II.II.2.2.1 Parámetros de Frecuencia.	104
II.II.2.2.2 Características de Demodulación.	104
a) Señales de Voz.	
De-énfasis.	
Expansor	
b) Otros Parámetros.	
II.II.2.3 SEGURIDAD E IDENTIFICACIÓN.	105
II.II.2.4 INSPECCIÓN.	105
II.II.2.4.1 Transmisión del SAT.	105
II.II.2.5 PROCEDIMIENTO DE LLAMADA.	105
II.II.2.5.1 Funciones de Encabezado para la Inicialización de Estaciones Móviles.	105
II.II.2.5.2 Control de la Estación Móvil en el Canal de Control.	105
II.II.2.5.2.1 Información de Encabezado.	105
II.II.2.5.2.2 Búsqueda.	106
II.II.2.5.2.3 Ordenes.	106
II.II.2.5.2.4 Control Local.	106

II.II.2.5.3 Asistencia de la Estación Base para el Acceso al Sistema de las E M.	107
II.II.2.5.3.1 Información de Encabezado.	107
II.II.2.5.3.2 Toma del RECC por las Estaciones Móviles.	107
II.II.2.5.3.3 Respuesta a los Mensajes de la E M.	107
II.II.2.5.4 Control de E M. en el Canal de Voz.	108
II.II.2.5.4.1 Pérdida de Continuidad de Enlace de Radio.	108
II.II.2.5.4.2 Confirmación de Canal de Voz Inicial.	108
II.II.2.5.4.3 Alertando.	108
a) En Espera de Orden.	
b) En Espera de Respuesta	
II.II.2.5.4.4 Conversación.	109
II.II.2.6 FORMATOS DE SEÑALIZACIÓN.	109
II.II.2.6.1 Canal de Control Hacia Adelante.	110
II.II.2.6.1.1 Mensaje de Control de Estación Móvil.	110
II.II.2.6.1.2 Mensaje de Encabezado.	111
a) Mensaje de Encabezado de Parámetros de Sistema.	
b) Mensaje de Encabezado de Acción Global	
c) Mensaje de Identificación de Registro	
d) Mensaje de Control de Relleno.	
II.II.2.6.1.3 Flujo de Mensajes del Canal de Voz Hacia Adelante (Base – Móvil).	114
Requerimientos para la Opción de 32 Dígitos de Marcación.	115
a) Cambios Opcionales en el Formato del Mensaje del RECC	
b) Cambios Opcionales en el Formato del Mensaje RVC.	
II.II.3 GLOSARIO DE TÉRMINOS GENERALES EMPLEADOS EN LA NOM-081-SCT1-1993.	117

CAPITULO III

ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE RADIOTELEFONÍA MÓVIL CELULAR.

III.I SISTEMAS DE RADIOTELEFONÍA MÓVIL CELULAR.	123
Sistema Celular Básico.	124
III.I.1 OBJETIVOS.	124
III.I.2 CONSIDERACIONES PRÁCTICAS DE LAS CELDAS.	125
A) Geometría Celular Hexagonal.	127
B) Parámetros Sobresalientes.	129
1. La Tolerancia en la Posición del Sitio de la Celda.	
2. Radio Máximo de la Celda.	
3. Radio Mínimo de la Celda.	
III.I.3 REHUSO DE FRECUENCIAS 130	
A) Esquemas de Rehuso de Frecuencias.	131
B) Distancia de Rehuso de Frecuencias.	131
C) Reducción del Factor de Interferencia Cocanal.	132
1. Diseño de un Sistema Celular con Antenas Direccionales.	
D) Asignación de Canales.	134
1. Esquema de Asignación Fija de Canales.	
2. Esquema de Asignación Dinámica de Canales.	
3. Esquema de Asignación Híbrida de Canales.	
III.I.4 SUBDIVISIÓN DE CELDAS.	137
Asignación de los Tonos de Supervisión durante el Proceso de Subdivisión de Celdas.	139
Asignación de los Códigos de Color Digital (DCC) durante el Proceso de Subdivisión.	140
III.I.5 TRANSFERENCIA DE LLAMADA.	141
III.I.6 UTILIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SEÑALIZACIÓN.	145
Operación del Sistema para Establecer una llamada de la RTPC a un móvil.	146
Operación del Sistema para Establecer una llamada de un móvil a la RTPC.	153
Operación del Sistema para el Desarrollo del Procedimiento de Transferencia de Llamada.	154
III.I.7 ITERACIÓN ENTRE LOS PBX, CENTRALES TELEFÓNICAS Y LA TELEFONÍA CELULAR.	156

CAPITULO IV

SISTEMAS DE ACCESO A LA TELEFONÍA CELULAR.

INTRODUCCIÓN.	160
IV.I PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LA TECNOLOGÍA DE MULTIPLEXIÓN DE SEÑALES.	162
IV.I.1 MULTIPLEXIÓN EN FRECUENCIA.	162
IV.I.2 MULTIPLEXIÓN EN TIEMPO.	163
IV.I.2.1 Modulación por Impulsos Codificados (Sistema PCM).	163
1 Leyes de Compresión.	165
a) Ley μ	
b) Ley A	
IV.I.2.2 Sistemas de Transmisión PCM.	167
1. Sistema PCM30 (Compresión Europea).	167
2. Sistema PCM24 (Compresión Americana).	169
3. Jerarquías Digitales de Multiplexión.	170
IV.II USO DE LAS TECNOLOGÍAS DE MULTIPLEXIÓN EN TIEMPO (TDMA) Y POR DIVISIÓN DE CÓDIGOS (CDMA) PARA EL ACCESO DE LOS DIFERENTES USUARIOS A LA RED DE SERVICIOS.	173
IV.II.1 EL SISTEMA TDMA (TIME DIVISION MULTIPLE ACCESS).	173
IV.II.1.1. El Sistema TDMA Celular Digital Norteamericano	173
a) Arquitectura.	174
b) Detalles técnicos del Sistema NA-TDMA.	174
Algoritmos de codificación de voz.	
Protección en el Canal de Transmisión.	
Acomodo de la Información.	
Esquema de Modulación.	
Estructura del Canal Digital TDMA.	
Coordinación de modulación.	
Niveles de Potencia	
Tiempos de Alineamiento	
IV.II.2 EL SISTEMA CDMA (CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS)	182
IV.II.2.1 Técnicas de Espectro Disperso	182
a) Frequency Hopping.	183
b) Secuencia Directa (Modulación de Ruido)	183

c) Desempeño de las Técnicas de Espectro disperso.	185
IV.II.2.2 Detalles Técnicos del sistema CDMA IS-95.	185
a) Características de Modulación.	186
1. Señales en el canal CDMA hacia atrás.	186
Código Convolutacional.	
Bloque de Acomodo (Interleaving).	
Modulación Ortogonal para el canal hacia atrás.	
Aleatorización de las Ráfagas de Datos.	
Dispersión por Secuencia Directa.	
Estructura de los canales de tráfico hacia atrás y de acceso.	
2. Señales en el canal CDMA hacia delante.	191
Estructura del canal CDMA hacia delante.	
Bloque de Acomodo (Interleaving).	
Mezcla de Datos.	
Subcanales de Control de Potencia.	
Offset de la secuencia PN.	
Recepción en la E.M.	
b) Autentificación, Encriptamiento y Privacidad.	195
Autentificación.	
Encriptamiento.	
Privacidad de la voz.	
c) Procesamiento de llamada.	196
d) Procedimientos de Handoff.	197
Grupos Pilotos.	
Requerimientos del Piloto.	

CAPITULO V

INTEGRACIÓN DE REDES INFORMÁTICAS EN LA TELEFONÍA CELULAR.

V.1 INTRODUCCIÓN.	199
V.1.1 MODELO DE SISTEMA ABIERTO EN RED (OSI).	200
V.1.2 ARQUITECTURA DoD (DEPARTMENT OF DEFENSE).	201
V.1.3 ESTRUCTURA DEL SISTEMA DoD.	201
V.1.4 PROTOCOLO DE INTERNET (IP).	202
V.1.4.1 Operación.	202
V.1.4.2 Descripción Funcional.	202

V.I.4.2.1	Direccionamiento.	.....	203
V.I.4.2.2	Fragmentación.	.....	204
V.I.4.2.3	Formato del Encabezado IP.	.....	204
V.I.5	PROTOCOLO DE CONTROL DE TRANSFERENCIA (TCP).	.....	207
V.I.5.1	Interfases.	.....	207
V.I.5.2	Propósito.	.....	207
V.I.5.3	Especificaciones Funcionales.	.....	209
V.I.5.3.1	Formato de Encabezado.	.....	209
V.II	MODELO DE REFERENCIA DE RED DEL ESTÁNDAR TIA/EIA/IS-99.	.....	212
V.II.1	PUNTOS DE REFERENCIA DE RED.	.....	213
V.III	TIPO DE INTERFAZ FÍSICA EN EL PUNTO DE REFERENCIA R_{M}.	.....	213
V.III.1	CAPA FÍSICA.	.....	213
V.III.1.1	Características Eléctricas.	.....	213
V.III.1.2	Características Mecánicas.	.....	214
V.III.2	GRUPO DE COMANDOS AT.	.....	215
V.IV	REQUERIMIENTOS PARA LA INTERFAZ U_{M}.	.....	215
V.IV.1	INTERFAZ DE APLICACIÓN.	.....	216
V.IV.2	CAPA DE TRANSPORTE.	.....	220
V.IV.3	CAPA DE RED.	.....	220
V.IV.3.1	Requerimientos Generales.	.....	220
V.IV.3.2	Asignación de Dirección de Red.	.....	221
V.IV.4	FUNCIÓN DE CONVERGENCIA DEPENDIENTE DE SUBRED.	.....	221
V.IV.5	CAPA DE ENLACE DE DATOS.	.....	221
V.IV.5.1	IPCP	.....	222
V.IV.5.2	Protocolo de Control de Enlace (Link Control Protocol)	.....	222
V.IV.6	PROTOCOLO DE ENLACE DE RADIO (RADIO LINK PROTOCOL).	.....	222
V.IV.6.1	Requerimientos Generales.	.....	223
V.IV.6.1.1	Soporte Requerido para la Opción Múltiplex.	.....	223
V.IV.6.1.1.1	Interfaz para la Opción Múltiplex 1.	.....	223
	a) Tráfico Primario		
	b) Tráfico Secundario.		

V.IV.6.1.1.2 Formato de las Tramas RLP.	224
a) Tramas de Control RLP.	225
b) Tramas de Datos RLP.	226
1. Tramas no Segmentadas.	
2. Tramas Segmentadas.	
c) Tráfico Primario.	227
1. Formato "A" de Velocidad Total.	
2. Formato "B" de Velocidad Total.	
3. Tramas RLP a un Octavo de Velocidad.	
d) Tráfico Secundario.	228
e) Señalización.	228
V.IV.6.1.2 Procedimientos.	228
V.IV.6.1.2.1 Inicialización/Reset.	228
V.IV.6.1.2.2 Transferencia de Datos.	229
V.IV.6.1.2.3 Secuencia de Verificación de Trama.	232
a) Tráfico Primario.	
b) Tráfico Secundario.	
c) Tráfico de Señalización.	
V.IV.6.1.2.4 Segmentación de las Tramas de Datos Retransmitidas.	233
V.IV.6.2 Requerimientos para Fax y Datos Asíncronos.	233
V.IV.6.2.1 Tratamiento al Canal de Tráfico.	233
V.IV.7 INTERFAZ DE RADIO.	234
V.IV.7.1 Opción Múltiple.	234
V.IV.7.2 Inicialización y Conexión de la Opción de Servicio.	234
a) Inicialización y Conexión en la Estación Móvil.	
b) Inicialización y Conexión en la Estación Base.	
V.IV.7.3 Control de Velocidad en el Canal de Tráfico.	235
V.IV.8 PROCESAMIENTO DE LLAMADA EN U _m .	236
V.IV.8.1 Establecimiento de Conexión.	236
a) Originación Móvil.	
b) Terminación Móvil.	
c) Subestado de Conversación.	
d) Handoff en el Canal de Tráfico.	
V.IV.8.2 Liberación de la Conexión.	239

V.V	RECOMENDACIONES PARA LA INTERFAZ A _i	240
V.V.1	RECOMENDACIONES PARA EL ESTÁNDAR DEL MÓDEM	240
V.V.1.1	Rec. V 32: Familia de Módem Dúplex a 2 Hilos que funcionan a Velocidades Binarias de hasta 9600 bits/s para uso en la RTPC y en Circuitos Arrendados de Tipo Telefónico.	240
	Módem en el modo Llamada.	
	Módem en el Modo Respuesta.	
V.V.1.2	Rec. V 34: Módem Operando a Velocidades Binarias de hasta 28,800 bits/s para uso en la Red Telefónica Pública Conmutada y en Circuitos Arrendados Punto a Punto de Tipo Telefónico.	243
	Señales de Línea.	
	Circuitos de Enlace.	
	Interfases Síncronas.	
	Interfases en el Modo de Caracteres Asíncronos	
	Control de Flujo DTE a DCE sobre la Interfaz del Canal Secundario.	
	Características Eléctricas de los Circuitos de Intercambio.	
	Estructura de Trama.	
V.V.1.3	Rec. V 42: Procedimiento de Corrección de Errores para los ETCD que Utilizan la Conversión de Modo Asíncrono a Modo Síncrono	247
	Operación de la función de Control de Errores: Procedimiento LAPM.	249
	Estructura de Trama.	
	Banderas.	
	Campo de Dirección	
	Campo de Control.	
	Campo de Información.	
	Campo SVT.	
	Procedimientos de Establecimiento de Conexión.	252
	Transferencia de Datos desde la Interfaz V.24.	253
V.V.2	CONTROL DE FLUJO	253
V.V.2.1	Control de Flujo para Datos Asíncronos.	253
V.V.2.2	Control de Flujo para Facsimile de Grupo-3.	253
V.V.3	Expectativas de la Tecnología de Espectro Disperso en la Telefonía Celular.	254
CONCLUSIONES.		257
ANEXO A: TABLAS DE TRÁFICO TELEFONICO.		259
ANEXO B: RECOMENDACIÓN G162		
CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPRESORES-EXPANSORES SILABICO.		263
BIBLIOGRAFIA.		268

OBJETIVOS.

- ◆ Comprender el funcionamiento básico de un sistema de comunicación entendiéndolo la importancia que tiene este para lograr el envío de información, así como también analizar los medios necesarios para lograr tal efecto, de la misma forma considerar todos los aspectos que pueden generar fallas o mal funcionamiento en el sistema.
- ◆ Analizar los puntos esenciales de funcionamiento de un sistema celular básico, entre los que destacan sus parámetros técnicos generales descritos por dependencias gubernamentales especializadas, para garantizar la interconexión adecuada de dichos sistemas con los ya existentes. En dicho análisis se debe comprender los medios que constituyen un sistema celular básico como es el caso de la estación base y por supuesto la unidad móvil que es parte fundamental de dicho sistema. Es importante mencionar los fundamentos principales que dan lugar al sistema celular entre los que destacan el *reuso de frecuencias*, *la subdivisión de celdas* y el *proceso de transferencia de llamada*.
- ◆ Considerar la importancia que tuvo la migración de la Tecnología Celular Analógica a la Tecnología Celular Digital manifestándose en mejoras directas en la calidad del sistema, principalmente en la disponibilidad de uso del servicio; además de ello es importante mencionar los beneficios que puede otorgar una determinada tecnología en cuanto a desempeño del mismo en el sentido óptimo de provisión de servicio.
- ◆ Visualizar las diferentes secuencias requeridas para la transmisión asíncrona de datos binarios a través del sistema celular digital que emplea la tecnología de Espectro Disperso. La cual actualmente se orienta a la conexión de dispositivos terminales de datos, con lo cual se pretende ofrecer una serie de servicios en red tales como el servicio de correo electrónico, Internet móvil y posteriormente el servicio de videotelefono, integrando de esta manera servicios a nivel de red con facilidades estándar dentro del sistema.

INTRODUCCION.

El desarrollo acelerado de la sociedad, principalmente en el ámbito económico y financiero, ha traído como consecuencia el desarrollo de la industria de las telecomunicaciones, ello debido a la necesidad de estar en contacto directo con las personas que nos rodean desde cualquier punto geográfico. Esta necesidad de comunicación en un principio solamente requería de aplicaciones tradicionales, como es el caso de la voz. Sin embargo a medida que los mercados mercantiles y de servicio fueron creciendo, las aplicaciones tradicionales no fueron suficientes teniendo la necesidad de desarrollar otros sistemas de comunicación que tuvieran el objetivo de satisfacer la demanda de dichas sociedades.

Lo anteriormente expuesto trae como consecuencia el desarrollo de los *sistemas de comunicación móvil*. Los sistemas de comunicaciones móviles se conciben de la necesidad de estar en contacto directo con algún punto en particular o del tener la necesidad de poder ser localizado en cualquier momento o por el simple hecho de ser más eficientes y productivos en alguna especialidad; es por ello que el análisis de algunos sistemas de comunicación móvil se plantean por demás interesantes, debido al hecho de que su empleo es cada vez más necesario en la vida cotidiana de los hombres, además de que los avances tecnológicos han generado que este tipo de sistemas no sean únicamente para proporcionar el servicio de aplicaciones vocales, sino que también se le encuentre algún otro tipo de servicio, el cual se tendrá que ir desarrollando conforme la tecnología avance y las necesidades de los usuarios cada vez sean mayores.

Los sistemas de comunicación móvil se concibieron debido a los avances tecnológicos y científicos que se fueron presentando a lo largo de un siglo; por ejemplo, podemos mencionar que uno de los inventos más importantes en el campo de las comunicaciones fue el *teléfono*, patentado por *Alexander Graham Bell* en el año de 1876. Los sistemas de comunicación móvil se dan gracias a los estudios realizados por el físico escocés *James C. Maxwell* y posteriormente por el científico alemán *Henry Hertz*, el primero estableció las ecuaciones que predicen el comportamiento de las radiaciones electromagnéticas (1864) y el segundo verificó dicha teoría logrando la transmisión de señales de información por medio del espacio atmosférico (1887).

Entre los avances tecnológicos más importantes podemos mencionar: *la transmisión simultánea de varias señales de información por un mismo medio, el proceso de modulación de una señal de información, y el desarrollo conjunto de los elementos electrónicos que conforman a estos sistemas.*

De estos avances tecnológicos en el aspecto de las comunicaciones móviles surgen los *sistemas celulares*, dentro de los cuales se debe de considerar a la telefonía convencional; sin embargo, los *sistemas celulares* no utilizan medios físicos para el establecimiento de una conversación, por lo que se consideran sistemas de telefonía inalámbrica, inicialmente la telefonía inalámbrica solamente era considerada como bienes de consumo para ciertos usuarios, los cuales se encontraban de manera muy restringida. Sin embargo, debido al desarrollo de la tecnología, y a la creciente demanda de servicios de comunicaciones móviles, los servicios inalámbricos constituyen uno de los sistemas más atractivos para la gran cantidad de usuarios y el de mayor mercado potencial de servicio. Con el soporte de la tecnología digital, las aplicaciones de estos sistemas han dejado de ser únicamente aplicaciones tradicionales en ciertos escenarios y se han compenetrado de una manera bastante fuerte al uso de servicios comerciales, situándose a la altura de cualquier otro sistema público de comunicaciones.

El presente trabajo consta de cinco capítulos principalmente, cada uno de ellos nos presenta aspectos fundamentales de los sistemas celulares; por ejemplo, el primer capítulo nos menciona algunos aspectos teóricos fundamentales de los sistemas celulares analógicos, como lo son las técnicas de modulación empleadas en los sistemas celulares, algunas ventajas y desventajas de dichos sistemas, entre las desventajas principales se hace mención de los factores que alteran el funcionamiento del sistema entre los que podemos mencionar las interferencias y desvanecimiento de señales de información, así como algunos otros problemas en general. Entre los puntos importantes definiremos el concepto de un sistema de comunicación inalámbrico que es un término fundamental para la comprensión de la telefonía celular, de la cual se hará referencia.

El segundo capítulo nos habla de las distintas normas internacionales que rigen el desarrollo tecnológico de dichos sistemas, como es el caso del Estándar Americano AMPS y su evolución, de igual manera se hará referencia a las normas europeas, para finalmente hacer mención de la situación en México de los sistemas celulares, describiendo algunos parámetros técnicos fundamentales que establecen los órganos especializados para el adecuado desempeño de estos sistemas.

En el tercer capítulo se realizará un análisis de los sistemas de radiotelefonía móvil celular, tratando a fondo sus objetivos, funcionamiento, uso adecuado del espectro de radiofrecuencia, coberturas de servicio, sistemas de señalización entre las estaciones base y móvil, así como su interacción con la red telefónica pública conmutada.

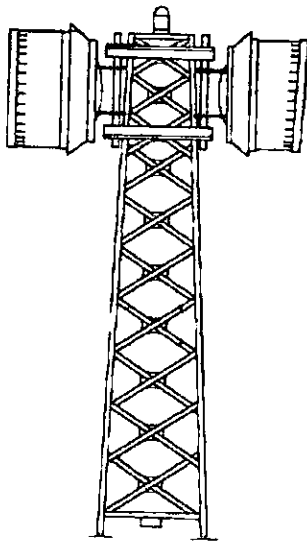
Los sistemas celulares digitales serán mencionados en el cuarto capítulo, dichos sistemas presentan algunos aspectos técnicos diferentes en comparación con los sistemas analógicos, tal es el caso de los esquemas de modulación, y las técnicas principales de acceso como lo es el Sistema de Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA) y el Sistema de Acceso Múltiple por División de Códigos (CDMA) los cuales tienen la capacidad de transmitir diferentes señales de información sobre un mismo ancho de banda.

Por último, el capítulo cinco hablará acerca de la integración de las redes informáticas a los servicios de la telefonía celular, cuyo objetivo fundamental es la transmisión de información en aplicaciones no-vocales por el mismo canal, tratando de lograr la máxima confiabilidad y velocidad en la transmisión, para ello se tendrá que analizar los distintos estándares que hay en la actualidad y realizar un profundo análisis para determinar que sistema ofrece las mayores ventajas en el aspecto técnico.

CAPITULO I



CONCEPTO DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES
INALAMBRICO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES A.C. COU



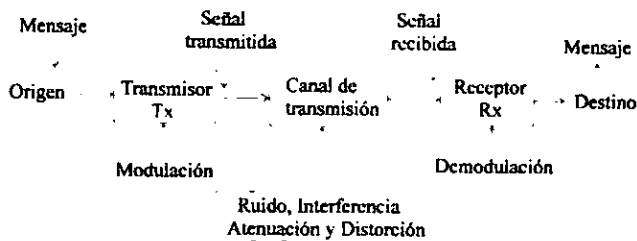
CAPITULO I

**CONCEPTO DE SISTEMA DE
COMUNICACIONES
INALÁMBRICO**

1.1 CONCEPTO DE SISTEMA DE COMUNICACIONES INALÁMBRICO.

La comunicación es el proceso mediante el cual la información se transmite de un punto llamado origen o fuente a otro punto que es el destino.

Un sistema de comunicación esta constituido por la totalidad de los mecanismos que hacen posible el enlace entre la fuente y el destino. El objetivo principal de un sistema de comunicación es el de proporcionar una replica del mensaje generado por el origen en el punto destino. Por lo tanto un sistema de comunicación típico es el mostrado en el siguiente diagrama.



TRANSMISOR.- Es el dispositivo que envía el mensaje generado en forma de *señal*.- Para que el proceso de transmisión sea adecuado, la señal se procesa por medio de la *modulación*.

Una *señal* ⁽¹⁾ es un fenómeno físico en el cual se puede variar una o más características para representar la información. El fenómeno físico puede ser, por ejemplo, una onda electromagnética o una onda acústica, y la característica a variar puede ser un campo eléctrico, una diferencia de potencial o una presión acústica.

La *modulación* es el proceso mediante el cual se acopla la señal transmitida a las propiedades del canal de transmisión por medio de una onda portadora.

CANAL DE TRANSMISIÓN - Es el medio a través del cual se realiza la transmisión de información, como pueden ser un par de alambres, una cable coaxial o una onda de radio-frecuencia. Dichos medios deben de asegurar la transmisión de señales de información en un sentido entre los dos puntos.

RECEPTOR.- Es el dispositivo que se encarga de recibir la señal que se envía desde el origen por medio del proceso de la *demodulación*.

La *demodulación* es el proceso mediante el cual se recupera la información transmitida separándola de la señal portadora.

⁽¹⁾ Definición dada por la Recomendación 662 del CCIR, Tomo XIII

El ruido, las interferencias, la distorsión y la atenuación son los factores que alteran las señales en los sistemas de comunicación.

Ruido: Son señales aleatorias de tipo eléctrico originadas generalmente por fenómenos naturales (tales como la temperatura, la lluvia, etc.) dentro o fuera del sistema.- El ruido NO puede eliminarse totalmente de ningún sistema.

Interferencia: Es la contaminación del mensaje debido a la presencia de señales extrañas, que son similares a la transmitida.

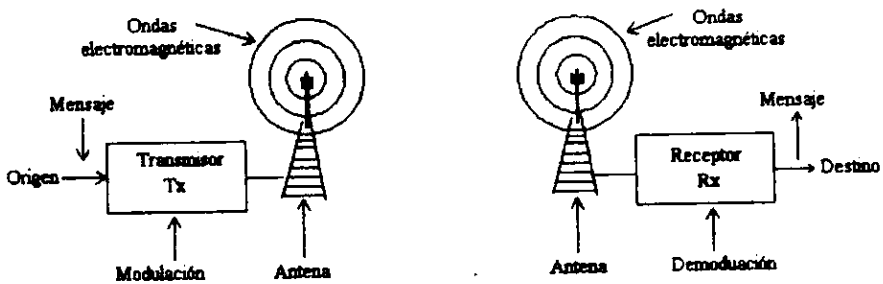
Atenuación: Este fenómeno reduce la intensidad de la señal, o sea, que es la disminución progresiva de la potencia de la señal.

Distorsión: Es la alteración de la señal debido a la respuesta imperfecta del sistema.

Por lo que:

Un sistema de comunicaciones inalámbrico, es aquel medio que hace posible la comunicación entre dos puntos (origen y destino), mediante la utilización de un enlace radioeléctrico, o sea, que se utilizara el espacio atmosférico como canal de transmisión y las ondas electromagnéticas como señales de información.

Un sistema inalámbrico típico esta constituido de la siguiente manera:



Del diagrama anterior observamos que se introduce un nuevo elemento a nuestro sistema. Este elemento es conocido como una *antena*, que es un dispositivo usualmente metálico (como el caso de una varilla u alambre) utilizado para la radiación o recepción de "ondas de radio", en otras palabras la antena es la estructura de transición entre el espacio libre y un dispositivo guía ⁽²⁾.

Como se menciono anteriormente, el mensaje a transmitir debe de ser modulado para poder ser enviado al punto destino, para lo cual hay solamente dos técnicas de modulación, la Modulación Analógica y la Modulación Digital. Cada técnica posee características particulares, su empleo depende de distintos factores, por ejemplo, para la transmisión de voz es común el uso de la modulación analógica, en cambio para algunas otras aplicaciones no-vocales, son utilizados los esquemas de modulación digital.

A continuación presentamos una breve descripción de los sistemas de modulación analógicos y digitales, tratando sus fundamentos matemáticos y características de generación y recepción.

(2) Definición dada por la Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE).

I.II TÉCNICAS DE MODULACIÓN.

El proceso de modulación es la modificación de alguna característica de una señal llamada portadora de acuerdo con otra señal llamada moduladora o señal de información, lo anterior se realiza en forma tal que la primera señal transporte la información contenida en la señal moduladora.

Razones por las cuales es necesario modular:

- Para poder transmitir información por medio de radiación.
- La modulación permite transmitir varias señales simultáneas (Multicanalización).
- Para mejorar la relación señal a ruido (S/N).

Tipos de modulación:

- a) Modulación Analógica o Continua.
- b) Modulación Digital o Discreta.

I.II.1 TÉCNICAS DE MODULACIÓN ANALÓGICAS

Se le llama de esta manera, porque la señal portadora es una señal continua variable con el tiempo, generalmente es una señal sinusoidal de mucho mayor frecuencia que la señal de información. Las técnicas más utilizadas en los sistemas celulares son las técnicas de modulación angular; esto se debe a las principales ventajas que se tiene sobre la Modulación en Amplitud, entre las que destacan la posibilidad de obtener una respuesta a cero Hz y el rechazo a grandes pulsos de ruido (debido a la limitación de la longitud de onda y el empleo adecuado de circuitos supresores de ruido en altas frecuencias).

Las técnicas de modulación en las que se hace variar el ángulo de la portadora en alguna forma con una señal moduladora, se conocen como modulación en ángulo, y suele hacerse este proceso mediante dos formas:

1. Modulación en Frecuencia (FM).
2. Modulación en Fase (PM).

El principio de la modulación angular está referido a que tanto la fase o la frecuencia de la señal portadora varían en resonancia con la amplitud instantánea de una señal moduladora, tal que:

$$f = f_c + K_f v_m(t)$$

ó

$$\phi = \phi_c + K_p v_m(t)$$

donde:

f_c Frecuencia portadora.

ϕ_c Fase inicial de la frecuencia portadora.

$v_m(t)$ Onda de voltaje variable en función del tiempo.

K_f, K_p Constantes de modulación seleccionadas arbitrariamente.

Definamos una función sinusoidal generalizada como:

$$f(t) = A \cos \theta(t)$$

donde $\theta(t)$ es el ángulo de la señal sinusoidal en función del tiempo. Para una función sinusoidal ordinaria de frecuencia fija:

$$f(t) = A \cos(\omega_c t + \theta_0)$$

entonces:

$$\theta(t) = (\omega_c t + \theta_0)$$

Lo cual se conoce como desviación de fase instantánea con respecto del ángulo $\omega_c t$, donde:

$$\omega_c = \frac{d\theta(t)}{dt}$$

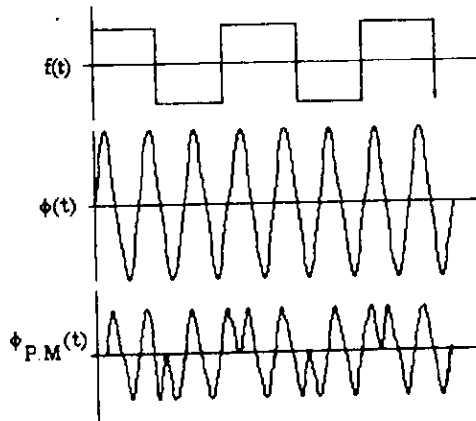
quedando definida la frecuencia instantánea como:

$$\omega_i = \frac{d\theta}{dt} \quad \text{ó} \quad f_i = \frac{1}{2\pi} \frac{d\theta}{dt}$$

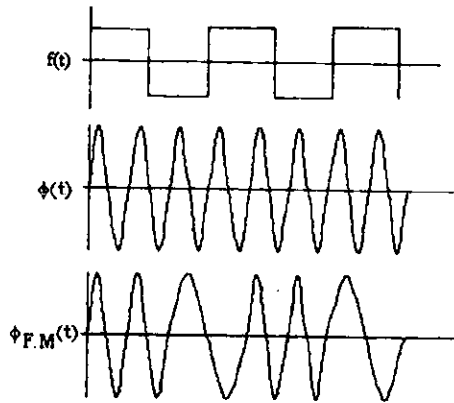
De esta manera, la relación entre $\theta(t)$ y la frecuencia instantánea ω_i queda establecida como:

$$\omega_i = \frac{d\theta}{dt} \quad \theta(t) = \int \omega_i dt$$

Supongamos que la señal $f(t)$ va a modular en fase a una onda $\phi(t)$. El resultado del proceso de modulación se observa a continuación:



Si lo que se desea es que $f(t)$ module en frecuencia a $\phi(t)$, entonces se obtiene:



Si consideramos que la frecuencia instantánea es una función del ángulo de fase, podemos describir los dos métodos de modulación considerados anteriormente:

Variando el ángulo de fase $\theta(t)$ en forma lineal con la señal de entrada $f(t)$, tenemos que:

$$\theta(t) = \omega_c t + K_p f(t) + \theta_0$$

donde ω_c , $K_p f(t)$, θ_0 son constantes. Como es la fase la que está linealmente relacionada con $f(t)$, la modulación es llamada *modulación en fase*. La frecuencia instantánea en este caso es:

$$\omega_i = \frac{d\theta}{dt} = \omega_c + K_p \frac{df(t)}{dt}$$

Haciendo que la frecuencia instantánea sea proporcional a la señal de entrada:

$$\omega_i = \omega_c + K_f f(t)$$

donde ω_c y K_f son constantes. Como la frecuencia en este caso está linealmente relacionada con $f(t)$, a este tipo de modulación angular se le llama *modulación en frecuencia*. El ángulo de fase de esta señal es:

$$\theta(t) = \int_0^t \omega K_f f(t) + \omega_c(t) + \theta_0$$

La ecuación que relaciona a la señal $f(t)$ (onda moduladora) y a la señal modulada en frecuencia es:

$$f_{FM}(t) = A \cos \left[\omega_c t + K_f \int_0^t f(t) dt + \theta_0 \right]$$

o bien:

$$f_{FM}(t) = A_c \cos \left[2\pi f_c t + 2\pi K_f \int_0^t f(t) dt \right]$$

En cambio, la ecuación que relaciona a la señal $f(t)$ y a la señal modulada en fase es:

$$f_{p.M}(t) = A_C \cos[\omega_c t + K_p f(t) + \theta_0]$$

o bien:

$$f_{p.M}(t) = A_C \cos[2\pi f_c t + 2\pi K_p f(t)]$$

De las ecuaciones anteriores observamos que si $f(t)$ es una onda de voltaje, entonces:

K_p es la sensibilidad de la fase (Rad/volts).

K_f es la sensibilidad en frecuencia (Hz / volts).

f_c es la frecuencia de la portadora no modulada.

A_C es la amplitud de la señal.

y por conveniencia, suponemos que el ángulo de la portadora no modulada es cero cuando $t = 0$

Modulación Angular de Tono Unico.

Con la modulación de un tono, la frecuencia instantánea de una señal de F.M. varía en forma senoidal en relación con la frecuencia portadora, si:

$$f(t) = A_m \cos \omega_m(t)$$

o bien

$$f(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$$

Entonces, la frecuencia instantánea de la onda F.M. resultante es:

$$f_i = f_c + \Delta f \cos(2\pi f_m t)$$

El resultado anterior se da suponiendo que $\theta_0 = 0$, donde $\Delta f = K_f A_m$ es llamada *desviación de frecuencia* y representa el máximo alejamiento de la frecuencia instantánea de la onda F.M. de la frecuencia portadora f_c .

Evidentemente, la desviación de frecuencia es proporcional a la amplitud de la onda moduladora y es independiente de la frecuencia de modulación.

El ángulo θ_i de la onda modulada F.M se obtiene mediante:

$$\begin{aligned} \theta_i &= \int_0^t f_i(t) dt \\ &= 2\pi f_c t + \frac{\Delta f}{f_m} \text{sen}(2\pi f_m t) \end{aligned}$$

La relación entre la desviación de frecuencia y la frecuencia de modulación se llama, por lo general, *índice de modulación* de la onda F.M, denotado por β . De manera que:

$$\theta_i(t) = 2\pi f_c t + \beta \text{sen}(2\pi f_m t)$$

Se observa que β representa la desviación de fase de la onda F.M o sea la *máxima separación entre $\theta_i(t)$ y el ángulo de fase $2\pi f_c t$ de la portadora no modulada*. Finalmente la onda F.M esta dada por:

$$f_{FM}(t) = A_c \cos[2\pi f_c t + \beta \sin(2\pi f_m t)]$$

En el caso de una onda P.M se tiene que el ángulo.

$$\theta_i(t) = 2\pi f_c t + K_p f(t)$$

estará dado por:

$$\theta_{PM}(t) = 2\pi f_c t + K_p A_m \cos(2\pi f_m t)$$

comparando con el ángulo de una onda F.M

$$\theta_{FM}(t) = 2\pi f_c t + (K_f A_m / f_m) \sin(2\pi f_m t)$$

Observamos que una onda F.M puede considerarse como una onda P.M en la cual la onda moduladora es la integral de $f(t)$ en lugar de $f(t)$. Así, pueden deducirse todas las propiedades de la onda P.M a partir de las propiedades de las ondas F.M y viceversa.

Dependiendo del valor del *índice de modulación* β , es posible distinguir dos casos de modulación.

- Modulación de Banda Angosta.
- Modulación de Banda Ancha.

Se consideraran los casos de F.M de banda angosta, cuando el valor de β es pequeño, y F.M de banda ancha, cuando los valores de β son grandes, ambas comparadas con un radian. Para el caso de F.M de banda angosta, el ancho de banda es aproximadamente el doble del ancho de banda de la señal de información, mientras que en el caso de F.M de banda ancha, el ancho de banda excede mucho de ese valor.

Considerando la ecuación.

$$f_{FM}(t) = A_c \cos[2\pi f_c t + \beta \sin(2\pi f_m t)]$$

que define a una onda de F.M usando como señal moduladora una onda cosenoidal, al desarrollarla obtenemos:

$$f_{FM}(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) \cos[\beta \sin(2\pi f_m t)] + \\ - A_c \sin(2\pi f_c t) \sin[\beta \sin(2\pi f_m t)]$$

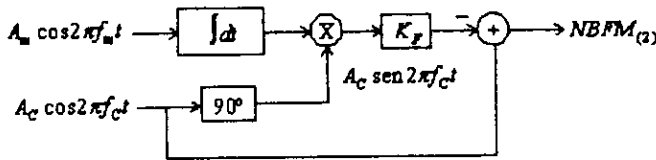
Suponiendo ahora que β es pequeño en comparación con una radian, se puede utilizar las siguientes aproximaciones.

$$\cos[\beta \sin(2\pi f_m t)] \approx 1 \\ \sin[\beta \sin(2\pi f_m t)] \approx \beta \sin(2\pi f_m t)$$

de tal manera que simplificando la ecuación inicial, tenemos que:

$$f_{FM}(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) - \beta A_c \sin(2\pi f_c t) \sin(2\pi f_m t)$$

Esta ecuación define la forma aproximada de una onda F.M de banda angosta producida por una onda moduladora cosenoidal. La implementación de un sistema de este tipo, es la siguiente:



La modulación F.M de banda angosta se utiliza principalmente en telemetría y comunicaciones móviles.

Potencia Media en Señales de Modulación Angular.

La amplitud de la componente portadora de una onda F.M depende de β . La explicación física de esta propiedad es que la envolvente de una onda F.M es constante, así que la potencia media de esa onda desarrollada a través de una resistencia de 1Ω es también constante.

Considere la ecuación:

$$f_{F.M}(t) = A_c \cos[2\pi f_c t + \beta \sin(2\pi f_m t)]$$

El valor cuadrático medio de esta expresión es:

$$\overline{f_{F.M}^2} = \frac{1}{2} A_c^2$$

mostrando que la potencia media total de una onda F.M es constante, cualquiera que sea el valor del *índice de modulación*.

Una ventaja indiscutible de F.M, es la independencia que existe entre una señal moduladora y la potencia media de la señal modulada, ya que esto permite que se puedan diseñar transmisores de F.M más eficientes, debido a la potencia constante de la señal modulada.

Ancho de Banda de las Señales Moduladas en Angulo.

De las ecuaciones que definen a una señal modulada en frecuencia, observamos que si $f(t) = V_m \cos \omega t$, entonces la expresión general contendrá términos de $\cos(\beta \sin \omega_m t)$ y $\sin(\beta \sin \omega_m t)$, a este tipo de series de potencia se le conoce como *funciones de Bessel*. Utilizando la definición de las *funciones de Bessel*, podemos demostrar que la ecuación de F.M puede ser descrita como:

$$f_F(t) = A_c \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\beta) \cos(\omega_c + n\omega_m)t$$

La ecuación anterior nos muestra un número infinito de bandas laterales, todas las armónicas se encuentran relacionadas a la frecuencia de modulación, lo cual implica el tener un ancho de banda infinito. Sin embargo, podemos determinar el número de bandas laterales y la amplitud de la portadora por medio de la elección de un valor adecuado de β (desviación de fase). Como puede observarse en la figura 1.1

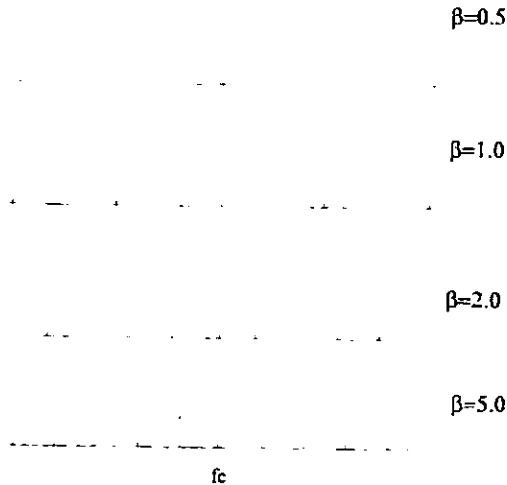


Fig. 1.1 Espectro de Amplitud de una señal F.M para distintos valores de β

Criterios para Determinar el Ancho de Banda(B.W).

En la mayoría de los casos prácticos, es aceptado que el n -th par de bandas laterales es insignificante si su magnitud es menor que el 1% de la amplitud de la portadora no modulada, o sea que:

$$J_n(\beta) < 0.01 J_0(0)$$

como $J_0(0) = 1$, entonces el criterio es:

$$J_n(\beta) < 0.01$$

Hemos observado que el ancho de banda depende en gran medida del valor de β , sin embargo en la práctica el ancho de banda de cualquier canal se encuentra limitado, por cuestiones de eficiencia del espectro radioeléctrico. De ahí que solamente sea mero trámite el calcular el ancho de banda para un sistema en particular.

Una regla alternativa para determinar el ancho de banda de una señal de F.M, es la enunciada por James R. Carson. Si consideramos el criterio significativo de las bandas laterales y examinamos las tablas de las funciones de Bessel, aparentemente llegamos a la conclusión de que $J_n(\beta)$ disminuye rápidamente si $n > \beta$, particularmente si $\beta \gg n$.

Cuando $\beta \gg n$ la relación n/β tiende a la unidad, y se puede obtener una aproximación para el ancho de banda. Cuando $n = \beta$, tenemos que:

$$B.W = 2n f_m = 2\beta f_m = \frac{2\Delta f}{f_m} \cdot f_m = 2\Delta f$$

Para valores pequeños de β , únicamente $J_0(\beta)$ y $J_1(\beta)$ son significativos, por lo que:

$$B.W = 2 f_m$$

Sin embargo, Carson sugiere que la forma general para determinar el ancho de banda en un sistema F.M esta dada por:

$$B.W = 2(\Delta f + f_m) = 2f_m(1 + \beta)$$

Esta última ecuación propone los límites correctos para distintos valores de β (para valores muy grandes, como para valores pequeños).

Generación de una Señal en Frecuencia Modulada.

Para generar señales F.M, se requiere de un circuito que produzca cambios de frecuencia proporcionales al voltaje de entrada. Por ejemplo, un convertidor de *voltaje-frecuencia*. Los métodos de generación de una señal F.M se dividen en dos categorías generales, la forma directa y la forma indirecta.

1. Método Directo.

Este método depende del uso de dispositivos de estado sólido, comúnmente conocidos como *diodos varactores*. Este dispositivo tiene la característica de que al ser polarizado en modo inverso, se presenta una capacitancia inversamente proporcional al voltaje aplicado. Típicamente, la capacitancia varía de 10 a 50pF si el voltaje aplicado se encuentra entre los 20 volts.

La figura 1.2 muestra un circuito generador de señales F.M, en el se aplica el principio del diodo varactor. En este dispositivo los cambios de frecuencia Δf producidos por los cambios de capacitancia ΔC se encuentran relacionados por:

$$\Delta f = f_0 \frac{\Delta C}{2C}$$

Como se observa, cambios pequeños en el valor de la capacitancia, pueden causar grandes cambios en la frecuencia si f_0 posee un valor grande. Esto trae como consecuencia que el control del circuito sea difícil, y la solución usualmente adoptada es para generar la señal F.M en altas frecuencia, donde $\Delta f/f$ es grande. Un ejemplo de este método de generación es para producir señales de F.M. en el rango de los 10 GHz, con una desviación de frecuencia de alrededor de 30 MHz/ V.

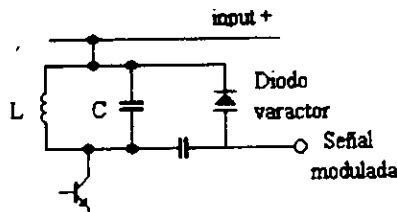


Fig. 1.2 Principio de modulación en frecuencia en forma directa.

2. Método Indirecto.

Para generar una señal F.M por medio de este método, la forma de onda modulada debe ser primero integrada, el resultado de este proceso es a continuación multiplicado por la señal portadora, dando como resultado una señal DSBC (Doble Banda lateral con Portadora Única).

A continuación es necesario sumar una componente portadora en 90° . Por lo que, a la salida del circuito se tiene una señal NBFM (F.M de Banda Angosta), si el integrador es omitido, se obtendría una señal NBPM.

Sin embargo, para la mayoría de los casos prácticos se requiere de un procesamiento adicional para generar una señal con la frecuencia portadora y ancho de banda requeridos.

La frecuencia portadora y el ancho de banda (BW) pueden ser incrementados por medio de un proceso de multiplicación de frecuencia. Un multiplicador de frecuencias es un circuito, que en efecto, multiplica todas las frecuencias a su entrada por un número constante, dando como resultado que la frecuencia central y el ancho de banda de la señal se incrementen. Si el multiplicador de frecuencia es utilizado como se muestra en la figura 1.3, entonces, la señal aplicada a este puede no ser la frecuencia portadora final, pero si un submúltiplo apropiado.

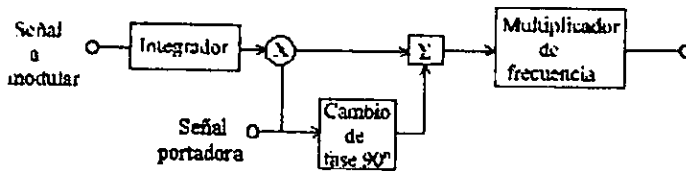


Fig. 1.3 Método de generación F.M en forma Indirecta (Método de Armstrong).

Demoduladores de Frecuencia Modulada.

Para recobrar la señal de información a partir de una onda de F.M, es necesario utilizar un convertidor de *frecuencia voltaje*. Existen varias formas para lograr este objetivo, sin embargo solamente se mencionaran las técnicas más importantes.

a) Discriminador de Frecuencia.

Si diferenciamos la ecuación que describe una señal F.M, obtenemos:

$$\frac{d}{dt} f_F(t) = -A_c [2\pi f_c + K_f f_m(t)] \text{sen} \left[2\pi f_c t + K_f \int_0^t f_m(t) dt \right]$$

Como se observa, si $K_f f_m(t) \ll 2\pi f_c$, entonces se presenta a la salida del diferenciador una ecuación más simple de resolver y por consiguiente se puede utilizar un método de demodulación más sencillo (por lo general, un circuito detector de envolvente).

La forma más conveniente para obtener un voltaje proporcional a la frecuencia de entrada, es mediante la utilización de un circuito sintonizador y un demodulador práctico que por lo general esta constituido por dos circuitos sintonizadores cuya finalidad es la de producir una salida lineal, dicho circuito se muestra en la figura 1.4. Es muy importante eliminar cualquier variación de amplitud en la recepción de la señal F.M (que pudieran ser causadas por el desvanecimiento de la señal) antes de discriminarla.

De otra manera, después del diferenciador sería imposible distinguir las fluctuaciones de amplitud no deseadas en la conversión de la señal. Por estas razones, se debe de utilizar un *limitador* antes del circuito discriminador.

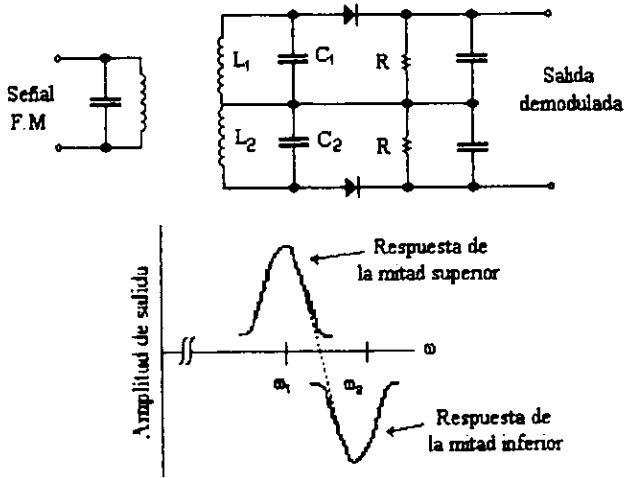


Fig. 1.4 Discriminador de fase $\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}}$, $\omega_2 = \frac{2}{\sqrt{L_2 C_2}}$

b) Circuitos de Amarre de Fase (Phase locked loop).

En estos sistemas se coloca un modulador de frecuencia en la trayectoria de retorno de un sistema de retroalimentación. Entonces un sistema de retroalimentación de alta ganancia, desempeña en la trayectoria hacia adelante la operación inversa que en la trayectoria de retorno, el trayecto hacia adelante demodula la señal de F.M. Los circuitos PLL son un ejemplo de estos sistemas, un circuito simple se observa en la figura 1.5, este nos muestra la implementación de un comparador de fase, un filtro y un oscilador controlado por voltaje (VCO) el cual es un modulador de F.M.

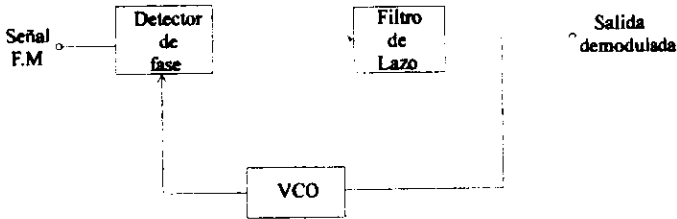


Fig. 1.5 Forma simple de un circuito de amarre de fase (PLL).

El comparador de fase produce un voltaje a la salida que es proporcional a la diferencia de fase entre la señal de entrada y la salida del VCO, este voltaje es filtrado y usado para controlar la frecuencia del VCO. Si inicialmente asumimos que una portadora *no modulada* con fase $\phi(t) = \omega_c t + \phi_0$ esta presente en la entrada, y si la fase de salida del VCO $\theta(t)$ tiene el mismo valor, la salida del detector de fase tendrá un valor de cero. Se dice entonces que el lazo esta *cerrado*, si por alguna razón $\theta(t)$ se desvía en un pequeño valor $\delta\theta$, entonces el detector de fase produce un voltaje proporcional a $-\delta\theta$ el cual, cuando es amplificado y aplicado a la entrada del VCO, actúa para reducir $\delta\theta$ a casi cero.

El circuito PLL es particularmente ventajoso en la demodulación de señales de bajo nivel, además de que el sistema es considerado lineal, dicha característica esta relacionada principalmente al VCO, el cual actúa como un integrador cuando un voltaje de error proporcional a la frecuencia instantánea $f(t)$ aparece a la salida del VCO.

Los receptores F.M de radio móvil, son las aplicaciones más extendidas de estos circuitos.

Efectos del Ruido en un Sistema de Frecuencia Modulada.

Considerando la figura 1.6 y definiendo la relación S/N (Señal a ruido), tenemos que:

$$S/N_o = \frac{\text{Potencia promedio de la señal}}{\text{Potencia prom. de ruido con la portadora sin modular}}$$

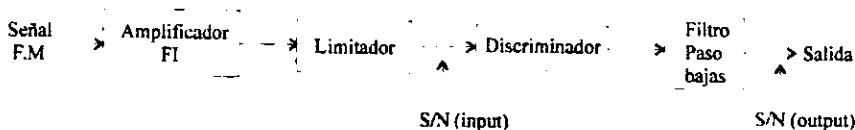


Fig. 1.6 Estructura de un Receptor F.M.

Comúnmente la relación S/N es llamada relación Portadora-Ruido(C/N), y en el caso simple de modulación de tono único.

$$S/N_o = 3(\beta + 1)\beta^2 * S/N_i \approx 3\beta^3 S/N_i \dots\dots (I)$$

donde $3\beta^3$ es el factor de mejora.

a) La Relación del Ancho de Banda y el Umbral de F.M.

Examinando la ecuación (I) y utilizando la regla de Carson, para valores grandes de β , tenemos que:

$$\beta = B/2\omega_m \Rightarrow S/N_o \approx 3 \left(\frac{B}{2\omega_m} \right)^3 S/N_i \dots\dots (II)$$

La ecuación (II) nos revela un importante factor: En un sistema F M no podemos dejar de relacionar el ancho de banda y la relación S/N, sin embargo, de cualquier manera la S/N_o puede aumentar por medio del incremento de la constante moduladora K_f sin necesidad de aumentar la potencia de transmisión. Cuando el ruido se incrementa con respecto a la señal, se presentan variaciones en la fase de la señal.

Dichas variaciones pueden lograr que la fase de la portadora cambie en un valor de 2π , estos rápidos cambios se pueden observar como unos picos de amplitud variable en la salida del discriminador.

La presencia de estas señales indeseables, indican el inicio del Umbral de F.M, y es un punto donde la relación S/N comienza a deteriorarse produciendo que la potencia de ruido sea mayor.

I.II.2 TÉCNICAS DE MODULACIÓN DIGITAL.

En una comunicación digital, la onda modulada consiste de datos binarios y para la portadora es común el uso de una onda sinusoidal. Con una portadora de tipo sinusoidal, el modulador debe de emplear una característica particular para poder distinguir una señal de otra; esta característica consiste en el cambio de la amplitud, la frecuencia o la fase de la portadora.

El resultado de estos procesos de modulación es conocido como:

- Modulación *ASK* (Amplitude-Shift Keying).
- Modulación *FSK* (Frequency- Shift Keying).
- Modulación *PSK* (Phase - Shift Keying).

La figura 1.7 ilustra el caso especial de este tipo de modulaciones para una fuente de datos binarios dada.

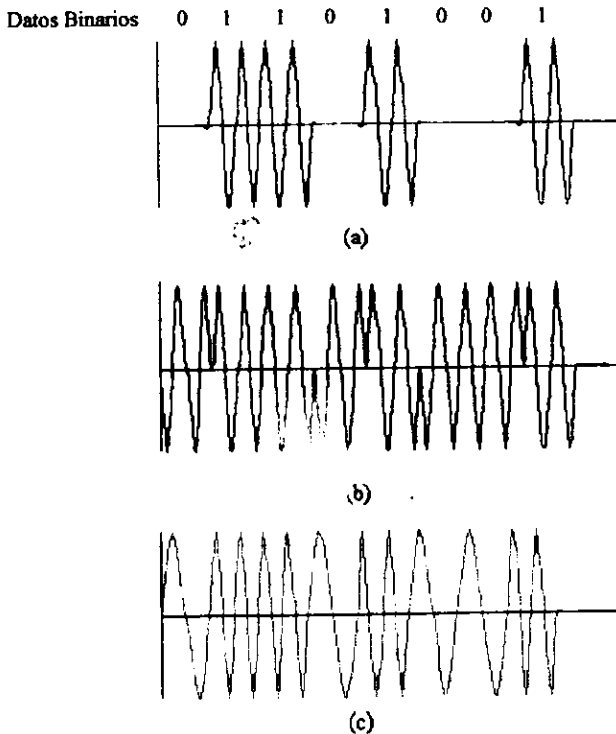


Fig. 1.7 Forma de onda para: a) Modulación *ASK* (Amplitude-Shift Keying), b) *PSK* (Phase - Shift Keying) y c) *FSK* (Frequency- Shift Keying)

El desempeño de la demodulación en el receptor, se encuentra relacionada con la elección de la detección coherente o no coherente.

Para el caso de la detección coherente, el receptor tiene que reconocer exactamente la *referencia de fase* de la onda portadora, en cuyo caso se dice que el receptor se encuentra en fase con el transmisor (*Phase-locked*).

La detección coherente, se lleva a cabo mediante una correlación interpuesta (*cross-correlating*) en la señal de recepción con cada una de las replicas, y entonces se debe de tomar una decisión basándose en la comparación de la correlación con un umbral de voltaje previamente seleccionado. En cambio en la detección no coherente, el reconocimiento de la fase de la onda portadora no es requerido.

TÉCNICAS DE MODULACIÓN BINARIAS COHERENTES.

Para el cumplimiento de nuestro objetivo, desarrollaremos la teoría de modulación en *fase y frecuencia*, por ser las más empleadas en los sistemas de señalización de los distintos estándares internacionales de sistemas celulares.

1. Sistema *FSK* (*Frequency - Shift Keying*) Binario Coherente.

En un sistema binario *FSK*, los símbolos (niveles de voltaje) 1 y 0 son distinguidos uno de otro por medio de la transmisión de una de dos ondas sinusoidales que difieren en frecuencia por una cantidad fija. El par de ondas sinusoidales típicas son descritas por:

$$s_i(t) = \begin{cases} \frac{2E_b}{T_b} \cos(2\pi f_i t) & 0 \leq t \leq T_b \\ 0 & \text{en cualquier otro caso} \end{cases} \quad \dots\dots\dots(1)$$

donde $i = 1, 2$. E_b es la señal de energía transmitida por bit y la frecuencia de transmisión es igual a:

$$f_i = \frac{n_c + i}{T_b} \quad \text{para algunos enteros fijos de } n_c \text{ e } i = 1, 2 \quad \dots\dots\dots(2)$$

De esta manera, el símbolo 1 es representado por $s_1(t)$, y el símbolo 0 por $s_2(t)$. De la ecuación (1), observamos que las señales $s_1(t)$ y $s_2(t)$ son ortogonales, pero no normalizadas por tener unidad de energía. Por consiguiente, la función base ortonormal estará dada por:

$$\phi_i(t) = \begin{cases} \sqrt{\frac{2}{T_b}} \cos(2\pi f_i t) & 0 \leq t \leq T_b \\ 0 & \text{cualquier otro caso} \end{cases} \quad \dots\dots\dots(3)$$

donde $i = 1, 2$. Correspondientemente, el coeficiente s_j para $i = 1, 2$ y $j = 1, 2$, está definido por:

$$s_j = \int_0^{T_b} s_i(t) \phi_j(t) dt = \int_0^{T_b} \frac{2E_b}{T_b} \cos(2\pi f_i t) \sqrt{\frac{2}{T_b}} \cos(2\pi f_j t) dt = \begin{cases} E_b & i = j \\ 0 & i \neq j \end{cases} \quad \dots\dots\dots(4)$$

Por ello un sistema binario *FSK* se caracteriza por tener una señal en el espacio que es bidimensional (ej. $N=2$) con dos puntos de mensaje (ej. $M=2$), como se puede observar en la figura 1.8

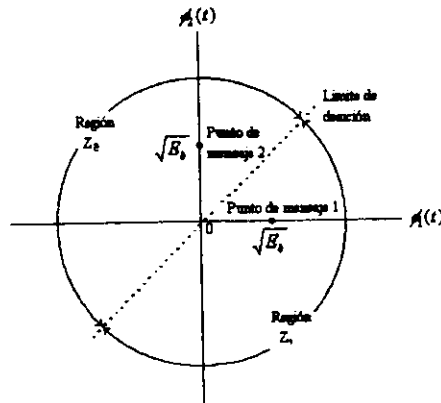


Fig. 1.8 Diagrama de la señal en el espacio para un sistema binario coherente FSK.

Los dos puntos de mensaje son definidos por los siguientes vectores.

$$s_1(t) = \begin{bmatrix} \sqrt{E_b} \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$s_2(t) = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{E_b} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(6)$$

El vector de observación x posee dos elementos, x_1 y x_2 , que son definidos por:

$$x_1 = \int_0^T x(t) \phi_1(t) dt \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$x_2 = \int_0^T x(t) \phi_2(t) dt \quad \dots\dots\dots (8)$$

donde $x(t)$ es la señal de recepción, cuyo valor depende del símbolo que sea transmitido.

- Dado que el símbolo 1 debe de ser transmitido, la función $x(t) = s_1(t) + w(t)$
- Dado que el símbolo 0 debe de ser transmitido, la función $x(t) = s_2(t) + w(t)$

donde $w(t)$ es la función muestreo de un proceso de *Ruido Gaussiano Blanco* con un valor promedio igual a cero y un espectro de densidad de potencia igual a $N_0/2$.

De la figura 1.8, observamos que el espacio de observación es seccionado en dos regiones de decisión, designadas por Z_1 y Z_2 . En consecuencia, el receptor decide en favor de:

- El símbolo 1 si el punto de la señal recibida representada por el vector de observación x cae dentro de la región Z_1 (dado que $x_1 > x_2$).
- El símbolo 0 si el punto de la señal recibida representada por el vector de observación x cae dentro de la región Z_2 (dado que $x_1 < x_2$).

Siendo L una variable aleatoria Gaussiana, cuyo valor de muestreo l esta dado por:

$$l = x_1 - x_2 \quad \dots\dots\dots (9)$$

El valor promedio de L depende del símbolo binario que fue transmitido. Dado que el símbolo 1 fue transmitido, la condicion promedio de la variable aleatoria L , esta dada por:

$$E[L|1] = E[X_1|1] - E[X_2|1] = + E_b \quad \dots\dots\dots (10)$$

Análogamente, dado que el símbolo 0 fue transmitido, el promedio condicional de la variable aleatoria L , esta dada por:

$$E[L|0] = E[X_1|0] - E[X_2|0] = - E_b \quad \dots\dots\dots (11)$$

La varianza de L es independiente del símbolo que fue transmitido. Por lo que las variables aleatorias X_1 y X_2 son estadísticamente independientes, cada una con una varianza igual a $N_0/2$, por lo que:

$$VAR[L] = VAR[X_1] + VAR[X_2] = N_0 \quad \dots\dots\dots (12)$$

El valor correspondiente de la función condicional de densidad de probabilidad de la variable aleatoria L suponiendo que el símbolo 0 fue transmitido, es igual a:

$$f_L(l|0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi N_0}} \exp\left[-\frac{(l + \sqrt{E_b})^2}{2N_0}\right] \quad \dots\dots\dots (13)$$

Entonces la condición $x_1 > x_2$ corresponde a la toma de decisión del receptor en favor del símbolo 1, deduciendo que la probabilidad condicional de error, dado que el símbolo 0 fue transmitido, esta dada por:

$$P_e(0) = P(l > 0 | \text{símbolo 0 fue enviado}) \\ = \int_0^{\infty} f_L(l|0) dl \quad \dots\dots\dots (14)$$

De manera que:

$$P_e(0) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{2N_0}}\right) \quad \dots\dots\dots (15)$$

Similarmente, podemos demostrar que la probabilidad condicional de error dado que el símbolo 1 fue transmitido, $P_e(1)$, tiene el mismo valor que para $P_e(0)$, por lo que la probabilidad promedio de error de símbolo para un sistema FSK binario coherente es:

$$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{2N_0}}\right) \quad \dots\dots\dots (16)$$

Para generar una señal binaria FSK, podemos hacer uso del esquema mostrado en la figura 1.9. La secuencia binaria de entrada es representada en la forma de on-off, con el símbolo 1 representado por una constante de amplitud de $\sqrt{E_b}$ volts y el símbolo 0 representado por cero volts.

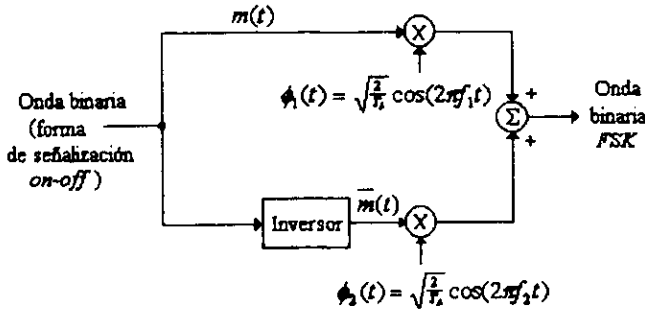


Fig. 1.9 Diagrama a Bloques de un Transmisor Binario FSK.

Como puede observarse en la figura 1.9, se debe de utilizar un inversor en el canal inferior; para asegurar que cuando tengamos el símbolo 1 a la entrada, el oscilador con frecuencia f_1 en el canal superior sea habilitado, mientras que el oscilador con frecuencia f_2 en el canal inferior sea inhabilitado, dando como resultado que la frecuencia f_1 sea transmitida. En cambio, cuando se tiene el símbolo 0 a la entrada se realizara el proceso contrario, dando como resultado que la frecuencia f_2 sea transmitida. Las dos frecuencias f_1 y f_2 son seleccionadas por iguales múltiplos enteros de velocidad $1/T_b$ (bit-rate).

Para detectar la secuencia binaria original dada la onda $x(t)$ con ruido en la recepción, se puede hacer uso del receptor mostrado en la figura 1.10

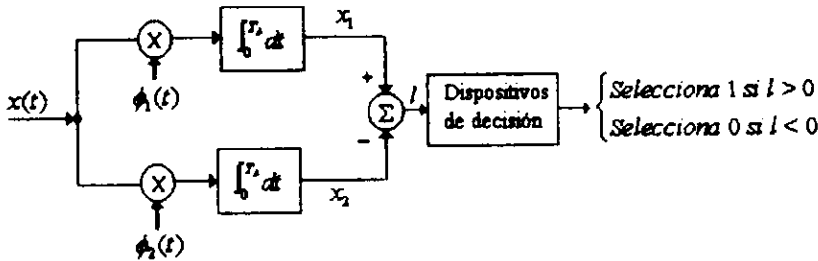


Fig. 1.10 Diagrama a Bloque de un Receptor FSK Coherente Binario

Este se encuentra constituido por dos correlacionadores con una entrada común, a los cuales se les suministra una señal de referencia $\phi_1(t)$ y $\phi_2(t)$, generadas localmente. La salida de los correlacionadores es entonces sustrahada, una con respecto de otra, y la diferencia en el resultado, l , es comparada con un umbral de cero volts. Si $l > 0$, el receptor decide en favor del símbolo 1. De otra forma, si $l < 0$, se decide en favor de un 0.

II. Sistema PSK (Phase - Shift Keying) Binario Coherente.

En un sistema binario coherente PSK, el par de señales, $s_1(t)$ y $s_2(t)$ usadas para representar los símbolos binarios 1 y 0, son definidas por:

$$s_1(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t) \quad \dots\dots\dots (17)$$

$$s_2(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t + \pi) = -\sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t) \quad \dots\dots\dots (18)$$

donde $0 \leq t \leq T_b$ y E_b es la señal de energía transmitida por bit, la frecuencia portadora debe ser igual a n_c / T_b para algunos enteros fijos de n_c .

Un par de ondas sinusoidales que difieren únicamente en un cambio relativo de fase de 180° , como las definidas anteriormente, son llamadas *señales antipodales*.

De las ecuaciones (17) y (18), observamos que solamente tenemos una función base de energía unitaria, por lo que:

$$\phi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{T_b}} \cos(2\pi f_c t) \quad 0 \leq t < T_b \quad \dots\dots\dots (19)$$

Entonces, las señales transmitidas $s_1(t)$ y $s_2(t)$ pueden definirse como:

$$s_1(t) = \sqrt{E_b} \phi_1(t) \quad 0 \leq t < T_b \quad \dots\dots\dots (20)$$

$$s_2(t) = -\sqrt{E_b} \phi_1(t) \quad 0 \leq t < T_b \quad \dots\dots\dots (21)$$

Por consiguiente, un sistema binario *PSK* se caracteriza por tener una señal en el espacio unidimensional ($N=1$), con dos puntos de mensaje, como lo muestra la figura 1.11.

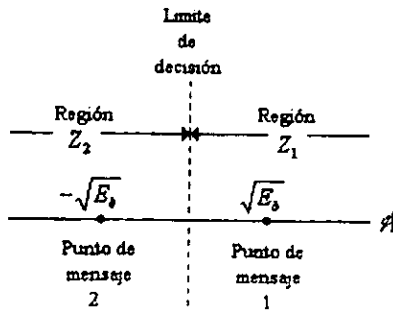


Fig. 1.11 Diagrama de la Señal de Espacio para un Sistema Binario Coherente *PSK*.

Las coordenadas de los puntos de mensaje son:

$$s_{11}(t) = \int_0^{T_b} s_1(t) \phi_1(t) dt = +\sqrt{E_b} \quad \dots\dots\dots (22)$$

$$s_{21}(t) = \int_0^{T_b} s_2(t) \phi_1(t) dt = -\sqrt{E_b} \quad \dots\dots\dots (23)$$

El punto que corresponde a $s_1(t)$ está localizado en s_{11} y el correspondiente a $s_2(t)$ se localiza en s_{21} .

Para decidir en favor del símbolo 0 ó 1, debemos de construir dos regiones entre los puntos de mensaje, las cuales son denominadas como Z_1 y Z_2 además de considerar que:

1. La colocación del punto debe de ser junto al punto de mensaje en $\sqrt{E_b}$.
2. La colocación del punto debe de ser junto al punto de mensaje en $-\sqrt{E_b}$.

De tal manera que la decisión es simple al suponer que la señal $S_1(t)$ o el símbolo binario 1 fue transmitido si el punto de recepción cae en la región Z_1 y suponiendo que la señal $S_2(t)$ o el símbolo binario 0 fue transmitido si el punto de la señal de recepción cae dentro de la región Z_2 .

Dos clases de errores de decisión pueden presentarse: por ejemplo, si la señal $s_2(t)$ es transmitida pero si el ruido que afecta a la señal es tal que hace que el punto de la señal de recepción caiga dentro de la región Z_1 , el receptor decidirá en favor de la señal $s_1(t)$. Alternativamente, si la señal $s_1(t)$ es transmitida, pero el ruido es tal que hace que el punto de la señal de recepción caiga dentro de la región Z_2 , entonces el receptor decidirá en favor del símbolo 0.

Para calcular la probabilidad de realización de un error de la primera clase, notamos de la figura 1.11 que la región de decisión asociada con la señal $s_1(t)$, está descrita por:

$$Z_1: 0 < x_1 < 1$$

donde x_1 está dada por:

$$x_1 = \int_0^T x(t) \phi_1(t) dt \quad \dots\dots\dots (24)$$

$x(t)$ es la señal de recepción. De tal manera que la función de probabilidad, cuando la señal $s_2(t)$ es transmitida, está definida por:

$$f_{x_1}(x_1|0) = \frac{1}{\sqrt{\pi N_0}} \exp\left[-\frac{1}{N_0} (x_1 + \sqrt{E_b})^2\right] \quad \dots\dots\dots (25)$$

La probabilidad condicional de que el receptor decida en favor del símbolo 1, dado que el símbolo 0 fue transmitido, es por consiguiente:

$$P_e(0) = \int_0^1 f_{x_1}(x_1|0) dx_1 = \frac{1}{\sqrt{\pi N_0}} \int_0^1 \exp\left[-\frac{1}{N_0} (x_1 + \sqrt{E_b})^2\right] dx_1 \quad \dots\dots\dots (26)$$

De tal manera que:

$$P_e(0) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right) \quad \dots\dots\dots (27)$$

donde $\operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right)$ es la función de error complementario.

Similarmente, la probabilidad condicional de que el receptor decida en favor del símbolo 0 dado que el símbolo 1 fue transmitido $[P_e(1)]$, tiene el mismo valor que el de la ecuación (27).

De esta manera, el promedio de probabilidad de error de símbolo para un sistema coherente binario PSK es igual a:

$$P_s = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right) \quad \dots\dots (28)$$

Para generar una onda binaria PSK, tenemos que representar la secuencia binaria de entrada en forma polar, con el símbolo 1 y 0 representados por niveles constantes de amplitud $\sqrt{E_b}$ y $-\sqrt{E_b}$, respectivamente. Esta onda binaria y una portadora sinusoidal dada por $\phi_1(t)$ son aplicadas a un modulador, como se observa en la figura 1.12. La portadora y el pulso coordinador usados para generar la onda binaria son usualmente obtenidos de un reloj maestro común. La onda PSK deseada es obtenida así en la salida del modulador.

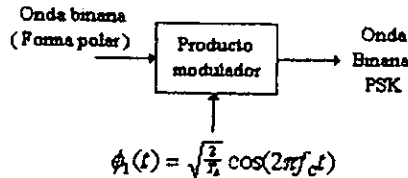


Fig. 1.12 Transmisor Binario Coherente PSK

Para detectar la secuencia binaria original de 1's y 0's, debemos aplicar la onda PSK $x(t)$ con ruido a un correlacionador, el cual también es alimentado con una señal de referencia coherente $\phi_1(t)$ generada localmente como se muestra en la fig. 1.13. La salida x_1 , es comparada con respecto a un umbral de cero volts. Si $x_1 > 0$, el receptor decide en favor del símbolo 1. De otra forma si $x_1 < 0$, se decide en favor del símbolo 0.

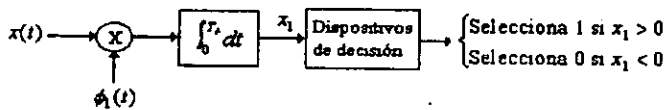


Fig. 1.13 Receptor Binario Coherente PSK

TÉCNICAS DE MODULACIÓN BINARIAS COHERENTES EN CUADRATURA.

Estas técnicas de modulación poseen la característica de conservar el ancho de banda para la transmisión de datos binarios, y son referidos como sistemas de "multiplexión de portadora en cuadratura", estos sistemas producen una onda modulada descrita por:

$$s(t) = s_I(t) \cos(2\pi f_c t) - s_Q(t) \sin(2\pi f_c t) \quad \dots\dots (29)$$

donde $s_I(t)$ es la componente en fase de la onda modulada, y $s_Q(t)$ es la componente en cuadratura. De esta manera se consideran tres sistemas de modulación en cuadratura, el primero es el sistema QPSK (Quadrature-Shift Keying), el sistema CPFSK también conocido como MSK ó FastFSK y el sistema QAM M-ary.

En este tipo de esquemas, la portadora recibida del exterior se detecta coherentemente en dos intervalos de bits sucesivos.

III. Sistema QPSK (*Quadrphase - Shift Keying*) Binario Coherente.

Este esquema de modulación se caracteriza por el hecho de que la información de la onda transmitida esta contenida en la fase. En particular, en un sistema QPSK la fase de la portadora, toma uno de cuatro valores iguales en el espacio, tales como $\pi/4, 3\pi/4, 5\pi/4, 7\pi/4$, dados por:

$$s_i(t) = \begin{cases} \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos\left[2\pi f_c t + (2i-1)\frac{\pi}{4}\right] & 0 \leq t \leq T \\ 0 & \text{cualquier otro caso} \end{cases} \dots\dots\dots (30)$$

donde $i = 1,2,3,4$, E es la señal de energía transmitida por símbolo, T es la duración del bit y la frecuencia portadora f_c es igual a n_c/T para algunos enteros fijos de n_c . Cada posible valor de la fase corresponde a un único par de bits llamados *dibit*. Así por ejemplo, podemos seleccionar el valor de la fase en representación del siguiente código de *dibits*: 10, 00, 01 y 11 respectivamente.

Expandiendo la ecuación (30), tenemos:

$$s_i(t) = \begin{cases} \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos\left[(2i-1)\frac{\pi}{4}\right] \cos(2\pi f_c t) - \sqrt{\frac{2E}{T}} \operatorname{sen}\left[(2i-1)\frac{\pi}{4}\right] \operatorname{sen}(2\pi f_c t) & 0 \leq t \leq T \\ 0 & \text{cualquier otro caso} \end{cases} \dots\dots\dots (31)$$

De la ecuación anterior observamos que:

- Hay únicamente dos funciones base ortonormales $\phi_1(t)$ y $\phi_2(t)$, definidas por:

$$\phi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{T}} \cos(2\pi f_c t) \quad 0 \leq t \leq T \quad \dots\dots\dots (32)$$

$$\phi_2(t) = \sqrt{\frac{2}{T}} \operatorname{sen}(2\pi f_c t) \quad 0 \leq t \leq T \quad \dots\dots\dots (33)$$

- Hay cuatro puntos de mensaje, y los vectores de señal asociados están definidos por:

$$s_i = \begin{bmatrix} \sqrt{E} \cos\left((2i-1)\frac{\pi}{4}\right) \\ -\sqrt{E} \cos\left((2i-1)\frac{\pi}{4}\right) \end{bmatrix} \quad i = 1,2,3,4 \quad \dots\dots\dots (34)$$

Los valores de los elementos del vector de señal s_{i1} y s_{i2} , se dan en la tabla 1. En ésta las primeras dos columnas dan la asociación de *dibits* y fase de la señal QPSK.

Por consiguiente, una señal QPSK se caracteriza por tener una señal de constelación bidimensional ($N=2$) y cuatro puntos de mensaje, como se ilustra en la figura 1.14

Tabla 1. Caracterización de las señales de espacio del sistema QPSK

dibit de entrada $0 \leq t \leq T$	Fase de la señal QPSK (Radianes)	Coordenadas del punto de mensaje	
		s_{11}	s_{12}
10	$\pi/4$	$+\sqrt{E}/2$	$-\sqrt{E}/2$
00	$3\pi/4$	$-\sqrt{E}/2$	$-\sqrt{E}/2$
01	$5\pi/4$	$-\sqrt{E}/2$	$+\sqrt{E}/2$
11	$7\pi/4$	$+\sqrt{E}/2$	$+\sqrt{E}/2$

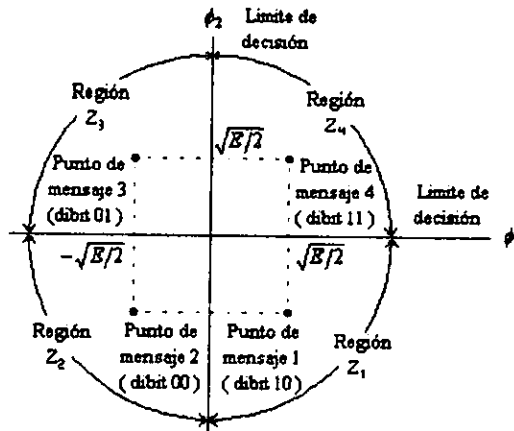


Fig. 1.14 Diagrama de la Señal de Espacio para un Sistema Coherente QPSK.

En la toma de decisión para la detección de la secuencia de datos transmitida, debemos seccionar la señal de espacio en cuatro regiones (como se observa en la figura 1.14), designadas como Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 , y considerar:

1. La colocación del punto junto al punto de mensaje asociado con el vector de señal s_1
2. La colocación del punto junto al punto de mensaje asociado con el vector de señal s_2
3. La colocación del punto junto al punto de mensaje asociado con el vector de señal s_3
4. La colocación del punto junto al punto de mensaje asociado con el vector de señal s_4

La señal de recepción $x(t)$, esta definida por:

$$x(t) = s_i(t) + w(t) \quad 0 \leq t \leq T$$

$$i = 1, 2, 3, 4 \quad \dots \dots \dots (35)$$

donde $w(t)$ es la función muestreo de un proceso Gaussiano de Ruido Blanco de cero promedio y una densidad de potencia espectral $N_0/2$. El vector de observación, \mathbf{x} , de un receptor coherente QPSK, tiene dos elementos x_1 y x_2 , que son definidos por :

$$x_1 = \int_0^T x(t)\phi_1(t)dt = \sqrt{E} \cos\left[(2i-1)\frac{\pi}{4}\right] + w_1 \quad \dots\dots\dots (36)$$

$$x_2 = \int_0^T x(t)\phi_2(t)dt = -\sqrt{E} \sin\left[(2i-1)\frac{\pi}{4}\right] + w_2 \quad \dots\dots\dots (37)$$

donde $i = 1,2,3,4$.

De esta manera x_1 y x_2 son valores muestreo de la variable aleatoria Gaussiana Independiente con valores promedio igual a $\sqrt{E} \cos[(2i-1)\pi/4]$ y $-\sqrt{E} \sin[(2i-1)\pi/4]$, respectivamente, y con una varianza común de $N_0/2$.

Por lo tanto, la regla de decisión se vuelve sencilla: por ejemplo, suponemos que la señal $s_1(t)$ fue transmitida, si el punto de la señal de recepción asociada con el vector de observación x cae dentro de la región Z_1 . De la misma manera suponemos que la señal $s_n(t)$ fue transmitida, si el punto de la señal de recepción cae dentro de la región Z_n (siendo $n = 2,3,4$).

Un error de decisión puede presentarse, si por ejemplo, la señal $s_4(t)$ es transmitida pero el ruido $w(t)$ es tal que hace que el punto de la señal de recepción caiga fuera de la región Z_4 .

A causa de la simetría en la región de decisión, la probabilidad de interpretación correcta del punto de la señal de recepción es la misma, sin tener en cuenta que señal fue actualmente transmitida. De tal manera que la probabilidad de una decisión correcta, P_C , es igual al producto de las probabilidades condicionales de los eventos x_1 y x_2 .

$$P_C = \int_0^\infty \frac{1}{\sqrt{\pi N_0}} \exp\left[-\frac{(x_1 - \sqrt{E/2})^2}{N_0}\right] dx_1 \cdot \int_0^\infty \frac{1}{\sqrt{\pi N_0}} \exp\left[-\frac{(x_2 - \sqrt{E/2})^2}{N_0}\right] dx_2 \quad \dots\dots\dots (38)$$

resolviendo la ecuación, tenemos que:

$$P_C = \left[1 - \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{E}{2N_0}}\right)\right]^2 \quad \dots\dots\dots (39)$$

La probabilidad promedio de error de símbolo para un sistema QPSK es por lo tanto:

$$P_s = 1 - P_C = \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{E}{2N_0}}\right) - \frac{1}{4} \operatorname{erfc}^2\left(\sqrt{\frac{E}{2N_0}}\right) \quad \dots\dots\dots (40)$$

En la región donde $E/2N_0 \gg 1$, debemos de ignorar el segundo término de la ecuación anterior, y entonces la formula aproximada para la probabilidad promedio de error de símbolo para un sistema coherente QPSK es:

$$P_s \approx \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{E}{2N_0}}\right) \quad \dots\dots\dots (41)$$

En un sistema QPSK, notamos que la energía de la señal transmitida por símbolo, es el doble de la señal de energía por bit, esto es:

$$E = 2E_b \quad \dots\dots\dots (42)$$

De esta manera, expresando la probabilidad promedio de error de símbolo en términos de la relación E_b/N_0 , podemos escribir.

$$P_e \approx \text{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right) \dots\dots\dots (43)$$

La figura 1.15 nos muestra un diagrama a bloques de un transmisor QPSK típico. La secuencia binaria de entrada $b(t)$ es representada en forma polar, con los símbolos 1 y 0 representados por los niveles $+\sqrt{E_b}$ y $-\sqrt{E_b}$, respectivamente. Esta onda binaria es dividida en dos ondas binarias $\{b_1(t) \text{ y } b_2(t)\}$ separadas, consistiendo de números pares e impares de bits de entrada.

Las ondas binarias $b_1(t)$ y $b_2(t)$ son usadas para modular un par de portadoras en cuadratura $\phi_1(t)$ y $\phi_2(t)$. El resultado es un par de ondas binarias PSK las cuales pueden ser detectadas independientemente debido a la ortogonalidad de $\phi_1(t)$ y $\phi_2(t)$. Finalmente las ondas binarias PSK son sumadas para producir la onda binaria QPSK deseada. Nótese que la duración del símbolo T , de una onda QPSK, es del doble de duración que la del bit, T_b , de la onda binaria de entrada. Esto es, para un bit-rate $1/T_b$ dado, una onda QPSK requiere de la mitad del ancho de banda de transmisión de la correspondiente onda binaria PSK. Equivalentemente, para un ancho de banda de transmisión dado, una onda portadora QPSK tiene el doble de bits de información que el de la onda binaria PSK correspondiente.

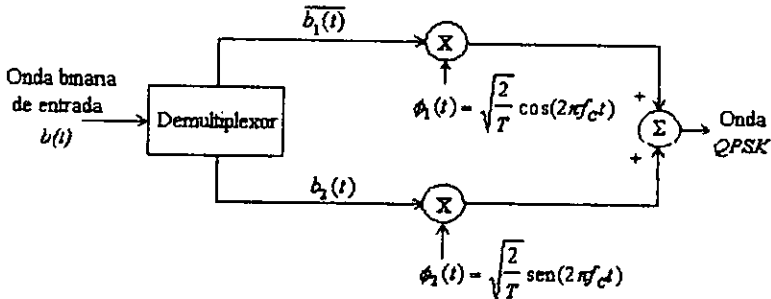


Fig. 1.15 Transmisor Binario Coherente QPSK.

El receptor QPSK consta de un par de correlacionadores con una entrada común, alimentados por un par de señales coherentes de referencia $\phi_1(t)$ y $\phi_2(t)$ generadas localmente como se observa en la figura 1.16

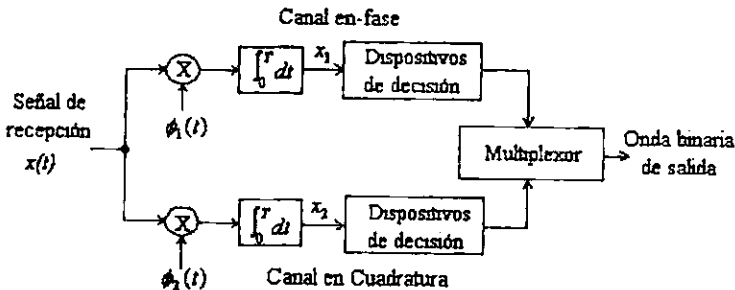


Fig. 1.16 Receptor Binario Coherente QPSK

Las salidas del correlacionador x_1 y x_2 son comparadas con un umbral de cero volts. Si $x_1 > 0$, se toma la decisión en favor del símbolo 1 para la salida del canal *en fase*, pero si $x_1 < 0$, se decide en favor del símbolo 0. Análogamente, si $x_2 > 0$ se decide por el 1 a la salida del canal en cuadratura, pero si $x_2 < 0$, se decide por el símbolo 0.

Finalmente, estas dos secuencias binarias en las salidas del canal en fase y cuadratura son combinadas en un multiplexor para reproducir la secuencia binaria original de la transmisión de entrada con la mínima probabilidad de error de símbolo.

IV. Sistema MSK (*Minimum - Shift Keying*) Binario Coherente.

En un sistema binario FSK, la información contenida en la fase de la señal de recepción no es completamente explotada. Cuando se utiliza adecuadamente la fase en el proceso de detección, es posible mejorar significativamente la relación de ruido en el receptor. Sin embargo esto trae como consecuencia el incrementar el grado de complejidad en el receptor.

Consideremos una señal FSK de fase continua (CPFSK), la cual está definida en el intervalo $0 \leq t \leq T_b$, de la siguiente manera:

$$s(t) = \begin{cases} \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos[2\pi f_1 t + \theta(0)] & \text{Para el símbolo 1} \\ \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos[2\pi f_2 t + \theta(0)] & \text{Para el símbolo 0} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (44)$$

donde E_b es la señal de energía transmitida por bit, y T_b es la duración del bit. La variable $\theta(0)$, denota el valor de la fase en un tiempo $t = 0$. Las frecuencias f_1 y f_2 son enviadas en respuesta al símbolo binario 1 y 0 que aparecen a la entrada del modulador en forma correspondiente.

Otra forma usual de representar una señal CPFSK $s(t)$ es mediante una *onda modulada en ángulo*, tal como se muestra a continuación:

$$s(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos[2\pi f_c t + \theta(t)] \quad \dots\dots\dots (45)$$

La frecuencia portadora nominal f_c es seleccionada como el resultado de un promedio aritmético de las frecuencias f_1 y f_2 , dada por:

$$f_c = \frac{1}{2}(f_1 + f_2) \quad \dots\dots\dots (46)$$

La fase $\theta(t)$ de una señal CPFSK se incrementa o decrementa linealmente con una duración de tiempo de cada periodo de bit de T_b segundos dada por:

$$\theta(t) = \theta(0) \pm \frac{\pi h}{T_b} t \quad 0 \leq t \leq T_b \quad \dots\dots\dots (47)$$

donde el signo + corresponde al envío del símbolo 1, y el signo - corresponde al envío del símbolo 0. El parámetro h es definido por:

$$h = T_b(f_1 - f_2) \dots\dots\dots (48)$$

Refiriéndonos a h como la *relación de desviación*, medida con respecto a la relación $\frac{1}{T_b}$ (*bit rate*). Para un tiempo $t = T_b$, tenemos que la ecuación (47) resulta ser.

$$\theta(T_b) - \theta(0) = \begin{cases} \pi h & \text{para el símbolo 1} \\ -\pi h & \text{para el símbolo 0} \end{cases} \dots\dots\dots (49)$$

Esto nos muestra, que la fase de la señal *CPFSK* $s(t)$ se incrementara o decrementará dependiendo del símbolo binario que quiera ser transmitido. La variación de la fase con respecto al tiempo sigue una trayectoria de líneas rectas, como lo demuestra la figura 1.17, la pendiente representa los cambios en la frecuencia.

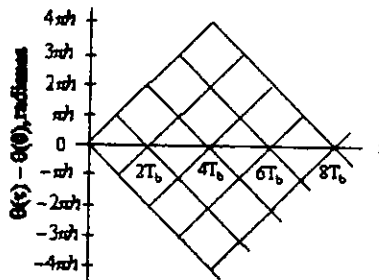


Fig. 1.17 Árbol de fase

La figura 1.17 es llamada *árbol de fase*, y tiene la finalidad de realizar una limpia transición de fase a través de los límites del intervalo de la secuencia entrante de bits de datos.

Un caso especial se da cuando $h = \frac{1}{2}$, debido a que la fase puede tomar únicamente dos valores posibles ($\pm \frac{\pi}{2}$) para múltiplos impares de T_b , y solamente el valor de 0 y π en múltiplos pares de T_b .

Expandiendo la ecuación (44), podemos expresar la señal *CPFSK* en términos de la componente *en fase* y *cuadratura* como lo expresa la siguiente ecuación:

$$s(t) = \sqrt{\frac{2F_s}{F_c}} \cos[\theta(t)] \cos(2\pi f_c t) - \sqrt{\frac{2F_s}{F_c}} \sin[\theta(t)] \sin(2\pi f_c t) \dots\dots\dots (50)$$

Considérese primeramente la componente en fase $\sqrt{\frac{2F_s}{F_c}} \cos[\theta(t)]$ con una relación de desviación de $h = \frac{1}{2}$, por lo que la fase de la señal resulta ser:

$$\theta(t) = \theta(0) \pm \frac{\pi}{2T_b} t \quad 0 \leq t \leq T_b \dots\dots\dots (51)$$

donde el signo + corresponde al símbolo 1 y el signo - al símbolo 0. Entonces la fase $\theta(0)$ es 0 ó π , y dependiendo de los procesos de modulación anteriores, encontrando que, en el intervalo $-T_b \leq t \leq T_b$, la polaridad del $\cos[\theta(t)]$ depende solamente en $\theta(0)$, a pesar de las secuencias de 1's y 0's transmitidos antes o después de $t = 0$. De manera que, para este intervalo de tiempo, la componente *en fase*, $s_1(t)$, consiste en un *pulso medio cosenoidal* definido de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 s_I(t) &= \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos[\theta(t)] = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos[\theta(0)] \cos\left(\frac{\pi}{2T_b}t\right) \\
 &= \pm \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos\left(\frac{\pi}{2T_b}t\right) \quad -T_b \leq t \leq T_b \quad \dots\dots\dots (52)
 \end{aligned}$$

donde el signo + corresponde a $\theta(0) = 0$ y el signo - corresponde a $\theta(0) = \pi$.

En forma similar, podemos demostrar que en el intervalo $0 \leq t \leq 2T_b$, la componente en cuadratura, $s_Q(t)$, consiste de un pulso senoidal medio cuya polaridad depende únicamente en $\theta(T_b)$, dada por:

$$\begin{aligned}
 s_Q(t) &= \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \text{sen}[\theta(t)] = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \text{sen}[\theta(T_b)] \text{sen}\left(\frac{\pi}{2T_b}t\right) \\
 &= \pm \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \text{sen}\left(\frac{\pi}{2T_b}t\right) \quad 0 \leq t \leq 2T_b \quad \dots\dots\dots (53)
 \end{aligned}$$

donde el signo positivo corresponde a $\theta(T_b) = \pi/2$ y el signo negativo a $\theta(T_b) = -\pi/2$

Cuando $h = 1/2$, sabemos que la desviación de frecuencia ($f_1 - f_0$) es igual a la mitad de la duración del bit (*bit-rate*). Esto es el mínimo espaciamiento de frecuencia que permite a las dos señales FSK representar los símbolos 1 y 0. Es por ello, que una señal CPFSK con una relación de desviación de un-medio es referida como una señal MSK (*Minimum-Shift Keying*). Entonces el intervalo de frecuencia es de únicamente la mitad con relación al intervalo convencional de $1/T_b$ que es usado en la detección coherente de una señal binaria FSK, esto también es referido como *Fast-FSK (FFSK)*.

De lo anteriormente expuesto, observamos que los estado de fase $\theta(0)$ y $\theta(T_b)$ pueden asumir uno de dos posibles valores, alguna de cuatro posibilidades se puede presentar, como se indica a continuación.

1. La fase $\theta(0) = 0$ y $\theta(T_b) = \pi/2$, corresponden a la transmisión del símbolo 1.
2. La fase $\theta(0) = \pi$ y $\theta(T_b) = \pi/2$, corresponden a la transmisión del símbolo 0.
3. La fase $\theta(0) = \pi$ y $\theta(T_b) = -\pi/2$, (o, equivalentemente, $3\pi/2$, módulo 2π) corresponden a la transmisión del símbolo 1.
4. La fase $\theta(0) = 0$ y $\theta(T_b) = -\pi/2$, corresponden a la transmisión del símbolo 0.

De la ecuación (50), deducimos que en el caso de una señal MSK las funciones base ortonormales $\phi_1(t)$ y $\phi_2(t)$ están dadas por:

$$\phi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{T_b}} \cos\left(\frac{\pi}{2T_b}t\right) \cos(2\pi f_c t) \quad -T_b \leq t \leq T_b \quad \dots\dots\dots (54)$$

$$\phi_2(t) = \sqrt{\frac{2}{T_b}} \text{sen}\left(\frac{\pi}{2T_b}t\right) \text{sen}(2\pi f_c t) \quad 0 \leq t \leq 2T_b \quad \dots\dots\dots (55)$$

Donde $\phi_1(t)$ y $\phi_2(t)$ están definidos por un periodo igual al doble de duración del bit. Esto es necesario, ya que ello asegura que se cumplirá la *condición de ortogonalidad*.

Correspondientemente, podemos expresar las señales MSK de la siguiente forma:

$$s(t) = s_1 \phi_1(t) + s_2 \phi_2(t) \quad \dots\dots\dots (56)$$

donde los coeficientes s_1 y s_2 están relacionados a los estados de fase $\theta(0)$ y $\theta(T_b)$, respectivamente.

Evaluando s_1 en el intervalo de observación $-T_b \leq t \leq T_b$ para la componente *en fase* de $s(t)$, obtenemos:

$$s_1 = \int_{-T_b}^{T_b} s(t) \phi_1(t) dt = \sqrt{E_b} \cos[\theta(0)] \quad -T_b \leq t \leq T_b \quad \dots\dots\dots (57)$$

Análogamente, evaluando s_2 en relación con el intervalo $0 \leq t \leq 2T_b$ para la componente *en cuadratura* de $s(t)$, obtenemos:

$$s_2 = \int_0^{2T_b} s(t) \phi_2(t) dt = \sqrt{E_b} \cos[\theta(T_b)] \quad 0 \leq t \leq 2T_b \quad \dots\dots\dots (58)$$

Por consiguiente, la señal de constelación para un sistema MSK es bidimensional ($N = 2$), con cuatro puntos de mensaje ($M = 4$) como lo ilustra la figura I.18.

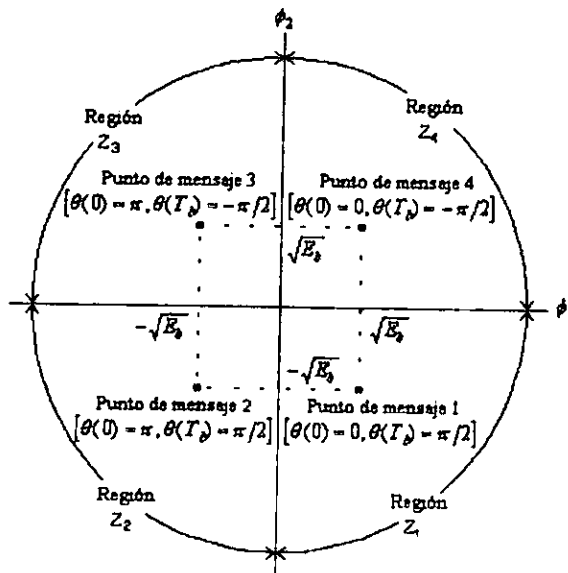


Fig. I.18 Diagrama de la señal en el espacio para un sistema MSK.

La tabla 2, presenta un resumen de los valores $\theta(0)$ y $\theta(T_b)$, correspondientes a s_1 y s_2 que son calculados para el intervalo de tiempo $-T_b \leq t \leq T_b$ y $0 \leq t \leq 2T_b$, respectivamente.

Tabla 2. Caracterización de la señal MSK en el espacio.

Símbolo Binario Transmitido	Estados de fase (Radianes)		Coordenadas de los puntos de mensaje	
	$\theta(0)$	$\theta(T_b)$	s_1	s_2
$0 \leq t \leq T_b$				
1	0	$+\pi/2$	$+\sqrt{E_b}$	$-\sqrt{E_b}$
0	π	$+\pi/2$	$-\sqrt{E_b}$	$-\sqrt{E_b}$
1	π	$-\pi/2$	$-\sqrt{E_b}$	$+\sqrt{E_b}$
0	0	$-\pi/2$	$+\sqrt{E_b}$	$+\sqrt{E_b}$

Para el caso de un canal AWGN, la señal de recepción esta dada por:

$$x(t) = s(t) + w(t) \quad \dots\dots\dots (59)$$

donde $s(t)$ es la señal MSK transmitida y $w(t)$ es la función muestreo de un proceso de ruido Gaussiano blanco con un promedio de cero y una densidad de potencia espectral $N_0/2$. Para decidir si el símbolo 1 ó 0 fue transmitido en el intervalo $0 \leq t \leq T_b$, se debe de establecer una optima detección de los estados de fase $\theta(0)$ y $\theta(T_b)$. Para la optima detección de $\theta(0)$, determinamos la proyección de la señal de recepción $x(t)$ sobre la señal de referencia $\phi_1(t)$, obteniendo:

$$\begin{aligned} x_1 &= \int_{-T_b}^{T_b} x(t)\phi_1(t)dt \\ &= s_1 + w_1 \quad -T_b \leq t \leq T_b \quad \dots\dots\dots (60) \end{aligned}$$

donde s_1 se define por la ecuación (57) y w_1 es el valor muestreo de una variable aleatoria Gaussiana con una varianza de $N_0/2$. De la figura 1.18, observamos que si $x_1 > 0$, el receptor selecciona el estimado $\hat{\theta}(0) = 0$. De otra forma, si $x < 0$, se selecciona la estimación $\hat{\theta}(0) = \pi$.

Análogamente, para la optima detección de $\theta(T_b)$, determinamos la proyección de la señal de recepción $x(t)$ sobre $\phi_2(t)$, obteniendo.

$$\begin{aligned} x_2 &= \int_0^{2T_b} x(t)\phi_2(t)dt \\ &= s_2 + w_2 \quad 0 \leq t \leq 2T_b \quad \dots\dots\dots (61) \end{aligned}$$

donde, s_2 esta definido por la ecuación (58) y w_2 es otra variable Gaussiana independiente, de cero valor promedio y una varianza de $N_0/2$.

Refiriéndonos nuevamente a la figura 1.18, observamos que si $x_2 > 0$, el receptor selecciona la estimación $\hat{\theta}(T_b) = -\pi/2$, por otro lado, si $x_2 < 0$, se selecciona $\hat{\theta}(T_b) = \pi/2$.

El promedio de la probabilidad de error de símbolo de una señal MSK esta dada por:

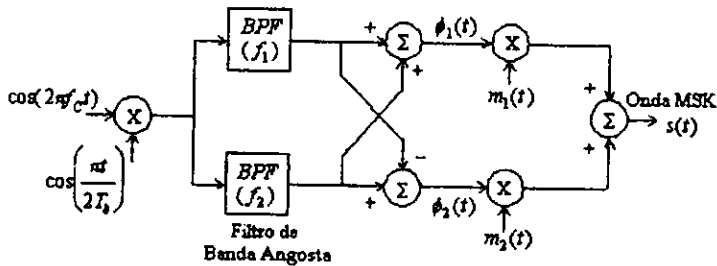
$$P_e = \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right) - \frac{1}{4}\text{erfc}^2\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right) \quad \dots\dots\dots (62)$$

Sin embargo, en la región donde $E_b/N_0 \gg 1$ se debe de ignorar el segundo término de la ecuación anterior, por lo que la aproximación del promedio de probabilidad de error de símbolo esta dada por:

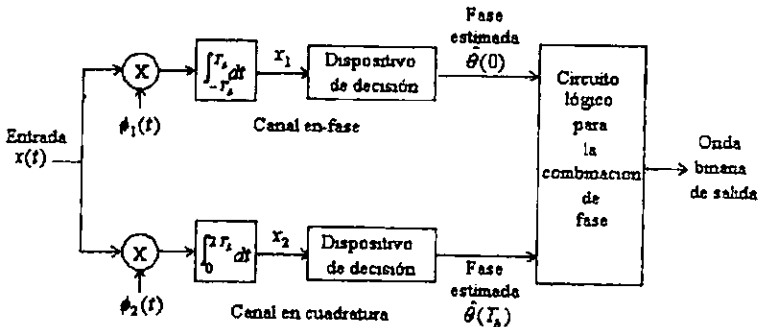
$$P_e \approx \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right) \quad \dots\dots\dots (63)$$

El siguiente diagrama a bloques, nos muestra un transmisor MSK típico. En este dispositivo, dos ondas sinusoidales de entrada, una de frecuencia $f_c = n_c / 4T_b$ y otra de frecuencia $1/4T_b$, son inicialmente aplicadas al producto modulador. Esto produce dos ondas sinusoidales de fase coherente con frecuencias f_1 y f_2 , las cuales están relacionadas a f_c y al bit rate $1/T_b$. Estas dos ondas sinusoidales son separadas una de otra mediante filtros de banda angosta, centrados en f_1 y f_2 , respectivamente. La salida es a continuación sumada para producir el par de portadoras en *cuadratura* $\phi_1(t)$ y $\phi_2(t)$. Finalmente, estas ultimas funciones son multiplicadas con dos ondas binarias $m_1(t)$ y $m_2(t)$, ambas con un bit-rate de $1/2T_b$. Estas dos ondas binarias son restadas de la señal binaria de entrada $b(t)$, para obtener así la señal MSK requerida.

La ventaja de este método de generación, es que la señal coherente y la relación de desviación no son afectadas por las variaciones en cuanto a la estimación de datos (bit rate) a la entrada del transmisor.



En el receptor MSK, la señal de recepción $x(t)$ es correlacionada con replicas locales generadas de la señal de referencia $\phi_1(t)$ y $\phi_2(t)$, dichas señales son integradas, dando como resultado a las señales x_1 y x_2 en el canal en fase y en *cuadratura* respectivamente, a continuación dichas señales son comparadas con un umbral de cero volts, y la estimación de las fases $\theta(0)$ y $\theta(T_b)$ son derivadas de las manera descrita anteriormente. Finalmente, estas decisiones de fase son combinadas para reconstruir la onda binaria original de entrada $b(t)$ con la mínima probabilidad promedio de error de símbolo.



V. Sistema QAM M-ary (Quadrature Amplitude Modulation).

En un esquema de señalización *M*-ary, podemos enviar una de *M* posibles señales de información $s_1(t), s_2(t), \dots, s_M(t)$, durante cada intervalo del bit de duración *T*. Para casi todas las aplicaciones, el número de señales posibles es $M=2^n$, donde *n* es un número entero. La duración del símbolo es $T=nT_b$ donde T_b es la duración del bit. Estas señales son generadas por cambios en la amplitud, la fase o la frecuencia de la portadora en *M* pasos discretos.

Otra forma de generar señales *M*-ary es mediante la combinación de diferentes métodos de modulación en una forma *híbrida*. Un ejemplo especial de este tipo de modulación es la llamada *QAM M-ary*, la cual presenta propiedades atractivas. Los esquemas de señalización *M*-ary son preferidos sobre los esquemas de señalización binaria para la transmisión de información digital sobre un canal *pasa-banda* cuando los requerimientos se enfocan a la conservación del ancho de banda (B.W) a expensas del incremento de potencia.

En un sistema *PSK M-ary*, las componentes *en fase* y *en cuadratura* de la señal modulada están íntimamente ligadas en tal forma que la envoltura está forzada para permanecer en forma constante. Dicho forzamiento se manifiesta en la constelación de tipo circular para los puntos de mensaje. Por lo que, si removemos este forzamiento, las componentes *en fase* y *cuadratura* se volverán independientes, obteniendo así un nuevo esquema de modulación llamado *Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM) M-ary*.

La constelación para el proceso de modulación *QAM M-ary* consta de un enrejado cuadrado de puntos de mensaje, tal como lo ilustra la figura 1.19 cuando el valor de $M=16$.

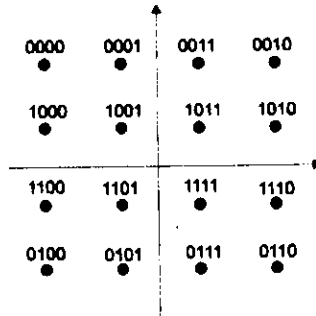


Fig. 1.19 Constelación de la señal de un Sistema *QAM* para $M=16$ (Los puntos de mensaje son identificados por un código Gray de 4 bits).

La señal correspondiente de la constelación para las componentes *en fase* y *en cuadratura* de la onda modulada *en fase-amplitud* es mostrada en la figura 1.20 (a) y (b), respectivamente. El formato básico de la señal de constelación mostrada anteriormente se conoce por ser del tipo *ASK-polar L-ary* con $L=4$. Así, en forma general, un esquema *QAM M-ary* permite la transmisión de $M=L^2$ símbolos independientes sobre el mismo ancho de banda del canal como del que se requiere para un esquema polar *ASK L-ary*.

La figura 1.21 nos muestra el diagrama a bloques de un transmisor *QAM*, en donde el convertidor *serie-paralelo* acepta una secuencia binaria a una velocidad de $R_b = \frac{1}{T_b}$, produciendo dos secuencias binarias paralelas cuyo *bit rate* es de $R_b/2$ (de cada uno); el convertidor de nivel 2 a L ($L = \sqrt{M}$) genera una señal polar de nivel *L*, en respuesta a la respectiva entrada del canal *en fase* y *en cuadratura*.

Una portadora en cuadratura es sumada a las dos señales polares de nivel- L multiplexadas generando así la señal QAM descada.

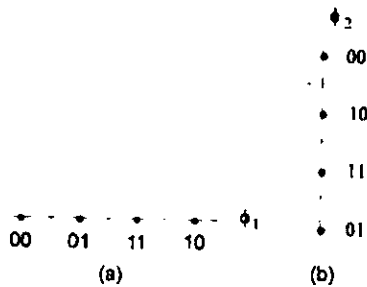


Fig. 1.20 Descomposición de la señal de constelación QAM en dos diagramas de espacio para las señales (a) En fase, (b) en cuadratura.

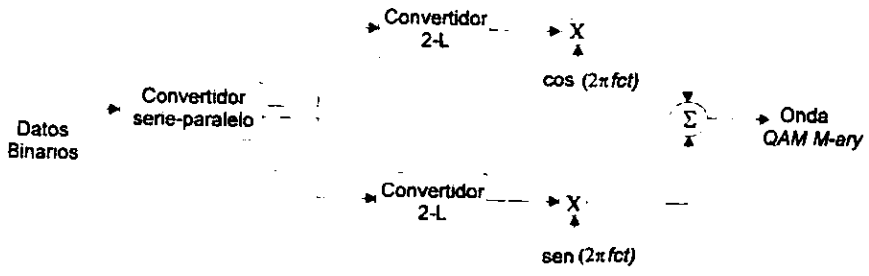


Fig. 1.21 Diagrama a Bloques de un sistema de Transmisión $QAM M\text{-ary}$.

La figura 1.22 nos muestra un diagrama a bloques del correspondiente receptor. La decodificación de cada uno de los canales en *banda base* se lleva a cabo a la salida de los circuitos de decisión pertinentes, los cuales están diseñados para comparar la señal de nivel L contra el umbral de decisión $L-1$. Estas dos secuencias binarias detectadas son combinadas en un convertidor *serie-paralelo* para reproducir la secuencia binaria original.

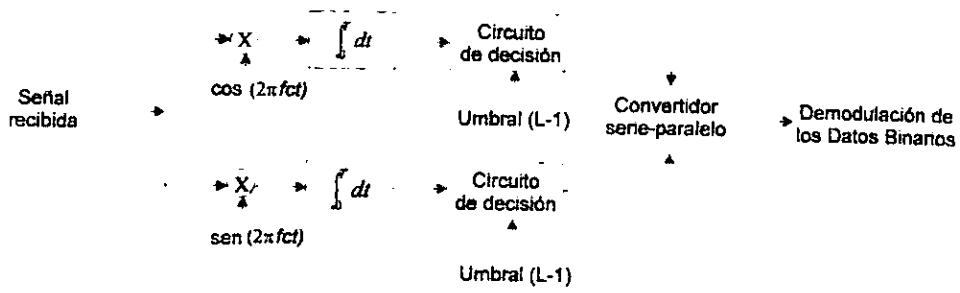


Fig. 1.22 Diagrama a Bloques de un sistema de Recepción $QAM M\text{-ary}$.

I.III APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE MODULACIÓN A LA TECNOLOGÍA DE CÉLULAS.

Después de que la portadora modulada es producida, ésta debe de ser preparada para transmitirse al receptor. Entonces la portadora modulada es usualmente formada a una frecuencia mucho menor que la señal de R.F. deseada; un típico transmisor de radio frecuencia generalmente incluye escenarios de conversión de frecuencia y amplificación de potencia, tal como lo indica la figura 1.23

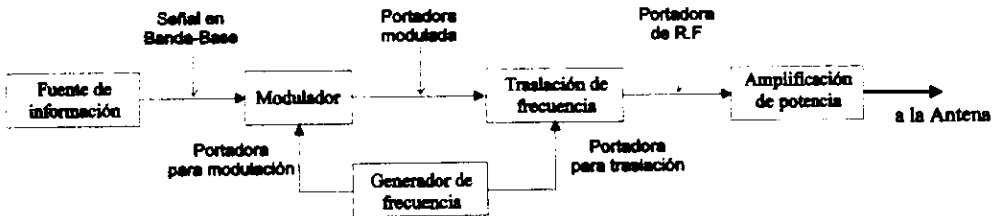


Fig. 1.23 Escenarios para la transmisión de una señal de R.F.

La conversión de frecuencia (traslación de la portadora modulada de una banda de frecuencia a otra) requiere de ondas portadoras adicionales, las cuales serán producidas por un subsistema referido como generadores de frecuencia.

La señal en Banda Base puede ser la señal de salida directa de un mensaje de audio, video, o alguna otra fuente independiente; además de que esta señal puede ser la formada por la combinación de varias señales vía multiplexión de *banda base*. La señal común de voz es una de las más importantes formas de onda de banda base, sin olvidar que una señal digital en banda base es también de suma importancia.

El tipo de modulación en los sistemas celulares es muy importante, ya que de esta depende en gran medida la calidad de la información a ser transmitida, así como también la tasa de errores exhibida en el canal, su aplicación dependerá muchas veces del entorno de desvanecimientos en zonas urbanas o rurales, pero es importante tener en cuenta las características de potencia y propagación del método a emplear, ya que como se verá más adelante, los sistemas en general emplean dos técnicas diferentes de modulación para la transmisión de voz y de señalización sobre el canal de radio.

En si el proceso de modulación ha emplear debe de ser lo más eficiente posible para lograr el transporte de información hacia el punto destino con la menor potencia posible y logrando una menor degradación de la señal transportada.

1.IV EL MEDIO AMBIENTE DEL SISTEMA RADIO MÓVIL.

En el diseño de un sistema móvil, principalmente el de telefonía, es común encontrar una gran cantidad de normas técnicas que tienen como finalidad establecer un criterio de compatibilidad con los futuros sistemas; entre éstas las más importantes son la del *medio ambiente del móvil*, ya que el sistema debe ser diseñado para lograr un alto desempeño bajo severas condiciones de transmisión encontradas en el canal del radio móvil.

El *medio ambiente del móvil*, como a menudo es referido, tiene que someterse a una gran cantidad de análisis teóricos y experimentación de campo, por lo que algunas características particulares del entorno del móvil pueden ser expresadas aparentemente por expresiones matemáticas precisas o en la mayoría de los casos por términos estadísticos.

Es importante mencionar que las características del medio ambiente en los móviles varía en gran medida dependiendo del terreno físico en el que se encuentre; por ejemplo, el entorno del móvil en una ciudad densamente poblada con grandes estructuras y edificios es diferente al de las ciudades de baja densidad de construcción o en los poblados rurales.

Las variables más importantes que definen el entorno de un sistema de radio móvil para un área en particular incluyen:

1. El terreno físico (Montañas, colinas, ríos, etc.)
2. Número, altura, orientación y naturaleza (materiales de construcción) de las estructuras hechas por el hombre.
3. Características del follaje y la vegetación.
4. Condiciones climatológicas normales y anormales.
5. Condiciones de ruido.

En adición, la importancia de estos factores es grandemente influenciada por la frecuencia de radio en la cual el sistema está diseñado para operar. Sin embargo, el comportamiento del suscriptor puede variar de manera significativa el ambiente del radio móvil (esto se encuentra relacionado a los rápidos o lentos cambios de posición que pueda tener un usuario móvil).

De tal manera, que en un sistema de radio móvil se deben de comprender tres aspectos fundamentales en relación con el medio ambiente:

1. La forma en la cual la señal de radio puede ser alterada o degradada en el canal del móvil.
2. El efecto que estas alteraciones pueden tener sobre la calidad del enlace y el desempeño del sistema, dada una tecnología específica de radio enlace.
3. La medida a tomar para combatir estos efectos.

En un sistema analógico, la mayoría de las transmisiones de radio utilizan una onda continua de frecuencia fija, llamada portadora, siendo que esta frecuencia portadora determina muchas de las características importantes de la propagación móvil.

Las señales de radio en un canal específico son afectadas por el *ruido* y la *interferencia*. El *ruido* es considerado como el resultado de un proceso aleatorio del entorno el cual produce energía electromagnética con algunas características idénticas a las ondas de radio. La relación de la intensidad de la señal con respecto al nivel de ruido es llamada *relación señal a ruido* S/N y es considerada como la primera medida fundamental de la calidad de la señal de radiofrecuencia.

La *interferencia* es el resultado de otros enlaces adyacentes en la radio transmisión; en la telefonía celular hay dos tipos de interferencias principalmente: la *interferencia de canal adyacente*, la cual ocurre cuando la energía de la portadora cae sobre el canal adyacente; y la *interferencia cocanal*, la cual ocurre cuando algún otro transmisor en la misma frecuencia portadora choca contra el mismo receptor. Estos fenómenos son descritos más a detalla en la figura 1.24

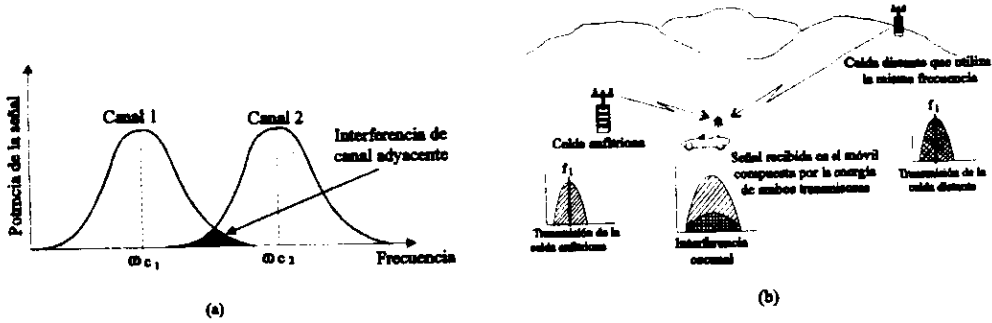


Fig. 1.24 Interferencias en los sistemas celulares (a) Interferencia de canal adyacente; (b) cocanal.

En el calculo de un enlace, hay ciertos factores que hacen obtener una ganancia sobre el enlace; tales como el tipo de modulación empleada, la ganancia de las antenas transmisoras y receptoras, métodos de recepción de la señal de información, etc. , y otros que generan perdidas en el sistema; tales como bloqueos en el terreno o desvanecimientos, atenuaciones, etc. Estas magnitudes físicas son representadas por medio de unidades homogéneas de potencia denominadas *decibeles* (dB). Un calculo típico en un enlace radioeléctrico puede ser el siguiente:

$$G_S = G_t + G_r - L_p - F - L_m - L_b$$

donde:

- G_S = Ganancia del sistema.
- G_t = Ganancia de la antena de transmisión.
- G_r = Ganancia de la antena de recepción.
- L_p = Perdidas por trayectoria en el espacio libre en dB.
- F = Margen de desvanecimiento en dB.
- L_m = Perdidas misceláneas tales como corrosión en la guía de ondas, incremento en el valor de la figura de ruido en la recepción, en dB.
- L_b = Perdidas por ramificaciones debido al empleo de filtros y circuladores para combinar o dividir la señal transmitida de la recibida en una sola antena.

Debe de hacerse notar que la expresión anterior es solamente una simplificación extrema del análisis de propagación en el entorno del radiomóvil.

I.IV.1 COMPORTAMIENTO DE LAS ONDAS DE RADIO.

Varias características particulares se presentan en las ondas de radio al ser transmitidas desde o hacia una unidad móvil, entre las más importantes se encuentran:

- Pérdidas por Espacio Libre.
- Atenuación (Blockage).
- Pérdidas por Multitrayectorias.

a) Pérdidas por Espacio Libre.

Asumiendo que la señal de información es propagada en forma omnidireccional (radiación en todas direcciones), es común que la potencia de la señal en algún momento dado, normalmente disminuye en función de la distancia desde el transmisor al receptor o viceversa. En el espacio libre, la intensidad de la señal *tende a disminuir en forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.*

Es por ello que en el espacio atmosférico, si la señal de recepción tiene una potencia de 100 W a 1 milla, esta podrá ser de 25 W a 2 millas (1/4 de potencia), 4 W a 5 millas (1/25 de potencia) y 1 W a 10 millas (1/100 de potencia), considerando que la señal es radiada por la misma antena, tal como se observa en la figura I.25.

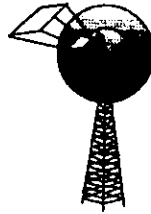


Fig. I.25 Radiación en el Espacio Libre.

En la práctica, las pérdidas por trayectorias libres en un sistema móvil son más severas que lo que la *ley cuadrática inversa* indica, ya que en realidad estas pérdidas pueden ser evaluadas como la inversa del cubo de la distancia, o de algunos altos exponentes; tales como la 5ª ó 6ª potencia. Tal afirmación refleja el promedio del terreno, los fenómenos atmosféricos y algunos otros efectos del mundo real. En un entorno real de radio las pérdidas por trayectoria libre varían como:

$$C \propto R^{-\gamma} = \alpha R^{-\gamma}$$

Donde γ varía desde 2 hasta 6 dependiendo de la condición actual del entorno físico. La expresión anterior puede ser representada en forma logarítmica de la siguiente manera:

$$C = 10 \log \alpha - 10\gamma \log R \quad (dB)$$

La figura I.26 nos muestra los valores de nivel de la señal dependiendo de la distancia entre el transmisor y el receptor dependiendo del grado de γ

En la práctica tenemos que:

$$C \propto R^{-4} = \alpha R^{-4}$$

donde:

- C = Potencia portadora recibida.
- R = Distancia medida del transmisor al receptor.
- α = constante.

La diferencia en la potencia de recepción en dos diferentes distancias R_1 y R_2 podrá resultar en:

$$\frac{C_1}{C_2} = \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^4$$

De tal forma que la expresión real de la ecuación anterior esta dada por:

$$\begin{aligned} \Delta C(dB) &= C_2 - C_1(dB) \\ &= 10 \log \frac{C_2}{C_1} = 40 \log \frac{R_1}{R_2} \end{aligned}$$

Cuando $R_2 = 2R_1$, $\Delta C = -12dB$; pero si $R_2 = 10R_1$, $\Delta C = -40dB$.

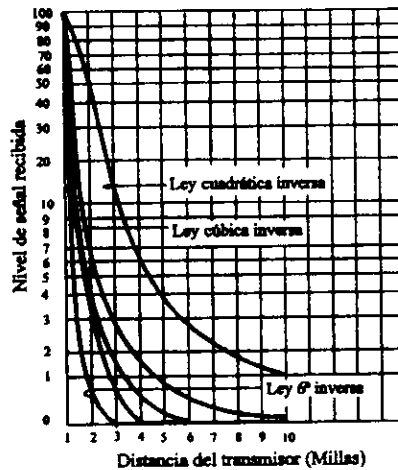


Fig. 1.26 Pérdidas por Trayectoria en Función de la Ley de Potencia Inversa.

b) Atenuación (Blockage).

Otro riesgo importante que corren las ondas de radio a través de las trayectorias de transmisión es la posibilidad de que puedan ser parcialmente bloqueadas, o absorbidas, por algunas características propias del medio ambiente. El grado de atenuación y los factores específicos que pueden causar dicha atenuación dependen únicamente de la frecuencia; por ejemplo, frecuencias por debajo de los 1000 MHz no son afectadas por la lluvia o la humedad atmosférica.

Las frecuencias por arriba de los 10 GHz son frecuentemente afectadas por los fenómenos naturales; además de que las frecuencias sobre los 30 GHz son básicamente inusuales a lo largo de las trayectorias el aire libre. La figura 1.27 muestra los efectos de la lluvia en la gama de frecuencias de 1 a 100 GHz.

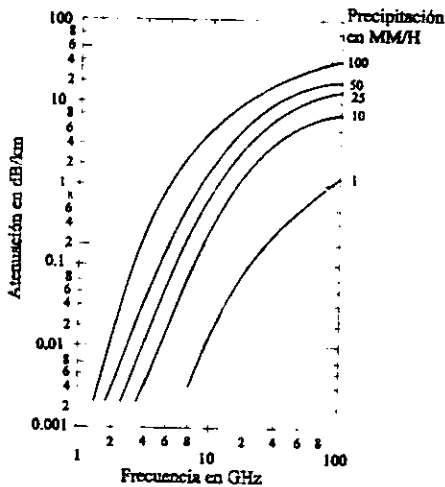


Fig. 1.27 Atenuación por Lluvia en Función de la Frecuencia.

La regla general es que las bajas frecuencias tienen una gran potencia de penetración y pueden propagarse a una distancia mucho mayor.

En la banda de frecuencias designada para el servicio de radio móvil, el efecto de atenuación más importante en el medio ambiente es el conocido como "oscurecimiento" donde las construcciones o en algunos casos las colinas o montañas crean fenómenos de sombras de radio. El problema de los oscurecimientos es más severo en los centros urbanos de mayor densidad de construcción; algunos estudios muestran que puede haber pérdidas por atenuación de la señal de hasta 20 dB debido a los efectos de oscurecimiento a distancias muy cortas.

Es importante mencionar que los factores climatológicos influyen directamente en los efectos de atenuación debido a oscurecimientos. Además los efectos del ruido generado por el hombre también difieren dependiendo del entorno en el que se encuentre un móvil; esto se puede observar de manera más clara en la figura 1.28

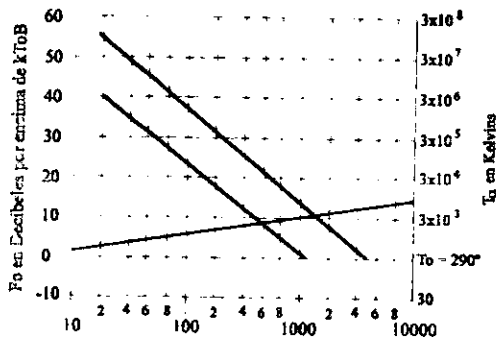


Fig. 1.28 Medio Ambiente del Ruido de Radio

Los efectos de *desvanecimientos* producidos por *oscurecimientos* son frecuentemente referidos como “*lentos desvanecimientos*”; ello debido a la perspectiva que se tiene de un móvil en movimiento, ya que se puede entrar o salir de una zona de oscurecimiento teniendo con ello una gran cantidad de valores de atenuación con respecto al tiempo.

c) Perdidas por Multitrayectoria.

Las ondas de radio, pueden ser también reflejadas por colinas, edificios, cambios en el medio o discontinuidad en la atmósfera; además de que en algunos casos, la señal reflejada es significativamente atenuada, mientras que en otros casos, la intensidad de la señal es reflejada con un pequeño valor de absorción.

Los fenómenos anteriores se producen debido a las diferentes trayectorias que puede seguir la señal entre el punto transmisor y receptor; tal como se muestra en la figura 1.29. Esto es conocido como *multitrayectoria de propagación*, y es otra de las limitaciones para los sistemas de radiotelefonía móvil.

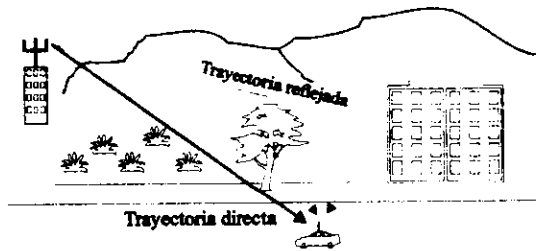


Fig. 1.29 Propagación por Multitrayectoria.

De esta manera, la *propagación por multitrayectoria* crea algunos de los problemas más difíciles asociados con el medio ambiente del sistema de radio móvil. Los efectos más importantes generados por las multitrayectorias son:

1. El *retardo de dispersión* de la señal de recepción.
2. Los *cambios aleatorios de fase* los cuales crean rápidas fluctuaciones en la intensidad de la señal, conocidos como *desvanecimientos Rayleigh*.
3. Modulaciones aleatorias de frecuencia debido a cambios en la posición sobre diferentes trayectorias, comúnmente llamado *efecto Doppler*.

1. Retardos de Dispersión.

Debido a que la señal de información sigue varias trayectorias, y que las trayectorias reflejadas son más largas que las trayectorias directas, si ello es primero, las múltiples señales llegan al receptor con un ligero retardo adicional; tal como se muestra en la figura 1.30

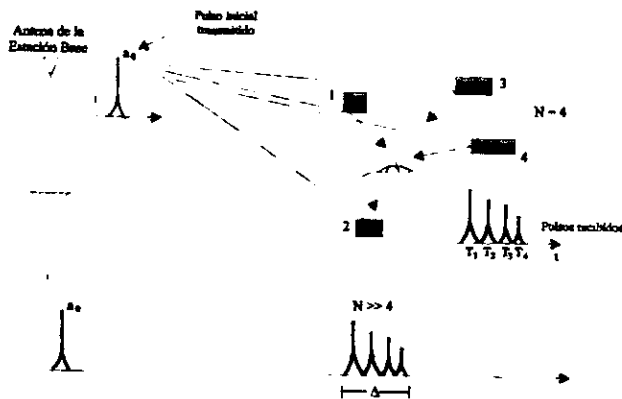


Fig. 1.30 Ilustración del fenómeno de retardo por dispersión

De ello resulta, que las diferentes trayectorias lleguen al receptor con una ligera diferencia de tiempo a su arribo: esta característica tiende a dispersar la señal de información, por ejemplo, un simple pulso de transmisión puede aparecer en un receptor tal como lo muestra la figura 1.31

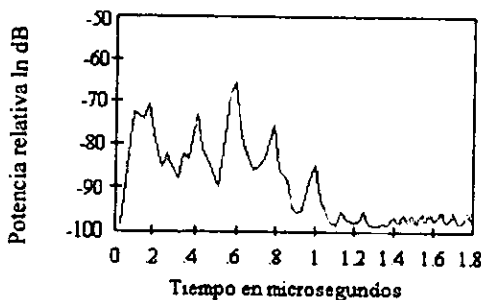


Fig. 1.31 Perfil de Medición de la Potencia Promedio.

En un sistema digital, particularmente en uno que opera a altas tasas de transmisión de bits, el retardo por dispersión causa en cada símbolo un traslape con el precedente y los símbolos subsiguientes, causando la denominada *interferencia intersímbolo*. En la mayoría de los casos el retardo por dispersión es fijo, dependiendo únicamente de la frecuencia; por consiguiente, el grado de *interferencia intersímbolo* de dicha fuente es únicamente dependiente de la transmisión del *bit rate* y del nivel de la modulación, el cual fija el tiempo del símbolo.

En el entorno del radio móvil, se puede considerar que tanto la trayectoria directa como la reflejada pueden ser significativamente largas, y los *retardos por dispersión* pueden tener un rango por arriba de varios microsegundos (10^{-6} segundos) o más. Es común pensar que los *retardos por dispersión* más largos son comúnmente encontrados en las áreas urbanas de alta densidad de construcción, es por ello que algunas técnicas de ecualización adaptativa deben ser adicionadas para evitar tales retardos; teniendo como consecuencia un aumento en el costo del equipo a utilizar.

2. Desvanecimientos Rayleigh.

El segundo efecto principal debido a la *multitrayectorias de propagación* es el que se presenta cuando las ondas de radio reflejadas sufren drásticas alteraciones en algunas de sus características fundamentales, particularmente en la fase y la amplitud. Si la onda reflejada cambia su ángulo de fase en 180° , en el lado de recepción la señal de trayectoria directa podrá ser anulada por completo debido a la suma de esta con la señal reflejada. Este fenómeno de llegada de la señal con diferentes ángulos de fase produce una reducción en la medición de la intensidad de una señal, lo cual comúnmente es denominado como *desvanecimientos*.

Estos *desvanecimientos* comúnmente presentan una distribución de forma estadística conocida como **distribución Rayleigh** (en honor al físico inglés Lord Rayleigh). Es por ello que comúnmente se le conoce como *desvanecimientos Rayleigh*.

La *distribución Rayleigh* presenta las siguientes características:

Suponiendo que X_1, \dots, X_n son variables aleatorias independientes, cada una con distribución $N(0,1)$. Sea $T = \sqrt{X_1^2 + \dots + X_n^2}$. Entonces la función de probabilidad de T , llamada h es:

$$\begin{aligned} H(t) &= P(T \leq t) = P(T^2 \leq t^2) \\ &= \int_0^{t^2} \frac{1}{2^n \Gamma(n/2)} z^{n/2-1} e^{-z/2} dz \end{aligned}$$

Por lo tanto tenemos que:

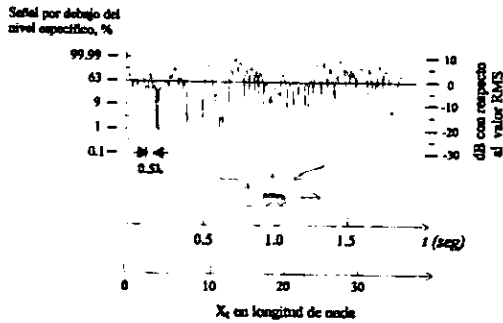
$$\begin{aligned} h(t) &= H'(t) \\ &= \frac{2t}{2^n \Gamma(n/2)} (t^2)^{n/2-1} e^{-t^2/2} \\ &= \frac{2t^{n-1} e^{-t^2/2}}{2^n \Gamma(n/2)} \quad \text{si } t \geq 0 \text{ y } n = 2 \end{aligned}$$

Generalmente la distribución de Rayleigh es empleada para determinar la posición de un objeto en un plano coordenado.

Debido a las características de la distribución de Rayleigh, el entorno del radio móvil es a menudo llamado, el *entorno Rayleigh*, estando relacionado con desvanecimientos de varias profundidades. La profundidad y espaciamiento de los desvanecimientos está relacionado con las frecuencias de radio a utilizar en el sistema: Por ejemplo, en la banda de los 800 MHz el máximo desvanecimiento ocurre cada pocas pulgadas. Dichos desvanecimientos puede llegar a ser de gran profundidad, ya que la intensidad de la señal de un móvil puede llegar a ser reducida de 10,000 a 100,000 veces.

Desde el punto de vista de los sistemas de radio, el entorno estadístico está compuesto por una infinidad de agujeros de profundidades variables.

Algunas pruebas han dado ha conocer que la intensidad de la señal de un móvil puede variar muy rápidamente entre los niveles normales y rangos de desvanecimiento por arriba de los 40 dB. La forma de las fluctuaciones y desvanecimientos de una señal de información dentro de un entorno Rayleigh es representada comúnmente de la siguiente forma.



Los desvanecimientos de Rayleigh son el reto más importante a solucionar en la propuesta de un sistema de radio móvil, ya que estas características son propias del entorno físico y no pueden ser directamente alteradas por medio del diseño del sistema de radio móvil.

Aunque hay varias medidas para evitar los *desvanecimientos Rayleigh* estas traerán como consecuencia un elevado costo y complejidad adicional al sistema.

3 Cambios Doppler.

Otro aspecto que influye en un canal de radio móvil es el causado por el movimiento del vehículo relativo a la posición del transmisor. Esto es la variación en la frecuencia de la señal recibida conocido como *cambios Doppler*. Este fenómeno describe como los cambios de frecuencia varían considerablemente tanto como la unidad móvil cambia de posición, velocidad y es transferida de una celda a otra, por lo que ello introduce considerables modulaciones aleatorias de la frecuencia en la señal móvil.

Por otra parte, los cambios Doppler afectan todas las trayectorias de multipropagación, algunas de las cuales pueden exhibir cambios positivos, y algunos cambios negativos en el mismo instante; como se puede observar en la figura 1.32

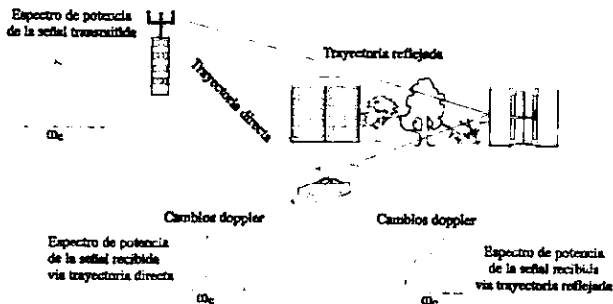


Fig. 1.32 Forma ideal del efecto Doppler sobre la señal de recepción en un entorno móvil de multitrayectoria.

En los sistemas de F.M, las inducciones aleatorias del efecto *Doppler* son relacionadas con la velocidad del vehículo para una determinada frecuencia. Algunas pruebas han demostrado que a 35.4 km./h en la banda de los 900 MHz, el offset provocado por el efecto *Doppler* es de alrededor de 30 Hz, lo cual bajo ciertas condiciones puede ser suficiente para introducir el efecto de distorsión para el radioescucha.

I.V CONCEPTO DE TRÁFICO EN REDES.

I.V.1 TRÁFICO TELEFÓNICO.

El *tráfico* denota el flujo agregado de mensajes a través de un sistema de telecomunicaciones. La *ingeniería de tráfico* aplica herramientas matemáticas para dimensionar adecuadamente las facilidades del servicio telefónico, y con ello lograr que el flujo de mensajes sea acomodado de tal forma que siempre se suministre un servicio satisfactorio para el usuario; mientras que, se trata de hacer un uso económico de dichas facilidades. La principal consideración de la *ingeniería de tráfico* y de la industria de las telecomunicaciones son las *llamadas*, ya sea ello una conexión de voz entre personas o de datos entre máquinas, y la capacidad del sistema para completar la llamada.

Algunas otras consideraciones de la *ingeniería de tráfico* son:

- a) El volumen y las características del tráfico a ser acarreado.
- b) Las facilidades utilizadas para conocer la demanda. y;
- c) El grado de servicio deseado.

Las llamadas locales y de larga distancia, son realizadas por usuarios individuales en relación con sus necesidades personales o de negocios. Sin embargo, aunque las llamadas son hechas en forma individual, estas ocurren en grupo. Las líneas individuales de los suscriptores son asociadas con:

- Las facilidades de comunicación en grupo
- Entradas a los multiplexores; y
- Entidades de conmutación.

La *teoría de tráfico* es una aplicación especializada de matemáticas estadísticas, la cual utiliza algunos modelos para simular la situación actual del sistema. Es importante recordar que la precisión de las estimaciones hechas usando la *teoría de tráfico* no es mejor que la proximidad de los modelos reales.

La *teoría de congestión* (o la *teoría de bloqueos*) es el término utilizado para designar los diferentes métodos de evaluar la capacidad de las facilidades telefónicas para manejar cargas de *tráfico* que pueden ser impuestas sobre ellas. Varias fórmulas estadísticas son desarrolladas para expresar la relación entre la carga de *tráfico* y el grado de servicio.

I.V.2 NATURALEZA DEL TRÁFICO.

En el desarrollo de las fórmulas matemáticas para estimar la congestión, es necesario adoptar ciertas suposiciones acerca del comportamiento del *tráfico* y considerar a dichas suposiciones como condiciones fijas en orden para describir el problema de una forma más exacta. En tales suposiciones, las variaciones de la condición tomada en cuenta son aceptadas si esta es pequeña o, si es grande, son reconocidas con la condición de que ello debe de tener un efecto mínimo.

Por lo general en la teoría de *tráfico* son aceptadas 16 suposiciones, cada una de ellas está relacionada a un tema en especial; dichas suposiciones son:

- Las siguientes seis suposiciones son adoptadas para las fórmulas de *tráfico* más comunes

SUPOSICIÓN 1: El sistema se encuentra en equilibrio estadístico; esto es, que la probabilidad de hallar la condición de libre u ocupado es independiente del tiempo en la cual esto es examinado.

SUPOSICIÓN 2: *La conexión para los canales y su desconexión se efectúan instantáneamente.* Esta suposición puede ser utilizada con algo de impunidad mientras que el tiempo de conexión sea pequeño comparado al tiempo global de retención promedio del canal, el cual es el caso para la conmutación telefónica.

SUPOSICIÓN 3: *La densidad de tráfico esperado es la misma para todas las fuentes.* Esta suposición está sujeta obviamente a una violación extrema.

SUPOSICIÓN 4: *Las fuentes que se encuentran ocupadas no realizan llamadas.* Si esta suposición es ignorada las fórmulas podrán ser derivadas, lo que podrá dar la misma probabilidad de pérdidas para una cantidad de tráfico dada, sin tomar en cuenta de que si el número de fuentes es mayor o menor que el número de canales para los cuales ellos tienen acceso.

SUPOSICIÓN 5: *Cualquiera de todos los canales que sirven a una fuente (F-1) pueden servir también a otra fuente (F-2) en el mismo grupo, o algunos otros que no sean canales también pueden servir a estas fuentes.* A esta condición se le conoce como de *total disponibilidad*.

SUPOSICIÓN 6: *El número de canales ocupados en un grupo es igual al número de miembros ocupados en ese grupo de fuentes, excepto que, cuando las llamadas perdidas no son despejadas instantáneamente, el número de fuentes ocupadas puede exceder al número de canales ocupados.* Esta condición es conocida como de *todas las troncales ocupadas*.

Las siguientes dos suposiciones están relacionadas con las fuentes de tráfico y son:

SUPOSICIÓN 7: *La probabilidad de que una fuente en particular pueda originar una llamada durante un intervalo de tiempo dado es la misma para todo intervalo en el comienzo cuando se está libre.* Esto no es influenciado de alguna manera por la condición de ese grupo de canales.

SUPOSICIÓN 8: *Las llamadas que son asignadas a un grupo de canales son distribuidas aleatoriamente, ambas en forma colectiva o individual; esto es, que la probabilidad de un grupo estando asignada una llamada durante un intervalo de prueba es independiente del estado del grupo de fuentes o del grupo de canales.* Esta suposición es empleada cuando el número de fuentes es mayor con relación al número de canales.

Las tres suposiciones siguientes están relacionadas a las llamadas perdidas y son enunciadas de la siguiente manera:

SUPOSICIÓN 9: *Si una llamada se pierde debido a la falta de disponibilidad de canales, la fuente que controla ello no obstante continua con la demanda del servicio para un intervalo de tiempo exactamente igual a su tiempo de retención promedio y entonces llega a ser libre nuevamente.* Si un canal llega a estar libre durante este tiempo de espera, este podrá ser tomado y dar indisponibilidad a otros por la porción del tiempo de retención entonces restante, aunque la llamada pueda sin embargo ser considerada como perdida. A esta suposición también se le conoce como *llamadas perdidas en retención*.

SUPOSICIÓN 10: *Si una llamada es perdida porque no hay canales disponibles, la fuente que controla esto debe llegar a estar libre de forma inmediata, y sus tiempos de retención son iguales a cero.* La llamada puede no ser regresada nuevamente en el mismo periodo de estudio, tal como en el caso de las horas ocupadas. También a esta suposición se le designa como *llamadas perdidas despejadas*.

SUPOSICIÓN 11: *Si una llamada es perdida por no haber canales disponibles, la fuente que hace ello podrá continuar demandando servicio hasta que un canal llegue a estar libre.* En este tiempo, el canal es tomado y se proporciona indisponibilidad a los demás por el tiempo de retención total pudiendo tener seguimiento y teniendo la llamada a no retardarse. A lo anterior también se le conoce como *perdida de llamadas retardadas*.

Las tres siguientes suposiciones se relacionan con las características de llegada (intervalo entre la originación de las llamadas).

SUPOSICIÓN 12: Si el intervalo entre los arribos de las llamadas es independiente del intervalo entre los arribos de llamadas previas, y el estado del sistema con respecto a nuevas llamadas no es afectado por arribos anteriores, entonces, existe un proceso aleatorio de arribo de llamadas. En un proceso de arribos aleatorios, la relación de la varianza al número promedio de arribos durante un periodo específico de tiempo es igual a 1.

SUPOSICIÓN 13: Si la relación varianza promedio para el intervalo de llamada entrante es menor que 1 la característica del arribo de llamada no es aleatoria y es descrito como un simple proceso de arribo.

SUPOSICIÓN 14: Si la relación de varianza promedio para llamadas entrantes es mayor que 1, las características de arribo de llamadas son no aleatorias y son descritas como un difícil procedimiento de arribo.

Las últimas dos suposiciones están relacionadas con la distribución del tiempo de retención de una llamada (tiempo de servicio).

SUPOSICIÓN 15: Si cada una de las llamadas requiere el mismo tiempo de retención (tiempo de servicio), se debe de tener como resultado un tiempo de retención característico constante.

SUPOSICIÓN 16: Si la llamada resulta en una variedad de tiempos de retención, una distribución variable del tiempo de retención de la llamada se debe de presentar. Mediciones extensivas muestran que el tiempo de retención de una llamada sigue exactamente el modelo de una distribución exponencial negativa.

A) El Flujo de Tráfico.

El tráfico es la agregación de mensajes usando un grupo de circuitos, troncales, parte de algún otro equipo etc. y es definido en términos de la duración y el número de mensajes. El flujo de tráfico a lo largo de un sistema de comunicaciones, o en parte de este, es el producto del número de mensajes (llamadas) durante un periodo específico de tiempo y su duración promedio (tiempo de retención). Empleando 1 hora como la unidad de tiempo, el flujo de tráfico, A , puede ser expresado de la siguiente manera:

$$A = CT$$

donde C es el número de mensajes (llamadas) originadas en 1 hora y T es el tiempo de retención promedio.

La unidad de flujo de tráfico es llamada *Erlang* (E) en honor al pionero de la teoría de tráfico, el danés Agner K. Erlang.

Por definición, un simple dispositivo, siendo ocupado continua o intermitentemente por un tiempo total t durante un periodo T , acarrea t/T Erlangs, y su máxima posible carga es 1 E . Así el número de erlangs acarreados no puede exceder al número de dispositivos.

Si t_x denota la suma de los tiempos durante los cuales N dispositivos son retenidos simultáneamente, dentro de un periodo T . Entonces:

$$\sum_{x=0}^N t_x = T$$

La suma de los tiempos de retención de todos los dispositivos es por lo tanto:

$$\sum_{x=1}^N xI_x$$

Por lo tanto el flujo de tráfico en erlangs es:

$$\sum_{x=1}^N \frac{xI_x}{T} = \sum_{x=1}^N x \left(\frac{I_x}{T} \right)$$

Entonces I_x/T es la porción de tiempo para la cual x dispositivos son simultáneamente retenidos, el lado derecho de la ecuación anterior es por definición el número promedio de dispositivos retenidos simultáneamente durante el periodo específico. Esta definición es útil en algunas mediciones del tráfico. Además de que ello es aplicable a cualquier tipo de tráfico, incluyendo el de transmisión de datos. En el caso de un sistema de este tipo, el flujo de tráfico depende de la tasa de arribo de mensajes (π), su longitud promedio (l) expresada en cualquier unidad compatible tal como caracteres o bits, y la velocidad de transmisión (C caracteres, bits, etc. por unidad de tiempo). Por lo tanto el flujo de tráfico está dado por $\pi l/C$, y el tiempo de retención promedio por mensaje es l/C .

B) El Tráfico como un Proceso Aleatorio.

La ocurrencia de cualquier forma particular de arribo y termino de una llamada es obviamente una materia de cambio; ello en efecto, nos da una muestra de que existe una gran variedad de posibles formas de tráfico.

Si consideramos que N sea el número de dispositivos ocupados de manera simultánea en un tiempo determinado t ; denotados por la variable aleatoria x , la cual puede tomar cualquier valor dentro del rango $0 \leq x \leq N$ con una probabilidad $p(x, t)$, donde $p(x, t)$ es la proporción del grupo en estudio con x llamadas simultáneas realizadas en un tiempo t . Entonces el número promedio de dispositivos ocupados en un tiempo t es:

$$\bar{x}(t) = \sum_{x=1}^N xp(x, t)$$

El flujo de tráfico esperado durante un periodo T se obtiene promediando el valor de $\bar{x}(t)$ sobre el rango $0 \leq t \leq T$; de tal manera que:

$$A = \int_{t=0}^T \bar{x}(t) dt / T \quad \text{erlangs}$$

La expresión anterior también nos proporciona el número promedio de dispositivos retenidos simultáneamente durante el periodo T . En muchas aplicaciones de la teoría de tráfico, se asume que un estado de equilibrio estadístico existe. Esto significa, que mientras el número de dispositivos pueda fluctuar de manera aleatoria, los cambios en la decisión de cualquier número ocupado específico es la misma cada vez que el sistema sea examinado, ya que:

$$p(x, t) = p(x)$$

siendo independiente de t .

La proporción total de tiempo durante la cual x dispositivos son simultáneamente retenidos es aproximadamente $p(x)$; lo largo del estado de equilibrio debe persistir, lo cerrado es la aproximación. De esta manera, el estado instantáneo de un grupo de dispositivos puede ser considerado como una muestra de dichos estados durante un largo proceso de equilibrio indefinido.

C) *Las Variaciones de Tráfico.*

El tráfico en una central pública en particular normalmente decae a un bajo nivel durante las noches, creciendo durante algunos periodos matutinos y disminuyendo en la hora de la comida alcanzando algunos niveles más altos durante la tarde.

Las cargas máximas de tráfico no siguen un comportamiento determinado, ya que estos picos de tráfico pueden fluctuar de manera aleatoria sin mostrar claramente alguna tendencia ascendente o descendente. Por lo que el periodo ininterrumpido de 60 minutos (1 hora) durante el cual el tráfico se encuentra al máximo es conocido como *Horas Ocupadas (BH)* y este lapso de tiempo generalmente es utilizado como base para algunos cálculos del tráfico.

Los términos de "cambios en las horas de ocupado" y "grupo de horas ocupadas" son utilizados para distinguir entre periodos de máximo tráfico en la totalidad de la central (en conjunto), y en un grupo particular de troncales, las cuales pueden o no coincidir. La coincidencia puede ser posible, aunque en la práctica sea poco probable.

El tráfico promedio de las BH puede variar en diferentes días, ya que a diario las BH no pueden ser consideradas en forma general como parte de un continuo proceso de equilibrio. Dichas variaciones se pueden clasificar en tres tipos principalmente.

1. Crecimientos a largo plazo o la disminución del tráfico.
2. Variaciones cíclicas, semanales o temporales.
3. Variaciones aleatorias, debido a algunos factores impredecibles que afectan el nivel general de demanda en algunas centrales o rutas en un día en particular.

Esto último se debe distinguir de las cortas fluctuaciones aleatorias en un estado de equilibrio en una BH, la cual se debe principalmente a cambios irregulares en la forma de arribo y terminación de una llamada para un nivel promedio de demanda dado.

D) *La Distribución de Poisson.*

El proceso de Poisson es aplicado para conocer el tiempo de distribución del arribo^o e interarribo de una llamada en forma particular.

Asumiendo que el arribo de una llamada sea independiente con respecto a la relación de arribo promedio de una llamada por segundo; entonces, calculamos la probabilidad de N arribos en un intervalo de tiempo t por medio del uso de una distribución de Poisson (N llegadas en un intervalo de tiempo t); de tal forma que:

$$P = \frac{A^N / N!}{1 + A + A^2/2! + A^3/3! + \dots} = \frac{A^N / N!}{e^A} = \frac{A^N}{N!} e^{-A}$$

donde:

A = La densidad de tráfico esperado, expresado en BH Erlangs.

P = La probabilidad de que una llamada pueda ser perdida (por bloqueo o retardo) debido a la insuficiencia de canales.

N = Número de canales en un determinado grupo.

* El término de arribo de llamada es utilizado para describir el primer intento por conectar algún dispositivo para el propósito de establecer una llamada.

La fórmula de Poisson estima la probabilidad de que exactamente N solicitudes para servicio son recibidas, lo que se da cuando exactamente N troncales están ocupadas. El bloqueo puede ocurrir cuando N o un número mayor de solicitudes de servicio son recibidas.

Similarmente, la probabilidad de no recibir una llamada en el intervalo de tiempo t segundos puede ser igual a:

$$P_0 = e^{-A}$$

Siendo una distribución de Poisson, se presume que la probabilidad de un arribo en un intervalo de tiempo suficientemente pequeño, Δt , es proporcional a la longitud del intervalo.

La fórmula de Poisson se basa en algunas de las suposiciones mencionadas anteriormente; entre las más importantes destacan la *suposición 8, 9, 12 y 16*.

Las tablas 1.5-1 (ver al Anexo A) son utilizadas para determinar la cantidad de troncales, switches, y otras facilidades para el acarreo del tráfico, requeridas cuando tales facilidades son adaptadas en un grupo de *total-disponibilidad*; esto es, un grupo de troncales que sirve exclusivamente al tráfico entrante de un grupo de fuentes dispuestas, tal que cualquier fuente individual pueda alcanzar cualquier troncal del grupo de servicios directamente y sin restricción alguna.

Los números en las columnas de la tabla 1.5-1 dan los valores de los CCC e Erlangs que pueden ser ofrecidos por las fuentes para el número indicado de troncales sin exceder el valor del grado de servicio (*Probabilidad de bloqueo*) calculado mediante la fórmula de Poisson. El grado de servicio, convencionalmente indicado en forma decimal, muestra la proporción de intentos de llamada que pueden encontrar todas las facilidades ocupadas (*todas las troncales ocupadas*). El rango de probabilidad cubre los límites prácticos sobre lo cual la teoría de Poisson es razonablemente válida.

E) Distribución Exponencial Negativa.

Si seleccionamos un instante aleatorio durante un proceso de Poisson, el cual no necesariamente coincide con el origen de una llamada; entonces, la distribución del intervalo hasta el inicio de alguna otra llamada puede ser derivada de la siguiente forma.

Si dividimos a la unidad de tiempo en estudio en cortos intervalos de tiempo (dt); entonces, el tiempo hasta el siguiente inicio de alguna llamada debe exceder algún valor específico t si, y solo si, el primer, segundo (t/dt)th intervalo no contienen alguna originación de llamada. La probabilidad de que ello suceda es:

$$(1 - A dt)^{t/dt}$$

lo cual tiende a e^{-At} si $dt \rightarrow 0$

Por lo tanto la probabilidad (*función de distribución de t*) de que el tiempo hasta el siguiente inicio de una llamada sea mayor o igual a t es:

$$F(t) = 1 - e^{-At}$$

La función de la densidad de probabilidad es:

$$f(t) = \frac{d}{dt} F(t) = Ae^{-At}$$

Esta última ecuación define una *distribución exponencial negativa*. El valor promedio de t es:

$$\bar{t} = \int_{t=0}^{\infty} t A e^{-At} dt$$

Hay claras evidencias que la duración de la llamada a menudo se comporta como una *distribución exponencial negativa*, lo cual implica que la duración futura, en cualquier instante de tiempo durante su progreso, es independiente de su duración pasada.

En un sistema de comunicación de datos, la longitud del mensaje no es continua por lo que se compone de unidades discretas de información (caracteres, bits.). Es por ello que en algunas ocasiones la distribución geométrica es empleada. Esto significa que la probabilidad de la continuidad de un mensaje para una unidad extra, sin tener en cuenta su longitud previa, tiene un valor constante p , por lo tanto, la probabilidad de que la longitud del mensaje exceda x unidades es p^x .

F) Ráfagas Aleatorias.

Esto es en algunas ocasiones útil para calcular la frecuencia con la cual un alto efecto de llamadas probablemente tiendan a ocurrir como resultado de variaciones aleatorias en un proceso de Poisson. Considerando a una ráfaga como el intervalo de más de un número específico de llamadas (x) durante un periodo específico (T). Por conveniencia, el tiempo de retención promedio se considera como unitario, ya que el número promedio de arribos por unidad de tiempo es igual al flujo de tráfico (en *erlangs*).

Considerando una arribo de llamada en forma particular. La probabilidad de que x llamadas arriben dentro del periodo T inmediatamente precediendo este arribo, y así produciendo una ráfaga aleatoria a lo largo de la llamada es:

$$\frac{e^{-AT} (AT)^x}{x!}$$

Durante un muy largo periodo Z , el número promedio de arribos de llamadas es AZ , de lo cual:

$$AZ e^{-AZ} \frac{(AZ)^x}{x!}$$

se producen ráfagas. El intervalo promedio entre ráfagas sucesivas se obtiene dividiendo la expresión anterior en tantas Z dadas. De tal manera que:

$$\left[A e^{-AZ} \frac{(AZ)^x}{x!} \right]^{-1}$$

G) Grado de Servicio.

Esta medida de servicio se encuentra relacionada con la cantidad de equipo de conmutación que debe de ser suministrado a una central telefónica en particular con el fin de lograr la menor cantidad de pérdidas de llamadas (*probabilidad de bloqueo*).

Las pérdidas admisibles (o *probabilidad de bloqueo*, dada por las fórmulas de Poisson, Erlangs B, etc.) se deben de encontrar en el rango de entre el 0.01 y 0.02; esto significa que el sistema esta diseñado para perder como máximo 1 ó 2 llamadas de un total de 100 (en forma promedio).

Pero en la realidad, en bajo bloqueo, la probabilidad total de pérdidas es aproximadamente la suma de las probabilidades de pérdidas para cada escenario de conmutación.

Por ejemplo: consideremos una llamada que tiene como destino un usuario que se encuentra dentro de la misma central, dicha llamada, podrá recorrer como máximo tres escenarios de conmutación con una pérdida de 0.005 por cada escenario, dando como resultado una pérdida total del 0.015.

La probabilidad de bloqueo no incluye las llamadas fallidas debido a fallas en el equipo. La tolerancia en la relación de los errores es usualmente especificada en términos del tiempo promedio entre fallas más bien que en términos de la probabilidad de bloqueo. Algunos estándares de servicio son usualmente adoptados teniendo como base la experiencia en el desarrollo y desempeño del sistema, cuya finalidad primordial es la de proporcionar un alto grado de servicio a un costo razonable y con la tecnología disponible (un índice costo-beneficio aceptable).

H) Algunas otras Fórmulas Importantes de la Teoría de Tráfico.

1. Formula de Erlang B.

En ella se calcula la probabilidad de que una llamada se pierda debido a la insuficiencia de canales; esta ecuación toma en cuenta las suposiciones 8, 10, 12 y 16. Por lo tanto la forma más general está dada por:

$$P = \frac{A^N / N!}{1 + A + A^2 / 2! + A^3 / 3! + \dots + A^N / N!}$$

Esta fórmula es similar a la expresión de la distribución de Poisson, sin embargo, ellas se diferencian en el uso de la suposición 10 (Erlang B) en vez de la suposición 9.

La distribución de Neal-Wilkinson es utilizada para ajustar el valor de los Erlang B cuando las cargas de tráfico son no aleatorias o de máxima capacidad.

2. Formula de Erlang C.

Dicha expresión matemática se basa en las suposiciones 8, 11, 12 y 16. Por lo que:

$$P = \frac{(A^N / N!) [N(N - A)]}{1 + A + A^2 / 2! + A^3 / 3! + \dots + (A^N / N!) (N - A)}$$

La fórmula de Erlang C asume que las llamadas son servidas con respecto al orden de su arribo, algunas veces llamadas *first-in - first-out* (FIFO). Otro método de servir las llamadas retardadas es la *last-in - first-out* (LIFO), o selecciones aleatorias de la cola de espera.

Las Tablas 1.5-2 (proporcionadas en el Anexo A) muestran los valores de tráfico obtenidos mediante la aplicación de la fórmula de los Erlang C.- Esta fórmula es utilizada cuando se determina que llamada del suscriptor esta siendo retardada mas allá de su tiempo de retención esperado, debido a la búsqueda de un canal ya que todos los canales disponibles se encuentran ocupados.

El número de canales (*troncales*) por grupo en la Tabla 1.5-2 tienen un rango de 1 a 180. La tabla cubre canales con 6, y 8 segundos del tiempo de retención, con probabilidades de retardo del 0.5%, 1.0% y 1.5%. Las tablas están estructuradas de tal manera que, dado un cierto tiempo de retención y una probabilidad particular de retardo, es posible determinar:

- a) El número de canales (*troncales*) requeridos por grupo si la carga de tráfico (en CCC o *Erlangs*) es conocida; o
- b) La capacidad de tráfico (en CCC o *Erlangs*) si el número de canales (*troncales*) se conoce.

3. Formula de Pollaczek

Ella asume las *suposiciones 8, 11, 12 y 15*. De manera que:

$$d = \sum_{n=1}^{\infty} e^{-Aw} \left[\sum_{u=n}^{\infty} \frac{(Aw)^u}{u!} - \frac{n}{A} \sum_{u=n-1}^{\infty} \frac{(Aw)^u}{u!} \right]$$

donde d es el retardo promedio sobre toda llamada, expresado como un número del tiempo de retención, y donde u y w son variables enteras para ser sustituidas en la ecuación. En forma general esta relación asume que las llamadas ocurren de un número infinito de fuentes, además de que las llamadas tienen un tiempo de retención constante, y que las llamadas en retardo esperan hasta que son atendidas. Resultando ser calculadas en términos de la longitud promedio de retardo, más bien que en la proporción de llamadas retardadas.

4. Formula Binomial.

Esta formula se basa en las *suposiciones 7, 9, 12 y 16*; de ello se obtiene:

$$P = \sum_{x=N}^{S-1} \frac{(S-1)!}{N!(S-1)!} a^N (1-a)^{S-1-N}$$

donde:

- S = Número de fuentes dentro de un grupo de fuentes.
- a = Densidad de tráfico esperado por troncal o fuente en un grupo de troncales o fuentes.

La relación *promedio-varianza* de la distribución Binomial es $1-a$, por lo que a es normalmente menor que 1, entonces la relación *promedio-varianza* es también menor que 1, indicando una "suave carga de tráfico". En el tráfico normal, la probabilidad del arribo de una nueva llamada decrece cuando la intensidad de tráfico aumenta, por lo que la probabilidad de una nueva llamada en arribo es proporcional al número de fuentes libres. En adición, aunque la relación de fuentes a canales llegue a ser grande, el valor de P tiende a valores propuestos obtenidos si se asume que hay un número infinito de fuentes. Por esta razón, la formula Binomial es raramente utilizada cuando el número de fuentes excede aproximadamente 20 veces al número de canales disponibles.

I.V.3 EL TRÁFICO EN LOS SISTEMAS CELULARES.

Dos son las consideraciones básicas en el diseño de un sistema celular:

- *El Área de Cobertura.*- Esta depende únicamente de la distribución de la población en el área de radio cobertura.
- *La capacidad en el manejo del tráfico.*- Ello se basa fundamentalmente en el análisis de un grupo de información demográfica y de mercado.

Después de obtener la información anterior, el sistema es evaluado para que de esta forma se logre una adecuada distribución de los canales de R.F, lo cual está en función de la densidad de usuarios de la celda, la distancia de rehuso de frecuencia y la disponibilidad del espectro.

En forma general, algunos organismos internacionales especializados en el desarrollo de las telecomunicaciones, tal es el caso de la FCC en Norte América requiere para la proporción de una licencia de explotación de un servicio en particular, la inclusión de un estudio del mercado para justificar la magnitud del sistema, debido a que dicho análisis proporcionara dos ventajas principalmente:

1. Ofrecer una garantía razonable que adecue las facilidades suministrando un buen grado de servicio al instalar el sistema a explotar.
2. El costo de suscripción para el servicio, ya que ello puede aumentar, dependiendo del costo de implementación del sistema.

De lo cual se concluye que se debe de tener un balance adecuado para evitar una sobreconstrucción del sistema, resultando con ello un incremento en el costo y cargos al suscriptor

El criterio que establece la FCC para el estudio del mercado debe de comprender los siguientes aspectos:

- **Proyección de la demanda.**- Esto determina la demanda total para el servicio. Además debe de incluir un pronóstico de la demanda corriente y la demanda proyectada, así como la distribución total entre las bandas de asignación de canales (WCC y RCC).
- **Demanda por celda.**- Determina la demanda geográfica dentro del área de servicio.
- **Manejo de la demanda.**- Se refiere a la proyección de la demanda en el sistema.
- **Eficiencia de la demanda.**- Esta incluye la capacidad con la cual el sistema puede cumplir con sus necesidades de expansión creadas por la demanda futura.
- **El grado de demanda.**- Con el cual se promoverá el uso eficiente del espectro.

Como se menciona anteriormente, otro de los aspectos importantes a considerar es el de la evaluación del mercado de la telefonía celular, el cual generalmente se basa en el estudio de dos segmentos importantes, el **comercial** y el **doméstico**.

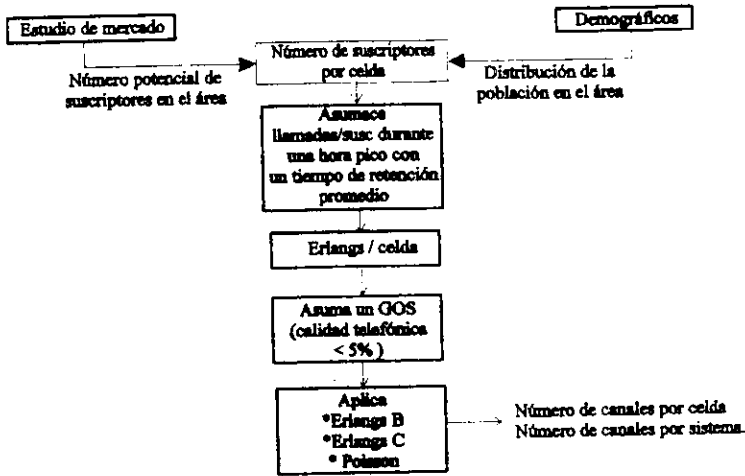
Las razones principales para realizar un estudio de estos segmentos en forma separada, se debe a que el volumen, frecuencia y característica de la demanda pueden diferir un poco con respecto a estos dos grupos anteriores.

La información demográfica se refiere a la capacidad potencial de usuarios que se pueden tener en un área determinada de servicio celular.

Una vez que la información geográfica y de demanda es obtenida, el diseño del sistema debe determinar la cantidad de canales necesarios para ser asignados a cada una de las celdas en el sistema. El procedimiento utilizado es relativamente sencillo. Primero, se debe de seleccionar un grado de servicio adecuado para el sistema, este valor generalmente es de 0.02 o mejor (ello significa que un máximo de 2 llamadas en promedio, fuera de 100 intentos pueden ser bloqueadas dentro del sistema durante las horas pico del sistema).

Después, la demanda de *tráfico* por celda, usualmente expresada en *erlangs*, es calculada para las horas pico de ocupación. Entonces el número de canales puede ser calculado mediante el uso de las fórmulas de *Poisson*, *Erlangs B*, *Erlangs C* etc. Una vez que el sistema se encuentra en completo funcionamiento, el *tráfico* estadístico es acumulado y analizado. Cualquier modificación necesaria para conservar la calidad del servicio deseado puede evidentemente obtenerse del análisis del *tráfico*.

La secuencia de asignación de canales por celda y por consiguiente para el sistema en general se muestra en el siguiente diagrama a bloques.



Definiciones de algunos términos comunes empleados en el tráfico telefónico.

Suponiendo que:

- **Llamada perdida despejada (Lost Call Cleared-LCC)**.- Llamada no satisfecha inmediatamente en el primer intento siendo despejada del sistema y no reaparecer durante el periodo de consideración (término utilizado con las fórmulas de Erlang B y Engset).
- **Llamada perdida en retardo (Lost Call Delayed)**.- Llamada no satisfecha inmediatamente siendo retenida en el sistema hasta que es satisfecha (utilizado con la fórmula de Erlang C).
- **Llamada perdida retenida (Lost Call Held)**.- Llamada no satisfecha inmediatamente en el primer intento estando retenida en el sistema por un periodo que no excede el tiempo de retención promedio de toda llamada y siendo después despejada del sistema (utilizado en las fórmulas Binomial y de Poisson).
- **Horas ocupadas (Busy hour-BH)**.- El periodo continuo de 1-hora del día que tiene la máxima intensidad de tráfico promedio. Algunas otras definiciones de las BH son:
 - (a) El promedio del tráfico de las BH en los 5 días bisiestos del año. CCITT Rec. Q.80 y Q.87 refiriendo al tráfico en días ocupados excepcionales.
 - (b) El promedio del tráfico de las BH en los 10 días bisiestos del año. Un estándar a menudo utilizado en Norteamérica.
 - (c) El promedio del tráfico de las BH en los 30 días bisiestos del año. CCITT Rec. Q.80 definición de "tráfico promedio de las BH".
- **Llamada**.- Es el uso discreto u ocupación de un trayecto de tráfico, real o virtual.
- **Llamada-hora (CH)**.- Es la unidad de densidad de tráfico. Una llamada-hora es la cantidad representada por una o más llamadas teniendo una duración global de 1 hora.

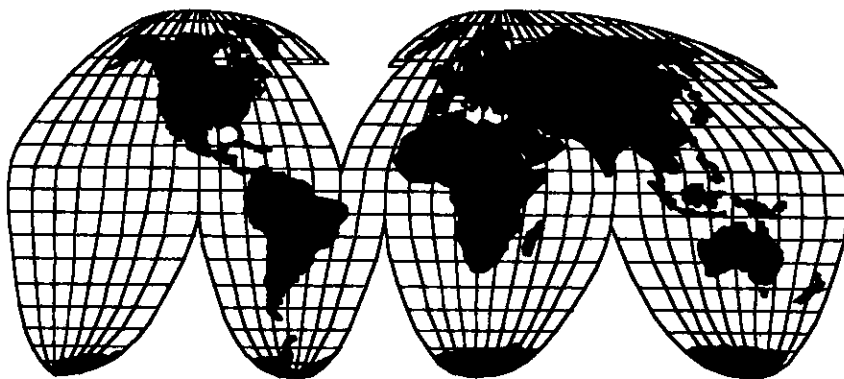
$$1 \text{ CH} = 36 \text{ ccs} = 60 \text{ llamadas por minuto} = 3600 \text{ llamadas por segundo.}$$
- **Relación de llamadas**.- La intensidad de llamadas por trayectoria de tráfico durante las BH.

- *CCS* ("Cientos" de llamadas por segundo) - Unidad de intensidad de tráfico usada principalmente en U.S.A y Canadá. 1 ccs es la cantidad representada por 1 de 100 llamadas por segundo.
- *Erlang (E)* - Unidad adimensional de intensidad de tráfico internacionalmente aceptada, donde 1 *E* es la intensidad en una trayectoria de tráfico ocupada continuamente en una o más trayectorias acarreado una intensidad de tráfico de 1 llamada-hora por hora, 1 llamada-minuto por minuto, y así sucesivamente.
- *Grupo Completamente Disponible* - Grupo de troncales acarreado tráfico o circuitos en los cuales todos ellos son accesibles a todas las fuentes de tráfico.
- *Grado de servicio* - Una medida de la probabilidad que durante un periodo específico de alto tráfico, usualmente las *BH*, una llamada ofrecida a un grupo de troncales o circuitos se pueda perder al tratar de encontrar un circuito libre en el primer intento.
- *Tiempo de retención* - La duración de la ocupación de una trayectoria de tráfico por una llamada.
- *Fuentes infinitas* - La suposición que el número de fuentes de tráfico ofrecidas a un grupo de troncales o circuitos es grande en comparación con el número de circuitos. Una relación de 20 o mayor es considerada como infinita.
- *Grupo de acceso limitado* - Un grupo de troncales o circuitos en los cuales únicamente una fracción de los circuitos tienen acceso a cualquiera de las fuentes de tráfico.
- *Ocupación* - Una expresión de la intensidad de tráfico en una o más trayectorias de tráfico. Por definición, el 100 % de ocupación de una trayectoria es igual a 1 *E*. El término de ocupación también es utilizado para describir la relación de una llamada.
- *Trayectoria de tráfico* - Un canal, ranura de tiempo o de frecuencia, una línea, troncal, switch o circuito sobre el cual una comunicación individual pasa en secuencia.
- *Cantidad de tráfico* - El ajuste agregado de tiempo u ocupación de una o más trayectorias de tráfico.
- *Relación de tráfico* - Intensidad de tráfico por trayectoria de tráfico durante las *BH*.
- *Tráfico ofrecido* - Es el número promedio de intentos de ocupación durante un periodo igual al tiempo de retención promedio de una ocupación lograda. La pérdida del tráfico proporciona la diferencia entre el tráfico ofrecido y el acarreado.

CAPITULO II



LAS NORMAS Y LOS SISTEMAS CELULARES



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES AZACÓN



CAPITULO II

LAS NORMAS
Y
LOS SISTEMAS
CELULARES

II.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA NORMATIVIDAD EN LOS SISTEMAS CELULARES.

En forma general, los sistemas celulares son clasificados con relación a sus frecuencias de operación. Estas pueden estar en la banda de los 450, 800 y 900 MHz; sin embargo, estos sistemas también se distinguen mediante el espaciamiento que existe entre sus canales (Ancho de Banda - BW), los cuales son de 30, 25 ó 20 kHz, dependiendo de los estándares internacionales. En un futuro próximo, se prevé el uso de un ancho de banda de 12.5 kHz (en el sistema Japonés NTT).

La Tabla II.1 presenta una lista de los sistemas celulares de mayor explotación en diferentes países.

Tabla II.1 Los Sistemas Celulares en el Mundo

NTT	AMPS	TACS	NMT	C450	NEC
Japón	U.S.A	Inglaterra	4 Países Nórdicos	Alemania	Australia
Hong Kong	Canadá	Hong Kong	España	Sudáfrica	Singapur
Colombia	Corea del Sur	Austria	Holanda	Portugal	Hong Kong
Jordania	Hong Kong	China	Bélgica		Jordania
Singapur	México	Italia	Irlanda		Colombia
Kuwait	Israel	España	Australia		México
	Argentina	Hong Kong	Omán		Kuwait
	Brasil	Kuwait	Arabia Saudita		
	Zaire	Nigeria	Malasia		

Cada sistema posee un esquema de protección de mensajes diferente. Sin embargo, existen dos importantes diferencias, las cuales son:

1. El principio de mayoría de decisión (PDM).
2. La repetición de la solicitud automáticamente (ARQ).

Los principios anteriores, son aplicados con relación al medio ambiente, o sea, en caso de que el desvanecimiento sea muy severo, el PDM tiende a ser aplicable. En cambio, en un entorno donde se presenta un completo desvanecimiento de la señal de información, el ARQ es utilizado.

En forma general, los sistemas celulares se distinguen unos de otros mediante el empleo de distintos parámetros operacionales. Entre los que podemos mencionar:

- Código BCH.
- Ancho de Banda del Canal.
- Compansor (Compresor/ Expansor).
- Códigos de Secuencia Puntual y Palabra de Sincronía.
- Desviación de Frecuencia (F.M) para la voz.

- Separación de frecuencia entre la parte Transmisora y Receptora de un canal.
- Modulaciones Digitales (FSK Y FFSK).
- Grado de Servicio y Proceso de Transferencia de Llamada.
- Ancho de Banda de F.I.
- Códigos de Protección de Datos (Manchester).
- Figura de Ruido en la recepción.
- Medición en la calidad de la conversación y emisiones espurias.

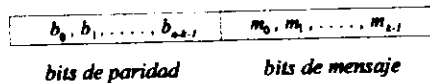
1. Código BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquenqhen).

Una operación importante en el procesamiento de una señal de información, a saber es, la *codificación de canal*, la cuál es empleada para proveer cierto grado de *fiabilidad* en la transmisión de la información digital sobre un canal de comunicaciones. Las técnicas de codificación para el control de errores dependen de la adición esquemática de símbolos redundantes a la información que se desea transmitir; ello con el fin de lograr dos objetivos básicos en la etapa de recepción: LA DETECCIÓN Y CORRECCIÓN DE ERRORES.

Este tipo de códigos son clasificados en dos tipos principalmente: CÓDIGOS DE BLOQUES Y CÓDIGOS CONVOLUCIONALES, dichos códigos se distinguen por tener presencia o ausencia de memoria en la etapa de codificación.

Para generar un código de bloques (n, k) , el canal codificador acepta información en bloques sucesivos de K bits; para cada bloque, se adicionan $n - k$ bits redundantes que están algebraicamente relacionados a los k bits de mensaje, por ello se produce un bloque global codificado de n bits, donde $n > k$. El bloque de n bits es llamado *palabra de código* y n es llamado *longitud del bloque* del código. El canal codificador produce bits a una relación $R_0 = (n/k)R_s$ donde R_s es la tasa de bits de información generada por la fuente, además de que R_0 es conocida como *la tasa de datos del canal (channel data rate)*. La relación $r = k/n$ es llamada *relación de código (code rate)*, donde $0 < r < 1$. Dichas relaciones de bits están dadas en *bits por segundo (bps)*.

Dejando que m_0, m_1, \dots, m_{k-1} constituya un bloque de k bits de mensajes arbitrarios, tendremos 2^k distintos bloques de mensajes. Permitiendo que esta secuencia de bits de mensaje sea aplicada a un codificador de bloques lineal produciendo una *palabra de código* de n -bits cuyos elementos son denotados por: x_0, x_1, \dots, x_{n-1} ; donde $b_0, b_1, \dots, b_{n-k-1}$ denotaran a los bits de paridad $(n - k)$ de la palabra de código. De esta manera, una *palabra de código* que posee una estructura sistemática está dividida en dos partes, tal como se muestra a continuación:



Uno de los más importantes y convincentes códigos de bloques lineal es el código BCH, el cuál es un *código cíclico* con una amplia variedad de parámetros. Se dice que un *código binario* es un *código cíclico* si este exhibe dos propiedades fundamentales:

1. **La propiedad de linealidad.**- La suma de dos palabras de código, es también una palabra de código.
2. **La propiedad cíclica.**- Cualquier cambio cíclico de una palabra de código, es también una palabra de código.

La propiedad cíclica sugiere que los elementos de una palabra de código de longitud n , se deban de tratar como coeficientes de un polinomio de grado $(n - 1)$. Esto es; que la palabra de código con elementos x_0, x_1, \dots, x_{n-1} sea representada en la forma de un polinomio; tal como:

$$x(D) = x_0 + x_1 D + \dots + x_{n-1} D^{n-1}$$

Donde D es una variable arbitraria real. Naturalmente, para los códigos binarios los coeficientes son los 1's y 0's. Cada potencia de D en el polinomio representa un bit de cambio cíclico en tiempo.

Por lo tanto, la multiplicación del polinomio $x(D)$ por D puede ser vista como un cambio cíclico o de rotación a la derecha, sometida a la coacción de $D^n = 1$

El código BCH más común está caracterizado de la siguiente manera. - Específicamente para cualquier entero positivo donde $m \geq 3$ y $t < (2^m - 1/2)$, existe un código binario BCH con los siguientes parámetros:

Longitud del bloque:	$n = 2^m - 1$
Número de bits de mensaje:	$k \geq n - mt$
Distancia mínima	$d_{min} \geq 2t + 1$

Consideración de la Distancia Mínima (d_{min})

Si consideramos un par de vectores de código x e y que tienen el mismo número de elementos, la *distancia Hamming* $d(x, y)$ entre tales vectores de código, es definida como el número de posición en el cual sus respectivos elementos difieren. El valor *Hamming* $w(x)$ de un vector de código x se define como el número de elementos no-zero en el vector de código; por lo que el *valor Hamming* de un vector de código es la distancia que existe entre el vector de código y el vector de código a todos ceros.

La mínima distancia d_{min} de un código de bloques lineal es definida como la *pequeña distancia Hamming* entre cualquier par de vectores de código en el código. En forma general, la d_{min} determina la capacidad de corrección de errores en el código, por lo que un código de bloques lineal (n, k) tiene la capacidad para corregir todas las formas de errores de valor t o menores sí, y solo sí:

$$d(x_i, x_j) \leq 2t + 1 \text{ para toda } x_i \text{ e } x_j$$

Además de que el código puede corregir arriba de t errores sí, y solo sí:

$$t \leq \lfloor \frac{1}{2}(d_{min} - 1) \rfloor$$

Cada código BCH es un código de t corrección de errores, en el cual se pueden detectar y corregir a t cantidad de errores aleatorios.

2. Espaciamiento del Canal (Ancho de Banda - BW).

El ancho de banda es la separación de frecuencia entre dos canales celulares adyacentes. La separación de los canales inferiores, lleva implícito en conjunto un menor espectro requerido para un número específico de canales. Al reducir el ancho de banda del canal, una señal de información *modulada en frecuencia* requiere de una alta relación *Portadora - Ruido (C/I)* para obtener la misma calidad de voz que en la de un canal con un B.W específico.

3. Compresor – Expansor (Compansor).

Un compansor es utilizado en el proceso de envío de la señal de información para mejorar la calidad de la voz debido a los desvanecimientos ocasionados por multirayectorias.

El compansor controla los efectos de la variabilidad de los niveles de conversación sobre una distorsión rápida y desviación de frecuencia generada por el modulador. Por lo general; el rango dinámico de conversación es alto y niveles bajos de conversación producen una relación S/N baja a la salida del demodulador F.M.

De otra forma, un nivel alto de conversación puede producir *sobredesviaciones*, resultando en una distorsión a la salida. La variabilidad de la conversación superpuesta por un rápido desvanecimiento *Rayleigh* requiere de algún control tanto en la transmisión como en la recepción tal que la relación S/N requerida a la salida del receptor pueda mantenerse.

Una protección segura en contra de esta variabilidad en la conversación es obtenida por medio del uso de un **compansor silábico**. El nivel normal de referencia de conversación corresponde a un tono acústico de 1000 Hz suponiendo que se presenta un voltaje normal de conversación, dicho nivel deberá producir una desviación de frecuencia pico de ± 2.9 kHz de la portadora.

El transmisor incluye la porción compresora de un compansor silábico de 2:1. En esta etapa, todos los cambios en el nivel de entrada de 2 dB tendrán un nivel de salida de 1 dB. El proceso de expansión toma lugar en el receptor, donde a un nivel de 1 dB en la entrada, se produce un cambio de nivel de 2 dB a la salida del expansor. Las características del compansor son mostradas en la figura II.1. Por lo general el compresor tiene un *tiempo nominal de ataque* de 3ms. y un tiempo de recuperación de 13.5 mseg. como lo define el CCITT (Recomendación G.162, Fascículo III.1 libros azules). El compresor, es seguido por una red de *preemfásis* en el proceso de transmisión y por una red de *deemfásis* en el receptor (expansor).

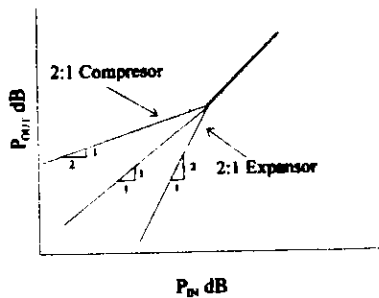


Fig. II.1 Características del compansor 2:1

Una forma de reducir el efecto del ruido a la salida del transmisor, es mediante la inclusión de un filtro después del discriminador, el cual podrá deemfatizar el nivel de ruido a una relación de $1/\omega^2$. Sin embargo, en el lado receptor se deberá de tener la correspondiente red de *de-emfásis* para que el efecto compuesto por ambas redes sea nulficado, ya que si no se cumple lo anterior, el filtro podrá degradar la señal de conversación. El filtro tiene una función de transferencia definida de la siguiente manera:

$$H_d(\omega) = 1/H_p(\omega) \quad \dots\dots\dots (1)$$

La característica de $H_p(f)$ tiene una respuesta ascendente de +6 dB/oct. entre los 300 y 3000 Hz, tal como se muestra en la figura 11.2. La respuesta correspondiente a la red de *de-énfasis* es en forma descendente con la pendiente de - 6dB/oct.

La finalidad de estas redes, es simplemente elevar la respuesta en el transmisor y reducir la respuesta correspondiente en el lado receptor. Estas redes pueden proveer de manera fácil una mejora a la relación S/N de casi 5 dB. Para mayor comprensión del tema consultar el Anexo B.

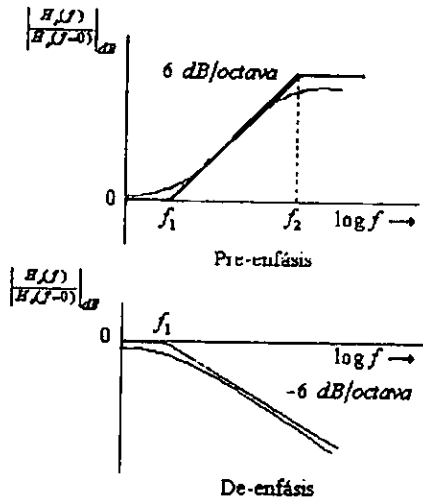


Fig. 11.2 Respuesta en Frecuencia Normalizada de la respectiva red de Pre-énfasis y De-énfasis

4. Secuencia Puntual y Códigos de Palabra de Sincronía.

En un sistema celular, tanto el canal de control hacia adelante y el canal de control hacia atrás contienen una secuencia de bits alterna (10101010) conocida como *secuencia puntual* para el bit de sincronización, y la palabra de código (Barker Code) para la palabra de sincronía. La secuencia puntual es reconocida como un tono de frecuencia fija, el cual inicializa la fase del reloj en el receptor.

5. Grado de Servicio

El grado de servicio, es la medida de la insuficiencia del número de canales disponibles para el usuario móvil. El diseño de un sistema celular es usualmente basado en un GOS(Grade of Service) de 0.02, donde decimos que de cada 100 llamadas hechas, dos pueden ser bloqueada durante las horas de mayor tráfico de un día normal. Naturalmente, el GOS puede mejorar durante las horas de bajo tráfico del día. Por lo general, los sistemas celulares son diseñados para promover un GOS del 0.05 o menor durante la vida del sistema

6. Código de Protección de Datos

Uno de los más importantes códigos de datos(en banda base) es el Código Manchester, este código es aplicado tanto para el canal de control como para el canal de voz.

En el formato *Manchester* (señalización bifásica de banda base), el símbolo binario "1" es representado por la transmisión de un pulso positivo de la mitad de duración del símbolo seguido por un pulso negativo para la mitad restante de la duración del símbolo; para el caso de la transmisión del símbolo "0", los pulsos son transmitidos en orden inverso (primero el pulso negativo y luego el positivo); tal como se muestra en la figura II.3.- Este código proporciona una capacidad de sincronización debido a las transiciones predecibles durante cada intervalo de la duración del bit; pero dicha capacidad es lograda a expensas del ancho de banda requerido, que es del doble en comparación con el de algunos otros códigos. Además puede ser visto como una implementación de la modulación discreta en amplitud de un tren de pulsos; definida por la función muestreo:

$$X(t) = \sum_{K=-\infty}^{\infty} A_K v(t - KT)$$

donde:

- A_K es una variable aleatoria discreta
- $v(t)$ es la forma del pulso básico; además de que $t = 0$, por lo que $v(0) = 1$
- T es la duración del símbolo.

Para el formato *Manchester*:

$$A_K = \begin{cases} a, & \text{símbolo 1} \\ -a, & \text{símbolo 0} \end{cases} \quad \begin{array}{l} v(t) \text{ consiste de un pulso doble de} \\ \text{altura } \pm 1, \text{ y una duración total de } T_b \end{array}$$

La tasa de señalización de datos (*bit rate*) es definida como la medida en *bits/s* a la cual son transmitidos los datos; dicha relación es denotada por:

$$R_b = 1/T_b$$

En contraste, la relación de modulación es definida como la relación a la cual el nivel de la señal cambia.- Dicha relación es medida en *baudios* o símbolos por segundo; en un esquema *M-ary* usado para representar los datos binarios, encontramos que la duración del símbolo del formato *M-ary* esta relacionado a la duración del bit por:

$$T = T_b \log_2 M$$

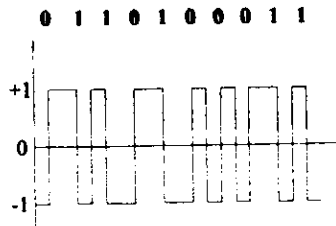


Fig. II.3 Formato *Manchester* de la secuencia binaria de datos: 0110100011

7. Figura de Ruido (Recepción).

Este parámetro indica una estimación de la degradación de la señal debido a la generación de ruido dentro de la etapa de recepción.- dicho ruido generalmente es controlado por un *amplificador de bajo ruido*. La generación de ruido en el amplificador no contribuye en gran medida a la degradación de la señal debido a la alta ganancia del amplificador. El valor del ruido en la recepción dentro de la banda de UHF se encuentra entre los 6 dB y se debe principalmente a la temperatura de ruido de un *amplificador de bajo ruido*.

8. Medición en la Calidad de la Conversación.

La calidad de conversación en un sistema F.M. en presencia de *desvanecimientos Rayleigh* es medida en términos del índice de articulación de sonido (AI - Articulation Index). Un índice del 80% generalmente se mantiene hasta el final de la conversación. Algunas de las tolerancias de inteligibilidad se encuentran definidas por el ANSI (Instituto Nacional de Estándares Americanos); tal como se puede observar en la figura II.4

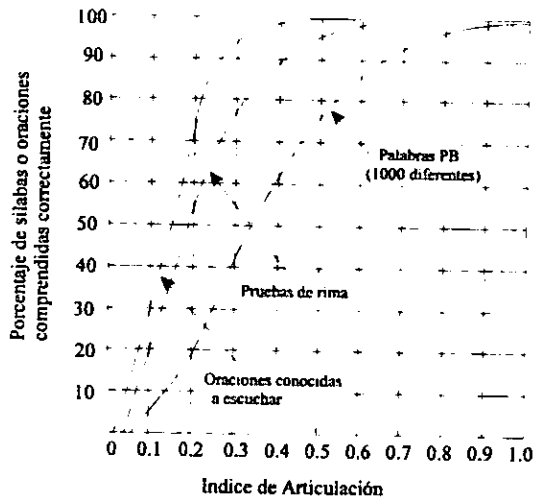


Fig. II.4 Medidas en la Inteligibilidad de la conversación.

En esta gráfica, se puede observar que si el AI es de 0.3, el nivel de inteligibilidad es de aproximadamente el 94 % para frases generalmente conocidas. Una importante prueba de inteligibilidad en la conversación, es conocida como un " *test-ritmo* ", en donde se reconocen una de varias consonantes en un grupo cerrado de versos, tales como: *razón, corazón, zación*, etc. Las pruebas en la calidad de la conversación también pueden ser realizadas mediante la utilización de un *Balace fónetica* (P.B. - Phonetically Balance) el cual resulta ser un poco más complejo. De cualquier manera, en una prueba de P.B. la inteligibilidad es sumamente dependiente del número de palabras del grupo de prueba.

Para lograr el diseño de un buen sistema de radio, se debe de considerar un AI mayor de 0.5, lo cual conduce a un nivel de inteligibilidad convencional mayor del 97 %. Para un AI mayor del 80 %, el nivel de recepción en la estación base deberá exceder de 7.5 dB_μ. El nivel de voltaje correspondiente en la unidad móvil deberá exceder los 14dB_μ (Boletín dado por la IEEE).

9. Emisiones Espurias.

Este tipo de emisiones, son señales de energía indeseables que caen en otros canales de frecuencia; por lo que se deben de controlar tanto las emisiones del transmisor y de la unidad móvil. El nivel de emisiones generado por el móvil es controlado de acuerdo a los niveles especificados en la tabla II.2. En algunos sistemas (por ejemplo, el AMPS) los niveles generados por el transmisor y el receptor en la banda de frecuencia, deben ser menores de -80 dB_m, especificado en el conector de las antenas.

Tabla II.2 Nivel de Emisiones en el Transmisor Móvil

Frecuencia fuera del centro del canal (kHz)	Nivel de las Espurias por debajo de la portadora (dB)
± 20	< -26
± 45	< -45
± 90	< -60

A continuación se da una breve descripción de los sistemas celulares mencionados en la Tabla II.1, que son los más destacados en el ámbito mundial.

II.1.1 EL SISTEMA AMPS (ADVANCED MOBILE PHONE SYSTEM).

Este sistema surge como resultado de la investigación realizada por los Laboratorios Bell, los cuales desarrollaron el *concepto celular*. En un principio la tecnología no permitió el desarrollo de este tipo de sistemas.- Es hasta 1975 cuando la AT&T desarrolla y aplica el primer sistema de *radio celular* obteniendo de esta manera la licencia correspondiente para la explotación de este nuevo sistema. Subsecuentemente la AT&T formo un subsidiario separado, conocido como AMPS, el cual implemento completamente el primer sistema celular en la ciudad de Chicago en el año de 1982. En el mismo año, la FCC aprueba el plan para la aceptación de la licencia de aplicación celular.

La comisión dividió el mercado en 4 categorías:

- Mercado 1: Cubriendo completamente 30 grandes áreas metropolitanas en los E.U.A.
- Mercado 31: Cubriendo completamente 60 pequeñas áreas metropolitanas.
- Mercado 61: Consistiendo completamente de 90 áreas con poca población.
- Mercado 91: Cubriendo completamente 296 áreas rurales..

En su inicio, el sistema AMPS empleo grandes celdas y antenas omnidireccionales para minimizar inicialmente el equipo requerido para la cobertura del área de servicio. Aproximadamente 2100 millas cuadradas en áreas urbanas y suburbanas eran atendidas por 10 celdas, empleando un total de 136 canales de voz controlados por una *oficina de conmutación telefónica móvil (MTSO)*.

El sistema a desarrollar, probó que la tecnología celular podía suministrar una nueva calidad de comunicación telefónica móvil.

Los principales propósitos y objetivos del sistema AMPS a desarrollar en la ciudad de Chicago fueron:

- Depurar las actividades necesarias para asegurar una alta calidad y confiabilidad en el sistema.
- Verificar el prototipo del diseño.
- Revisar el procedimiento de construcción utilizado para la disposición del sistema y mejorar estas herramientas basándose en la experiencia ganada.
- Confirmar la viabilidad y el valor del sistema AMPS, además de demostrar que la necesidad de comunicación móvil pública puede llegar a tener un costo razonable.
- Desarrollar y validar métodos adecuados en la estimación del tráfico promedio.
- Verificar la aceptabilidad del sistema y los procedimientos de restablecimiento de llamada, secuencias de procedimientos de llamada, plan de globalización; así como la operación y mantenimiento del sistema.

CARACTERÍSTICAS Y PARÁMETROS DEL SISTEMA.

Los requerimientos básicos del sistema AMPS son los mismos que los proporcionados por la Red Telefónica Nacional, con la adición de algunas características especiales convenientes para los usuarios móviles; tales como la preoriginación de marcación y la transferencia libre de llamada. El servicio de llamada al cliente incluye:

- *Espera de llamada*.- Alerta al usuario de llamada, mientras se encuentre en una conversación con alguien más.
- *Velocidad de llamada*.- Permite al usuario originar llamadas para números frecuentemente marcados por medio del simple tecleo de uno o dos botones de su teléfono (activación de un número telefónico previamente almacenado en su memoria) y;
- *Tres formas de llamada(calling)*.- Permiten al usuario quien ya esta conectado por otro teléfono a originar una llamada para un tercer grupo, y conmutar hacia adelante o hacia atrás entre conexiones para retener las tres conversaciones o para conectar a los otros dos grupos para continuar la conversación mientras se desconecta una de las unidades.

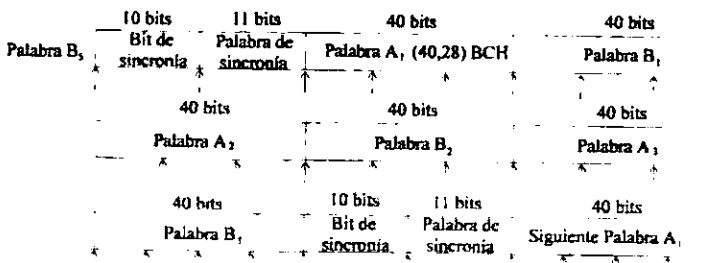
Los principales parámetros técnicos del sistema AMPS son mostrados en la Tabla II.3

La técnica de señalización conocida como *blank* y *burts* es utilizada, por lo que la conversación es *blanked-out* (ausencia de información de la conversación) por un periodo de 50 ms y los datos son transmitidos. El usuario no tiene noticia de alguna disrupción en la conversación debido a los 50ms de ausencia.

Tanto la conversación y los datos son pasados directamente al limitador y discriminador de F.M en el receptor, por lo que se utiliza un circuito receptor común dependiendo de la salida del discriminador. La salida del discriminador esta dividida en dos partes: Una para el procesamiento de la conversación, y la otra para la demodulación y decodificación de los datos. Para la protección de los datos debido a los desvanecimientos por multirayectorias, los datos se codifican en BCH y son repetidos de 5 a 11 veces.

Los datos consisten de *dos palabras de grupo* directamente relacionados a dos grupos de móviles. La mitad de este grupo en el área de servicio, están supuestamente para leer la palabra de grupo A (dirigidas a los móviles con número de identificación par), mientras que el otro grupo, lee la palabra perteneciente al grupo B (dirigidas a los móviles con número de identificación impar).

Una trama de datos continuos en el canal hacia adelante esta compuesta de 10 bits de secuencia puntual para la sincronización, 11 bits de código Barker para la trama de sincronización y 40 bits para datos del usuario A y B repetidos 5 veces, tal como se muestra a continuación:



↑ Inserción del bit de status libre / ocupado
(Después de cada 10 bits de mensaje y después de cada bit y palabra de sincronía)

Bits de sincronía: 10 10 10 10 10
Palabra de sincronía: 11100010010

Tipo de información contenida en las palabras

- Búsqueda
- Designación de canal
- Palabras de gasto
- Texto de relleno

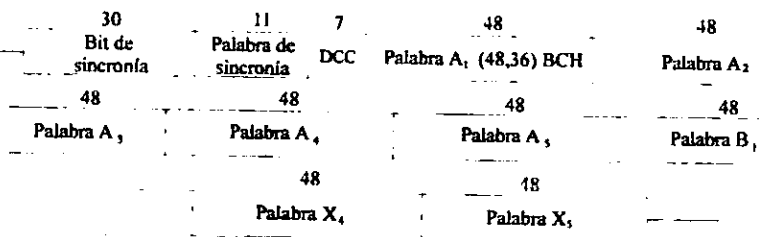
El bit indicador de status libre/ocupado es utilizado para reducir la probabilidad de colisión debido a accesos aleatorios del usuario en el canal de acceso hacia atrás.

El canal de acceso hacia atrás, es empleado por la unidad móvil y está compuesto por palabras de 48 bits, con bits precursores de amarre, repetidas cinco veces para el caso de cada suscriptor.

Tabla II.3 Parámetros técnicos del sistema AMPS.

Categoría	Parámetros
Relación del sistema:	
Número de canales	832, divididos en dos grupos de 416 canales; cada grupo incluye 21 canales de señalización
Radio de las Celdas	2 - 20 Km
Rango de frecuencias del transmisor móvil	824 - 849 MHz
Rango de frecuencias del receptor móvil	869 - 894 MHz
Ancho de Banda del canal	30 kHz
Modo de transmisión	Full - dúplex
Transmisión de voz	F.M con una desviación de frecuencia pico de ± 12 kHz
Transmisión de datos	La señalización en el canal de datos esta en F.M; codificada en formato Manchester a 10 Kbps; con una desviación de frecuencia pico de ± 8 KHz; sobre el canal de voz, mensajes digitales tipo <i>bursts</i> son transmitidos a 10 Kbps.
Número de celdas	50 (Típicas, para un sistema completamente desarrollado)
Máximo ERP de la estación base	100 W por canal
Intercambio	Completamente automático con receptores DTMF.
Separación de frecuencia	45 MHz entre los canales de transmisión y recepción.
Código de protección de errores	Acorchado, 63:51 BCH, repetido de 5 a 11 veces
Base a móvil	40:28 BCH
Móvil a base	48:36 BCH
Sistema de Comunicaciones:	
Calidad de la conversación	Calidad Toll
Proceso de conversación	Compensador silábico 2:1
Grado de servicio	2 % de probabilidad de bloqueo
Unidad móvil :	
Transmisión de R.F a la salida	3 Watts (nominal)
Potencia de control en la transmisión de R.F	10 pasos de 4 dB de atenuación; potencia mínima: -34 dB _w
Respuesta espúrica en la recepción	- 60 dB del centro de la pasabanda.
Número de canales de sintonización	832 ; sintonizado en cualquier canal
Figura de ruido en la recepción	6 dB medidos en el puerto de la antena
Sensitividad del receptor	-116 dB _m de una fuente de 50 W aplicado a las terminales de la antena debiendo producir 12 dB SINAD

Debido a la discontinuidad en la transmisión de los mensajes, el campo que contiene los bits de sincronización es más grande que la del canal paging (búsqueda) hacia adelante; tal como se muestra a continuación:



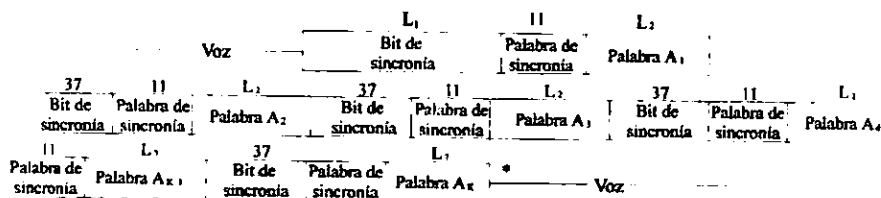
X : A, B, C, D, E.

Bits de sincronía: 10 10 10 10 10 ... 010

Palabra de sincronía: 111 000 100 10

DCC : Código de Color Digital.

El formato de datos utilizado sobre un canal de voz es mostrado a continuación:



Valor de los parámetros

	Adelante	Reversa
L ₁ (Long. de Bits)	100	101
L ₂ (Long. de Bits)	40	48
K(Repeticiones)	11	5

Bits de sincronía: 101010 ... 010

Palabra de sincronía: 111 000 100 10

* Nota: Sobre el canal hacia atrás, un segundo mensaje (B) puede seguir a la palabra A_K

Este canal utiliza la señalización de *Blank and Burst* y como puede observarse el mensaje es repetido en once ocasiones en la dirección hacia adelante; debido principalmente a los constantes envíos de mensajes de transferencia de llamada (Handoff). La secuencia puntual inicial de 100 bits genera un tono de 5 KHz que es utilizado para detectar el comienzo del mensaje.

La unidad móvil podrá ajustar su nivel de potencia basándose en instrucciones recibidas directamente de la celda servidora, dicho ajuste se basa en mediciones del nivel de la intensidad de la señal realizadas por la celda. Si la medición del nivel de la señal de voz se encuentra por debajo de su nivel normal, la celda enviara la orden de ajuste de nivel de potencia sobre el canal de voz hacia adelante utilizando la señalización *blank and burst*. Esto permitirá al transmisor móvil ajustar su nivel de potencia en pasos de 4 dB. Hay un total de siete pasos con un mínimo de potencia accesible de -39 dB_w (nominal, clase IV para un suscriptor en modo dual) en el transmisor móvil. De otra manera, si el nivel de potencia recibido del móvil está por encima del nivel nominal, la oficina de conmutación móvil (MTSO) envía directamente la orden de decrementar la potencia del móvil hacia la celda.

II.1.2 EL SISTEMA TACS (TOTAL ACCESS CONTROL SYSTEM).

En 1979 la Administración Mundial de Radio Conferencia (WARC) asigna la banda de 890 - 960 MHz del espectro radioeléctrico para el servicio de *radiomóvil*, seguido a la acción de la WARC, la Conferencia de Telecomunicaciones y Telegrafía Europea (CEPT) propuso un plan de frecuencias el cual estaba orientado hacia el servicio de *radiotelefonía móvil* utilizando el segmento de 890 - 915 MHz (móvil - base) y 935 - 960 MHz (base - móvil). Con un ancho de banda de 2 x 25 MHz y una totalidad de 1000 canales.

El sistema TACS implementado inicialmente en el Reino Unido es parecido al sistema AMPS estadounidense con algunas variantes. Las diferencias esenciales son mostradas en la tabla II.4.

La decisión para aceptar una versión del AMPS con ligeras modificaciones, estuvo basado en:

- Una reducción en el tiempo del diseño.
- Un potencial para la explotación del sistema; y
- La viabilidad comercial en términos del costo de equipo.

En agosto de 1985, el servicio tenía alrededor de 90 celdas sirviendo alrededor de 35,000 suscriptores.

Tabla II.4 Principales diferencias entre el sistema AMPS Y TACS

	U.S. (AMPS)	U.K. (TACS)
Banda de frecuencia de transmisión:		
Estación Base (MHz)	870 - 890	935 - 960
Estación Móvil (MHz)	825 - 845	890 - 915
Ancho de Banda (kHz)	30	25
Señales de Voz:		
Tipo de Modulación	F.M	F.M
Desviación pico (kHz)	± 12.0	± 9.5
Señales de control:		
Tipo de modulación	FSK	FSK
Tasa de transmisión (kbps)	10.0	8.0
Desviación pico (kHz)	± 8.0	± 6.4
Codificación	Manchester	Manchester

CARACTERÍSTICAS Y PARÁMETROS DEL SISTEMA.

Los requerimientos del sistema son los mismos que para los de la red telefónica nacional. Estos incluyen buena calidad de voz, alta confiabilidad, bajo bloqueo y un costo de servicio relativamente bajo. Algunas características adicionales son suministradas al suscriptor, entre las cuales destacan: *Uso eficiente del espectro, técnicas de registro móvil, procesos de transferencia de llamada, preoriginación del tono de marcación, cargo de información en display, llamadas completas; además de proporcionar un adecuado sistema contra robo y uso indebido del servicio mediante la inclusión de un número de servicio el cual se proporciona al inicio de la instalación del equipo y que no puede ser alterado.*

La mayoría de los parámetros técnicos están descritos en la tabla II.5. El sistema proporciona suficiente tiempo para lograr la sincronización en el móvil cuando se detecta al transmisor encendido (de la unidad móvil), dicha sincronización no debe mostrarse en los datos.- Los datos transmitidos de la estación base hacia el móvil están en un formato sincrónico; en cambio, la unidad móvil envía sus datos en una ráfaga asíncrona. La corrección de errores en el sentido directo, se logra al utilizar un código de bloques (BCH) repitiéndose en cinco ocasiones. Además de que el receptor aplica el principio de PDM. Tanto la aplicación del código de bloques, como del PDM deben de conducir a la obtención de una precisión en la transmisión de información del 99.9%.

La transferencia de datos de control sobre un canal de voz es llevada a cabo mediante la inhabilitación del audio por un corto tiempo de duración, sin que el móvil perciba dicha inhabilitación.

La potencia nominal de la unidad móvil está dividida en cuatro clases, tal y como se indica en la tabla II.6. Además de haber siete códigos de atenuación móvil, mostrados en la tabla II.7, los cuales permiten que la potencia de la unidad móvil sea reducida cerca de 30 dB por debajo de la potencia nominal máxima.

Tabla II.5 Parámetros Técnicos del sistema TACS

CATEGORÍA	PARÁMETROS
Número de canales	600, 2 grupos de 300 canales; cada uno en dos subbandas
Número de canales de señalización	21
Radio de la celda	2 - 20 Km
Rango de frecuencia:	
Transmisión de la estación base	935 - 950 (MHz)
Transmisión de la estación móvil	890 - 905 (MHz)
Ancho de banda del canal	25 kHz
Separación de frecuencia	45 MHz entre canales de transmisión y recepción
Máximo ERP de la estación base	100 watts
Modo de transmisión	Full dúplex
Transmisión de voz	Modulación en fase con una desviación pico de ± 9.5 kHz
Procesamiento de conversación	Compensador silábico de 2:1
Transmisión de datos	Señalización en el canal de datos en FSK, codificada en Manchester
Tasa de transmisión de datos	8 kbps con una desviación de frecuencia pico de ± 6.4 kHz
Código de protección de error (voz y datos)	Corto, en BCH 63:51 repetidos de 11 - 5 veces bit por bit y aplicando el principio del PDM
Base - Móvil	Código BCH 40:28, repetidos 5 veces
Móvil - Base	Código BCH 48:36, repetido 5 veces
Detección de errores	11 - 89 por 200 bits
Corrección de errores	5 por 200 bits, mínimo
Tonos de supervisión:	
Identificación de lazo cerrado.	Utiliza un SAT de 5970, 6000 y 6030 Hz
Condición de enganche	Se envía un tono de 8 kHz simultáneamente con el SAT sobre el canal de audio

II.1.3 EL SISTEMA JAPONÉS (NTT).

Este sistema proporciona un servicio a más de 450 ciudades en el ámbito nacional usando nueve centros de conmutación telefónica móvil. Las condiciones de diseño en cuanto al comportamiento del tráfico telefónico fueron las siguientes:

- Numero de llamadas por suscriptor: 3 llamadas/día.
- Relación de originación - terminación de llamada: 2:1
- Tiempo promedio de retención: 120 segundos/llamada.
- Concentración en las horas de ocupado: 10 %
- Tráfico en horas de ocupado: 0.01 erlangs/suscriptor.
- Relación de transferencia de llamada: 0.3 - 0.5 veces/ llamada.

Tabla II.6 Niveles de Potencia del móvil

Clase	ERP Nominal	Potencia de transmisión (watts)
1	Potencia muy alta	10.0
2	Potencia alta	4.0
3	Rango medio	1.6
4	Baja potencia	0.6

Tabla II.7 Códigos de Atenuación móvil.

Estación móvil Nivel de potencia	Código de atenuación móvil	ERP nominal (dB _w) Clase de Potencia			
		1	2	3	4
0	000	10	6	2	-2
1	001	2	2	2	-2
2	010	-2	-2	-2	-2
3	011	-6	-6	-6	-6
4	100	-10	-10	-10	-10
5	101	-14	-14	-14	-14
6	110	-18	-18	-18	-18
7	111	-22	-22	-22	-22

Todos los canales de control son usados simultáneamente (simulcast) para identificar a la unidad móvil. El número a marcar para establecer una llamada de la red telefónica a un usuario del servicio móvil es el siguiente:

0(Prefijo de la troncal)+30(Identificación móvil)+NN(Código de área móvil)+XXXXXX(No telefónico móvil)

Para el establecimiento de una llamada entre un usuario móvil y un abonado de la red telefónica tradicional, el usuario móvil debe marcar:

0(Prefijo de la troncal)+ABCD(Peaje y código de oficina)+XXXXXX(No del abonado destino)

Las zonas de radio son divididas en dos grupos de 15 MHz cada una en la banda de los 800-900 MHz. Tanto los canales del grupo 1 como los del grupo 2 tienen 15 MHz de cobertura individual con un traslape de 5 MHz entre grupos. Estas subbandas son mostradas en la figura II.5

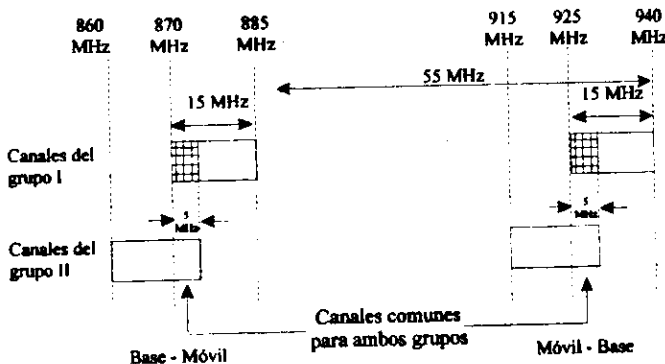


Fig. II.5 Asignación de frecuencias en las subbandas.

CARACTERÍSTICAS Y PARAMETROS DEL SISTEMA.

Las principales características técnicas son mostradas en la Tabla II.8.

Tabla II.8 Características técnicas del sistema Japonés (NTT).

Categoría	Parámetros
Sistema de Radio:	
Frecuencia	En la banda de los 800 MHz (860-885 MHz y 915-940 MHz)
Número de canales de radio	1,000 (500, en dos bandas)
Ancho de Banda	25 kHz
Separación de frecuencia	55 MHz entre un par de canales de transmisión y recepción
Modulación (conversación)	F.M. (con una desviación máxima de ± 5 kHz)
Procesamiento de la señal	Compansor silábico 2:1
Potencia de transmisión (estación base)	25 watts
Potencia de transmisión (unidad móvil)	5 watts
Radio de cobertura urbana	5 km. (en celdas pequeñas)
Radio de cobertura rural	10 km. (áreas grandes)
Modulación de las señales de control	FSK: con una desviación pico de ± 4.5 kHz ; codificado en Manchester con una tasa de transmisión de 300 bps
Protección de errores (Base - Móvil).	Canal paging directo/acceso: Código BCH 43:31
Protección de errores (Móvil - Base).	Canal paging hacia atrás/acceso : Código BCH 11:7
Número de radiocanales	128 por Estación Base
Máximo número de estaciones base conectadas a la estación de control móvil	32
Máximo número de estaciones de control móvil conectadas al centro de conmutación	6
Centrales telefónicas y sistemas de control:	
Central de seguimiento	La conmutación en el canal de conversación inicia por un monitoreo de la relación S/N en la estación base.
Llamadas regionales	Determinadas por un registro de locación.
Señalización de radio-sección	Digital : canales pag/acceso; Canal de conversación: Tono dig.
Selección de llamadas	Sobre el canal paging
Selección de canales de conversación	Asignado por MCS un canal de acceso completo
Sistema de comunicaciones:	
Conexión de conversación	Modo Full-duplex
Calidad de la conversación	El índice AI debe ser mayor del 80%
Procesamiento de la conversación	Compansor silábico 2:1
Grado de servicio	0.03 (3 de 100 llamadas no son recibidas)
Acceso a la central telefónica	Completamente automática con una marcación de plus-botton
Unidad móvil:	
Potencia de transmisión	5 watts
Emisiones espurias	60 dB o más por debajo de la portadora en la salida del Tx
Respuesta espuria en el receptor	Más de 70 dB por debajo de la sensibilidad del receptor
Número de canales de sintonización	1,000
Tiempo de conmutación entre canales	Menor que 50 ms.

El valor máximo de desviación de frecuencia asegura una relación $C/N = 17$ dB (en promedio) en el 90 % de todas las locaciones en los límites de la celda. Los datos codificados en formato Manchester proporcionan una rápida sincronización. Los canales de control son divididos en canales *Paging* (de búsqueda) y de *Acceso*.

Una estación móvil que origina aleatoriamente una llamada, es controlada por un canal de acceso.- Para la prevención de colisiones por una doble solicitud en el canal de acceso, la estación base (E.B), recibe únicamente la solicitud de la estación móvil proporcionando un *status* de ocupado sobre el canal de acceso. La ubicación de la unidad móvil es detectada por la E.B mediante la medición de la *intensidad de campo*.

Los canales de conversación son asignados por el canal de acceso, y una señal de chequeo es intercambiada sobre el canal asignado entre el móvil y la E.B. La trama de datos para los canales de acceso directo, hacia atrás y el canal paging hacia atrás son mostrados a continuación:

	8 bits			
Canal de acceso paging/directo	Palabra de sincronía	Información	Paridad	
	24 bits	8 bits	31 bits	12 bits
Canal de acceso hacia atrás	Bit de sincronía	Palabra de sincronía	Información	Paridad
	24 bits	8 bits	7 bits	4 bits
Canal paging hacia atrás	Bit de sincronía	Palabra de sincronía	Información	Paridad

III.1.4 EL SISTEMA NÓRDICO (NMTS).

El Sistema Telefónico Nórdico Móvil fue desarrollado conjuntamente por las administraciones de telecomunicaciones de Dinamarca, Finlandia, Noruega y Suiza. El sistema fue puesto en operación a finales de 1981 con una cobertura continua en los países participantes y una capacidad total de *roaming*. En sus inicios, el sistema operaba en la banda de los 450 MHz, migrando posteriormente a la banda de los 900 MHz.

En forma general, el sistema debía de cumplir con los siguientes requerimientos:

- Poseer la capacidad para establecer llamadas entre la E.B y cualquier usuario telefónico fijo o cualquier otro tipo de usuario móvil al alcance del sistema, sin tener en cuenta su ubicación geográfica (entre los países).
- El costo de la llamada debe de ser cargado al usuario origen (calling); sin tomar en cuenta su ubicación (ya sea un usuario móvil o de la red telefónica fija).
- Se debe de proporcionar capacidad de *roaming* automático para el usuario al alcance de los países nórdicos.
- La introducción del sistema no debe de acelerar algunos cambios en la red telefónica fija.
- Para el usuario, el sistema debe de parecerse al de la telefonía convencional.

CARACTERÍSTICAS Y PARÁMETROS DEL SISTEMA.

Como resultado de la demanda en el incremento del servicio, el sistema NMTS que operaba en la banda de los 450 MHz tuvo que migrar a la banda de los 900 MHz donde se desarrollo una capacidad total de 1999 canales de radio.- Dicha capacidad se obtuvo mediante la reducción del ancho de banda de los canales de radio a un valor de 12.5 kHz e incrementando el ancho de banda de operación a 25 MHz. Las unidades móviles dentro del área de Estocolmo utilizan la totalidad de su potencia, por lo que la sensibilidad de los receptores en la E.B. es reducida; este método evita la interferencia en los receptores móviles de baja potencia.

Para la transmisión de datos binarios, el sistema *FSK* fue adoptado, donde un estado alto "1" es representado por un ciclo completo en un tono de 1200 Hz y un estado bajo "0" es representado por ciclo y medio a un tono de 1800 Hz; con una desviación de frecuencia pico de ± 3.5 kHz codificados en formato *NRZ* con una tasa de transmisión de 1.2 kbps. El NMTS utiliza el código convolucional en lugar del código BCH para los canales *paging* y de *acceso*. Algunas otras características difieren en relación con la banda de operación del sistema, tal como puede observarse en la tabla II.9

Tabla II.9 Parámetros técnicos del sistema Nórdico en la banda de los 450 y 900 MHz.

Parámetros	NMT-450	NMT-900
Número de canales	180	1,000*/1,999
Radio de las celdas (km)	1 - 40	0.5 - 20
Rango de frecuencias de Tx de la E.B (MHz)	463 - 467.5	935 - 960
Rango de frecuencias de Tx del móvil (MHz)	453 - 457.5	890 - 915
Ancho de Banda (BW)	25.0	25.0/12.5
Separación de frecuencia entre los canales de transmisión y recepción	10	45.0
Máximo ERP de la E.B (watts)	50	100.0
Potencia nominal de transmisión del móvil (W)	15.0	6
Modo de transmisión	Full dúplex	Full dúplex
Modulación para la transmisión de voz	PM	PM
Procesamiento para la transmisión de la conversación		Compansor silábico 2:1
Transmisión de datos	FFSK	FFSK

II.1.5 EL SISTEMA MATS-E (MOBILE AUTOMATIC TELEPHONE SYSTEM).

Este sistema fue desarrollado por un grupo de diferentes compañías (Phillips y CIT-Alcatel) para operar tanto en la banda de los 450 y 900 MHz para la cobertura de áreas rurales y urbanas. El sistema MATS-E es capaz de acomodar un gran número de usuarios con un grado de servicio comparable al de la telefonía tradicional bajo la presión de una limitada disponibilidad de canales de radio. Las características funcionales del sistema MATS-E incluyen:

- La optimización en el rehuso de los canales de frecuencia;
- El uso eficiente del canal de control;
- Establecimiento de llamadas Off-Air (OACSU) y cola de llamada;
- Un procedimiento de roaming automático nacional; y
- Un proceso automático de transferencia de llamada entre estaciones base.

Tanto el OACSU y la cola de llamada mejoran la eficiencia del canal de voz entre un 10-30 %. El canal de control es utilizado en el proceso del OACSU, el cuál emplea la información de marcación a lo largo del proceso con otros mensajes relevantes.- el canal de tráfico es asignado únicamente a la unidad móvil al completar exitosamente la llamada. Además las llamadas al sistema que no son atendidas de inmediato son almacenadas en una cola de espera hasta que el canal de tráfico se encuentra disponible.

CARACTERÍSTICAS Y PARÁMETROS DEL SISTEMA.

Sus características principales se encuentran listadas en la tabla II.10

Tres antenas pueden ser instaladas en una estación base, cada antena puede tener un máximo de 64 canales, con una combinación total de 192 canales. Hay dos tipos de canales: *canales de tráfico* para la comunicación de la voz y *canales de control* para la transmisión de datos. Un control de potencia adaptivo es empleado tanto en la E.B como en la unidad móvil, dependiendo de la calidad actual de la transmisión de radio.- dicho control reduce interferencias globales en el sistema móvil.

La señalización sobre un canal de control (CCH) es dedicada, dentro de banda, utilizando el ancho de banda total del canal disponible; mientras que la señalización sobre un canal de tráfico es paralela a la transmisión de la conversación. El modelo estocástico de Gilbert - Elliott (canal simétrico binario) es utilizado para la predicción en el desempeño de la transmisión de datos. Dicho modelo presenta dos estados:

Tabla II.10 Parámetros del sistema alemán MATS-E.

Categoría	Parámetro
Número de canales	1,000
Radio de la celda	2 - 25 km
Número típico de canales de tráfico	1 - 100 por celda
Número máximo de canales de tráfico	192 por celda
Número de canales de control por celda	1
Ancho de banda	25 kHz
Rango de frecuencias de Tx de la E.B	935 - 960 MHz
Rango de frecuencias de Tx del móvil	890 - 915 MHz
Separación de frecuencia	45 MHz entre los canales de Tx y Rx
Modo de transmisión	FDD dúplex
Modo de transmisión de la voz	F.M
Modulación en la transmisión de datos:	
Canal de control	FFSK
Tasa de datos en el canal de control	2.4 kbps dentro de banda (canal de control)
Datos en el canal de tráfico	Señalización a 150 bps inaudible (fuera de banda)
Código de protección de errores (CCH)	Código de bloques (16,8;5) con corrección automática de dos bits.

El estado *G*, que es un buen estado con una baja tasa de errores (P_G), y un estado *L* donde la tasa de errores es grande (P_L); los desvanecimientos por multitrayectorias conducen a un alto BER (Bit Error Rate), común cuando el móvil se encuentra cruzando la frontera de la celda. Un BER de 10^{-3} es aceptado para objetivos de diseño.

El formato de mensajes en el canal de control (CCH) es enviado en ambas direcciones en una ranura de tiempo de 80 ms con una totalidad de 192 bits, tal como se muestra en la figura II.5. El formato de mensajes de la E.B a la unidad móvil contiene 16 bits iniciales y 16 bits para la sincronización de trama, bits de información (64) y de redundancia para control de errores(64); el campo de acceso al control de información (ACI) contiene 32 bits. La totalidad de los bits anteriores son organizados en 8 palabras de código de 16 bits cada una. - Una secuencia puntual (101010..) es utilizada para bits de sincronía.

El formato de mensajes de la unidad móvil a la E.B contiene un periodo de 16 bits que permiten el fácil llaveo de la portadora, 32 bits de secuencia puntual para la sincronización, 16 bits de sincronización de trama y 128 bits de información codificada dividida en 8 palabras de código de 32 bits cada una; tal como se indica en la fig. II.5 (b). La palabra de código tanto en los mensajes de la E.B - Móvil y del Móvil- E.B es entremezclada en orden para aleatorizar los errores debido a las ráfagas de información.

Un campo de mensaje para el acceso de control es intercambiado entre la E.B y la unidad móvil.- las unidades móviles que solicitan respuesta en la trama de la E.B - Móvil responden con un formato de mensajes mostrado en la figura II.5(c).

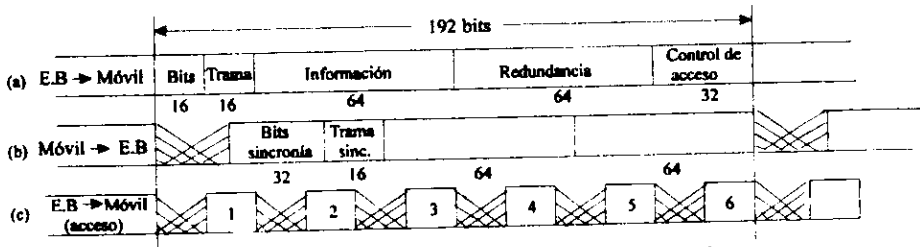


Fig. II.5 Formato de mensajes sobre el canal de control.

Un espacio de guarda de 16 bits es dejado entre el mensaje provisto por diferentes unidades móviles.- Este espacio es necesario para acomodar los diferentes retardos de propagación debido a la distinta ubicación de la unidad móvil dentro de la celda. El mensaje de la E.B a la unidad móvil es continuamente enviado; y cada móvil activo dentro de la celda es sincronizado para recibir esta trama de mensaje.

II.1.6 EL SISTEMA C-450 (EL SISTEMA RADIOTELEFÓNICO CELULAR DE ALEMANIA).

El sistema C-450 es el tercer sistema de radiotelefonía pública en Alemania, este sistema opera en la banda de los 450 MHz, diseñado por la compañía SIEMENS para conocer el término medio de la demanda del servicio hasta que un sistema digital en la banda de los 900 MHz llegara a operar en toda Europa. La configuración de la red de radiotelefonía C-450 con sus interconexiones con la red telefónica DDD es mostrada en la figura II.6

La interconexión entre el centro de conmutación móvil y la estación base es mediante la utilización de la señalización por canal común SS# 7 (CCITT). Alrededor del 30% de todos los canales de radio y el 40% de todos los canales de tráfico son concentrados en el 7% de todas las radioceldas.

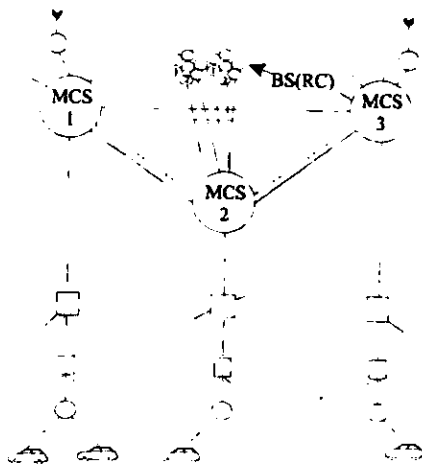


Fig. II.6 Estructura de la red C-450 y sus interconexiones con la red telefónica DDD, MSC (Centro de conmutación móvil), RC (radio - celdas), EB (Estación Base).

Durante la conversación, un mensaje de datos de supervisión de 184 bits es continuamente intercambiado entre la E.B y el usuario. Esto se lleva a cabo por medio de la inserción de 4 bits de supervisión cada 12.5 mseg por la compresión de la conversación.

El intervalo de estos bits es de 1.136 mseg de duración y representa alrededor del 9.1 % de una ranura de conversación de 12.5 mseg: Durante este intervalo (1.136 mseg.) la calidad de la conversación es revisada, y si se considera necesario el usuario puede ser transferido a otro canal de la misma celda o alguna otra celda. El proceso de Handoff tiene una duración de 0.3 mseg y es inaudible.

En el lado receptor, la conversación es descomprimida y los datos sobre el canal de voz presentan el siguiente formato:

Un espacio de guarda de 16 bits es dejado entre el mensaje provisto por diferentes unidades móviles. - Este espacio es necesario para acomodar los diferentes retardos de propagación debido a la distinta ubicación de la unidad móvil dentro de la celda. El mensaje de la E.B a la unidad móvil es continuamente enviado; y cada móvil activo dentro de la celda es sincronizado para recibir esta trama de mensaje.

II.1.6 EL SISTEMA C-450 (EL SISTEMA RADIOTELEFÓNICO CELULAR DE ALEMANIA).

El sistema C-450 es el tercer sistema de radiotelefonía pública en Alemania, este sistema opera en la banda de los 450 MHz, diseñado por la compañía SIEMENS para conocer el término medio de la demanda del servicio hasta que un sistema digital en la banda de los 900 MHz llegara a operar en toda Europa. La configuración de la red de radiotelefonía C-450 con sus interconexiones con la red telefónica DDD es mostrada en la figura II.6

La interconexión entre el centro de conmutación móvil y la estación base es mediante la utilización de la señalización por canal común SS# 7 (CCITT). Alrededor del 30% de todos los canales de radio y el 40% de todos los canales de tráfico son concentrados en el 7% de todas las radioceldas.

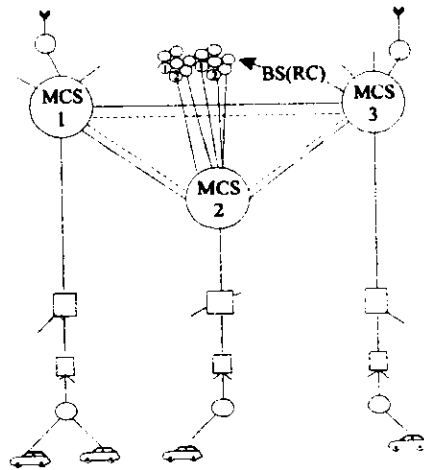


Fig. II.6 Estructura de la red C-450 y sus interconexiones con la red telefónica DDD, MSC (Centro de conmutación móvil), RC (radio - celdas), EB (Estación Base).

Durante la conversación, un mensaje de datos de supervisión de 184 bits es continuamente intercambiado entre la E.B y el usuario. Esto se lleva a cabo por medio de la inserción de 4 bits de supervisión cada 12.5 mseg por la compresión de la conversación.

El intervalo de estos bits es de 1.136 mseg de duración y representa alrededor del 9.1 % de una ranura de conversación de 12.5 mseg: Durante este intervalo (1.136 mseg.) la calidad de la conversación es revisada, y si se considera necesario el usuario puede ser transferido a otro canal de la misma celda o alguna otra celda. El proceso de Handoff tiene una duración de 0.3 mseg y es inaudible.

En el lado receptor, la conversación es descomprimida y los datos sobre el canal de voz presentan el siguiente formato:

II. II SITUACIÓN EN MÉXICO DE LOS SISTEMAS CELULARES.

INTRODUCCIÓN.

En nuestro país, el estado mantiene en todo momento el dominio sobre el espectro radioeléctrico⁽¹⁾, sin embargo, debido a los avances tecnológicos y de servicios que se han presentado en el campo de las telecomunicaciones, el estado se ha visto en la necesidad de otorgar algunas concesiones o permisos para la explotación de algunos servicios de telecomunicaciones⁽¹⁾ de nuevo desarrollo, tal es el caso de la telefonía móvil y de algunos sistemas de comunicación vía satélite.

Por ello, para garantizar la existencia de una sana competencia, la iniciativa de ley establece que los operadores de redes públicas deberán permitir la interconexión a otros operadores en condiciones equitativas y no discriminatorias. Para ello, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes elaborará los planes técnicos fundamentales de numeración, conmutación, señalización, transmisión, tarifación y sincronización, los cuales tendrán como objetivo permitir un amplio desarrollo de nuevos concesionarios y proteger los intereses del usuario final.

Además, se establece que los concesionarios de redes públicas de telecomunicaciones y empresas comerciales puedan fijar libremente sus tarifas, en términos que les permitan la prestación de los servicios en condiciones satisfactorias de calidad, competitividad, seguridad y permanencia. Las tarifas requerirán únicamente de ser registradas para consulta pública.

Es por lo anteriormente expuesto, que el Gobierno Federal en coordinación con la Secretaría de Comunicaciones y Transportes establecen una **Ley Federal de Telecomunicaciones** la cual proporciona los puntos básicos que deben de cumplir todas aquellas personas o empresas que requieran la concesión de algún servicio en particular. Entre los artículos más importantes de esta ley destacan (Para nuestro objetivo, enfocado al servicio de radiotelefonía móvil celular):

CAPITULO III

De las concesiones y permisos

Sección I

De las concesiones en general

ARTICULO 11. Se requiere concesión de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes para:

- I. Usar, aprovechar o explotar una banda de frecuencia en el territorio nacional, salvo el espectro de uso libre y el de uso oficial;
- II. Instalar, operar o explotar redes públicas de telecomunicaciones;
- III. Ocupar posiciones orbitales geostacionarias y órbitas satelitales asignadas al país y explotar sus respectivas bandas de frecuencia, y;
- IV. Explotar los derechos de emisión y recepción de señales de bandas de frecuencia asociadas a sistemas satelitales extranjeros que cubran y puedan prestar servicio en el territorio nacional

ARTICULO 12 Las concesiones a que se refiere esta Ley solo se otorgarán a personas físicas o morales de nacionalidad mexicana.

La participación de la inversión extranjera, en ningún caso podrá exceder del 49 por ciento, excepto en tratándose del servicio de telefonía celular. En este caso, se requerirá resolución favorable de la Comisión Nacional de Inversiones Extranjeras, para que la inversión extranjera participe en un porcentaje mayor.

(1) Consultar glosario de términos al final del capítulo

Sección II

De las concesiones sobre el espectro radioeléctrico

ARTICULO 14. Las concesiones sobre bandas de frecuencia del espectro para usos determinados se otorgarán mediante licitación pública. El Gobierno Federal tendrá derecho a recibir una contraprestación económica por el otorgamiento de la concesión correspondiente.

ARTICULO 16. Para llevar a cabo el procedimiento de licitación pública, la Secretaría publicará en el Diario Oficial de la Federación y en un periódico de la entidad o entidades federativas cuya zona geográfica sea cubierta por las bandas de frecuencia objeto de concesión, convocatoria para que cualquier interesado obtenga las bases correspondientes.

Las bases de licitación pública incluirán como mínimo:

- I. Los requisitos que deberán cumplir los interesados para participar en la licitación, entre los que se incluirán:
 - A. Los programas y compromisos de inversión, de cobertura y calidad de los servicios que se pretenden prestar;
 - B. El plan de negocios;
 - C. Las especificaciones técnicas de los proyectos, y;
 - D. Opinión favorable de la Comisión Federal de Competencia.
- II. Las bandas de frecuencia objeto de concesión, sus modalidades de uso y zonas geográficas en que pueden ser utilizadas;
- III. El periodo de vigencia de la concesión, y;
- IV. Los criterios para seleccionar al ganador.

ARTICULO 18. El título de concesión contendrá como mínimo lo siguiente:

- I. El nombre y domicilio del concesionario;
- II. Las bandas de frecuencias objeto de concesión, sus modalidades de uso y zonas geográficas en que pueden ser utilizadas;
- III. Los programas de inversión respectivas;
- IV. Los servicios que podrá prestar el concesionario;
- V. Las especificaciones técnicas del proyecto;
- VI. El periodo de vigencia;
- VII. Las contraprestaciones que, en su caso, deberán cubrirse por el otorgamiento de la concesión, y;
- VIII. Los demás derechos y obligaciones de los concesionarios.

Una vez otorgada la concesión, un extracto del título respectivo se publicará en el *Diario Oficial de la Federación* a costa del interesado.

Cuando la explotación de los servicios objeto de la concesión sobre el espectro radioeléctrico requiera de una concesión de red pública de telecomunicaciones, esta última se otorgará en el mismo acto administrativo.

CAPITULO IV

De la operación de servicios de telecomunicaciones.

Sección I

De la operación e interconexión de redes públicas de telecomunicaciones

ARTICULO 41. Los concesionarios de redes públicas deberán adoptar diseños de arquitectura abierta de red para permitir la interconexión e interoperabilidad de sus redes. A tal efecto, la Secretaría elaborará y administrará los planes técnicos fundamentales de numeración, conmutación, señalización, transmisión, tarificación y sincronización, entre otros, a los que deberán sujetarse los concesionarios de redes públicas de telecomunicaciones.

ARTICULO 43. En los convenios de interconexión, a los que se refiere el ART. 41, las partes deberán:

- I Identificar los puntos de conexión terminal de su red;
- II Permitir el acceso de manera desagregada a servicios, capacidad y funciones de sus redes sobre bases de tarifas no discriminatorias;
- III Llevar a cabo la interconexión en cualquier punto de conmutación u otros en que sea técnicamente factible;
- IV Prever que los equipos necesarios para la interconexión puedan ser proporcionados por cualquiera de los concesionarios y ubicarse en las instalaciones de cualquiera de ellos;
- V Establecer mecanismos para garantizar que exista adecuada capacidad y calidad para cursar el tráfico demandado entre ambas redes;
- VI Proporcionar toda la información necesaria que les permita identificar los números de origen y destino, así como a los usuarios que deben pagar por la llamada, la hora, y si hubo asistencia de operadora, etc.

NORMA OFICIAL MEXICANA (NOM-081-SCT1-1993) SISTEMAS DE RADIOTELEFONÍA CON TECNOLOGÍA CELULAR QUE OPERAN EN LA BANDA DE LOS 800 MHz.

La presente norma establece las reglas de carácter general que deben seguir los Sistemas de Radiotelefonía Móvil con Tecnología Celular que operan en la banda de los 800 MHz, para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos de transmisión y recepción, tanto fijos como móviles necesarios para proporcionar este servicio.

Para garantizar la compatibilidad, es esencial que se especifiquen tanto los parámetros de los sistemas de radio así como el procedimiento para el establecimiento de las llamadas. Dado que la tecnología celular ha sido de reciente creación aún existen mejoras que pueden surgir de las experiencias que se tengan en los sistemas comerciales, por lo que estas normas no son una limitación a la evolución natural de este servicio, por lo tanto será posible agregar modificaciones tanto en el área de procesamiento de la llamada, como en las nuevas características del sistema. Es importante que cualquier cambio pueda incluirse fácilmente en esta norma.

Las presentes normas se aplican solamente a los sistemas de radiotelefonía móvil con tecnología celular que operan en la banda de los 800 MHz, considerando la operación en forma analógica, así como en forma digital. Así como también se hace mención de los elementos normativos técnicos más comunes de los dispositivos asociados al sistema. Tal como se menciona a continuación.

II.II.1 ESTACIÓN MÓVIL.

II.II.1.1 TRANSMISOR.

II.II.1.1.1 PARAMETROS DE FRECUENCIA.

a) Designación y Espaciamiento de canales.

El ancho de banda entre canales debe de ser de 30 kHz y el canal de transmisión de la E.M (Estación Móvil) 825.030 MHz (y su correspondiente canal de transmisión de la estación base 870.030 MHz) debe ser definido como el canal número 1. Los canales de radiofrecuencia, se dividen en canales de sistema A y B, los cuales son canales básicos. Además de que el sistema utiliza algunos canales de radiofrecuencia para el sistema extendido (A', A'' y B', B'') los cuales son opcionales. En cada caso, la Marca de Clase de Estación (SCM) debe ser puesta apropiadamente. En total se trata de dar 832 canales de transmisión para la E.B (Estación Base) y los correspondientes 832 canales de transmisión de la E.M.; tal y como se muestra en la siguiente tabla:

Sistema	MHz	Número de canales	Frontera número de canal	Frecuencia central del transmisor en MHz	
				Móvil	Base
No usado		1	(990)	(824.010)	(869.010)
A''	1	33	991 1023	824.040 825.000	869.040 870.000
A	10	333	1 333	825.030 834.990	870.030 879.990
B	10	333	334 666	835.020 844.980	880.020 889.980
A'	1.5	50	667 716	845.010 846.480	890.010 891.480
B'	2.5	83	717 799	846.510 848.970	891.510 893.970

En dicha tabla, la frecuencia central (MHz) correspondiente al número del canal (expresado como N), se calcula de la siguiente forma:

Transmisor	Número del Canal	Frecuencia Central (MHz)
Estación Móvil	$1 < N < 799$	$0.03N + 825.000$
	$990 < N < 1023$	$0.03(N-1023) + 825.000$
Estación Base	$1 < N < 799$	$0.03N + 870.000$
	$990 < N < 1023$	$0.03(N-1023) + 870.000$

b) Tolerancia de Frecuencia.

La frecuencia portadora de la E.M. debe ser mantenida dentro de ± 2.5 partes por millón (PPM) de cualquier frecuencia de canal asignada, excepto durante la conmutación de canales. Esta tolerancia debe ser mantenida sobre un rango de temperatura ambiente de $-30^{\circ}C$ a $+60^{\circ}C$ y un rango de voltaje de la fuente de alimentación de $\pm 15\%$ del valor nominal acumulativo.

II.II.1.1.2 CARACTERÍSTICAS DE POTENCIA DE SALIDA.

a) Condiciones de *on/off* de la Portadora.

La condición de la portadora en *off* se define como una potencia de salida en el conector de la antena transmisora que no exceda los -60 dBm. Cuando sea conmutada a la condición de portadora en *on* en un canal de control hacia atrás, el transmisor de la E.M. debe llegar dentro de 3 dB a la potencia especificada de salida y a su estabilidad requerida dentro de 2 ms. A su vez, cuando sea comandado a la condición de portadora en *off*, la potencia de transmisión debe caer a un nivel que no exceda los -60 dBm dentro de 2 ms.

Cuando un transmisor este a más de 1kHz de su valor inicial o final durante una conmutación de canal, la portadora de transmisión debe ser inhibida a un nivel de potencia de salida no mayor que los -60 dBm.

b) Potencia de Salida y Control de Potencia.

La máxima potencia efectiva radiada con respecto a un dipolo de media onda (ERP) para cualquier clase de estación transmisora móvil es de 8 dB_w (6.3 Watts). La Potencia Radiada Aparente Nominal (PRA) para cada clase de estación transmisora móvil es:

Clase I	6 dB _w (4.0 Watts)
Clase II	2 dB _w (1.6 Watts)
Clase III	-2 dB _w (0.6 Watts)

Una estación transmisora móvil debe ser capaz de reducir la potencia en pasos de 4 dB bajo comando de una E.B. Los niveles nominales están dados en la tabla 1. Cada nivel de potencia, debe ser mantenido dentro del rango de + 2 dB y -4 dB de su nivel nominal sobre un rango de temperatura ambiente de -30 a 60° C, y sobre un rango de voltaje de la fuente de $\pm 10\%$ del valor nominal acumulativo.

Tabla 1. Niveles de Potencia Nominal de la Estación Móvil

Estacion Móvil Nivel de potencia (PL)	Código de atenuación móvil (MAC)	PRA Nominal (dB _w) para clase de potencia de la E.M		
		I	II	III
0	000	6	2	-2
1	001	2	2	-2
2	010	-2	-2	-2
3	011	-6	-6	-6
4	100	-10	-10	-10
5	101	-14	-14	-14
6	110	-18	-18	-18
7	111	-22	-22	-22

II.II.1.1.3 CARACTERÍSTICAS DE MODULACIÓN.

a) Señales de Voz.

El modulador F.M es precedido por las siguientes cuatro etapas de procesamiento de la voz.

1. Compresor.- Esta etapa debe incluir la porción del *Compresor Expansor* silábico de 2:1. Para cada 2 dB de entrada, 1 dB se debe de obtener a la salida. El compresor debe tener un tiempo inicial nominal de 3 ms. y un tiempo de recuperación de 13.5 ms. El nivel de entrada de referencia nominal al compresor es el que corresponde a un tono acústico de 1000 Hz al nivel del volumen de voz esperado nominal. Este nivel debe producir una desviación de frecuencia pico de ± 2.9 kHz de la portadora del transmisor.
2. Pre-énfasis.- Esta característica debe tener una respuesta nominal de ± 6 dB/ octava entre los 300 y 3000 Hz.
3. Limitador de desviación.- Para señales de voz aplicadas a las etapas de procesamiento en el transmisor, una E.M. debe limitar la desviación instantánea de frecuencia a ± 12 kHz. Este requerimiento excluye las señales de supervisión y las señales de datos de banda ancha.
4. Filtro post-limitador de desviación.- El limitador de desviación debe ser seguido por un filtro paso bajo, cuyas características de atenuación deben exceder:

Banda de frecuencia	Atenuación relativa a 1000 Hz
3.0 a 5.9 kHz	40 log (f/3000) dB
5.9 a 6.1 kHz	35 dB
6.1 a 15.0 kHz	40 log (f/3000) dB
sobre 15.0 kHz	28 dB

b) Señales de Datos de Banda Ancha.

La trama de datos de banda ancha del canal de control hacia atrás (RECC) y del canal de voz hacia atrás (RVC) debe de ser codificada para que cada "1" sin retorno a cero sea transformado en una transición **cero a uno**, y que cada "0" sin retorno a cero es transformado en una transición **uno a cero**. La trama de datos filtrada debe ser usada entonces para modular la portadora de transmisión empleando la técnica por corrimiento de frecuencia (FSK).

Un "1" dentro del modulador debe corresponder a una desviación de frecuencia pico nominal de 8 kHz sobre la frecuencia portadora y un "0" debe corresponder a una desviación de frecuencia pico nominal de 8 kHz debajo de la frecuencia portadora.

II.II.1.1.4 LIMITACIONES EN EMISIONES.

Estos parámetros están sujetos a los reglamentos impuestos por la S.C.T.

II.II.1.2 RECEPTOR.

II.II.1.2.1. PARÁMETROS DE FRECUENCIA.

La designación y espaciamiento de canales cumple con las mismas características especificadas en la parte del transmisor.

II.II.1.2.2 CARACTERÍSTICAS DE MODULACIÓN.

En cuanto a las características de las señales de voz, después del demodulador, se encuentran los siguientes pasos de procesamiento de la señal de voz.

De-énfasis. - La característica *de-énfasis* debe tener una respuesta nominal de -6 dB por octava entre los 300 y 3000 Hz.

Expansor. - Esta etapa debe incluir la porción del expansor de un *Compresor Expansor* silábico de 2:1 para cada cambio de 1dB en el nivel de entrada, el cambio en el nivel de salida es de 2 dB nominales. La expansión de la señal debe seguir a todos los otros procesos de demodulación de la señal. El nivel de entrada de referencia nominal al expansor es el correspondiente a un tono de 1000 Hz desde una portadora con una desviación de frecuencia pico de ± 2.9 kHz.

II.II.1.2.3 LIMITACIONES EN EMISIONES

II.II.1.2.3.1 Emisiones no esenciales conducidas

Se deben aplicar los reglamentos de la S.C.T.

II.II.1.3 SEGURIDAD E IDENTIFICACIÓN.

II.II.1.3.1 NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN DE LA ESTACIÓN MÓVIL.

Un número binario de identificación de la E.M. de 34 bits (MIN) se deriva del número telefónico de 10 dígitos de la E.M. por medio del siguiente procedimiento.

a) Los primeros tres dígitos están contenidos en 10 bits (correspondientes al MIN2p) por medio del siguiente algoritmo de codificación.

1. Representar el campo de 3 dígitos como D1D2D3 con el dígito 0 teniendo el valor de 10
2. Computar $100D1 + 10D2 + D3 - 111$
3. Convertir el resultado del paso 2. a un formato binario por medio de una conversión decimal - binario estándar, tal como se observa a continuación

Conversión decimal - binario.

Número Decimal	Número Binario
1	000000001
2	000000010
3	000000011
4	000000100
5	000000101
6	000000110
7	000000111
8	000001000
9	000001001
10	000001010
.	.
.	.
998	1111100110
999	1111100111

b) Los segundos tres dígitos están contenidos dentro de los 10 bits más significativos del MIN1p codificados mediante el algoritmo descrito en el inciso a).

c) Los últimos cuatro dígitos están contenidos dentro de los 14 bits menos significativos del MIN1p como sigue:

1. El dígito de miles debe estar contenido dentro de cuatro bits por una conversión binaria codificada decimal (BCD), tal como se indica a continuación:

Conversión Decimal - BCD

Dígito de Miles	Secuencia Binaria
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1001
0	1010

2. Los últimos tres dígitos están contenidos dentro de 10 bits codificados mediante el algoritmo descrito en a)

Por ejemplo: El siguiente número de 10 dígitos 321-456-7890 es codificado dentro del MIN2 y MIN1 utilizando el procedimiento descrito anteriormente.

MIN2. El MIN2 de 10 bits se deriva de los primeros tres dígitos del número telefónico (Por ej. 321)

- $D1 = 3, D2 = 2$ y $D3 = 1$.
- $100D1 + 10D2 + D3 - 111 = 100(3) + 10(2) + 1 - 111 = 210$.
- La conversión de decimal a binario es: $210 \Rightarrow 0011010010$

$\therefore \text{MIN2} = 0011010010$

MIN1. Los 10 bits más significativos del MIN1 se derivan de los segundos tres dígitos del número telefónico (Por ej. 456).

- $D1 = 4, D2 = 5$ y $D3 = 6$
- $100D1 + 10D2 + D3 - 111 = 100(4) + 10(5) + 6 - 111 = 345$
- La conversión de decimal a binario es: $345 \Rightarrow 0101011001$

Los siguientes cuatro bits más significativos del MIN1 se derivan del dígito de miles del número telefónico (Por ej. 7) por conversión BCD.

El 7 en un formato BCD es 0111

Los 10 bits menos significativos del MIN1 se derivan de los tres últimos dígitos del número telefónico (Por ej. 890)

- $D1 = 8, D2 = 9$ y $D3 = 0$
- $100D1 + 10D2 + D3 - 111 = 100(8) + 10(9) + (0) - 111 = 789$
- La conversión de decimal a binario es: $789 \Rightarrow 1100010101$

$\therefore \text{MIN1} = 0101\ 0110\ 0101\ 1111\ 0001\ 0101$

De tal manera que el número telefónico 321-456-7890 tiene la siguiente codificación

$321-456-7890 \Rightarrow 0011010010\ 0101\ 0110\ 0101\ 1111\ 0001\ 0101$
 $\leftarrow \text{MIN2} \rightarrow \quad \leftarrow \text{MIN1} \rightarrow$

II.II.1.3.2 NÚMERO DE SERIE.

El número de serie es un número binario de 32 bits que identifica únicamente a una estación móvil para cualquier sistema celular. Debe ser puesto de fábrica y no alterable. La distribución de los bits del número de serie (SN) debe ser como sigue:

Código de fabricante	Reservado	Número de serie	
31	24 23	18 17	0

El código del fabricante (MRF) ocupa los 8 dígitos más significativos (24-31) del número de serie de 32 bits. Los bits del 18-23 deben de ser reservados (inicialmente a cero), los bits del 0-17 son asignados únicamente por el fabricante.

II.II.1.3.3 MARCA DE CLASE DE LA ESTACIÓN MÓVIL (SCMP).

Esta debe ser guardada en una E.M. en la unidad de memoria permanente. La representación digital de esta marca se especifica a continuación:

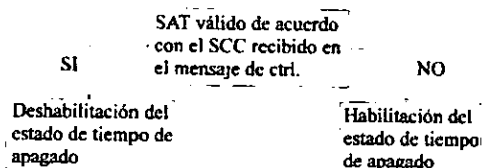
II.II.1.4.3 TRANSMISIÓN DEL SAT.

Esta incluye algunos tiempos de retardo en el transmisor, el receptor y algunos circuitos de equalización; los cuales son resumidos a continuación.

- La diferencia de fase del estado fijo entre el SAT y el transmisor a 5970, 6000 y 6030 Hz ⇒ Puede tener algunas variaciones de fase pero debe de mantenerse dentro de la banda de $\pm 10^\circ$
- Respuesta de paso de fase ⇒ Colocar en un rango de 10° la diferencia de fase del estado fijo final en 250 ms
- Índice de modulación del tono ⇒ $1/3$ de radianes $\pm 10\%$ ($f \pm 2$ kHz)

II.II.1.4.4 ESTADO DE TIEMPO DE DESVANECIMIENTO.

Cuando una determinación del SAT es aplicada, una E.M debe realizar el siguiente procedimiento:

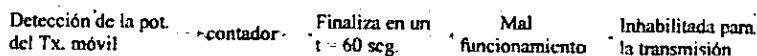


II.II.1.4.5 Tono de señalización(ST).- Este tono debe de ser de 10 kHz y producir una desviación de frecuencia nominal de ± 8 kHz.

II.II.1.5 DETECCIÓN DE UN MAL FUNCIONAMIENTO.

II.II.1.5.1 CONTADOR DE TIEMPO.

Un contador de tiempo, debe estar funcionando continuamente cada vez que la potencia se aplique al transmisor de la E.M. Si la E.M es de control por software, suficientes comandos de restablecimiento deben de ser entremezclados a través del programa lógico de la E.M para asegurar que el contador nunca finalice durante la propia secuencia de operaciones que está tomando lugar. Si el contador finaliza, entonces:



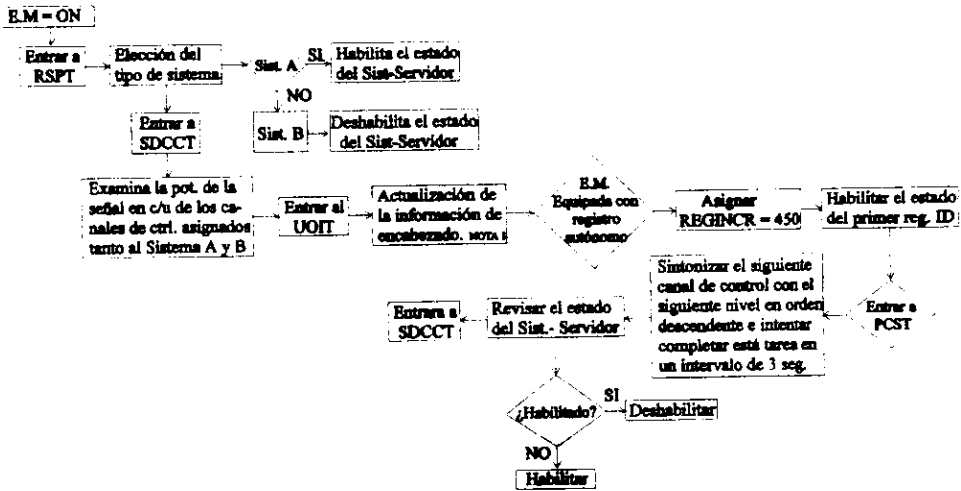
II.II.1.5.2 TRANSMISIÓN ERRÓNEA.

Un circuito de protección tiene que ser condicionado para minimizar la posibilidad de una operación errónea causada por la falla de algún componente dentro de la E.M.

II.II.1.6 PROCEDIMIENTO DE LA LLAMADA.

A continuación se describe la operación de la E.M, controlada por la E.B para el procedimiento del establecimiento de una llamada. Cuando se enciende la E.M, deberá seguirse la siguiente secuencia:

II.II.1.6.1 INICIALIZACIÓN.



Nota 1.- Los mensajes de encabezado se envían en un grupo llamado *tren de mensaje de encabezado*. La E.M. debe utilizar el valor que se da en el campo NAWC del mensaje de encabezado de los parámetros del sistema, para verificar que todos los mensajes del tren se han recibido. El campo END se debe de usar para hacer una *revisión cruzada*.

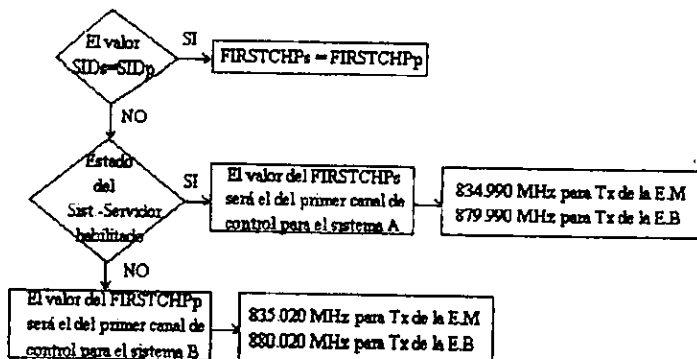
Para propósitos de la cuenta del NAWC, los mensajes de relleno de control, no se deben de contar como parte del tren de mensajes de encabezado. Si la E.M. recibe un código BCH, pero no puede reconocer el mensaje de encabezado que viene en el tren, la E.M debe contar ese mensaje como parte del tren, para propósito de la cuenta del NAWC, pero no debe intentar la ejecución del mensaje.

La E.M debe sintonizarse al canal de control con la señal más fuerte, y dentro de 3 seg., recibir un mensaje de parámetros del sistema y actualizar la siguiente información numérica

SIDs.- Poner el valor del campo SID1 en los 14 bits más significativos del SIDs. Poner en "1" el bit menos significativo del SIDs si el estado del Sistema-Servidor está habilitado; de otro modo, poner ese bit en "0".

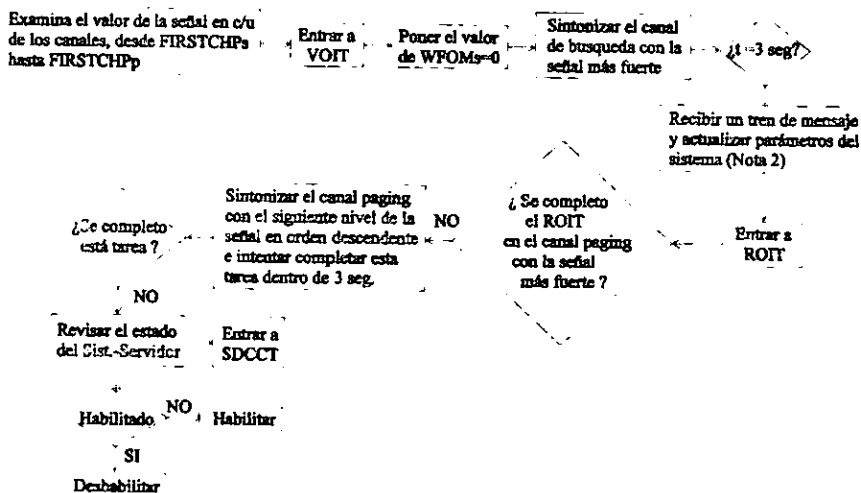
Ns.- El valor de Ns será igual a 1 + el valor del campo N-1

FIRSTCHPs.- El valor de este parámetro está de acuerdo con el siguiente algoritmo:



II.II.1.6.2 SELECCIÓN DE CANAL DE BÚSQUEDA.

Para tal efecto, la E.M lleva a cabo el siguiente algoritmo:



NOTA 2 - Los parámetros a actualizar son los siguientes.

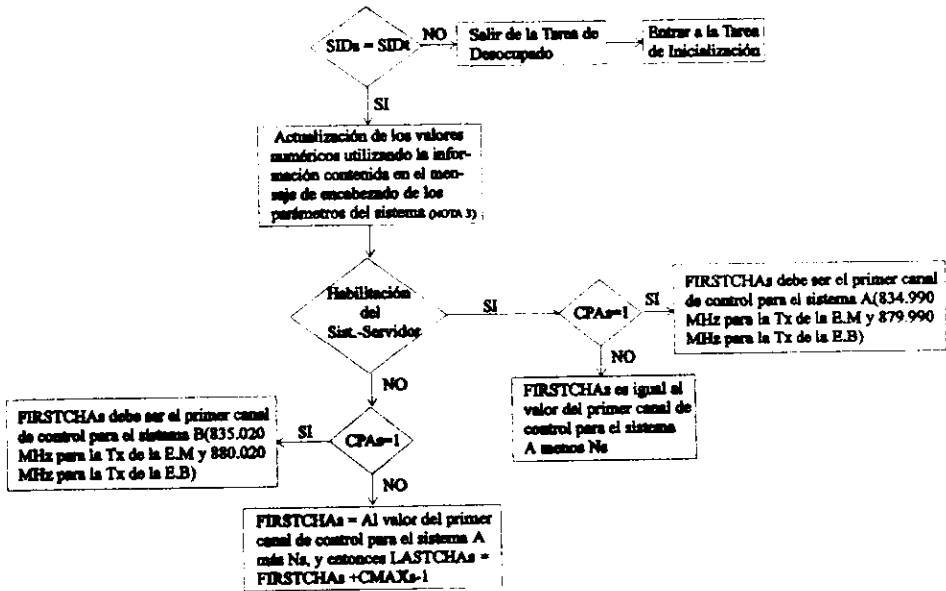
- SID Poner el valor del SID_i en los 14 bits más significativos del SID_t. Poner en "1" el bit menos significativo del SID_i si el estado del Sistema-Servidor está habilitado, de otro modo, poner ese bit en "0"
- Estado ROAM. La E.M debe comparar el SID_t que recibió, con el SID_s. Si SID_t = SID_s, la E.M debe comparar el SID_s con SID_p. Si SID_p = SID_s, la E.M debe deshabilitar el estado ROAM, en caso contrario, la E.M debe habilitar el estado ROAM. Si SID_t ≠ SID_s, la E.M debe entrar a la Tarea de Adquisición de Parámetros del Sistema (RSPT)
- Estado de Control Local Si esta opción está habilitada dentro de la E.M y los bits SID_p = SID_s, entonces se debe habilitar el estado de control local. De otro modo, se debe deshabilitar el estado de control local

II.II.1.6.3 DESOCUPADO.

Durante la tarea de desocupado (Idle Task), la E.M debe ejecutar cada una de las cuatro siguientes subtareas, al menos cada 46.3 mseg, que es la periodicidad de los bloques de palabra en el canal de control hacia adelante. Si la E.M no está escuchando un canal de control del sistema preferido debe salir de esta tarea y entrar a la Tarea de Adquisición de Parámetros del Sistema (RSPT).

II.II.1.6.3.1 Respuesta a la Información de Encabezado.

Siempre que una E.M recibe un tren de mensaje de encabezado, la E.M debe comparar el SIDs con el SIDt y realizar las siguientes operaciones:

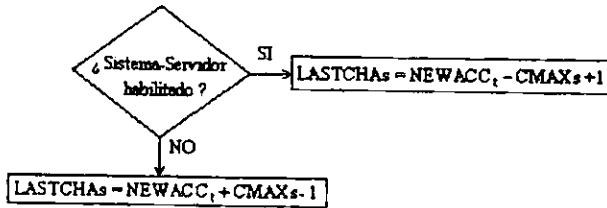


NOTA 3: Los parámetros a actualizar serán los siguientes:

- Bit Ss: Poner en Ss el valor del campo S
- Bit Rs: Si el estado roam está deshabilitado, poner el valor del campo REGH en Rs, en el caso contrario, hay que poner en Rs el valor del campo REGR.
- Bit Es: Poner en Es, el valor del campo E
- Bit DTxs: Poner en DTxs, el valor del campo DTX
- Número Ns: Poner en Na, el valor del campo N-1 más 1
- Bit RCFs: Poner en RCFs, el valor del campo RCF
- Bit CPAs: Poner en CPAs, el valor del campo CPAs
- Número CMAXs: Poner CMAXs, en 1 + el valor del campo CMAX -1
- Por último se deben de determinar los límites de los canales de control para acceder al sistema, para lo cual se debe de considerar el estado del sistema servidor, tal como se indica en el algoritmo.

Entonces la E.M debe responder como se indica, a cada uno de los mensajes siguientes, si se reciben en el tren de mensajes de encabezado. El orden en el cual, la E.M debe responder a los mensajes, si es que se reciben dos o más mensajes, es el siguiente:

1. Mensaje de control local: Si el estado de control local está habilitado, la E.M debe responder a los mensajes de control local.
2. Mensaje de nuevo canal de acceso: La E.M. debe:
 - a) Poner en FIRSTCHAs, el valor del campo NEWACC que viene en el mensaje.
 - b) Poner en LASTCHAs, el valor resultante del siguiente algoritmo:



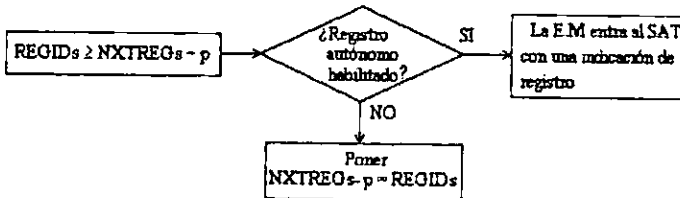
3. Mensaje de Incremento de registro: Si la E.M está equipada con registro autónomo, debe poner en REGINCRs el valor del campo REGINCR que viene en el mensaje.
4. Mensaje de Registro ID: Si la E.M está equipada con registro autónomo debe realizar lo siguiente:

- Poner en REGIDs el valor del campo REGID que viene en el mensaje y deshabilitar el estado ID de primer registro.
- Si SIDs = SIDs-p que está almacenado en la memoria de registro, la E M debe realizar el siguiente procedimiento

La E.M debe utilizar el siguiente algoritmo para revisar el NXTREGs-p asociado al SIDs-p para determinar si REGIDs ha pasado por cero:

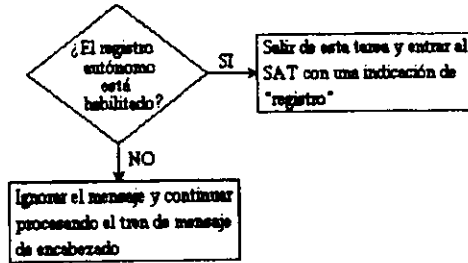
- Si $NXTREGs-p \geq REGIDs + REGINCR + 5$, entonces NTREGs-p debe reemplazarse por el valor de $NXTREGs-p - 2 \exp 20$ mayor que cero. En cualquier otro caso, no hay que cambiar el valor de NXTREGs-p.

Entonces, la E.M debe comparar REGIDs con el valor NXTREGs-p asociado con el SIDs-p de la siguiente manera:



En cualquier otro caso, la E.M debe ignorar el mensaje y continuar procesando los mensajes del tren de mensajes de encabezado.

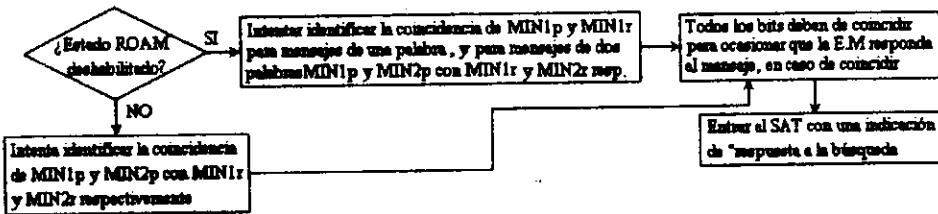
- Si el SIDs ≠ SIDs-p almacenado en la memoria de registro, la E.M. debe realizar el siguiente procedimiento



5. Mensaje de Rebusqueda: La E.M. debe salir inmediatamente de esta tarea y entrar a la tarea de inicialización.
6. Cualquier otro mensaje, debe ser ignorado.

II.II.1.6.3.2 Coincidencia de Búsqueda.

La E.M. debe monitorear los mensajes de control de la E.M para identificar mensajes de búsqueda y además debe comparar los siguientes estados:



II.II.1.6.3.3 Orden.

La E.M. debe monitorear los mensajes de control de la E.M para buscar órdenes y debe identificar la coincidencia de MIN1p y MIN2p con MIN1r y MIN2r respectivamente. Todos los bits de MIN1 deben coincidir para que la E.M responda a una orden. La respuesta a las siguientes ordenes son:

- Orden de inspección: La E.M. debe entrar a SAT con una "indicación de orden"
- Orden de control local: La acción que se tome, depende de la información en el campo de control local.
- Cualquier otra orden: Ignorar la orden.

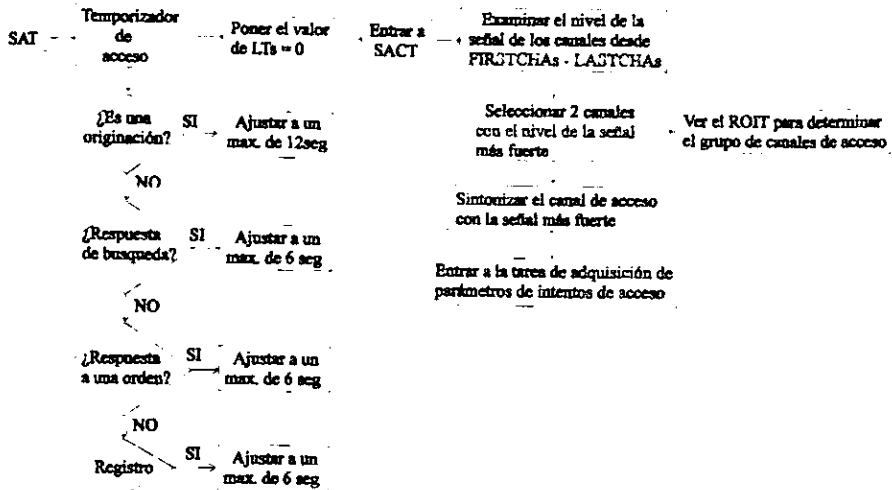
II.II.1.6.3.4 Inicio de llamada.

Cuando el usuario desea iniciar una llamada, se debe entrar al SAT con una indicación de originación.

II.II.1.6.4 ACCESO AL SISTEMA.

II.II.1.6.4.1 Ajuste de los Parámetros de Acceso.

Cuando se comienza la Tarea de acceso al sistema, el temporizador llamado *temporizador de acceso* se debe de ajustar de la siguiente manera:



II.II.1 6.4.2 Adquisición de los Parámetros de Intentos de Acceso.

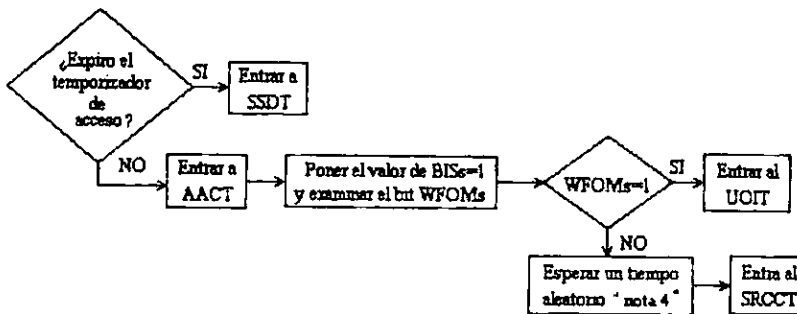
La E.M debe ajustar el valor del número máximo de intentos de captura permitidos (MACSZTRs) a un máximo de 10 y el número máximo de ocurrencias de ocupado (MAXBUSYs) a un máximo de 10. La E.M debe definir los siguientes estados:

- NBUSYsv = 0
- NSZTRsv = 0

La E.M debe examinar el bit RCFs

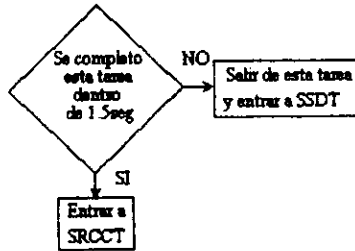
- Si RCFs = 0, la E.M., debe ajustar, dentro de los siguientes 400ms (+100, -0 mseg) el valor DCCs al valor del campo DCC del mensaje recibido y el valor Pls a cero.
- Si RCFs = 1, dentro de los 1000ms(+100,-0 ms) la E.M, debe leer un mensaje de relleno de control, ajustar DCCs y WFOMs a los valores de los campos de mensaje DCC y WFOM respectivamente, y poner en el valor de PLs el nivel de potencia dado por la tabla 1 para el valor del campo CMAC del mensaje y de la clase de potencia de la E.M

Si no se recibe el campo DCC o el mensaje de relleno de control, dentro del tiempo permitido, la E.M debe examinar el temporizador de acceso, y:



NOTA 4.- Cada vez que se espera un tiempo aleatorio, se debe generar un retardo aleatorio con el tiempo distribuido uniformemente en el intervalo de 0 a 92 ms \pm 1ms, y se cuantifica con un intervalo no mayor de 1ms.

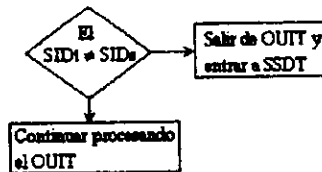
II.II.1.6.4.3 Actualización de la Información de Encabezado.



La E.M debe recibir un tren de mensaje de encabezado.

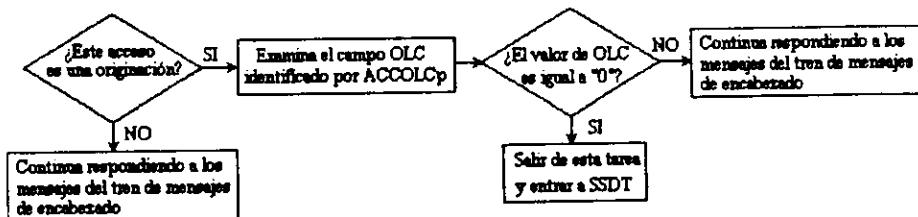
Si el acceso es un acceso de registro, la E.M debe realizar el siguiente proceso:

- Actualizar SIDr: Poner los 14 bits más significativos de SIDr, al valor del campo SIDl. Poner en "1" el bit menos significativo de SIDr si el estado del Sistema-Servidor está habilitado; en cualquier otro caso, poner el bit en "0".
- La E.M debe comparar el SIDr con el SIDl y tomar una de las siguientes decisiones:

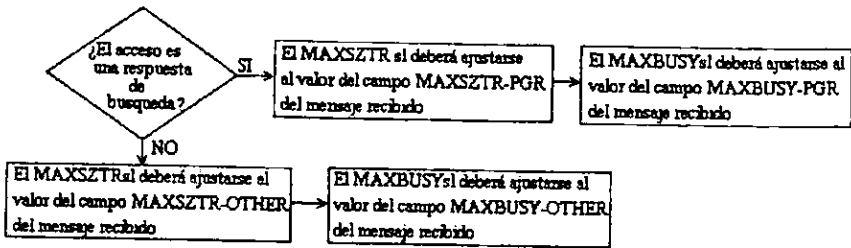


La E.M debe actuar como se indica a continuación, como respuesta a los siguientes mensajes de acción global, si es que estos se reciben en el tren de mensajes de encabezado:

- Mensaje de control de sobrecarga:



- Mensaje de parámetros de tipo de acceso: El bit BISa, debe ajustarse al valor del campo BIS del mensaje recibido.
- Mensaje de parámetros de intento de acceso:



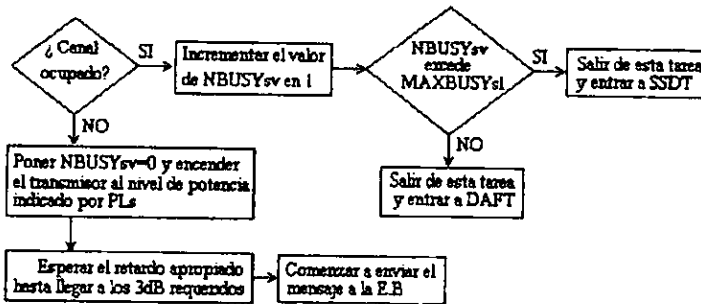
Si el acceso es un registro de acceso, la E.M debe responder como se indica, al mensaje de identificación de registro, si es que este se recibe en el tren de mensaje de encabezado:

- La E.M debe ajustar REGIDs al valor del campo REGID que viene en el mensaje.

NOTA Después de que se recibe y procesa el tren de mensajes de encabezado, la E.M debe esperar un tiempo aleatorio, este retardo aleatorio, se distribuye uniformemente en el intervalo de 0 a 750 ms, y se cuantifica, además debe tener intervalos no mayores de 1ms. Al final del retardo, la E.M debe entrar a la tarea de captura del canal de control hacia atrás.

II.II.1.6.4.4 Captura del Canal de Control hacia Atrás.

La E.M debe leer el estado del canal ocupado - desocupado y seguir el siguiente procedimiento:

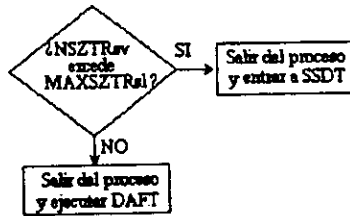


- Si BISs = 0, la E.M debe entrar a la SRT
- Si BISs = 1, la E.M debe monitorear continuamente el estado del canal ocupado/desocupado desde el momento en el que se empieza a enviar el mensaje.

-Si el canal se ocupa antes de que se envíen los primeros 56 bits del mensaje, la E.M debe suspender el envío del mensaje y apagar el transmisor.

-Si el canal no cambia a ocupado cuando la E.M ha enviado 104 bits, la E.M debe suspender el envío del mensaje y apagar el transmisor.

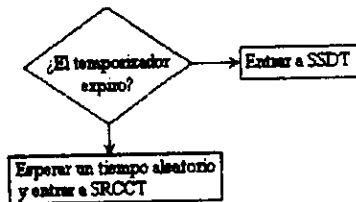
En cualquiera de los dos casos, la E.M debe incrementar en 1 la cuenta de las fallas de captura (NSZTRsv) y comparar el resultado con el número máximo de intentos de captura permitidos (MAXSZTRsi) de la siguiente forma:



NOTA: Si el estado de *ocupado/desocupado* cambia después de que se envían los 56 bits y antes de que se terminen de enviar 104 bits, la E.M debe entrar a la tarea de solicitud de servicio (Service Request Task).

II.II.1.6.4.5 Retardo después de Falla.

La E.M debe examinar el temporizador de acceso y tomar una decisión adecuada si:



Cada vez que la E.M entra a esta tarea, debe generar un tiempo aleatorio diferente distribuido uniformemente en el intervalo de 0 a 200 mseg. que si se cuantifica, el intervalo no debe ser mayor de 1ms.

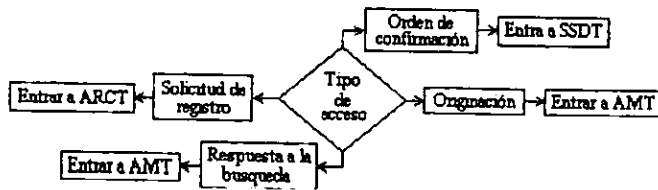
II.II.1.6.4.6 Solicitud de Servicio.

La E.M debe continuar enviando su mensaje a la E.B. La información que se debe enviar es la siguiente:

- Siempre se debe enviar la palabra A (WORD A)
- La palabra B se envía si:
 - $E_s = 1$ o
 - $LT_s = 1$, o
 - El estado ROAM está habilitado
 - El estado ROAM está deshabilitado y $EX_p = 1$, o
 - El acceso es una "confirmación de orden", o
 - El acceso es un "registro", o
 - La E.M fue buscada con un mensaje de control de E.M de dos palabras.
- Si $S_s = 1$, se debe enviar la palabra C (WORD C)
- Se debe enviar la palabra D (WORD D), si el acceso es una "originación"
- Si además de que el acceso es una "originación", se marcaron entre 9 y 16 dígitos, se debe enviar la palabra E (WORD E)

Cuando la E.M ha enviado el mensaje completo, debe continuar enviando una señal portadora sin modulación con una duración nominal de 25 mseg. y después apagar el transmisor.

La siguiente tarea a la que se debe entrar depende del tipo de acceso de la E.M.



II.II.1.6.4.7 Determinación del Sistema - Servidor.

Si el estado del Sistema-Servidor no corresponde al sistema preferido, la E.M debe entrar a la tarea de Adquisición de los Parámetros del Sistema. En cualquier otro caso, debe entrar a la Tarea de Selección de Canales de búsqueda.

II.II.1.6.4.8 Mensaje de Espera.

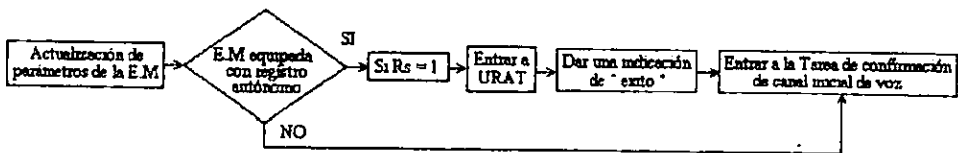
Si esta tarea no se completa en 5 segundos, la E.M debe entrar a SSDT.

La E.M debe monitorear los mensajes de control de la E.M. Si la E.M envió la palabra B como parte de la solicitud de servicio, entonces debe identificar la coincidencia de MIN1p y MIN2p con MIN1r y MIN2r respectivamente; en cualquier otro caso, la E.M solo debe identificar la coincidencia de MIN1p y MIN1r

Si coinciden todos los bits MIN, la E.M. debe responder a cualquiera de los siguientes mensajes, tal como se indica a continuación:

1º Si el acceso es una origenación o una respuesta a la búsqueda:

· Mensaje de designación de canal de voz:



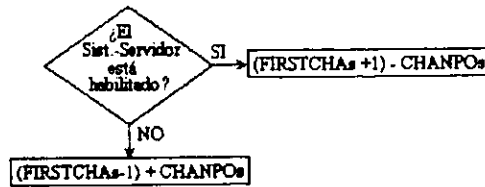
· Mensaje de Reintento - Dirigido

Si la E.M está equipada para llevar a cabo esta tarea, deberá responder a este mensaje de acuerdo con lo siguiente:

- Si la E.M encuentra el inicio de un nuevo mensaje antes de recibir las 4 palabras del mensaje de Reintento - Dirigido, deberá salir de esta tarea y entrar a SSDT
- La E.M deberá poner el valor de Lts, de acuerdo con el campo ORDQ del mensaje

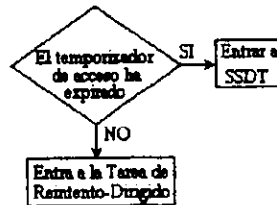
Si ORDQ = '000', poner Lts = 0
 Si ORDQ = '001', poner Lts = 1

Entonces la E.M debe limpiar CCLISTs y examinar cada uno de los campos en la palabra 3 y 4 del mensaje. Por cada CHANPOS ≠ 0, la E.M debe calcular el número del canal correspondiente, de acuerdo al siguiente algoritmo:



Entonces la E.M debe identificar cuando un número de canal está dentro del grupo de canales asignados al sistema celular y anotar el número de canal en CCLISTS.

Después de completar su respuesta al mensaje de reintento - dirigido, la E.M debe examinar el temporizador de acceso y elegir alguna de las siguientes opciones:



Si el acceso es una originación:

- Intercepción: La E.M debe entrar a SSDT
- Reorden: La E.M debe entrar a SSDT
- Liberación: La E.M debe entrar a SSDT

2º Si el acceso es una originación y el usuario termina la llamada durante la ejecución de esta tarea, el estado de terminación debe habilitarse de tal manera que el canal de voz sea liberado en lugar de un canal de control.

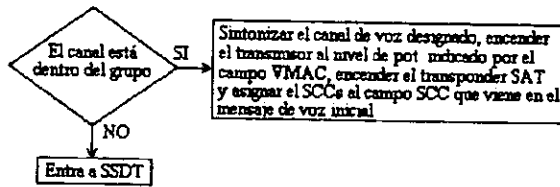
II.II.1.6.5 CONTROL DE LA ESTACIÓN MÓVIL EN EL CANAL DE VOZ.

II.II.1.6.5.1 Pérdida de Continuidad en el Enlace de Radio.

Cuando la E.M se sintoniza a un canal de voz, debe monitorear el estado de temporización de desvanecimiento (fade timing). Si el estado de temporización de desvanecimiento está habilitado, se debe arrancar el temporizador de desvanecimiento, en caso de que el temporizador este deshabilitado, el temporizador debe ponerse a cero. Si el temporizador llega a la cuenta de 5 segundos, la E.M. debe apagar su transmisor y entrar a la tarea de determinación del Sistema Servidor.

II.II.1.6.5.2 Confirmación del Canal Inicial de voz.

Dentro de los 100 mseg. después de haber recibido la designación del canal de voz inicial, la E.M debe determinar si el número de canal está dentro del grupo asignado al sistema celular y:

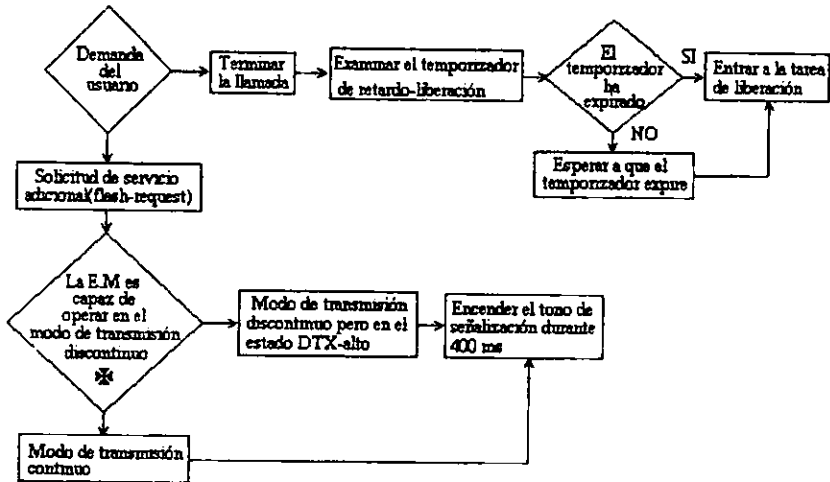


- Si este es un acceso de originación, la E.M debe entrar a la Tarea de conversación.
- Si este es un acceso de respuesta a búsqueda, la E.M debe entrar a la Tarea de Espera por Orden.

II.II.1.6.5.3 Conversación.

Cuando se entra a esta tarea, se debe de poner en 500ms. el temporizador de retardo - liberación. Si el estado de terminación está habilitado, la E.M debe deshabilitar el estado de terminación, esperar 500ms. y entrar a la tarea de liberación. La transmisión - discontinua se debe inhibir durante 1.5 segundos después de que la E.M entra en esta tarea (o sea que en al menos 1.5 segundos la E.M debe permanecer en el estado DTX-alto).

En el estado de conversación puede ocurrir lo siguiente:



Si la E.M es capaz de operar en el modo de Tx-discontinua y está en el estado DTX-bajo o en el estado de transición cuando ocurre la solicitud de servicio, la E.M debe entrar en el estado DTX-alto y esperar 200ms. Entonces se debe de encender el tono de señalización.

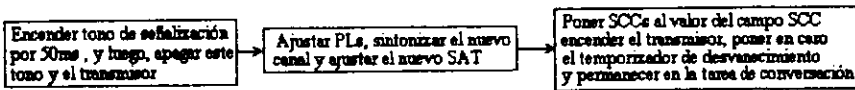
Si se recibe una orden válida cuando se esta procesando la solicitud de servicio adicional, esta solicitud debe terminar de atenderse inmediatamente y la orden debe ser procesada. Las solicitudes de servicio que se terminan de esta manera, no se consideran válidas.

Dentro de los 100ms. después de que se reciba cualquiera de las siguientes ordenes, la E.M debe comparar SCCs con el campo PSCC del mensaje recibido.

- Si SCCs \neq PSCC, la orden debe ignorarse.
- Si SCCs = PSCC, entonces la E.M debe ejecutar las siguientes acciones que a continuación se listan excepto por las ordenes de auditoria⁽¹⁾ que realiza una E.M cuando opera en modo de transmisión discontinua⁽²⁾.

Si la E.M es capaz de operar en el modo de transmisión - discontinua y esta en el estado DTX-bajo o en el estado de transición cuando se recibe la orden, la E.M debe entrar al estado DTX-alto y esperar 200 mseg. Entonces debe ejecutar las siguientes acciones:

Handoff :



Envío de dirección llamada:

- Si se recibe dentro de los 10 seg. siguientes a la terminación de la última solicitud válida de servicio adicional, enviar la dirección llamada hacia la Estación Base (E.B) y permanecer en la tarea de conversación.
- En cualquier otro caso, ignorar la orden y permanecer en la Tarea de Conversación.

Alerta: Encender el tono de señalización, esperar 500ms. y entrar a la Tarea de Espera por Respuesta

Mantenimiento: Encender el tono de señalización, esperar 500ms y entrar a la Tarea por Respuesta.

Cambio de potencia: Ajustar el transmisor al nivel de potencia indicado por el código de calificación de orden y enviar el mensaje de confirmación de orden a la E.B. Permanecer en la Tarea de Conversación.

Control Local: Si el estado de control local está habilitado y se recibe una orden de control local se debe examinar el campo de control local para determinar la acción y la confirmación que se deben llevar a cabo.

(1) Cuando se opera en el modo de transmisión discontinua, la E.M debe inhibir este tipo de transmisión durante 1.5 segundos, esto es, al menos durante 1.5 segundos la E.M debe permanecer en el estado DTX-alto.

(2) Cuando se recibe la orden de auditoria, la E.M capaz de operar en el modo de transmisión - discontinua debe inhibir este tipo de transmisión al menos durante 5 seg.

II.II.1.6.5.4 Liberación.

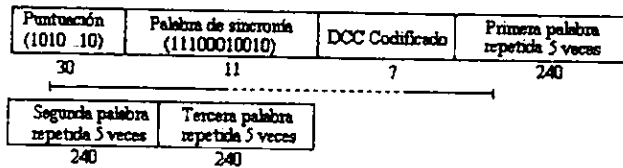
Sé prohíbe la transmisión - discontinua mientras la E.M esté en esta tarea. Si una E.M tiene la capacidad de operar en el modo de transmisión discontinuo, debe de permanecer en el estado DTX-alto. Cualquier E.M en el estado DTX-bajo, debe entrar inmediatamente al estado DTX-alto, esperar 200mseg. y ejecutar las siguientes acciones:

- Enviar un tono de señalización durante 1.8 segundos, en caso de estar enviando una solicitud de servicio adicional cuando se ha entrado en esta tarea, se debe continuar enviando el tono de señalización y asegurar que este tono no se enviara durante más de 1.8 segundos.
- Terminar el envío del tono de señalización.
- Apagar el transmisor.

II.11.1.7 FORMATOS DE SEÑALIZACIÓN.

II.11.1.7.1 CANAL DE CONTROL HACIA ATRÁS (RECC).

El canal de control hacia atrás es un flujo de datos de banda ancha que va de la E.M a la E.B(Estación Base). Este flujo de datos debe ser generado a 10 kbps \pm 1 bps de rango. El flujo de datos presenta el siguiente formato:



Los 7 bits codificados del DCC codificado se obtienen por la traslación del DCC recibido de acuerdo a la siguiente tabla:

DCC recibido	7 bits de DCC codificado
00	0000000
01	0011111
10	1100011
11	1111100

Cada palabra contiene 48 bits, incluyendo el de paridad, y es repetido 5 veces; esto entonces es referido como un *bloque de palabra*. Una palabra se forma al codificar 36 bits en un código BCH (48,36;5)

El primer bit de la izquierda(el primero en tiempo) debe ser designado como el bit más significativo; los 36 bits más significativos del campo de 48 bits, deben ser los bits a codificar.

II.11.1.7.1.1 Mensajes del RECC

Cada mensaje puede consistir de una a 5 palabras. Los tipos de mensajes que pueden ser transmitidos sobre el Canal de control Hacia Atrás son:

- Mensaje de Respuesta de Búsqueda
- Mensaje de Originación
- Mensaje de Confirmación de Orden
- Mensaje de Orden

Estos mensajes son construidos de acuerdo a la combinación de la siguientes 5 palabras:

Palabra A - Palabra de Dirección abreviada

F=1	NAWC	T	S	E	RSVD=0	SCM	MIN1 23-0	P
1	3	1	1	1	1	4	24	12

Palabra B - Palabra de Dirección Extendida

F=0	NAWC	LOCAL	ORDQ	ORDEN	LT	RSVD=00..0	MIN2 32-24	P
1	3	5	3	5	1	8	10	12

Palabra C - Palabra con Número de Serie

F=0	NAWC	SERIE	P
1	3	32	12

Palabra D - Primera Palabra de la Dirección llamada

F=0	NAWC	1er Dígito	2º Dígito	.....	3º Dígito	P
1	3	4	4		4	12

Palabra E - Segunda Palabra de la Dirección llamada

F=1	NAWC=000	9º Dígito	10º Dígito	.....	16º Dígito	P
1	3	4	4		4	12

Donde:

- F : Campo de indicación de la primera palabra.- En "1" la primera palabra y "0" las subsiguientes
- NAWC: Número de campo de entrada de palabras adicionales.
- S: Campo de envío del número de serie.- Poner a "1" si la palabra número de serie es enviada.
Poner a "0" si la palabra número de serie no es enviada.
- E: Campo de Dirección Extendido.- Si la palabra de dirección extendida es enviada, poner a "1"
Si la palabra de dirección extendida no es enviada, poner a "0"
- ORDEN: Es un campo que identifica el tipo de orden.
- ORDQ: Campo de calificador de orden.- Califica la confirmación de orden de una acción específica.
- LOCAL: Campo de control local.- Este campo es específico a cada sistema.
- SERIE: Campo que identifica el número de serie de la E.M
- P: Campo de paridad.
- DIGITO: Campo de dígito; estos están codificados de la siguiente manera:

Dígito	Código	Dígito	Código
1	0001	8	1000
2	0010	9	1001
3	0011	0	1010
4	0100	*	1011
5	0101	#	1100
6	0110	Nulo	0000
7	0111		

Las otras secuencias de 4 dígitos están reservadas, y no deben ser transmitidas.

La codificación de información de dirección de llamada dentro de las palabras de dirección de llamada está dadas de la siguiente forma:

Por ejemplo.- Si el número *24273258 es marcado, las palabras son:

Palabra D.- Primera Palabra de la Dirección llamada

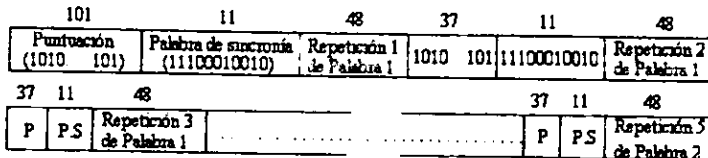
NOTA	1011	0010	0100	0010	0111	0011	0010	0101	P
------	------	------	------	------	------	------	------	------	---

Palabra E.- Segunda Palabra de la Dirección llamada

NOTA	1000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	P
------	------	------	------	------	------	------	------	------	---

II.II.1.7.2 CANAL DE VOZ HACIA ATRAS (RVC).

El RVC es una trama de datos de banda ancha enviada desde la E.M a la E.B.- Esta trama de datos debe ser generada a una velocidad de 10 kbps ± 1 bps. El formato de la trama de datos es el siguiente:



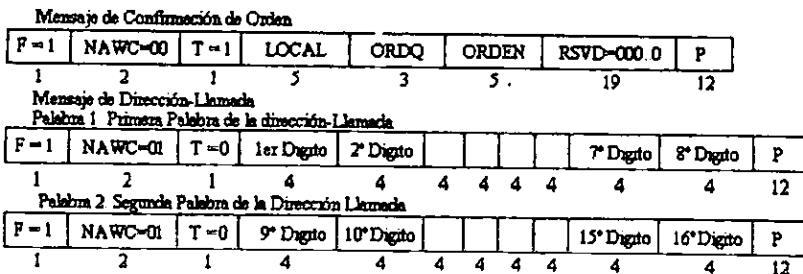
Una palabra es formada codificando los 36 bits contenidos dentro del código BCH (48,36;5). El bit más a la izquierda (es decir el primero) podrá ser designado el bit más significativo. Los 36 bits más significativos de los 48 bits del campo podrán ser los bits del contenido. Para un mensaje multipalabra, el segundo bloque de palabra es formado de igual forma que el primero.

II.II.1.7.2.1 Mensajes RVC

Cada mensaje de RVC puede consistir de una o dos palabras. Los tipos de mensaje a ser transmitidos en el canal de voz hacia atrás son:

- Mensaje de Confirmación de Orden.
- Mensaje de Dirección llamada

Los formatos de mensaje son los siguientes:



Donde:

- F : Campo de indicación de la primera palabra.- Poner a "1" la primera palabra y "0" en la segunda
- NAWC: Número de campo de entrada de palabras adicionales.
- ORDEN: Es un campo que identifica el tipo de orden.
- ORDQ: Campo de calificador de orden.- Califica la confirmación de orden de una acción específica.
- LOCAL: Campo de control local.- Este campo es específico a cada sistema.
- DIGITO: Campo de dígito, se codifican de la misma manera que en el RECC.
- P Campo de paridad.

II.II.2 ESTACIÓN BASE (E.B).

II.II.2.1 TRANSMISOR.

II.II.2.1.1 PARÁMETROS DE FRECUENCIA.

El espaciamiento entre canales (ancho de banda) deberá ser de 30 kHz; y el canal de transmisión de la E.B a 870.030 MHz (el correspondiente canal de transmisión de la E.M a 825.030 MHz) deberá asignarse como canal número 1.

La frecuencia portadora de la E.B. debe mantenerse dentro de +1.5 partes por millón (PPM) de cualquier frecuencia de canal asignada.

II.II.2.1.2 CARACTERÍSTICAS DE POTENCIA DE SALIDA.

La máxima Potencia Radiada Aparente(PRA) y la altura de la antena por encima del promedio del terreno (HAAT), debe coordinarse localmente sobre una base de mediciones de campo realizadas en forma continua.

II.II.2.1.3 CARACTERÍSTICAS DE MODULACIÓN.

II.II.2.1.3.1 Señales de voz.

El modulador de F.M es precedido por las siguientes cuatro etapas de procesamiento de voz:

1. Compresor.- Se ajusta a los mismos requerimientos que para la E.M., además de estar estandarizado de acuerdo con la norma G.162 del CCITT (Para mayor información, consultar el Anexo B).
2. Pre-énfasis.- Esta característica debe tener una respuesta nominal de $\pm 6\text{dB}/\text{octava}$ entre los 300 y 3000 Hz.
3. Limitador de desviación.- La E.B. debe limitar la desviación de frecuencia instantánea a $\pm 12\text{ kHz}$. Este requerimiento excluye las señales de supervisión y las señales de datos de banda ancha.
4. Filtro Limitador de Post - Desviación.- El limitador de desviación debe estar seguido de un filtro Paso-bajos cuyas características de atenuación de la señal de voz deben exceder los siguientes valores dependiendo de la frecuencia de operación.

Banda de frecuencia	Atenuación relativa a 1000 Hz
3000 - 15000 Hz	$40 \log (f/3000)$ dB
Arriba de 15000 Hz	28 dB

II.II.2.1.3.2 Señales de Datos de Banda Ancha.

La trama de datos de banda ancha del canal de control hacia adelante (FOCC) y del canal de voz hacia adelante (FVC) debe de ser codificada para que cada "1" sin retorno a cero sea transformado en una transición **cero a uno**, y que cada "0" sin retorno a cero es transformado en una transición **uno a cero**.

Un "1" dentro del modulador debe corresponder a una desviación de frecuencia pico nominal de 8 kHz arriba de la frecuencia portadora y un "0" debe corresponder a una desviación de frecuencia pico nominal de 8 kHz debajo de la frecuencia portadora.

II.II.2.1.4 LIMITACIONES EN EMISIONES.

a) Ancho de banda ocupado.- Los productos de modulación no deben exceder los siguientes valores:

Productos de modulación fuera de la región de la portadora	Nivel de potencia que no se debe de exceder
± 20 kHz	26 dB debajo de la portadora sin modular
± 45 kHz	45 dB debajo de la portadora sin modular
± 90 kHz	60 ó $43+10 \log_{10}$ dB debajo de la portadora sin modular

b) Emisiones no esenciales conducidas.

Deben aplicarse los reglamentos actuales emitidos por el Unión Internacional de Radiocomunicaciones en los libros naranja que para el efecto se establecen.

c) Intermodulación.

Los productos radiados de los transmisores instalados en la misma E.B no exceden las espurias y requerimientos de nivel de los armónicos de la S.C.T que se aplicarían a cualquiera de los transmisores operados individualmente.

II.II.2.2 RECEPTOR.

II.II.2.2.1 PARÁMETROS DE FRECUENCIA.

El espaciamiento entre canales (ancho de banda) deberá ser de 30 kHz, y el canal de recepción de la E.B a 825.030 MHz (y el correspondiente canal de recepción de la E.M a 870.030 MHz) se denominará canal 1.

II.II.2.2.2 CARACTERÍSTICAS DE DEMODULACIÓN.

a) Señales de voz.

El demodulador es seguido de las siguientes dos etapas de procesamiento de señales de voz.

De-énfasis.- La característica de-énfasis debe tener una respuesta nominal de -6 dB por octava entre los 300 y 3000 Hz.

Expansor.- Esta característica debe de ajustarse a los parámetros de la Recomendación G.162 CCITT.

b) Otros parámetros del receptor.

El funcionamiento del sistema está basado en los receptores que cumplan los estándares mínimos recomendados para la E.B de telefonía celular para 800 MHz (E1A 15-20).

II.II.2.3 SEGURIDAD E IDENTIFICACIÓN.

Reservado única y exclusivamente para las Administraciones que han obtenido permiso para la explotación del servicio celular, tales como Grupo IUSACELL, TELCEL O QUALCOMM COMPANY.

II.II.2.4 INSPECCIÓN.

La inspección y detección del Tono de Supervisión de Audio, se consideran parámetros reservados única y exclusivamente de las administraciones correspondientes

II.II.2.4.1 TRANSMISIÓN DEL SAT.

Mientras esté activo el transmisor de una E.B en un canal de voz, uno de los siguientes tonos debe modularse en la portadora con una desviación de frecuencia de ± 2 ó $\pm 10\%$

5970 Hz.
6000 Hz.
6030 Hz.

La tolerancia de frecuencia de un tono debe ser de ± 1 kHz.

II.II.2.5 PROCEDIMIENTO DE LLAMADA.

A continuación se describe la operación de la E.B para controlar la E.M, así como los mensajes que fluyen entre la E.B y la E.M para el control de los procedimientos de llamada.

II.II.2.5.1 FUNCIONES DE ENCABEZADO PARA LA INICIALIZACIÓN DE ESTACIONES MÓVILES.

Para el control de las estaciones móviles al ejecutar las tareas de inicialización, la siguiente información debe mandarse en el tren de mensajes de encabezado.

- Primera parte de la identificación de sistema (SID1).
- Número de canales de búsqueda.

II.II.2.5.2 CONTROL DE LA E.M EN EL CANAL DE CONTROL.

II.II.2.5.2.1 Información de Encabezado.

Para controlar a la E.M monitoreando un canal de control, el siguiente encabezado deberá mandarse en el mensaje de encabezado de parámetros del sistema: ¿EXISTE?

- Primera parte de la identificación del sistema (SID1).
- Número de serie (S):
S = 1 Cuando se requiere que todas las E.M manden su número de serie durante el acceso al sistema.
S = 0 En caso contrario.
- Registro (REGH, REGR).

- Mensaje de respuesta al voceo. Enviar una de las siguientes ordenes:
 - Designación de canal de voz inicial
 - Reintento direccionado
 - Liberación.
- Mensaje de orden. Enviar una de las siguientes ordenes:
 - Confirmación de orden.
 - Liberación.

II.II.2.5.4 CONTROL DE E.M EN EL CANAL DE VOZ.

Cuando la E.M está transmitiendo en un canal de voz, cambios en el estado del SAT y del ST se utilizan para señalar la ocurrencia de ciertos eventos durante el progreso de una llamada. Estos eventos incluyen órdenes de confirmación, envío de una petición de liberación, envío de una solicitud de servicio adicional, y pérdida de continuidad de enlace de radio.

La E.M señalará estos eventos cambiando en una manera prescrita el estado del SAT y ST, abreviado como (SAT y ST), donde el SAT y ST tienen valor de '0' cuando no están presentes y '1' cuando están presentes. Estos cambios de estado deben ser detectados por la E.B e interpretados dentro del contexto de la tarea en la que se encuentra la E.B como un mensaje que identifica el evento señalado por la E.M. En las siguientes secciones el estado (0,1) deberá siempre ser tratado como el estado (0,0).

II.II.2.5.4.1 Pérdida de Continuidad de Enlace de Radio.

Reservado para las Administraciones correspondientes.

II.II.2.5.4.2 Confirmación de canal de voz Inicial.

La confirmación de que una E.M ha sido sintonizada a su canal de voz designado, será recibida por la E.B como un cambio en el estado de SAT, ST de (0,0) a (1,0). Si la confirmación no es recibida, la E.B debe reenviar el mensaje o apagar el transmisor de canal de voz.

En la confirmación siguiente, si la E.M fue buscada, la E.M debe introducir la espera de la tarea de orden; de otra manera, la E.B debe introducir la tarea de conversación.

II.II.2.5.4.3 Alertando.

a) En espera de orden.- Cuando la E.M confirma la designación de canal de voz inicial después de haber sido buscada, introduce su tarea. Las siguientes ordenes pueden ser enviadas a la E.M, con la confirmación resultante y una acción a tomar como sigue:

- Handoff La E.M confirma la orden por un cambio en el estado del SAT, ST de (1, 0) a (1, 1), con el estado (1, 1) sostenido por 50ms. La E.B debe permanecer en espera de tarea de orden.
- Alerta La E.M confirma la orden por un cambio en el estado del SAT, ST de (1, 0) a (1, 1). La E.B debe entonces introducir la espera de tarea de respuesta.
- Liberación La E.M confirma la orden por un cambio en el estado del SAT, ST de (1, 0) a (1, 1) con el estado (1, 1) sostenido por 1.8 seg. La E.B debe entonces apagar el transmisor.
- Inspección La E.M confirma la orden por un mensaje digital. La E.B debe permanecer en espera de una tarea de orden.
- Mantenimiento La E.M confirma la orden por un cambio en el estado del SAT, ST de (1, 0) a (1, 1). La E.B debe entonces introducir la espera de tarea de respuesta.
- Cambio de potencia La E.M confirma la orden por un mensaje digital. La E.B debe permanecer en espera de una tarea de orden.
- Control local La confirmación y la acción dependen del mensaje.

b) En espera de respuesta.- Cuando esta tarea se introduce, debe fijarse un temporizador de alerta. Las siguientes ordenes pueden ser enviadas con la confirmación y acción a tomar como sigue:

- Handoff La E.M confirma la orden cambiando el estado del SAT, ST de (1, 1) a (1, 0) por 500ms. seguido de un cambio en el estado de (1, 0) a (1, 1) con el estado (1, 1) sostenido por 50ms en el canal anterior. Luego un estado (1, 1) es enviado en el canal nuevo. La E.B debe permanecer en espera de una tarea de respuesta.
- Alerta No hay confirmación recibida. La E.B debe inicializar la alerta de tiempo y permanecer en espera de tarea de respuesta.
- Liberación La E.M confirma la orden por un cambio en el estado del SAT, ST de (1, 1) a (1, 0) por 500 ms seguidos de un cambio de estado de (1, 0) a (1, 1) con el estado (1, 1) sostenido por 1.8 seg. La E.B debe entonces apagar el transmisor.
- Inspección La E.M confirma la orden por un mensaje digital. La E.B debe permanecer en espera de tarea de respuesta.
- Cambio de potencia La E.M confirma la orden por un mensaje digital. La E.B debe permanecer en espera de tarea de respuesta.

La E.M señala una respuesta por un cambio en el estado SAT, ST de (1, 1) a (1, 0). La E.B debe entonces introducir la tarea de conversación.

II.II.2.5.4.4 Conversación.

Mientras que la E.B está en la tarea de conversación, las órdenes siguientes pueden ser enviadas a la E.M, con confirmación y acción a ser tomadas como sigue:

- Handoff La E.M confirma la orden por un cambio en el estado SAT, ST de (1, 0) a (1, 1) con el estado (1,1) sostenido por 50ms, la E.B debe permanecer en la tarea de conversación.
- Envío de dirección llamada La E.M confirma la orden por un mensaje digital con la información de dirección llamada, la acción a ser tomada dependerá de la información dirección llamada.
- Alerta La E.M confirma la orden por un cambio en el estado SAT, ST de (1, 0) a (1, 1). La E.B debe entonces introducir la espera de tarea de respuesta.
- Liberación La E.M confirma la orden por un cambio en el estado SAT, ST de (1, 0) a (1, 1) con el estado (1, 1) sostenido por 1.8 seg. La E.B debe entonces apagar el transmisor.
- Cambio de potencia La E.M confirma la orden por un mensaje digital. La E.B debe permanecer en la tarea de conversación.
- Control local La confirmación y acción dependen del mensaje, además, los siguientes mensajes pueden ser recibidos autónomamente desde la E.M
 - Solicitud de Servicio Adicional: La E.M señala una solicitud urgente por un cambio en el SAT, ST de (1, 0) a (1, 1) con el estado (1, 1) sostenido por 400 ms seguido de un transición al estado (1, 0)
 - Liberación: La E.M señala una liberación por un cambio SAT, ST de (1, 0) a (1, 1) sostenido por 1.8 seg. La E.B debe apagar el transmisor.

II.II.2.6 FORMATOS DE SEÑALIZACIÓN.

En los formatos utilizados entre las estaciones móviles y estaciones base, algunos bits son marcados como reservados (RSVD) y deben de fijarse a cero. Todas las estaciones móviles y estaciones base deben ignorar el estado de estos bits que son programados para ser tratados como bits reservados en todos los mensajes que reciben.

II.II.2.6.1 CANAL DE CONTROL HACIA ADELANTE.

El canal de control hacia adelante(FOCC) es un flujo de datos continuos de banda ancha enviado de la E.B. a la E.M. Este flujo de datos debe generarse a una razón de 10 kbps (± 1 bps).

Cada FOCC, consiste de tres flujos discretos de información llamados flujo A, flujo B y flujo ocupado/desocupado, que son multiplexados en tiempo. Los mensajes a las estaciones móviles, con el bit menos significativo de su MIN igual a '0' son enviados en el flujo A, y aquellos con el bit menos significativo del MIN igual a '1' son enviados en el flujo B.

El flujo ocupado/desocupado contiene bits que son utilizados para indicar el estado actual del canal de control hacia atrás (RECC). El RECC está ocupado si el bit ocupado/desocupado esta en '0' y desocupado si el bit ocupado/desocupado es igual a '1'

Cada palabra contiene 40 bits, incluyendo paridad, y es repetida 5 veces. Así entonces se le refiere como bloque de palabra. Una palabra se forma codificando 28 bits de contenido en un código BCH (40,28;5). El bit más a la izquierda debe ser designado como el bit más significativo. Los 28 bits más significativos del campo de 40 bits deben ser los bits del contenido.

El polinomio generador para el código BCH (40,28;5) es:

$$gB(x) = x^{12} + x^{10} + x^8 + x^5 + x^4 + x^3 + x^0$$

Los tipos de mensaje a ser transmitidos sobre un FOCC son:

- Mensaje de control de E.M.
- Mensaje de encabezado.
- Mensaje de control de relleno.

Los mensajes de control de relleno pueden ser insertados entre mensajes y entre bloques de palabra de un mensaje *multi-palabra*.

II.II.2.6.1.1 Mensaje de Control de E.M.

Este mensaje puede consistir de una, dos, o cuatro palabras. Dicho mensaje debe de contener los siguientes campos de datos:

- T₁ T₂ - Campo de Tipo. Si sólo se envia la palabra 1, fijar a '00' la palabra 1 Si un mensaje de palabra múltiple es enviado, fijar a '01' en la palabra 1 y fijar a '10' en cada palabra adicional
- DCC - Campo de Código de Color Digital
- MIN1 y MIN2
- SCC - Campo de Código de Color SAT

Patrón de bit	Frecuencia SAT
00	5970 Hz
01	6000 Hz
10	6030 Hz
11	No es una designación

- ORDEN - Campo de orden. - Identifica el tipo de orden, tal y como se describe a continuación

Código de orden	Código de calificación de orden	Función
00000	000	Búsqueda (u origen)
00001	000	Alerta
00011	000	Liberación
00100	000	Reordenar
00110	000	Alerta de paro
00111	000	Auditar
01000	000	Mandar dirección llamada
01000	000	Interceptar
01010	000	Mantenimiento
01011	000	Cambiar potencia al nivel 1
01011	001	Cambiar potencia al nivel 2
01011	010	Cambiar potencia al nivel 3
01011	011	Cambiar potencia al nivel 4
01011	100	Cambiar potencia al nivel 5
01011	101	Cambiar potencia al nivel 6
01011	110	Cambiar potencia al nivel 7
01011	111	Reintento dirigido - no último intento
01100	000	Reintento dirigido - último intento
01100	001	Registro no autónomo - sin reconocimiento
01101	000	Registro no autónomo - sin reconocimiento
01101	001	Registro autónomo - sin reconocimiento
01101	010	Registro autónomo - sin reconocimiento
01101	011	Control local
11110	000	
Todos los demás códigos están reservados		

- LOCAL - Campo de Control Local.- Este campo es específico a cada sistema. El campo de orden debe ser puesto al control local para poder ser interpretado.
- VMAC - Campo de Código de Atenuación Móvil de voz.- Indica el nivel de potencia de la E.M asociado con el canal de voz designado.
- CHAN - Campo de número de canal.
- CHANPOS - Campo de posición de canal.- Indica la posición de un canal de control relativa al valor del FIRSTCHA.

II.II.2.6.1.2 Mensaje de Encabezado.

Un campo OHD de 3 bits es utilizado para identificar los tipos de mensajes de encabezado, los códigos de tipo de mensajes de encabezados se listan a continuación y están agrupados en las siguientes clases funcionales:

- Mensaje de encabezado de parámetros del sistema.
- Mensaje de encabezado de acción global.
- Mensaje de identificación de registro.
- Mensaje de control de relleno.

Código	Orden
000	Registro ID.
001	Control de llenado
010	Reservado
011	Reservado
100	Acción Global
101	Reservado
110	Palabra 1 del mensaje de parámetro del sistema
111	Palabra 2 del mensaje de parámetro del sistema

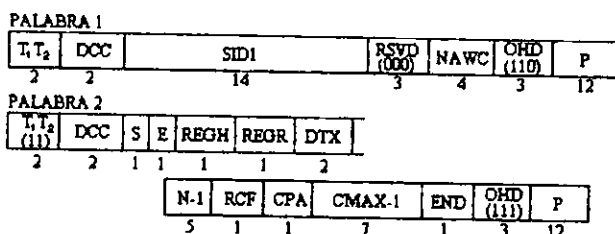
El primer mensaje del tren debe ser el mensaje de encabezado de parámetros del sistema. Los mensajes de acción global y/o mensajes de identificación de registro, deben ser añadidos al final del mensaje de encabezado de parámetros del sistema. El número total de palabras en un tren, es una más que el valor del campo NAWC contenido en la primera palabra del mensaje de encabezado de parámetros del sistema. La última palabra en el tren de mensajes de encabezado se identifica por un "1" en el campo FIN de esa palabra, el campo FIN en las demás palabras en el tren debe ser puesto a "0". Para propósitos de conteo del NAWC, los mensajes de control de relleno insertados no deben ser contados como parte del tren de mensajes de encabezado.

Los mensajes de acción global y el mensaje de identificación de registro son enviados cuando se requieren.

a) Mensajes de Encabezado de Parámetro de Sistema.

Consta de 2 palabras y debe ser enviado cada 0.8(±0.3) seg. en cada uno de los siguientes canales de control:

- Canales de control dedicados.
- FOCC de acceso de voceo combinado (Por ej. CPA = 1)
- FOCC de voceo separado (Ej CPA = 0)
- FOCC de acceso separado (Ej CPA = 0)
- Cuando el mensaje de control de relleno es enviado con el bit WFOM puesto a "1"



La interpretación de los campos de datos es como sigue.

- T₁T₂ Campo de tipo - Fijado a '11' indicando una palabra de encabezado.
- OHD: El campo OHD de la palabra 1 se fija a '110' indicando la primera palabra de mensaje de encabezado de parámetro de sistema. El campo OHD de la palabra 2 se fija a '111' indicando la segunda palabra del mensaje de encabezado de parámetro del sistema.
- NAWC Campo del número de palabras adicionales entrantes. En la palabra 1 este campo se fija al número total de palabras menos uno, en la trama de mensaje de encabezado.
- S Campo de número serial
- E Campo de dirección extendida
- REGH Campo de registro para estaciones locales
- REGR Campo de registro para estaciones visitantes
- RCF Campo de lectura de control de relleno
- CPA Campo de búsqueda/acceso combinado
- CMAX - 1 CMAX es el número de canales de acceso en el sistema
- FIN Fijado a '1' para indicar la última palabra del tren de mensaje de encabezado

b) Mensaje de Encabezado de Acción Global.

Este mensaje consta de una palabra. Cualquier número de mensaje de acción global puede ser anexado a un mensaje de encabezado de parámetros del sistema.- Los tipos de mensaje de acción global se listan a continuación:

Código de acción	Tipo
0000	Reservado.
0001	Canales de voceo de re-exploración.
0010	Incremento de registro.
0011	Reservado.
0100	Reservado.
0101	Reservado.
0110	Juego de canal de acceso nuevo.
0111	Reservado.
1000	Control de sobrecarga.
1001	Parámetros de tipo de acceso
1010	Parámetros de intento de acceso
1011	Reservado
1100	Reservado.

Los formatos para los comandos de acción global se muestran a continuación:

Mensaje de acción global de reexploración

T ₁ T ₂ (11)	DCC	ACT (0001)	RSVD=0000...0	FIN	OHD (100)	P
2	2	4	14	1	3	12

Mensaje de acción global de incremento de registro

T ₁ T ₂ (11)	DCC	ACT (0010)	RBOINCR	RSVD=0000	FIN	OHD (100)	P
2	2	4	12	4	1	3	12

Mensaje de acción global para fijar canales de nuevo acceso

T ₁ T ₂ (11)	DCC	ACT (0110)	NEWACC	RSVD=00000	FIN	OHD (100)	P
2	2	4	11	5	1	3	12

Mensaje de acción global de control de sobrecarga

T ₁ T ₂ (11)	DCC	ACT (1000)	OLC 0	OLC 1	OLC 2	OLC 3	OLC 4	.....	OLC 13	OLC 14	OLC 15	FIN	OHD (100)	P
2	2	4	1	1	1	1	1		1	1	1	1	3	12

Mensaje de acción global de parámetros de tipo de acceso

T ₁ T ₂ (11)	DCC	ACT (1001)	BIS	RSVD=000...0	FIN	OHD (100)	P
2	2	4	1	15	1	3	12

Mensaje de acción global de parámetros de intento de acceso

T ₁ T ₂ (11)	DCC	ACT (0001)	MAXBUSY -PGR	MAXSZ TR -PGR		MAXBUSY -OTHER	MAXSZ TR -OTHER	FIN	OHD (100)	P
2	2	4	4	4		4	4	1	3	12

Mensaje de control local 1

T ₁ T ₂ (11)	DCC	ACT (0001)	Control Local	FIN	OHD (100)	P
2	2	4	14	1	3	12

Mensaje de control local 2

T ₁ T ₂ (11)	DCC	ACT (0001)	Control Local	FIN	OHD (100)	P
2	2	4	14	1	3	12

Donde:

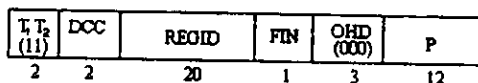
- T₁ T₂: Campo de Tipo, puesto a '11' indicando palabra de encabezado
- ACT: Campo de acción global
- BIS: Campo de estado ocupado-desocupado
- OHD: Fijado a '100' indicando el mensaje de acción global.
- REGINCR: Campo de incremento de registro
- NEWACC: Campo de punto de comienzo de canal de acceso nuevo
- MAXBUSY-PGR: Campo de ocurrencia de ocupación máxima (respuesta a la búsqueda)
- MAXBUSY-OTHER: Campo de ocurrencia de ocupación máxima (otros accesos).
- MAXSZ TR-PGR: Campo de intento de toma máximo (respuesta a la búsqueda)
- MAXSZ TR-OTHER: Campo de intento de toma máximo (otros accesos).

NOTA. La asignación de bits de control de sobrecarga recomendada es:

- Distribución uniforme asignada a abonados normales: OLC-0 a OLC-9
- Móviles prueba: OLC-10
- Móviles emergencia: OLC-11
- Reservado: OLC-12 hasta OLC-15

c) Mensaje de Identificación de Registro.

El mensaje ID de registro consta de una palabra. Cuando se envía el mensaje debe añadirse a un mensaje de encabezado de parámetros del sistema en adición a cualquier mensaje de acción global, su formato es el siguiente:

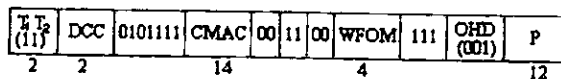


d) Mensaje de Control de Relleno.

El mensaje de control de relleno consiste en una palabra. Se envía cuando no hay otro mensaje a ser enviado en el canal de control hacia adelante. Puede insertarse entre mensajes así como entre bloques de palabra de un mensaje multipalabra.

El mensaje de control de relleno se escoge para que cuando se envíe la secuencia de sincronía de palabra de 11 bits no aparezcan en el flujo de mensaje, independientemente del estado del bit ocupado-desocupado.

Este tipo de mensajes son también utilizados para especificar un código de atenuación móvil de control (CMAC) para ser usado por las estaciones móviles que accedan al sistema, el canal de control hacia atrás y el bit WFOM indicando si las estaciones móviles deben o no leer un tren de encabezado antes de acceder al sistema. Este mensaje presenta el siguiente formato:

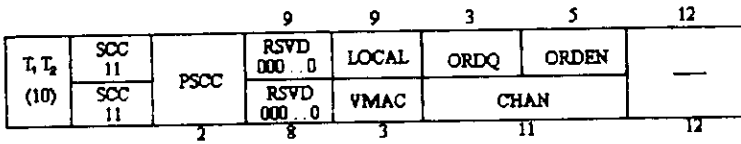


II.2.6.1.3 Flujo de Mensajes del Canal de voz hacia adelante (Base - Móvil).

Una secuencia de puntuación de 37 bits y una secuencia de sincronía de palabra de 11 bits son enviadas para permitir a las E.M lograr sincronización con los datos entrantes excepto a la primera repetición de la palabra,

donde se utiliza la secuencia de puntuación de 101 bits. Cada palabra contiene 40 bits y se repite 11 veces; dicha palabra se forma codificando los 28 bits de contenido en un código BCH (40,28;5). El bit más a la izquierda deberá ser designado como el bit más significativo. El polinomio generador es el mismo que se utiliza para el canal de control hacia delante.

El mensaje de control de estación móvil es el único mensaje transmitido sobre el canal de voz hacia adelante. El mensaje de control de la E.M consiste de una palabra, su formato es el siguiente:



donde:

VMAC: Campo de código de atenuación móvil de voz.- Indica el nivel de potencia de la E.M asociada con el canal de voz designado

CHAN: Campo de número de canal.- Indica el canal de voz asignado.

REQUERIMIENTOS PARA LA OPCIÓN DE 32 DÍGITOS DE MARCACIÓN.

La E.M debe continuamente enviar el mensaje a la E.B. La información que se debe de enviar es la siguiente (con el formato del RECC)

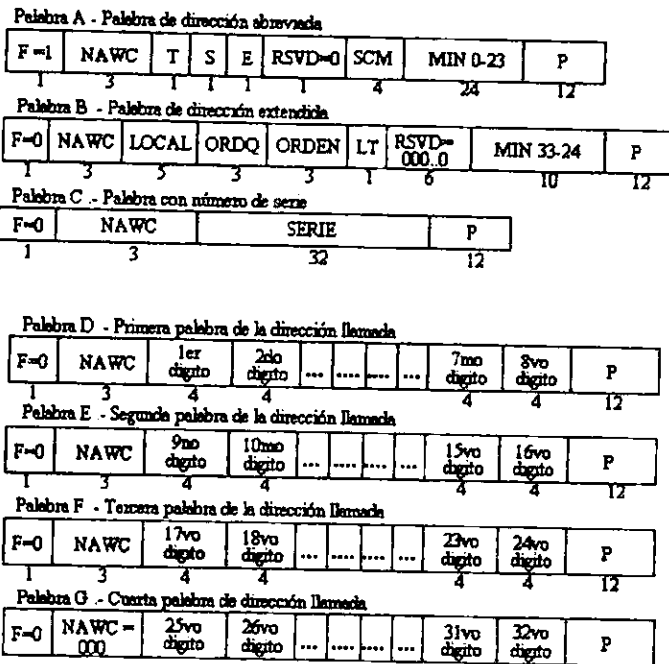
- La palabra A debe ser siempre enviada; si:
 - Es = 1, o
 - Lts = 1, o
 - El status del ROAM es habilitado, o
 - El status del ROAM es deshabilitado y Exp = 1, o
 - El acceso es una " confirmación de orden", ó
 - El acceso es un "registro", o
 - La E.M fue buscada con un mensaje de control de la E.M de dos palabras.
- La palabra B debe enviarse
Si Ss = 1.
- La palabra C debe enviarse
Si el acceso está en el origen
- La palabra D debe ser enviada.
Si el acceso es en el origen y de 9 a 16 dígitos fueron marcados.
- La palabra E debe ser enviada
Si el acceso es en el origen y de 17 a 24 dígitos fueron marcados.
- La palabra F deberá ser enviada
Si el acceso es en el origen y de 25 a 32 dígitos fueron marcados.
- La palabra G deberá ser enviada
Cuando la E.M ha enviado el mensaje completo, está debe continuar enviando una portadora no modulada por un tiempo de 25ms y después puede cambiar el transmisor a la condición de apagado.

a) Cambios opcionales en el formato del mensaje del RECC

Cada mensaje del RECC se compone de una a siete palabras. Los tipos a ser transmitidos sobre el canal de control hacia atrás son:

- Mensaje de respuesta de búsqueda.
- Mensaje de origen.
- Mensaje de confirmación de orden.
- Mensaje de orden.

Estos mensajes son resultado de combinaciones de las siguientes 7 palabras:



b) Cambios opcionales en el formato del mensaje RVC

Cada mensaje RVC puede componerse de una a cuatro palabras. Los tipos de mensajes a ser transmitidos por el RVC son:

- Mensaje de confirmación.
- Mensaje de llamada dirigida.

Los formatos son los siguientes:

Mensaje de confirmación de orden.

F=1	NAWC=00	T=1	LOCAL	ORDQ	ORDEN	RSVD=000	0	P
1	2	1	3	3	5	19		12

Mensaje de dirección llamada.

Palabra 1

F=0	NAWC	T=0	1er dígito	2do dígito	...	...	...	7mo dígito	8vo dígito	P
1	2	1	4	4				4	4	12

Palabra 2

F=0	NAWC	T=0	9no dígito	10mo dígito	...	...	...	15vo dígito	16vo dígito	P
1	2	1	4	4				4	4	12

Palabra 3

F=0	NAWC	T=0	1er dígito	2do dígito	...	...	...	7mo dígito	8vo dígito	P
1	2	1	4	4				4	4	12

Palabra 4

F=0	NAWC	T=0	1er dígito	2do dígito	...	...	...	7mo dígito	8vo dígito	P
1	2	1	4	4				4	4	12

II.II.3 GLOSARIO DE TÉRMINOS GENERALES EMPLEADOS EN LA NORMA OFICIAL MEXICANA.

En lo referente a la Ley Federal de Telecomunicaciones, entendemos los siguientes términos:

Espectro Radioeléctrico. - El espacio que permite la propagación sin guía artificial de ondas electromagnéticas cuyas bandas de frecuencias se fijan convencionalmente por debajo de los 3,000 GigaHertz.

Banda de Frecuencia. - Porción del espectro radioeléctrico que contiene un conjunto de frecuencias determinadas.

Telecomunicaciones. - Toda emisión, transmisión o recepción de signos, señales, escritos, imágenes, voz, sonidos o información de cualquier naturaleza que se efectúa a través de hilos, radioelectricidad, medios ópticos, físicos, u otros sistemas electromagnéticos.

Red de telecomunicaciones. - Sistema integrado por medios de transmisión, tales como canales o circuitos que utilicen bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico, enlace satelital, redes de transmisión eléctrica o cualquier otro medio de transmisión, así como, en su caso, centrales, dispositivos de conmutación o cualquier equipo necesario;

Con relación a la Norma Oficial Mexicana de operación de los sistemas con tecnología celular que operan en la banda de los 800 MHz, tenemos que definir las siguientes siglas.

- AACT (Alternate Access Channel Task): Tarea de Canal Alternativo de Acceso.
- AMT (Await Message Task): Tarea de Mensaje de Espera.
- ARCT (Await Registration Confirmation Task): Tarea de Confirmación de Registro de Espera.
- DAFT (Delay After Failure Task): Tarea de Retardo Después de la Falla.
- NAWC (Number of Aditional Words Coming): Número de Palabras Entrantes Adicionales.
- PCST (Paging Channel Selection Task): Tarea de Selección de Canal de Búsqueda.

- ROIT (Response to Overhead Information Task). Tarea de Respuesta a la Información de Encabezado
- RSPT (Retrive System Parameter Task): Tarea de Adquisición de los Parámetros del Sistema
- SACT (Scann Access Channel Task) Tarea de Búsqueda de Canales de Acceso
- SAT (System Access Task). Tarea de Acceso al Sistema.
- SDCCT (Scann Dedicate Control Channel Task). Tarea de Búsqueda de los Canales de Control
- SRCCT (Seize Reverse Control Channel Task): Tarea de Captura del Canal de Control Hacia Atrás
- SRT (Service Request Task) Tarea de Solicitud de Servicio.
- SSDT (Serving System Determination Task): Tarea de Determinación del Sistema-Servidor.
- UOIT (Update Overhead Information Task): Tarea de Actualización de la Información de Encabezado
- URAT (Update Registration Autonomy Task) Tarea de Actualización de Registro Autónomo
- VOIT (Verify Overhead Information Task): Tarea de Verificación de la Información de Encabezado.

SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS.

- ACC: Analog Color Code: Código de Color Analógico.
- AMPS: Advanced Mobile Phone Service Inc. ; Primera especificación para Telefonía Celular en U.S.A en la que se baso la EIA/TIA 553.
- CC: Control Channel: Canal de Control.
- CDMA: Code Division Multiple Access: Acceso Múltiple por División de Códigos.
- CMAC: Control Maximum Atenuation Code: Código de control para la atenuación de la estación móvil.
- CMAX: Channel Maximum: Número de Canales de Acceso.
- CPA: Combined Paging/Access: Acceso Búsqueda/Combinado.
- DCC: Digital Color Code: Código de color Digital.
- DTMF: Dual Tone Multyfrequency: Doble Tono de Multifrecuencia.
- FOCC: Forware Control Channel: Canal de control hacia Adelante.
- FVC: Forware Voice Channel: Canal de Voz hacia Adelante.
- HAAT: Hight Average Above Terrain: Altura de la Antena sobre el nivel Promedio del Terreno.
- ISB: Identificación del Sistema Base.
- MFC: Multi Frequency Code: Código de Multifrecuencia.
- MIC: Modulación por Impulsos Codificados.
- MIN: Mobile Identification Number: Número de Identificación de la estación móvil.
- MTP: Message Transfer Part: Parte de Transferencia de Mensaje.
- MTUP: Mobile Telephony User Part: Parte de usuario de Telefonía móvil.
- MWI: Message Waiting Indicator: Indicador de Espera de Mensaje.
- NAMPS: Narrowband AMPS: Norma para triplicar la capacidad del Sistema AMPS Analógico.
- ND: Número de Directorio.
- NIM: Número de Identificación de la Estación Móvil.
- NIX: Nodo de Interconexión.
- OLC: Overload Control: Control de Sobrecarga
- OTA: Oficina Terminal Aislada.
- OTTC: Oficina Terminal de Telefonía Celular.
- OTU: Oficina Terminal Urbana.
- PAM: Parte de Aplicación Móvil.
- PRA: Potencia Radiada Aparente.

- PTM: Parte de Transferencia de Mensaje.
 RCF: Read a Control-Filler: Orden de Lectura de Mensaje de Control de Relleno.
 RECC: Reverse Control Channel: Canal de Control hacia Atrás.
 RPT: Red Pública Telefónica (equivalente a la RTPC - Red Telefónica Pública Conmutada)
 RSVD: Reservado.
 RVC: Reverse Voice Channel: Canal de Voz hacia Atrás.
 SAT: Supervisory Audio Tone: Tono de Supervisión de Audio.
 SCM: Station Class Mark: Marca de Clase de Estación Móvil.
 SID: System Identification: Identificación del Sistema.
 SN: Serial Number: Número de Serie.
 ST: Signaling Tone: Tono de Señalización.
 TANDEM: Central Local de Tránsito.
 TDMA: Time Division Multiple Access: Acceso Múltiple por División de Tiempo.
 VC: Voice Channel: Canal de Voz.

TERMINOLOGÍA.

- BIT OCUPADO - DESOCUPADO.
 Porción de la trama de datos transmitida por una estación base en un Canal de Control hacia adelante que es utilizado para indicar el estado *ocupado-desocupado* del correspondiente Canal de Control hacia Atrás.
- CANAL DE ACCESO.
 Canal de Control usado por una estación móvil para obtener servicio dentro del sistema.
- CANAL DE CONTROL.
 Canal utilizado para la transmisión de información de control digital desde una estación base a una estación móvil y viceversa
- CANAL DE CONTROL HACIA ADELANTE (FORWARD CONTROL CHANNEL).
 Canal de Control usado desde una estación base a una estación móvil.
- CANAL DE VOZ HACIA ADELANTE.
 Canal de voz utilizado desde una estación base a una estación móvil.
- CLASES DE ESTACIONES MÓVILES.
 Clase I Estación de Alta Potencia.
 Clase II Estación de Potencia Media.
 Clase III Estación de Baja Potencia.
- CÓDIGO BCH (BOSE CHAUDHURI HOCQUENHEM).
- CÓDIGO DE COLOR ANALÓGICO.
 Señal analógica transmitida por una estación base en un canal de voz empleado para detectar la captura de una estación móvil por una estación base y/o la captura de una estación base por una estación móvil.
- CÓDIGO DE COLOR DIGITAL.
 Señal digital transmitida por una estación base en un canal de control hacia adelante que es usado para detectar la captura de una estación base por una estación móvil.
- ESTACIÓN BASE.
 Es el equipo de transmisión, que está constituido por varios canales de radio (Tx-Rx) que sirven para la comunicación con los abonados móviles.
- ESTACIÓN MÓVIL.
 Es el teléfono celular diseñado para ser usado por los abonados, existen diferentes unidades de mano personales, así como también unidades instaladas en vehículos

- **ESTACIÓN MÓVIL LOCAL.**
Es un teléfono celular que opera en el sistema al cual está suscrito.
- **IDENTIFICACIÓN DE GRUPO**
Subgrupo de los bits más significativos de un sistema de identificación (SID) que se utiliza para identificar a un grupo de sistemas celulares.
- **MODO DUAL.**
Es la capacidad de las estaciones móviles de poder operar tanto en sistemas celulares analógicos como los digitales.
- **NUMERO DE IDENTIFICACIÓN DEL MÓVIL.**
Es un número de 34 bits el cual representa en forma digital el número de directorio telefónico de diez dígitos asignado a una estación móvil.
- **PROTOCOLO EXTENDIDO**
Expansión opcional de los mensajes de señalización entre la estación base y la unidad móvil para permitir la adición de nuevas características al sistema y capacidad opcional.
- **SOLICITUD DE SERVICIO (FLASH REQUEST)**
Mensaje enviado en un canal de voz desde una estación móvil a una estación base indicando que un usuario desea solicitar proceso especial.
- **TRANSMISIÓN CONTINUA.**
Método de operación en el cual la transmisión discontinua no esta permitida.
- **TRANSMISIÓN DISCONTINUA.**
Un modo de operación en el cual el transmisor de una estación móvil cambia automáticamente entre dos niveles de potencia durante la conversación.
- **TRANSFERENCIA DE CANAL O HANDOFF.**
Se llama así al acto de transferir la llamada de una estación móvil de un canal de voz a otro, en forma automática para mantener un buen nivel de la señal.

INFORMACIÓN NUMERICA.

La información numérica es empleada para describir la operación de una estación móvil. Las siguientes asignaciones se utilizan para indicar el uso correcto de la información numérica:

- s Indica un valor almacenado en una memoria temporal de la estación móvil.
- sv Indica un valor almacenado que varía cuando una estación móvil procesa varias tareas.
- sl Indica los límites de almacenamiento sobre valores que varían.
- r Indica el valor recibido por una estación móvil sobre un canal de control hacia adelante.
- p Indica un conjunto de valores en la memoria permanente de identificación y seguridad de una estación móvil.
- s-p Indica un valor almacenado en una memoria semipermanente de identificación y seguridad de una estación móvil.

Los indicadores numéricos son como sigue:

- **ACCOLC p**
Número de 4 bits usado para identificar la clase de campo de sobrecarga que controla los intentos de acceso.
- **BIS s**
Identifica si una estación móvil debe revisar una transición de desocupado a ocupado sobre un canal de control hacia atrás cuando se accesa al sistema.

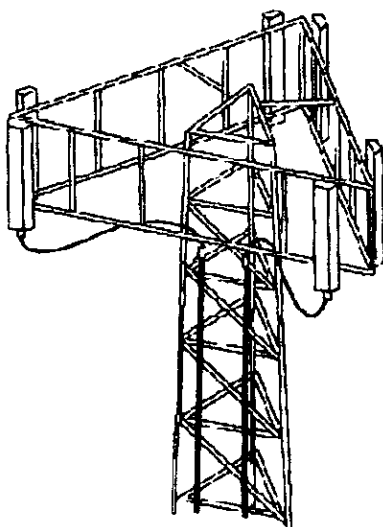
- **CCLIST s**
Lista de canales de control a ser explorados por una estación móvil en la tarea de reintento dirigido
- **CMAX s**
Número máximo de canales a ser explorados por una estación móvil cuando accesa al sistema.
- **CPA s**
Identifica si las funciones de acceso están combinadas con las funciones de búsqueda en el mismo conjunto de los canales de control.
- **DTX s**
Identifica si a la unidad móvil le es permitido usar el modo de transmisión discontinua en el canal de voz.
- **E s**
Valor almacenado del campo E enviado en el canal de control hacia adelante. E s identifica si una estación móvil local debe enviar solamente MIN1 p y MIN2 p cuando accesa al sistema.
- **EX p**
Identifica si una estación móvil local debe enviar MIN1 p ó MIN1 p y MIN2 p cuando accesa al sistema. EX p difiere de E s en el sentido de que la información es almacenada en la memoria de seguridad e identificación de la estación móvil.
- **FIRSTCHA s**
Es el número del primer canal de control utilizado para acceder al sistema.
- **FIRSTCHP s**
Es el número del primer canal de control utilizado para localización de estaciones móviles.
- **LASTCHA s**
Es el número del último canal de control utilizado para acceder al sistema.
- **LASTCHP s**
Es el número del último canal de control utilizado para localización de estaciones móviles.
- **LT s**
Identifica si el siguiente intento de acceso será el último.
- **MAXBUSY s**
Es el número máximo permitido de ocasiones en que se encontrará ocupado un canal de control hacia atrás.
- **MAXSZTR s l**
Es el número máximo de intentos de captura permitidos en un canal de control hacia atrás.
- **MIN1 p**
Es el número de 24 bits que corresponde a los 7 últimos dígitos del número asignado a la estación móvil.
- **MIN2 p**
Es un número de 10 bits que corresponde a los tres primeros dígitos del número asignado a la estación móvil.
- **N s**
Es el número de canales de búsqueda que una estación móvil debe explorar.
- **NBUSY sv**
Es el número de veces que la estación móvil intenta tomar un canal de control hacia atrás y lo encuentra ocupado.

- **NSZTR sv**
Es el número de veces que una estación móvil intenta tomar un canal de control hacia atrás y fracasa.
- **NXTREG s-p**
Identifica cuando una estación móvil debe hacer su próximo registro al sistema.
- **PL s**
Es el nivel de potencia de R.F. de la estación móvil.
- **RCF s**
Identifica si la estación móvil debe de leer un mensaje de control de relleno antes de acceder al sistema en un canal de control hacia atrás.
- **REGID s**
Es el valor almacenado del último número de registro (REGID r) recibido en un canal de control hacia adelante.
- **REGINCR s**
Identifica los incrementos entre registros por una estación móvil.
- **R s**
Indica si el registro es permitido o no.
- **S s**
Identifica si la estación móvil debe enviar su número de serie cuando accesa al sistema.
- **SCC s**
Es un número digital que es almacenado y utilizado para identificar que frecuencia de SAT (Supervisory Audio Tone) debe recibir la estación móvil.
- **SID p**
Es la identificación del sistema local almacenado en la memoria permanente de identificación y seguridad de la estación móvil.
- **SID r**
Es la identificación del sistema recibida en un canal de control hacia adelante.
- **SID s**
Es la identificación almacenada del sistema.
- **SID s-p**
Es uno de los números de identificación del sistema almacenado en la memoria semipermanente de seguridad e identificación de la estación móvil.
- **WFOM s**
Identifica si una estación móvil debe esperar un tren de mensaje de encabezado antes de acceder al sistema de control hacia atrás.

CAPÍTULO III



ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE RADIOTELEFONÍA MÓVIL CELULAR.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES AMBÓN



CAPITULO III
**ANÁLISIS
DE LOS SISTEMAS
DE
RADIOTELEFONÍA
MÓVIL CELULAR**

III.1 SISTEMAS DE RADIOTELEFONÍA MÓVIL CELULAR.

En los sistemas de radiotelefonía móvil celular, el área a la que ha de prestarse servicio se divide en zonas llamadas **celdas**. A medida que el número de suscriptores se incrementa, el tamaño de las celdas se redefinen, haciéndose más pequeñas e incrementándose el número total de celdas. En cada celda se puede usar un grupo de canales del total disponible. Para celdas que están lo suficientemente separadas, se puede utilizar el mismo grupo de canales.

Un móvil que se sirve por este tipo de sistemas puede trasladarse en un área de servicio, pudiendo salir del área de cobertura de la estación base (E.B) de la celda en que se encuentre. Debido a esto, es necesario que el móvil sea atendido ahora por la E.B de la celda a la que este pasando. A este proceso se le conoce como **transferencia de llamada** y es una de las características principales en los sistemas de radio celular. Aunque un mayor rehusa de frecuencias y la subdivisión de celdas permiten un uso más eficiente del espectro, también tienden a incrementar el número de transferencias de llamada.

Los sistemas de radio móvil pueden clasificarse en:

- **Radiofonos.**- Son radios que permiten comunicación en ambos sentidos, tales como los radios de banda civil, los cuales proporcionan alrededor de 40 canales.- Sin embargo, por lo general estos sistemas carecen de privacidad (usados comúnmente en plantas de producción o unidades de reparto).
- **Sistemas de Despacho.**- Estos utilizan un solo canal de comunicación común. Cualquier suscriptor puede escuchar el mensaje del despachador; sin embargo, los suscriptores generalmente no pueden hablar entre sí, ya que solo pueden comunicarse con el despachador (por ejemplo los radio - taxis).
- **Sistemas de Radiobúsqueda.**- En este tipo de sistemas, los usuarios portan receptores personales. Cada receptor reacciona únicamente a señales dirigidas hacia él por un operador.- Un tono audible permite alertar al usuario de un posible mensaje, el cual puede contener señales de audio, o simplemente información de tipo alfanumérica (caracteres de información que se desplegaran en una pantalla). Por ejemplo los beepers, el sistema Skytel etc.
- **Sistemas de Radio Móvil por Paquetes.**- Dichos sistemas utilizan técnicas de acceso múltiple, las cuales permiten a varios dispositivos transmitir en el mismo canal de radio sin interferir con otros transmisores. Estos sistemas no son dependientes de topologías fijas, son fáciles de establecer y pueden operar sin la atención de un operador. Estas características permiten a terminales móviles conectarse a una gran variedad de dispositivos de computo, sensores, etc.
- **Sistemas de radiotelefonía.**- Estos incluyen los sistemas de radiotelefonía móvil tradicionales así como también los sistemas celulares; que serán los sistemas que analizaremos a continuación.

SISTEMA CELULAR BÁSICO.

Un sistema celular básicamente consiste de tres partes fundamentales: Una unidad móvil (Aparato Telefónico), el sitio de la celda (ubicación) y la central de telefonía móvil denominada MTSO (Mobile Telephone Switching Office); tal como se observa en la figura III.1

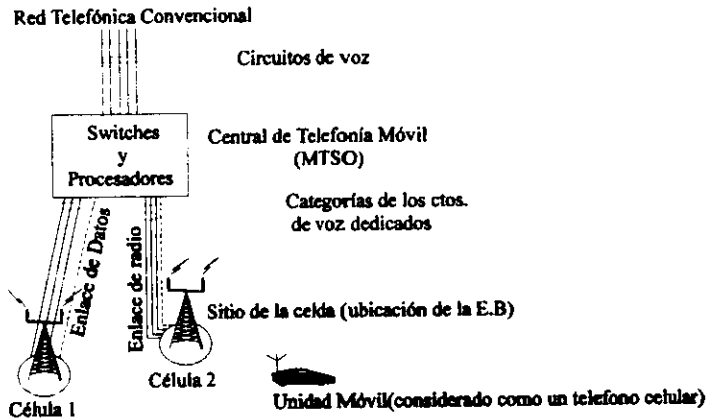


Fig. III.1 Arquitectura Básica de un Sistema Celular y su Interconexión.

1. **Unidad móvil:** Una unidad de telefonía móvil contiene una unidad de control, un transceptor y un sistema de antenas.
2. **Ubicación de la celda (sitio):** La ubicación de la celda es considerada como una interfaz entre la MTSO y la unidad móvil; esta posee una unidad de control, gabinetes de radio, antenas, terminales de datos y fuentes de generación de energía eléctrica.
3. **MTSO:** Esta central coordina los elementos de todos los sitios de la celda; contiene los procesadores y switches celulares. Además de que esta central es una interfaz entre los usuarios móviles y las oficinas de zona de la compañía telefónica tradicional, tiene la función de controlar los procesos de llamada y las actividades de tarificación.

Los enlaces de radio y de datos a altas velocidades interconectan a los subsistemas anteriores. Cada unidad móvil puede usar solamente un canal en un determinado tiempo para su enlace de comunicación.- Sin embargo los canales no son fijos ya que pueden ser diferentes debido a la totalidad de estos en la banda de asignación dada por el área de servicio.

La MTSO es el corazón del sistema celular, ya que sus procesos proveen coordinación central y administración celular.

III.1.1 OBJETIVOS.

Entre los principales objetivos de un sistema de radio telefonía móvil celular destacan:

- I. Proporcionar una alta capacidad de servicio utilizando eficientemente el espectro radioeléctrico disponible.
- II. Capacidad de cobertura a escala nacional.
- III. La calidad de la transmisión de voz deberá ser al menos equivalente a la del servicio telefónico convencional.
- IV. Amplia capacidad de acceso.

- V. Capacidad de adaptación al crecimiento de la densidad de tráfico.
- VI. Servicio a vehículos y a teléfonos particulares.
- VII. Servicio de telefonía normal y servicios especiales.
- VIII. Desde el punto de vista económico, se deberán reducir los costos con respecto a la infraestructura necesaria para proporcionar el servicio.
- IX. El aspecto técnico deberá ser lo más sencillo posible para que los equipos portátiles presenten reducciones en cuanto a dimensiones y peso mismo, así como desarrollo eficaz con respecto al uso de la batería.
- X. La innovación del servicio mediante el uso de nuevas tecnologías, que permitan un alto grado de flexibilidad en los servicios y productos.

Para lograr el cumplimiento de los anteriores objetivos se desarrolló el concepto celular, cuyas principales características se basan en los conceptos de rehuso de frecuencia, subdivisión de celdas y el proceso de transferencia de llamada. Dichos conceptos serán tratados más a detalle en las siguientes secciones.

III.1.2 CONSIDERACIONES PRÁCTICAS DE LAS CELDAS.

En los sistemas celulares el área total donde se presta el servicio se divide, conceptualmente, en un conjunto de polígonos a los que se les llama celdas. Cada celda posee un equipo fijo para transmitir y recibir hacia y desde el móvil (a este equipo comúnmente se le conoce como Estación Base - E.B).

El diseño de la celda debe de ser de tal forma que delimite de una manera clara las diferentes zonas de servicio; además, como el tráfico crece, nuevas celdas y canales necesitan ser adicionados. Por lo que si una estructura irregular es adoptada, podrían presentarse los siguientes efectos:

- Un ineficiente uso del espectro debido a una incapacidad para el rehuso de frecuencias debido a los efectos de la *interferencia cocanal*.
- El despliegue poco rentable del equipo, ya que en algunas ocasiones se deberá de trasladar a otro punto del área de cobertura, teniendo que reajustar los procesos de transmisión, conmutación y de control de recursos siendo que el sistema se encuentra en una etapa de desarrollo.

Lo anteriormente expuesto, nos lleva a visualizar a las celdas como estructuras geométricas regulares, siendo consideradas en un inicio, como circunferencias; debido a que en esta fase del sistema se empleaban antenas omnidireccionales (como es de saberse, las antenas omnidireccionales presentan un patrón de radiación radial); sin embargo, condiciones teóricas de transmisión proponen al círculo como un diseño impráctico debido a que provee algunas zonas ambiguas entre dos o más celdas provocando zonas de múltiples coberturas y algunas zonas muertas.

Es por ello que para garantizar un área de cobertura completa (teóricamente), una serie de polígonos regulares son adoptados en el diseño de los sistemas celulares. Entre los polígonos más utilizados se encuentran los triángulos equiláteros, los cuadrados y los hexágonos.- Estas estructuras regulares hacen fácil de ver donde termina una celda y comienza otra, tal como se puede observar en la figura III.2

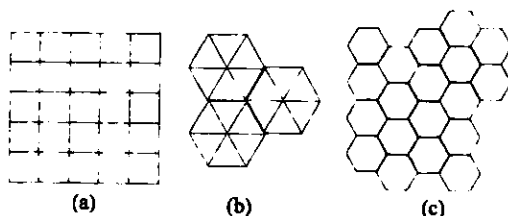


Fig. III.2 Polígonos utilizados como celdas: (a) cuadrado, (b) triángulos equiláteros, (c) hexágonos regulares.

Por razones económicas, el hexágono tiende a ser seleccionado. Para comprender los motivos de esta elección, considérese las tres formas geométricas propuestas anteriormente. Asumiendo que el centro de la celda sea el punto de excitación, entonces, considerando en el peor de los casos que un usuario esté ubicado en el punto más lejano (en nuestro caso este punto será un vértice), se puede demostrar que la estructura del hexágono presenta una menor distancia del centro a cualquiera de sus vértices, proponiendo con ello una mayor calidad en la transmisión de información con una mínima potencia de radiación; además de que el hexágono presenta un 30% más de área que un cuadrado y casi un 50% más que un triángulo, como se muestra en la figura III.3

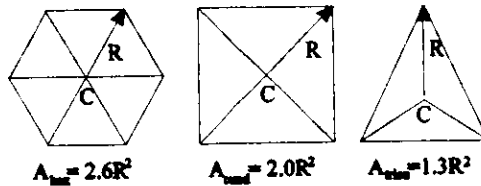


Fig. III.3 Áreas de los polígonos regulares.

La E.B de cada celda puede colocarse en el centro o en las esquinas del hexágono. En el primer caso, la E.B utiliza antenas omnidireccionales de gran potencia para comunicarse con los móviles, tal como lo indica la figura III.4 (a), mientras que en el segundo caso, se utilizan transmisores de baja potencia y antenas direccionales con un ancho de lóbulo de radiación de 120° , que permiten cubrir parte de tres celdas adyacentes. Tal como se observa en la figura III.4 (b)

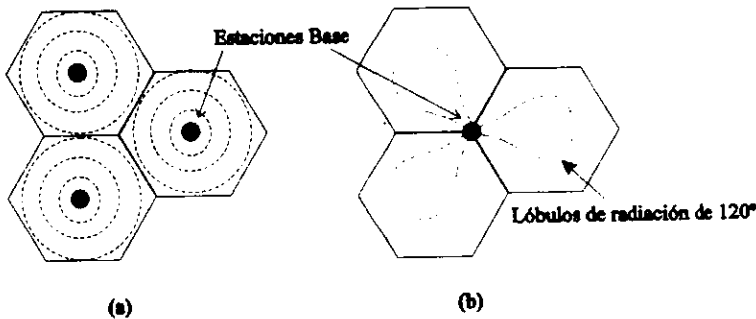


Fig. III.4 (a) Estaciones base con antenas omnidireccionales colocadas en el centro de la celda; (b) Estación base ubicada en una esquina de la celda con antenas direccionales.

Sin embargo, en realidad, el hexágono puede ser considerado idealmente como un círculo o un área de forma distorsionada, tal como se muestra en la figura III.5

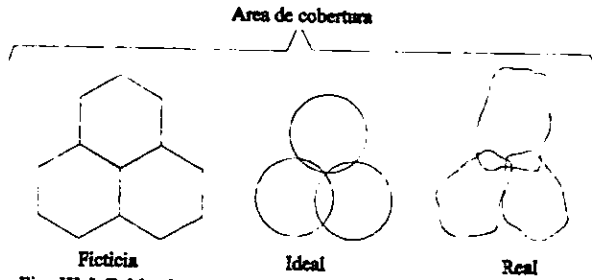
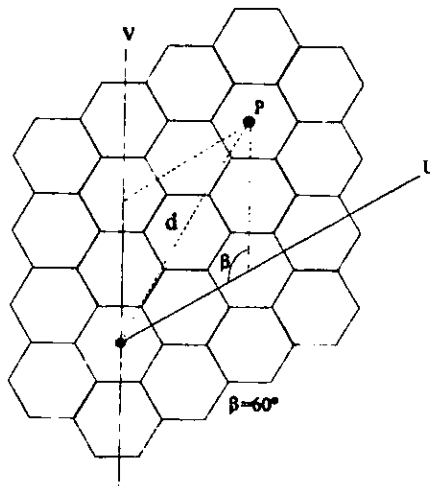


Fig. III.5 Celdas hexagonales, su forma real y área de cobertura.

A) Geometría Celular Hexagonal.

Considérese una estructura celular hexagonal. En dicha estructura se introduce un sistema de coordenadas con dos ejes que se intersectan formando un ángulo de 60°; entonces, la distancia del origen a un punto P cualquiera está dada por:



Utilizando la ley de los cosenos, tenemos que:

$$d^2 = u^2 + v^2 - 2uv \cos \beta$$

donde $\beta = 120^\circ$, por lo que:

$$d^2 = u^2 + v^2 + uv$$

Si consideramos dos puntos cualesquiera $P_1(u_1, v_1)$ y $P_2(u_2, v_2)$ dentro del sistema coordinado anterior, la distancia entre estos puntos está dada por:

$$D = \sqrt{(u_2 - u_1)^2 + (v_2 - v_1)^2 + (u_2 - u_1)(v_2 - v_1)} \dots\dots\dots(1)$$

Asumiendo que $P_1(0,0)$; entonces la ecuación anterior resulta:

$$D = \sqrt{(u_2)^2 + (v_2)^2 + (u_2 v_2)} \dots\dots\dots(2)$$

Restringiendo (u_2, v_2) a valores enteros (i, j) conocidos como parámetros de corrimiento; la ecuación (2) resulta en:

$$D = \sqrt{(i)^2 + (j)^2 + (ij)} \dots\dots\dots(3)$$

De tal manera que la distancia de rechazo de frecuencias entre celdas que utilizan el mismo grupo de canales está dada por la ecuación (3).

La distancia normalizada D es unitaria cuando $(i = 1, j = 0)$ ó $(i = 0, j = 1)$. Además por relación geométrica, sabemos que la distancia entre los centros de dos celdas adyacentes está dada por: $2R \cos 30^\circ = \sqrt{3}R$.

El concepto del número de celdas por grupo es importante para ubicar la celda cocanal dentro de la estructura celular. Para definir lo anterior consideremos la figura III.6

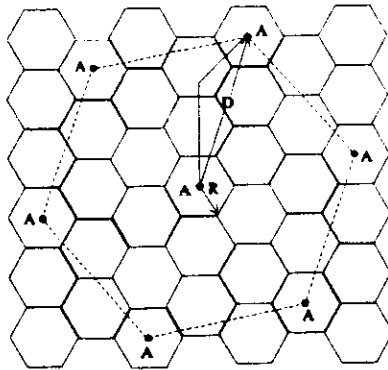


Fig. III.6 Determinación del número de celdas por grupo.

En dicha figura, puede observarse que la celda A (ubicada en el centro y rodeada por un grupo de seis celdas) forma los vértices de una celda mayor. Los vértices del centro de esta gran celda, al centro de las celdas A más pequeñas, subtienden a un ángulo de $n60^\circ$ una con respecto de otra; donde $n = 1, 2, \dots, 6$. De tal manera que el radio D de la gran celda, esta dado por:

$$D^2 = (\sqrt{3}R)^2 (i^2 + j^2 + ij) \dots\dots\dots (4)$$

Entonces, el área del gran hexágono es proporcional al cuadrado de este radio

$$A_G = K(3R^2)(i^2 + j^2 + ij)$$

Por lo que el área de los hexágonos pequeños es:

$$A_p = K(R^2)$$

Por lo tanto:

$$A_G/A_p = \frac{K(3R^2)(i^2 + j^2 + ij)}{KR^2} = 3(i^2 + j^2 + ij)$$

Debido a la simetría de la figura III.6, el gran hexágono rodea el centro de un grupo de N celdas (en este caso $N=7$, ya que la celda principal, A, esta rodeada por otras seis celdas) más una de tres celdas asociadas con otras seis celdas periféricas. Así que el número total de celdas encerradas es igual a $3N$. Por lo que el área rodeada es proporcional al número de celdas; de ahí que $A_G = 3N$ y $A_p = 1$; de esta manera, tenemos que:

$$3N = 3(i^2 + j^2 + ij)$$

$$\therefore N = (i^2 + j^2 + ij) \quad \dots\dots\dots (5)$$

Combinando las ecuaciones (4) y (5), tenemos que:

$$D^2 = 3R^2N \quad \Rightarrow \quad D^2/R^2 = 3N$$

$$\therefore D/R = \sqrt{3N} \quad \dots\dots\dots(6)$$

A la ecuación (6) se le conoce como relación de rehuso de canales.

De la relación anterior, se deduce que:

- Si la relación D/R tiene un valor pequeño; entonces, el número de celdas por grupo se reduce, y si C es el número de canales de R.F, entonces el número de canales por celda aumenta, incrementándose la capacidad de tráfico del sistema; sin embargo, si D/R disminuye, la *interferencia cocanal* se incrementa.
- Si la relación D/R es grande; entonces la relación de *interferencia cocanal* se vera reducida a cambio de que la capacidad de tráfico del sistema disminuya.

B) Parámetros sobresalientes.

Además de la relación D/R , otros tres parámetros importantes se deben de considerar dentro de la geometría hexagonal; estos parámetros a considerar son.

1. **La tolerancia en la posición del sitio de la celda.**- Esto se refiere a la ubicación de la estación base (E.B) dentro de una celda. Algunos reportes indican que dicha posición deberá ser de alrededor de $1/4$ del radio de la celda, considerando que la E.B será ubicada en la esquina de la celda. La variación de este valor de tolerancia tiene efectos directos en la calidad de la transmisión, principalmente en la relación S/N de la señal de R.F.

Esto se debe principalmente a que la relación S/N decrece gradualmente a medida de que el sitio de la celda varia desde 0 (idealmente) hasta $1/4$ del radio de la celda. Fuera de este punto, el nivel de la señal recibida decrece rápidamente. La figura III.7 nos muestra esta relación de tolerancia.

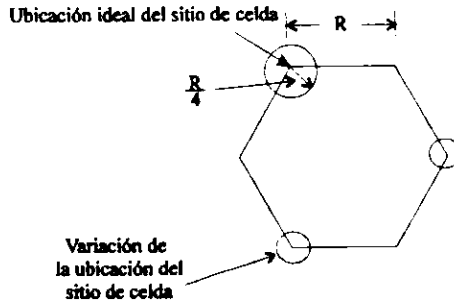


Fig. III.7 Máxima tolerancia en la ubicación de la estación base

2. **Radio máximo de la celda.**- El máximo radio de una celda es limitado por la potencia de generación de la estación base y de la unidad móvil, asociando a ello la ganancia de las antenas y la forma física del terreno. Para los efectos fijos de propagación y de ganancia de las antenas, el radio de las celdas puede incrementarse transmitiendo a mayor potencia. Sin embargo, ello trae consigo algunos otros problemas, tal es el caso de un mayor consumo de energía en los equipos y aumento en el nivel de ruido; además, de que en las unidades móviles, el consumo de energía de C.D no puede exceder de ciertos valores. Es por ello que un transmisor de alta potencia no debe ser utilizado una vez que el tráfico se incremente; ya que para ello, la celda inicial podría ser dividida en celdas más pequeñas, logrando con ello, que la potencia de transmisión de las E.B sea reducida.

Considerando que el amplificador de potencia, la ganancia y la altura de la antena tienen un valor fijo; entonces, el valor máximo del radio de la celda está dado por el efecto de la relación S/N deseada. Una prueba subjetiva realizada por la Bell Telephone Company en la ciudad de Filadelfia, mostró que un valor cercano a los 18 dB de la relación S/N excedía el 90% del área de cobertura, con una celda de aproximadamente 8 millas de radio.

3. **Radio mínimo de la celda.**- Este valor depende en gran medida de la capacidad de acarreo de tráfico del sistema, ya que en su inicio, se debe de considerar una celda con un radio específico, pero a medida que crece la demanda de servicio, el proceso de la división de celdas se hace necesario. El proceso de división de celdas es tal que este divide el radio original de la celda a solamente la mitad; Así el área de la nueva celda es de $1/4$ del área de la celda original. Entonces la capacidad de tráfico es proporcional al número de nuevas celdas, ya que cada división incrementa la capacidad por un factor de 4. En forma práctica, el radio mínimo de una celda suele tener un valor de 1 milla.

III.1.3 REHUSO DE FRECUENCIAS.

Un canal de radio consiste en un par de frecuencias, una para cada sentido de transmisión, que son utilizadas para la operación *full duplex* del sistema. Un canal particular de radio, por ejemplo, F_1 , usado en una determinada zona geográfica o celda, C_1 , con un radio de cobertura R puede ser utilizado en otra celda con el mismo radio de cobertura a una distancia lejana D . En el sistema de *rehuso de frecuencias*, usuarios ubicados en diferentes zonas geográficas (o celdas) pueden simultáneamente usar el mismo canal de frecuencia, tal como se muestra en la figura III.8

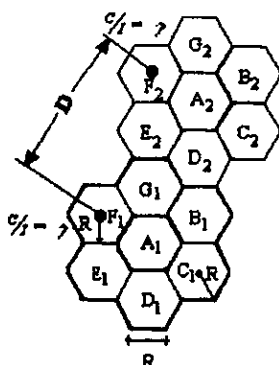


Fig. III.8 Concepto de rehuso de frecuencias.

El rehuso de frecuencias puede incrementar drásticamente la eficiencia del espectro, pero si el sistema no es diseñado adecuadamente, pueden ocurrir serios problemas de interferencia. La interferencia debido al uso común del mismo canal es llamada *interferencia cocanal* y es el aspecto que más concierne en el concepto de *rehuso de frecuencias*.

A) Esquemas de Rehuso de Frecuencias.

El concepto de *rehuso de frecuencias* puede ser usado en el dominio del tiempo y dominio del espacio. El rehuso en el dominio del tiempo resulta en la ocupación de la misma frecuencia en diferentes ranuras de tiempo o *time slots*, a ello se le conoce comúnmente como TDM (Time Division Multiplexing). El rehuso en el dominio del espacio puede ser dividido en dos categorías.

1. La misma frecuencia asignada en dos diferentes áreas geográficas, tal como las estaciones de radio de A.M o F.M usando la misma frecuencia en sitios diferentes.
2. La misma frecuencia usada repetidamente en una misma área generalmente en un sistema. Este tipo de esquema es utilizado en los sistemas celulares. Hay muchas celdas cocanal en el sistema. El termino de *celdas cocanal* se refiere al hecho de que dos celdas pueden utilizar el mismo grupo de frecuencias siempre y cuando estén separadas por una distancia determinada D. El total del espectro asignado es dividido en N formas de *rehuso de frecuencias*, donde N = 4, 7, 12 y 19.

B) Distancia de Rehuso de Frecuencias.

La mínima distancia a la cual se permite que la misma frecuencia sea rehusada puede depender de muchos factores, tales como el número de celdas cocanal en la proximidad del centro de la celda, el contorno del área geográfica del terreno, la altura de la antena y la potencia de transmisión en cada sitio de la celda.

La distancia de rehuso D puede ser determinada a partir de la relación:

$$D = \sqrt{3NR}$$

donde N es la forma de rehuso de frecuencias; por lo que:

$$D = \begin{cases} 3.46R & N = 4 \\ 4.6R & N = 7 \\ 6R & N = 12 \\ 7.55R & N = 19 \end{cases}$$

Teóricamente, un gran valor de N es deseado; sin embargo, si N es demasiado grande, el número de canales asignados a cada una de las N celdas llega a ser pequeño. Si el número total de canales en N celdas se divide como N incrementa, se puede llegar a presentar una *ineficiencia en el uso del espectro* (ineficiencia trunking).

Lo anteriormente expuesto lleva consigo a seleccionar un valor adecuado de la mínima distancia D para reducir el valor de la *interferencia cocanal*.

C) Reducción del Factor de Interferencia Cocanal.

El rehuso de un canal de frecuencia idéntico en diferentes celdas es limitado por la *interferencia cocanal* entre ambas celdas. Es por ello que se busca reducir y encontrar la mínima distancia de rehuso en orden para reducir el efecto de la *interferencia cocanal*.

Considerando que el tamaño de todas las celdas es aproximadamente el mismo, dicho tamaño está determinado por el área de cobertura que se tiene debido a la intensidad de la señal transmitida en cada celda. Siendo que la *interferencia cocanal* es independiente de la potencia de transmisión de cada celda (esto significa que el nivel recibido en la unidad móvil se debe de ajustar al tamaño de la celda), podemos expresar entonces que la *interferencia cocanal* es una función del parámetro q conocido como FACTOR DE REDUCCIÓN DE INTERFERENCIA COCANAL; definido de la siguiente manera:

$$q = D/R \quad \dots \dots \dots (7)$$

donde D es la mínima distancia cocanal y R es el radio de la celda. Cuando q se incrementa, la *interferencia cocanal* disminuye; si q decrementa, el efecto de *interferencia cocanal* aumenta.

Además, sabemos que la distancia D involucrada en la ecuación (7) es una función de N_1 y C/I , donde N_1 es el número de celdas cocanal interfiriendo alrededor de la celda principal y C/I es la relación *portadora a interferencia* recibida en el receptor móvil deseado, dada por:

$$C/I = \frac{C}{\sum_{N=1}^{N_1} I_N} \quad \dots \dots \dots (8)$$

Por lo general en un sistema celular con celdas hexagonales, hay siempre seis celdas cocanal interfiriendo alrededor de la celda principal, por lo que $N_1 = 6$ ($2\pi D/D \approx 6$). Además de que la *interferencia cocanal* puede experimentarse tanto en el sitio de la celda así como en la unidad móvil en el centro de la celda.

Si la interferencia es mucho mayor, entonces la relación C/I en la unidad móvil causada por los seis sitios interferentes es (en promedio) la misma que la relación C/I recibida en el centro de la celda causada por la

unidad móvil a las seis celdas interferentes. Asumiendo que el ruido local es mucho menor que el nivel de interferencia y pudiendo ser despreciado; entonces, la relación C/I puede ser expresada como:

$$C/I = \frac{R^{-\gamma}}{\sum_{k=1}^{N_i} D_k^{-\gamma}} \dots \dots \dots (9)$$

donde γ es el valor de la *perdida de propagación por trayectoria*. En el entorno de radio móvil usualmente $\gamma \approx 4$; además de que $N_i = 6$ en un sistema completamente desarrollado. En celdas cocanales más lejanas, el efecto de interferencia tiende a ser menor que en las celdas cercanas. Por ello, la relación C/I esta dada por:

$$C/I = \frac{1}{\sum_{k=1}^{N_i} \left(\frac{D_k}{R}\right)^{-\gamma}} = \frac{1}{\sum_{k=1}^{N_i} (q_k)^{-\gamma}} \dots \dots \dots (10)$$

donde q_k es el factor de reducción de la *interferencia cocanal* con $K - th$ celdas cocanales interferentes.

1. Diseño de un Sistema Celular con Antenas Direccionales.

Cuando el tráfico de llamadas comienza a incrementarse, se requiere utilizar el espectro de frecuencias asignado de manera adecuada y evitar que el número de celdas N se incremente. Para evitar que el número de celdas (N) se incremente, se toma el valor fijo de $N = 7$ y se introduce un arreglo de antenas direccionales, ya que ello puede evitar la *interferencia cocanal*. Esto significa que cada celda es dividida en 3 ó 6 sectores y se utilizan 3 ó 6 antenas direccionales en una E.B. A cada sector se le asignan un grupo de frecuencias (canales).

El caso en el que se divide la celda en tres sectores se muestra en la figura III.9

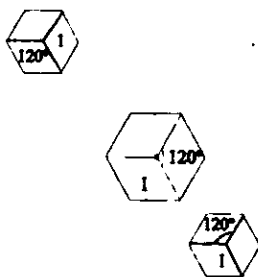


Fig. III.9 Sectorización de una celda.

Para mostrar el peor de los casos de interferencia en una celda sectorizada en tres zonas, debemos de considerar la figura III.10. En dicha figura la unidad móvil situada en el punto E puede experimentar una mayor interferencia en el sector de la celda de bajo oscurecimiento que en el sitio de más alto oscurecimiento. Esto se debe a que el receptor móvil recibe la señal más débil de su propia celda, pero una interferencia bastante fuerte de las celdas interferentes.

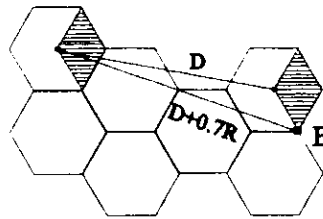


Fig. III.10 Utilización de antenas direccionales para reducir el valor de la *interferencia cocanal*

En el caso de dividir la celda en tres sectores, el efecto de interferencia solamente se da en una sola dirección ya que la relación *front-to-back* de una antena direccional en el sitio de la celda es menor a 10 dB (o más) en el entorno del radio móvil.

El peor caso de la relación C/I se presenta cuando la unidad móvil está ubicada en la posición E de la figura anterior, en cuyo punto la distancia entre el móvil y las dos antenas interferentes es de aproximadamente $D + (R/2)$; de cualquier manera, la relación C/I puede ser calculada con mayor precisión de la siguiente manera.

Assumiendo que en el peor de los casos, la relación C/I se calculara en el punto E en donde la distancia de este punto a las dos antenas interferentes es $D+0.7$ y D ; entonces la relación C/I puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$C/I_{(\text{Peor caso})} = \frac{R^{-4}}{(D+0.7)^{-4} + D^{-4}} = \frac{1}{(q+0.7)^{-4} + q^{-4}}$$

Si $q = 4.6$ (considerando que tenemos una disposición de 7 celdas); entonces:

$$C/I_{(\text{Peor caso})} = 285(W) \approx 24.5 \text{ dbm}$$

La relación C/I recibida por el móvil mediante el uso de antenas direccionales con un lóbulo de radiación de 120° excede grandemente de los 18 dBm considerados anteriormente (ello en el peor de los casos). Las ecuaciones anteriores nos muestran que utilizando antenas direccionales sectorizadas puede mejorarse la relación C/I , esto es, *reducir la interferencia cocanal*. De cualquier manera, la relación C/I puede ser 6 dB menor al valor calculado anteriormente debido a las irregularidades del terreno y la ubicación imperfecta del sitio de la celda. Es por ello que el valor de 18.5 dB se considera adecuado.

D) Asignación de Canales.

En forma práctica el espectro de radiofrecuencias asignado al servicio celular, es dividido en dos partes iguales:

- Una parte es asignada a la operación de las líneas alámbricas (WCC) en un área dada; o sea que en este segmento se utilizan los canales de radiofrecuencia para entablar comunicaciones de una unidad móvil hacia la red telefónica pública conmutada o viceversa.
- La parte restante es asignada a las líneas inalámbricas (RCC) en la misma área; estos canales comúnmente son utilizados para las comunicaciones de usuarios móviles.

El espectro denotado por A, A' y A'' es asignado al RCC, y el denotado por B y B' es asignado al WCC

La tabla III.1 y III.2 muestran la subdivisión de un grupo de canales asignados al sistema AMPS, esta división está hecha considerando 7 celda por grupo.

1. Esquema de Asignación Fija de Canales.

En esta forma de asignación de canales de R.F, dos elementos importantes deben de ser tomados en cuenta; el tiempo promedio de retención de la llamada y el número de llamadas generadas por suscriptor durante las horas de mayor tráfico. Asumiendo que el tráfico esta uniformemente distribuido a lo largo del sistema, el número de canales asignados a cada celda es igual al número total de canales disponibles dividido por el número de celdas dentro del grupo.

Para una distribución no uniforme del tráfico, el número de canales asignados a una celda en forma individual es proporcional al tráfico en la celda. A este tipo de asignación de canales, se le conoce como *asignación fija de canales* y es utilizada donde los canales están permanentemente asignados para uso en una celda en particular.

En este método de asignación de canales, el número total de canales de voz es dividido en m grupos de frecuencia separadas o celdas. Cada una de estas celdas contiene j canales. Una celda está asignada para uno de m grupos. Cada celda puede comunicarse con tantos j canales de frecuencia simultáneos posibles.

Si consideramos el caso de N celdas con una distribución uniforme de tráfico; entonces, el número total de canales por celda estará dado por:

$$S = C/N$$

donde C es el número total de canales de R.F disponibles. Además de que el tráfico ofrecido en Erlangs por celda es:

$$a = A/N$$

donde A es el total del tráfico por sistema. De ahí que la probabilidad de bloqueo (en el caso de los Erlangs B), P_b es calculada de la siguiente manera:

$$P_b = B(S, a) = B(C/N, A/N)$$

El tráfico acarreado en la celda esta dado por:

$$a' = a(1 - P_b) = a[1 - B(C/N, A/N)]$$

El tráfico acarreado por canales (asumiendo una distribución uniforme de tráfico entre canales) es dado por:

$$L = a'/S = a[1 - B(C/N, A/N)] / (C/N)$$

Tabla III.1 Banda A del sistema AMPS.

C. de control C. de voz	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	E ₁	F ₁	G ₁	A ₂	B ₂	C ₂	D ₂	E ₂	F ₂	G ₂	A ₃	B ₃	C ₃	D ₃	E ₃	F ₃	G ₃
	313	314	315	316	317	318	319		320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333
1	2	3	4	5	6	7		8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28		29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48	49		50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
64	65	66	67	68	69	70		71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90	91		92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
106	107	108	109	110	111	112		113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126
127	128	129	130	131	132	133		134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147
148	149	150	151	152	153	154		155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168
169	170	171	172	173	174	175		176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189
190	191	192	193	194	195	196		197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210
211	212	213	214	215	216	217		218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231
232	233	234	235	236	237	238		239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252
253	254	255	256	257	258	259		260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273
274	275	276	277	278	279	280		281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294
670	671	672	673	674	675	676		677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690
691	692	693	694	695	696	697		698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711
712	713	714	715	716	717	|		|	|	|	|	|	|	|	|	|	|	|	|	|	|
|	|	|	|	|	|	991		992	993	994	995	996	997	998	999	1000	1001	1002	1003	1004	1005
1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012		1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020	1021	1022	1023	|	|	|

Tabla III.2 Banda B del sistema AMPS.

Grupo C. de control C. de voz	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	E ₁	F ₁	G ₁	A ₂	B ₂	C ₂	D ₂	E ₂	F ₂	G ₂	A ₃	B ₃	C ₃	D ₃	E ₃	F ₃	G ₃
	334	335	336	337	338	339	340		341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354
355	356	357	358	359	360	361		362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375
376	377	378	379	380	381	382		383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396
397	398	399	400	401	402	403		404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417
418	419	420	421	422	423	424		425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438
439	440	441	442	443	444	445		446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459
460	461	462	463	464	465	466		467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480
481	482	483	484	485	486	487		488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501
502	503	504	505	506	507	508		509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522
523	524	525	526	527	528	529		530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543
544	545	546	547	548	549	550		551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564
565	566	567	568	569	570	571		572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585
586	587	588	589	590	591	592		593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606
607	608	609	610	611	612	613		614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627
628	629	630	631	632	633	634		635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648
649	650	651	652	653	654	655		656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	|	|	|
|	|	|	|	|	|	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732
733	734	735	736	737	738	739		740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753
754	755	756	757	758	759	760		761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774
775	776	777	778	779	780	781		782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795
796	797	798	799	|	|	|		|	|	|	|	|	|	|	|	|	|	|	|	|	|

2. Esquema de Asignación Dinámica de Canales.

En dicho esquema, todos los canales están concentrados en una central común y todos los canales pueden ser usados en todas las celdas siempre y cuando se este separado por una distancia mínima de rechazo. Para evitar la *interferencia cocanal*, un *status* del canal utilizado en diferentes celdas debe ser conocido en la MTSO. Antes de que la MTSO asigne un canal a un sitio de celda, se debe de realizar una búsqueda computarizada para determinar el estado del canal a asignar y de esta manera, poder dar validez a la asignación del canal en la celda requerida. En el proceso de búsqueda se debe de aplicar un criterio para determinar el umbral de *interferencia cocanal*. Es por ello que el control para la asignación de canales dinámicos requiere de una gran cantidad de datos almacenados, trayendo como consecuencia un cuantioso aumento en las aplicaciones tanto de software como de hardware.

3. Esquema de Asignación Híbrida de Canales.

Para la asignación híbrida de canales, el número total de canales es dividido en dos grupos. El primer grupo contiene canales basados en una base fija de asignación y el segundo grupo contiene canales asignados a la celda sobre una base de *llamada por usuario*. La asignación híbrida de canales se refleja tanto en el *software* como en el *hardware*; por ello es de esperarse que el número de las operaciones de software sobre una base *por llamada* deba estar dentro de los esquemas de asignación fija y dinámica de canales.

El esquema híbrido puede ser empleado para responder a cambios especiales en el tráfico ofrecido y por consiguiente prevenir un gran número de llamadas bloqueadas en una celda individual mientras que el canal está disponible en algunas otras celdas. La asignación híbrida de canales es dinámica y por ello resulta difícil de hacer un análisis matemático, por lo que algunos procesos de simulación son generalmente utilizados para determinar el comportamiento que se tendrá en el sistema.

III.1.4 SUBDIVISIÓN DE CELDAS.

Si el número total de canales C se divide en N conjuntos, entonces, cada conjunto contiene $S = C/N$ canales. Sin embargo, es posible que el tráfico en la celda pueda llegar a exceder la capacidad de los S canales de la celda. Para poder atender a este tráfico, la celda se subdivide de manera tal que la celda original contenga ahora varias celdas de menor tamaño, tal como se muestra en la figura III. 11

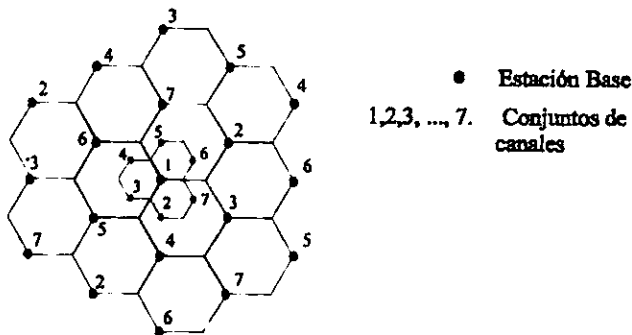


Fig. III.11 Proceso de Subdivisión de Celdas.

La división de las celdas causa que el radio de la nueva celda sea reducido a la mitad, y así reducir el área de cobertura a $\frac{1}{4}$ del área original. La división también incrementa la capacidad de la celda por un factor de 4. Como cada nueva celda puede manejar el mismo tráfico de la celda original, y si el proceso de subdivisión se repite n veces, la nueva capacidad de tráfico será:

$$\text{Nueva capacidad de tráfico} = 4^n M$$

donde M es la capacidad de tráfico de la celda original.

Es lógico pensarse, que las nuevas celdas transmitirán señales de información a una menor potencia. Para determinar dicho valor de potencia, consideremos que P_{o1} es la potencia transmitida por la celda original y P_{o2} es la potencia de transmisión de la celda actual.

Si P_r es la potencia recibida en la frontera de la celda, para la celda original:

$$P_r = K \frac{P_{o1}}{R^n} \dots \dots \dots (11)$$

La nueva celda debe recibir la misma potencia en la frontera que la celda original, por lo que:

$$P_r = K \frac{P_{o2}}{(R/2)^n} \dots \dots \dots (12)$$

sustituyendo la ecuación (11) en la ecuación (12); tenemos que:

$$P_{o2} = P_{o1} / 2^n \dots \dots \dots (13)$$

y considerando que $n = 4$; entonces:

$$P_{o2} = P_{o1} / 16$$

El resultado anterior implica una reducción de 12 dB en la potencia de transmisión por proceso de subdivisión que se realice.

Cada subdivisión de la celda guarda la misma relación geométrica; de cualquier manera, cada división causa al grupo original una rotación en el sentido de las manecillas del reloj de 120° ; tal como se observa en la figura III. 12.

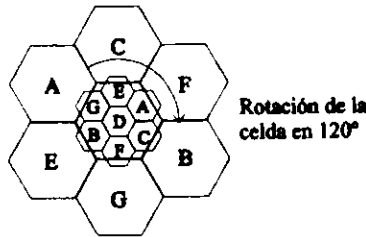
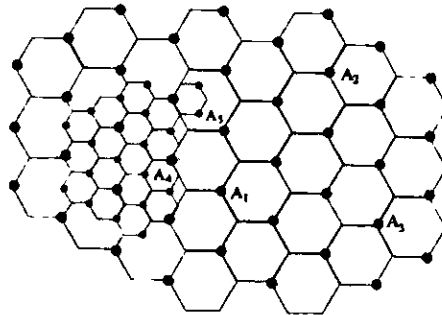


Fig. III.12 Orientación de las celdas durante la subdivisión de celdas; es de notarse, que la celda C de menor tamaño es rotada en 120° en el sentido de las manecillas del reloj.

La división requiere celdas de diferente diámetro para coexistir. En relación para evitar la *interferencia cocal*, la relación D/R debe de tener un cierto valor mínimo. De cualquier manera, debido a la presencia de dos diferentes celdas de diferente radio, la relación D/R puede que sea variable.

Para la configuración mostrada en la figura III.13, la relación D/R tiene un valor de 4.6 (este valor es el resultado de 7 celdas por grupo) para el pequeño radio de la celda con respecto a un radio pequeño, y la celda grande tiene una relación de 4.6 con respecto a un gran radio.



- Sitios de celda (E.B) originales
- Nuevos sitios de celda (E.B) instalados durante el proceso de subdivisión

Fig. III.13 Concepto de cobertura de celdas durante el proceso de subdivisión.

Como puede observarse en la figura anterior, algunos efectos de interferencia podrán ser evitados si algunos canales de frecuencia que son rehusados en alguna otra celda son restringidos únicamente a zonas de baja potencia; esto es, que podrán ser utilizados dentro de celdas que tengan pequeños radios de cobertura.

La restricción del pequeño radio de cobertura puede llevarse fácilmente a la práctica mediante la modificación de algunos parámetros del software. Como el tráfico crece, más y más canales pueden ser reducidos a un grupo pequeño, disminuyendo con ello la capacidad de los sitios de celda (E.B) original.

De esta manera, mediante la reducción del área de cada celda, la subdivisión de celdas permite al sistema ajustarse al crecimiento de la densidad de tráfico espacial demandada (llamadas simultáneas por unidad de área) sin incrementar el espectro que se utiliza. Mediante las técnicas de rehuso de frecuencia y subdivisión de celdas se ha logrado que los sistemas celulares puedan atender un gran número de clientes en un área grande usando un ancho del espectro relativamente pequeño.

ASIGNACIÓN DE LOS TONOS DE SUPERVISIÓN DURANTE EL PROCESO DE SUBDIVISIÓN.

En el sistema AMPS se tiene un Tono de Supervisión de Audio (SAT) que es transmitido sobre un canal de conversación. Este tono es utilizado para identificar el tráfico de la celda local con respecto al tráfico interferente adyacente. La asignación de los códigos SAT debe de ser tal que un grupo de celdas diferentes deba tener diferente SAT. Hay únicamente tres SAT's: SAT0, SAT1 y SAT2; tal como lo muestra la figura III.14

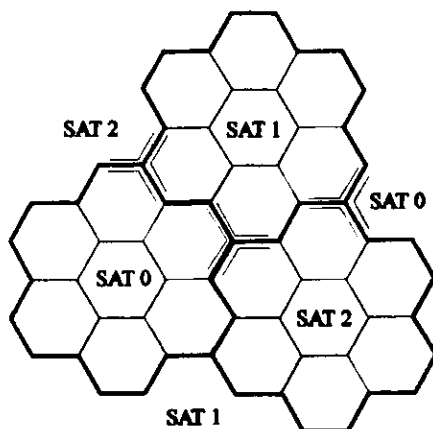


Fig. III.14 Asignación de Tonos de Supervisión en un área determinada. La triple marca en algunas celdas muestra la condición de que todas las celdas adyacentes deben tener un SAT diferente.

Cuando se realiza el proceso de subdivisión, las nuevas celdas toman el valor del SAT de la celda original; y las celdas originales adyacentes del grupo restante, deberán de tomar un valor diferente de código SAT. Este proceso puede observarse en la figura III. 15

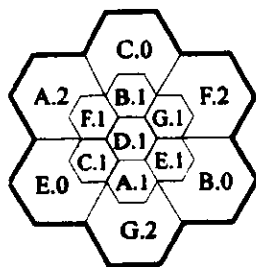


Fig. III.15 Reasignación del SAT después del proceso de subdivisión de celdas

ASIGNACIÓN DE LOS CÓDIGOS DE COLOR DIGITAL (DCC) DURANTE EL PROCESO DE SUBDIVISIÓN.

El Código de Color Digital (DCC) es un tono de identificación que se emplea para conocer la asignación del canal de control dentro de cierta área de servicio. Por lo general, hay cuatro diferentes códigos de color: DCC 0, 1, 2, 3. En el inicio del sistema, los códigos DCC podrán ser asignados de manera aleatoria, siempre y cuando las celdas adyacentes tengan un valor de DCC distinto. La asignación aleatoria de un DCC específico se realiza en un grupo de siete celdas, tal como se observa en la figura III.16

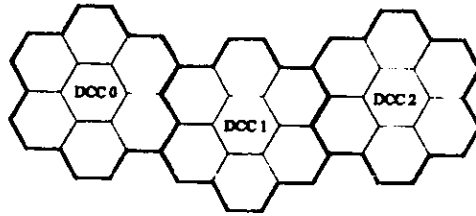


Fig. III. 16 Asignación aleatoria de los Códigos de Color Digital.

En el proceso de subdivisión de celdas, los códigos DCC pueden ser asignados también de manera aleatoria; sin embargo, es preferible, que la celda central del nuevo grupo tome el valor de la celda original y las celdas originales restantes tomen algún otro valor diferente del código; tal como se puede observar en la figura III. 17

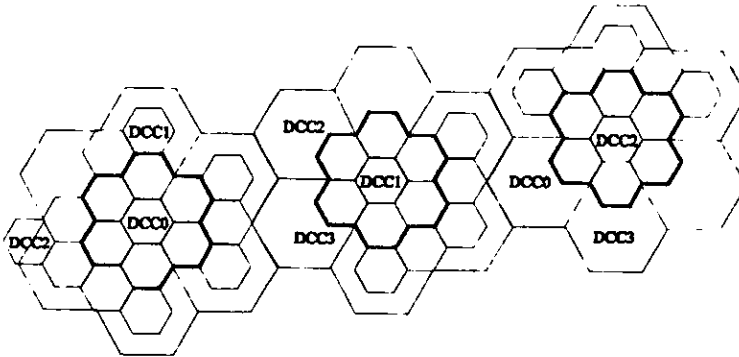


Fig. III. 17 Asignación de DCC durante el proceso de subdivisión de celdas.

III.1.5 TRANSFERENCIA DE LLAMADA.

Como se ha mencionado anteriormente, en los sistemas celulares el área a la que se le proporciona el servicio se divide conceptualmente en pequeñas zonas, llamadas celdas. Es por ello, que a un usuario móvil al que se le proporciona el servicio de radiotelefonía puede trasladarse por toda el área de servicio sin que su comunicación sea interrumpida. Para lograr esto, cada vez que un usuario móvil pasa de una celda a otra, la llamada en curso debe transferirse de la estación base (E.B) perteneciente a la celda que está sirviendo actualmente al móvil, a la estación base de la celda a la que se esté pasando. Ello puede ser mostrado en la figura III. 18

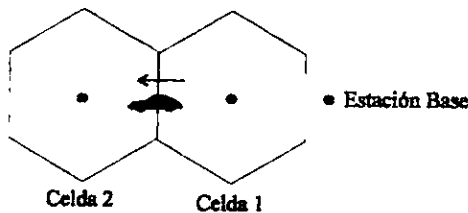


Fig. III.18 Proceso de transferencia de llamada.

En efecto, el proceso de *transferencia de llamada* o *Handoff* es el medio por el cual el sistema celular *redirecciona la trayectoria de unidad móvil- E.B. de una estación base a otra*. El objetivo principal es llevar a cabo este proceso sin el conocimiento del usuario y una vez que el *Handoff* es completado, el móvil no deberá estar nuevamente en transferencia inmediata.

Hay tres razones básicas por las que el proceso de *Handoff* es necesario:

- 1° Para mantener una alta calidad de la señal de información.
- 2° Para balancear el tráfico entre celdas; y
- 3° Para lograr el restablecimiento de un canal de control en el evento de falla.

La calidad de la señal se refiere al valor mínimo requerido de la relación $\%_1$ de 18 dB o más, la cual es necesaria en el receptor de la unidad móvil para tener una buena calidad en la recepción. El proceso de *Handoff* esencialmente comienza cuando el nivel de la señal del móvil, recibida en la celda, cae por debajo de un umbral preasignado. Una vez que se llega a esta condición, la celda sirviente notifica a la MTSO, esta a su vez pregunta a todas las celdas contiguas quien de ellas recibe la mejor calidad de la señal. Una vez que la nueva celda es identificada (la nueva celda será aquella que recibe la mejor calidad de transmisión), la celda sirviente es notificada del nuevo número de canal donde el móvil deberá sintonizarse para realizar el *Handoff*. El *Handoff* toma lugar cuando el móvil sintoniza el nuevo canal.

Para que el proceso de *Handoff* sea confiable y de alta calidad, se debe de tener en cuenta que:

- El *Handoff* debe de tomar lugar antes de la evidente degradación de la calidad de la señal ocurrida en el móvil.
- Antes de tomar la decisión del *Handoff*, la señal de recepción de la unidad móvil debe de ser integrada por un tiempo suficiente para asegurar que la calidad de degradación es real y no debida al desvanecimiento por multitrayectorias.
- El nuevo canal para el cual el móvil está comenzando a conmutar deberá de tener un nivel suficientemente alto ($\%_N$ alta) para que el nuevo canal no sea conmutado nuevamente.

El principal propósito del *Handoff* es el de balancear la carga de tráfico entre las diversas celdas para que una condición de sobrecarga no se presente en ninguna de las celdas. El fundamento principal para que el balanceo de carga se logre, es el que la condición de sobrecarga no se presente en celdas adyacentes.

El balanceo de carga es más eficiente cuando hay una cantidad significativa de traslapes entre celdas adyacentes, además de que ello se logra por medio de una técnica conocida como "*Handoff directo*" (por lo general esta técnica es utilizada para la adaptación de los usuarios al sistema). El proceso de "*Handoff directo*" es iniciado cuando llega a presentarse un porcentaje de carga total.

Con un apropiado diseño del sistema, el algoritmo de balanceo de carga puede suministrar una ayuda en el manejo de la condición de carga pico de tráfico del sistema; sin embargo este no podrá compensar el inadecuado uso de los canales de voz. El algoritmo utilizado para lograr el balanceo del tráfico debe de considerar que:

- La nueva celda debe ser capaz de manejar la llamada sin la necesidad de un inmediato *Handoff* debido a la baja relación $\%_N$; y
- La nueva celda no debe de encontrarse en un estado de sobrecarga.

Los algoritmos para la realización del proceso de *transferencia de llamada* deben funcionar sobre la base de mediciones hechas en el ancho de banda de voz sin interrumpir la conversación.

Esto minimiza el número de canales de control y no interrumpe la conversación. Además, por razones económicas, es deseable que la unidad móvil no tome parte activa en las mediciones.

Es posible determinar la frontera de las celdas realizando mediciones de la intensidad de campo recibida. Puesto que se conoce probabilísticamente como varía la intensidad de campo en función de la distancia, puede determinarse esta última de los valores que tome la primera. La exactitud de esta estimación depende de la variación que tengan las zonas de oscurecimiento de una región en particular. Una ventaja que se tiene con este método es que errores en la estimación tienden a mejorar la relación señal a ruido (S/N).

Otro procedimiento comúnmente utilizado, es el de la medición de la distancia que hay del móvil a las estaciones base y realizar la *transferencia de llamada* cuando el móvil pasa la frontera entre las celdas. La técnica comúnmente utilizada para ello, es la medición del *retardo de propagación* cuando se transmite una señal hacia el móvil desde una estación base y del regreso de la señal a la estación base desde el móvil.

Independientemente de que el algoritmo de *transferencia de llamada* utilice mediciones de la intensidad de campo o de retardos de propagación (o ambas), se deben de hacer varias consideraciones acerca del algoritmo, entre las cuales se deben de mencionar las siguientes:

- En general, un algoritmo de *transferencia de llamada* debe diseñarse de manera tal, que mejore las peores situaciones con mayor prioridad que las mejores situaciones.
- Se debe de tomar muy en cuenta la frecuencia con la cual la llamada de un usuario móvil es transferida, ya que si esto se realiza de manera frecuente, se tendrá mucha carga en el sistema y la conversación se interrumpirá a menudo. Por otra parte, si el proceso se retarda demasiado, la conversación podría llegar a ser insostenible.
- Deben de considerarse los posibles errores en las mediciones para que el proceso de transferencia solo se lleve a cabo una sola vez.

De lo que se concluye, que el algoritmo de *transferencia de llamada* debe de cumplir con los siguientes requisitos básicos:

- ⇒ El algoritmo puede utilizar valores medidos de la intensidad de campo o de la distancia que separa al móvil de las estaciones base, pudiendo incorporarse algunos otros parámetros para ser más eficiente al algoritmo.
- ⇒ Las llamadas en peores condiciones deben tener prioridad sobre las llamadas en mejores condiciones.
- ⇒ Se debe minimizar el número de transferencias de llamada que sufre un móvil.
- ⇒ Si existe la posibilidad de que en el corto plazo el nivel de la intensidad de campo recibida mejore, el proceso de transferencia debe retardarse.
- ⇒ Se debe retrasar la transferencia si no existe un canal libre durante las horas de alto tráfico.
- ⇒ El algoritmo debe ser sencillo de implementarse.

Otro objetivo del proceso de *transferencia de llamada* es debido a la falla del canal de control en el sistema, por lo que un canal de voz es utilizado como un canal de control de respaldo. Un sistema diseñado con tales características requerirá que el móvil sea conmutado sobre otro canal si este está usando el canal de control de respaldo designado para la comunicación de las señales de voz. El principal objetivo para manejar el fallo de *transferencia* es dejar vacante el canal para que este se encuentre libre de señales de voz y así prepararlo para ser asignado como un canal de control.

Para lograr que la *transferencia de llamada* se lleve a cabo, la mayoría de las celdas son diseñadas con un pequeño traslape para que el nivel de la señal promedio asociado con la celda de servicio exceda de los -95 dBm en el límite de la celda. La figura III.19 nos muestra el caso de dos celdas traslapadas con un límite de -95 dBm.

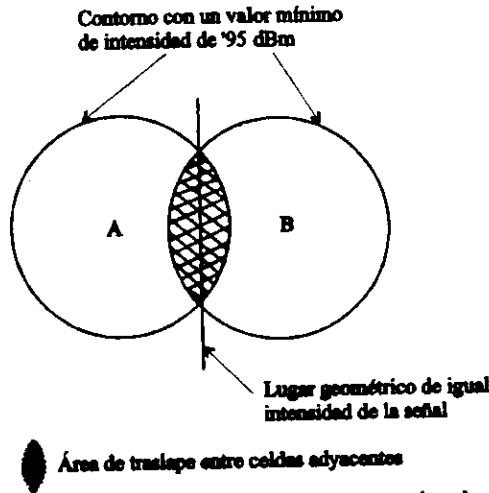


Fig. III. 19 Celdas con áreas de cobertura traslapadas.

El lugar geométrico de igual intensidad de señal está ubicado sobre la línea recta, donde la intensidad de la señal es mayor de los -95 dBm. Un móvil servido por la celda A y moviéndose en la dirección de la celda B, podrá conmutar sobre esta última en un punto a la derecha de la línea de igual intensidad. En este caso la calidad de la señal del móvil podrá mejorar después de terminada la conmutación. Generalmente, es preferible que la *transferencia* se realice en una región que tenga una intensidad de señal moderada, ya que ello puede originar un fenómeno de histeresis y minimizar algún efecto perceptible del *Handoff*.

Si la señal de información en el punto de igual nivel de intensidad entre dos celdas está por debajo de los -95 dBm, el área de cobertura de R.F es simplemente inadecuada.

En el sistema AMP, la información de la localización se obtiene de la estación base que sirve al móvil así como de las celdas adyacentes. Esta información se transmite de las estaciones base al MTSO mediante la utilización de los enlaces de datos. La MTSO es la que decide cuando se requiere una transferencia de llamada, además de que también se encarga de seleccionar un canal de voz libre asociado con una antena direccional de la misma celda o de otra celda. La MTSO ordena a la estación base asociada al nuevo canal de voz, que sintonice el transmisor adecuado y transmita el tono de supervisión de audio (SAT).

Después de que la estación base recibe el comando de transferencia de llamada, envía una ráfaga corta de ST (tono de señalización) en el canal de voz inverso a la estación base que le este sirviendo. Después, el móvil apaga su transmisor, sintoniza el nuevo canal, enciende nuevamente su transmisor y transmite el nuevo SAT en el nuevo canal de voz.

La MTSO entonces reconfigura la red de conmutación. Cuando la nueva estación base recibe el SAT, se le informa a la MTSO. La MTSO, identifica la recepción del ST en el antiguo canal de voz y el SAT en el nuevo canal como indicadores de una transferencia de llamada adecuada. Todo este proceso toma 0.25 seg. y se ha encontrado que esto no degrada de manera significativa la calidad de la transmisión de la señal de voz.

III.1.6 UTILIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SEÑALIZACIÓN.

Cuando una unidad móvil llega a ser operacional, dicha unidad selecciona automáticamente un canal de establecimiento (CH-SETUP) con el nivel de la señal más alto. De tal manera que ese canal es entonces monitoreado para el arribo de las llamadas destinadas para ello. Cuando una llamada entrante es percibida, la unidad móvil en cuestión nuevamente muestrea el nivel de la señal de todos los canales de establecimiento apropiados para poder responder en forma directa al sitio de la celda (Estación Base- E.B) ofreciendo el nivel de señal más alto y tonos adecuados para obtener una respuesta satisfactoria.

La MTSO es la responsable de asignar un canal de voz vacante para la celda en cuestión, la cual retransmite esta información por medio del canal de establecimiento directo a la unidad móvil. Por lo que el usuario móvil es alertado de que hay una llamada en espera.

Cuando una llamada se encuentra en progreso, la E.B que está a cargo del enlace examina el nivel de la señal de la unidad móvil cada pocos segundos. Si el nivel de la señal decae por debajo de un nivel prescrito, el sistema busca alguna otra celda para manejar la llamada. Cuando la E.B más apropiada es localizada, la MTSO envía un comando, retransmitido por la E.B anterior para cambiar la frecuencia, logrando con ello la comunicación con la nueva E.B.

La administración y las funciones de control de un sistema celular son bastante complejas. El *handoff* y el *locating*¹ son manejados mediante algunas técnicas de señalización y supervisión las cuales toman lugar sobre el canal de establecimiento. El canal de establecimiento utiliza una serie de datos para transmitir comandos de localización (*paging*), designación del canal de voz y algunos mensajes de encabezado para la unidad móvil. De la misma forma, la unidad móvil regresa respuestas de ubicación, a los mensajes de originación y de ordenes de confirmación.

Todos los mensajes digitales y los tonos continuos de supervisión son transmitidos sobre el canal de radio (voz). Los mensajes digitales son enviados como una serie de datos discontinuos *dentro de banda* a 10 kbps, los cuales incluyen ordenes y mensajes de transferencia. El método de señalización "*blank-and-burst*" es utilizado. La señalización *dentro de banda* es el proceso mediante el cual se transmite toda la información de organización y control sobre el mismo circuito que transporta la transmisión de voz o de datos.

La unidad móvil regresa los ordenes de confirmación y algunos mensajes que contienen los dígitos marcados para lograr la identificación del usuario destino. Además un continuo proceso de supervisión es llevado a cabo mediante el empleo de un tono de 6 kHz (SAT) fuera de banda, el cual es modulado sobre la portadora a lo largo del proceso de transmisión de información (conversación). La señalización *fuera de banda* es el proceso mediante el cual las centrales principales intercambian información de supervisión y control mediante el uso de una trayectoria de comunicación separada de la trayectoria del mensaje.

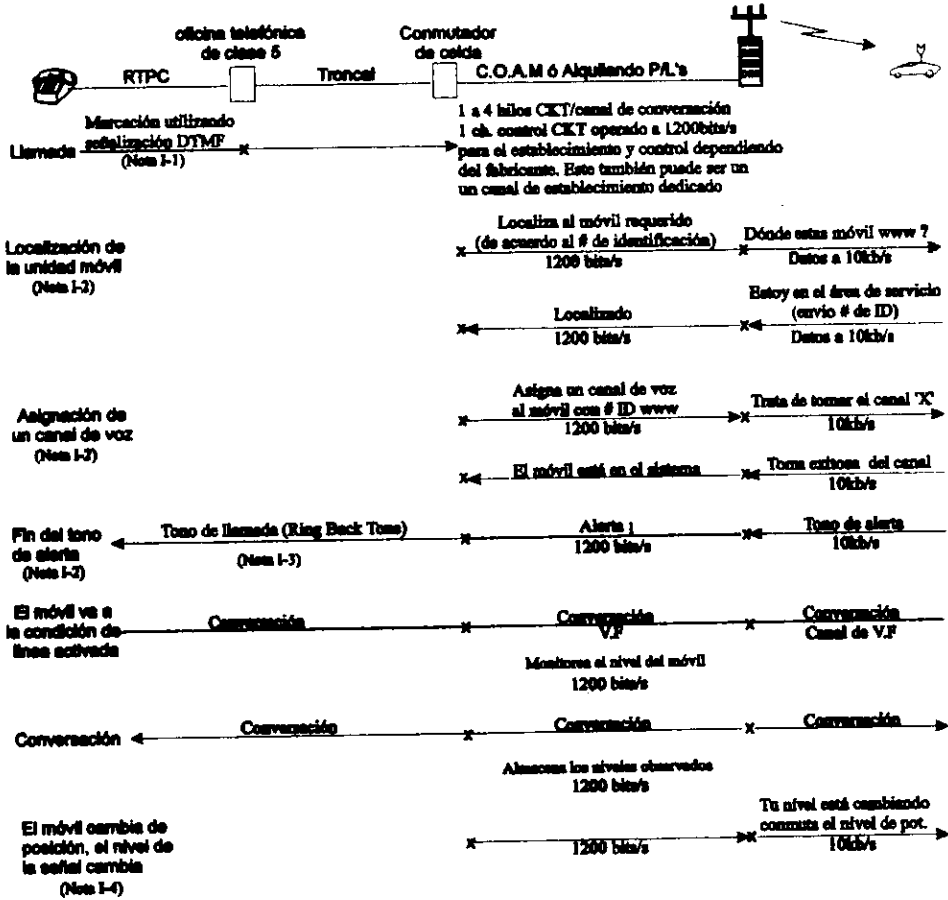
La señalización en los sistemas celulares aparece cuando los usuarios del sistema telefónico (móvil o convencional) requieren establecer una conversación, ya que en este procedimiento se debe de intercambiar información que indique cuales son los estados de la conversación y por consiguiente su respectivo significado. Para comprender más este procedimiento, consideremos tres casos principales de establecimiento de una conversación.

1. Operación del sistema para el establecimiento de una llamada de un usuario de la red telefónica pública tradicional hacia un usuario móvil.
2. De un usuario móvil hacia un usuario de la red telefónica pública tradicional; y
3. El procedimiento del *handoff* para un usuario móvil.

¹ El *locating* es el monitoreo periódico de las operaciones de la unidad móvil.

Para comprender más a fondo el procedimiento de señalización para el establecimiento de una llamada, consideremos el siguiente ejemplo:

Operación del sistema para establecer una llamada de la Red Pública Conmutada - a un móvil.



Nota I-1: Al tratar un usuario de la RTPC de realizar una llamada, requiere primeramente ser identificado en el sistema, lograda esta acción inmediatamente el usuario recibe el tono de invitación a marcar; dicho tono debe de presentar las siguientes características:

- El tono de invitación a marcar debe de ser un tono continuo.
- Se recomienda que el tono de invitación a marcar consista en o bien:
 - una frecuencia única comprendida entre 400 y 450 Hz.
 - un tono compuesto, constituido como máximo de tres frecuencias, de las cuales una al menos estará situada dentro de las gamas de 340 a 425 Hz y de 400 a 450 Hz. La diferencia entre dos cualesquiera de las frecuencias debe ser, como mínimo de 25 Hz.

- Cuando se utilizan tonos generados por procedimientos digitales, las frecuencias de este tono a marcar deben ser recomendadas para los tonos generados por procedimientos analógicos.

Después de obtenido el tono de invitación a marcar, se debe de hacer la marcación de los dígitos del usuario destino; la marcación de los dígitos utiliza el método de generación DTMF (Dual Tone Multi frequency), con una marcación por tonos (dial pulse), la cual debe de tener las siguientes características:

La marcación por tonos se debe de generar mediante el uso de un teclado con las siguientes especificaciones:

		Grupo de frecuencias superiores (Hz)			
		Hz 1209	1336	1477	1663
Grupo de frecuencias inferiores (Hz)	697	1	2	3	A
	770	4	F	5	B
	852	7	8	9	C
	941	*	0	#	D

Nota: Las tolerancias para las variaciones de frecuencias han de estar comprendidas entre $\pm 1.8\%$ de la frecuencia nominal, además de que los productos de distorsión (resultantes de la intermodulación o de los armónicos) han de tener un nivel de 20 dB inferior, como mínimo, al de las frecuencias fundamentales (tal como lo indica la Recomendación Q.23 del CCITT Libros Azules, Fascículo VI.1).

El sistema de pulsaciones multifrecuencia transmite información numérica y de control, cada combinación de dos frecuencias representa un pulso y cada pulso representa un dígito. Se prevé disponer de 10 cifras decimales (del 0 al 9) y 6 señales de reserva, estas últimas tendrán un espaciamiento de 200 Hz en forma separada. Los pulsos multifrecuencia son transmitidos a una relación de aproximadamente 7 dígitos/seg. con un periodo interdigital de 68 ± 7 mseg.

CARACTERÍSTICAS DE LOS PULSOS TRANSMITIDOS.

- Para el caso de la red RTPC (Red Telefónica Pública Conmutada), se tienen las siguientes características:

Los parámetros técnicos son fundamentales para la recepción de las señales DTMF. Al utilizar estos parámetros será necesario especificar valores operacionales de modo que quede asegurada la compatibilidad con el equipo de emisión de DTMF y el entorno proporcionado por la red en el que habrá de funcionar el equipo de recepción. La Tabla III.3 muestra algunos valores de estos parámetros, los cuales han sido adoptados por algunas administraciones. Es importante mencionar que las administraciones nacionales tienen la capacidad de especificar algunos otros parámetros que respondan a las condiciones de explotación de sus redes (como se define en la Recomendación Q.24 del CCITT Libros Azules - Fascículo VI.1).

Tabla III.3 Valores de los parámetros de recepción de señales multifrecuencia por teclado (DTMF) adoptados por varias administraciones.

Parámetros	NTT		AT&T		Valores		Adm. Australiana		Adm. Italiana	
	Grupo bajo	Grupo alto	Identico a del NTT	Identico a del NTT	Identico a del NTT	Identico a del NTT	Identico a del NTT	Identico a del NTT	Identico a del NTT	
Frecuencias de las señales	697, 770, 852, 941 Hz	1209, 1336, 1477, 1633 Hz	Identico a del NTT	Identico a del NTT	Identico a del NTT	Identico a del NTT	Identico a del NTT	Identico a del NTT	Identico a del NTT	
Tolerancia de frecuencia $|Δf|$	Funcionando Sin funcionar	Funcionando Sin funcionar	≤ 1.8 % ≥ 3.0 %	≤ 1.5 % ≥ 3.5 %	≤ (1.5% + 2 Hz)	≤ (1.5% + 4 Hz)	≤ (1.5% + 4 Hz)	≤ 1.8 % ≥ 3 %	≤ 1.8 % ≥ 3 %	
Niveles de potencia por frecuencia	Funcionando Sin funcionar	Funcionando Sin funcionar	-3 a -24 dBm Máx. -29 dBm Máx. 5 dB	0 a -25 dBm Máx. -35 dBm +4dB a -8dB γ	(A+25) a A dBm Máx. (A-9) dBm (A = -17)	(A+25) a A dBm Máx. (A-9) dBm (A = -17)	(A+25) a A dBm Máx. (A-9) dBm (A = -17)	-5 a -27 dBm Máx. -30 dBm Máx. 10 dB	-3 a -25 dBm Máx. -50 dBm Máx. 9 dB	
Diferencia de niveles de potencia entre frecuencias	Funcionando, de la señal Sin funcionar; Duración de la pausa Interrupción de la señal Velocidad de estabilización	Funcionando, de la señal Sin funcionar; Duración de la pausa Interrupción de la señal Velocidad de estabilización	Mín. 40 ms Máx. 24 ms Mín. 30 ms Máx. 10 ms ⁵ Mín. 120 ms/cifra	Mín. 40 ms Máx. 23 ms Mín. 40 ms Máx. 10 ms Mín. 93 ms/cifras	Mín. 40 ms Máx. 20 ms Mín. 40 ms Máx. 20 ms Mín. 110 ms/cifras	Mín. 40 ms Máx. 25 ms Mín. 70 ms Máx. 12 ms Mín. 125 ms/cifras	Mín. 40 ms Máx. 20 ms Mín. 30 ms Máx. 10 ms Mín. 120 ms/cifras	Mín. 40 ms Máx. 20 ms Mín. 30 ms Máx. 10 ms Mín. 120 ms/cifras	Mín. 40 ms Máx. 20 ms Mín. 30 ms Máx. 10 ms Mín. 120 ms/cifras	
Temporización de recepción de las señales	Solo señales fásica/ 46 horas para telefonía de un nivel medio de -15 dBm									
Simulación de las señales por la voz	Para los códigos 0-9 una señal fásica/ 3000 Usos. Para los códigos 0-9, # una señal fásica/2000 Usos. Para los dígitos 0-9, #, A-D, una señal fásica/1500 Usos.									
Interferencia por eco	Tolerará eco con un retardo de hasta 20 ms, y por lo menos de 10 dB por debajo									

- A) En algunas administraciones europeas, los valores de A varían de entre los -22 y -30 para corresponder a las condiciones nacionales.
- B) El nivel de potencia de las frecuencias del grupo alto puede ser hasta 4dB superior u 8 dB inferior al nivel de potencia de las frecuencias del grupo bajo.
- C) Solo para los receptores de señales DTMF de aparatos analógicos.

➤ En el caso de los sistemas celulares:

Todos los niveles de la señal son especificados en términos de la *desviación pico radian* de la portadora de R.F. Las señales DTMF deben de ser inyectadas directamente a la entrada del modulador.- Si un modulador de frecuencia es utilizado con una señal DTMF de igual amplitud, entonces la señal DTMF debe ser *pre-enfazzada* para producir una *desviación pico radian* constante.

- Niveles de la señal DTMF en estado estable.- La *desviación pico radian* por componentes de frecuencia debe ser de $4.5 \pm 10\%$

- Intervalo de transmisión.- El tiempo de envío de la señal "on" representa la duración del tiempo completo del pulso de la señal y es por definición el tiempo en el que la *desviación pico radian* para ambas frecuencias esta por encima de un 30%. El intervalo de transmisión es igual a la suma del tiempo de crecimiento del pulso, ancho del pulso, y el tiempo de desintegración del pulso.

- Tiempo de crecimiento del pulso.- Cada una de las dos frecuencias de cualquier señal DTMF deberá alcanzar al menos el 90% del total de la *desviación pico radian* dentro de 5 mseg del tiempo en el que la primera frecuencia exceda una *desviación pico radian* del 30%

- Ancho del pulso.- Todos los pulsos DTMF deberán ser transmitidos a un ancho de pulso fijo independientemente de la duración del tecleo del usuario. El ancho de la porción estable de alguna señal DTMF deberá ser preferentemente de 95 ± 5 ms.

- Tiempo de desintegración del pulso.- Este se define como el tiempo requerido para que ambas frecuencias de una señal DTMF caigan por debajo del 30% de la *desviación pico radian* del tiempo en el que la primera frecuencia caiga por debajo del 90% de la *desviación radian total*. El tiempo de desintegración no debe ser mayor que 5 mseg.

- Intervalo interdigital.- Este representa el espaciamento "off" que existe entre los pulsos de la señal DTMF y es definido como el tiempo para el cual la *desviación pico radian* está por debajo del 30 % para en al menos una de las dos frecuencias. El intervalo interdigital deberá ser al menos de 60 ms.

- Intervalo de supresión *voz/ruido*.- Consiste en el intervalo de transmisión más un intervalo siguiente inmediato de 65 ± 5 mseg. Cualquier forma de energía de *voz/ruido* que aparezca en la entrada al transmisor deberá continuamente ser atenuada durante el intervalo de supresión *voz/ruido*. La atenuación aplicada deberá ser en al menos 40 dB.

Nota I-2: Con relación a la búsqueda de una unidad móvil tenemos que:

Para buscar a una estación móvil (E.M), un mensaje de control de la E.M debe de ser enviado por medio de un canal de control hacia adelante. Las unidades móviles locales pueden ser llamadas con un mensaje de una o dos PALABRAS. Las E.M visitantes deben de ser localizadas con un mensaje de dos PALABRAS. La información a enviar en dichas PALABRAS es la siguiente:

1. Para controlar a las E.M cuando se trata de inicializar una llamada, se debe de enviar la siguiente información en el *tren de mensajes de encabezado*. El primer mensaje del tren debe ser el *mensaje de encabezado de parámetros del sistema*; esta información debe ser enviada cada (0.8 ± 0.3) seg. La trama de datos es la siguiente:

Palabra A1

T ₁ T ₂	DCC	SID1	000	NAWC	OHD	P
-------------------------------	-----	------	-----	------	-----	---

Palabra A2

T ₁ T ₂	DCC	S	E	REGH	REGR	DTx	N-1	RCF	CPA	CMAx-1	END	111	P
-------------------------------	-----	---	---	------	------	-----	-----	-----	-----	--------	-----	-----	---

donde:

T₁T₂ = Campo de tipo: Si "11" indican una palabra de encabezado.

DCC = Código de color digital: Utilizado por la E.M para identificar a la E.B; sus posibles valores son:

DCC recibido	DCC codificado
00	0000000
01	0011111
10	1100011
11	1111100

SID1 = Identificación digital asociada con el sistema digital, los valores dependen de la administración.
 NAWC=Campo del número de palabras adicionales entrantes, en la palabra 1, total de palabras menos 1.

S = Campo de serie; si:

S = 1, todas las E.M deben mandar su número de serie;
 S = 0, no se requiere el envío de todos los números de serie.

E = Campo de dirección extendida; si:

E = 1, todas la E.M debean mandar el MIN1 y MIN2.
 E = 0, no se requiere el envío del MIN1 y MIN2.

REGH = Campo de registro para las estaciones locales:

REGH = 1, habilitar registro de las estaciones locales.
 REGH = 0, caso contrario.

DTx = 10, si la transmisión discontinua está permitida.
 DTx = 00, si no se permite.

RCF = 1, si las E.M deben leer un mensaje de control de relleno antes de acceder al sistema por medio de un RECC.

RCF = 0, en el caso contrario.

CPA = 1, si las funciones de acceso están combinadas con las funciones de búsqueda.
 CPA = 0, en algún otro caso.

CMAx-1 = donde CMAX es el número de canales de acceso al sistema.

END = 1, indica que es la última palabra del tren.
 END = 0, si no es la última.

La E.M debe de dar respuesta a la E.B mediante el envío de un *mensaje de respuesta de búsqueda* enviado sobre un RECC; este mensaje debe de constar de 3 a 5 palabras dependiendo de las facilidades del usuario; las palabras más importantes a enviar son las siguientes:

Palabra A								
F =1	NAWC	T	S	E	0	SCM	MIN 23-0	P
Palabra B								
F =0	NAWC	LOCAL	ORDQ	ORDEN	LT	00	MIN 34-24	P
Palabra C								
F =0	NAWC			SERIE				P

donde:

LOCAL = Campo específico de cada sistema, el campo de orden debe de ser fijado al control local.

ORDQ = Campo calificador de orden, en el caso de un *mensaje de respuesta de búsqueda*,

ORDQ = 000 (búsqueda u originación)

ORDEN = Campo de orden; fijado al valor de control local 01101.

LT = Campo de código de último intento, dependiente del campo ORDQ; si

ORDQ = "000"; entonces LT = 0

ORDQ = "001"; poner LT = 1

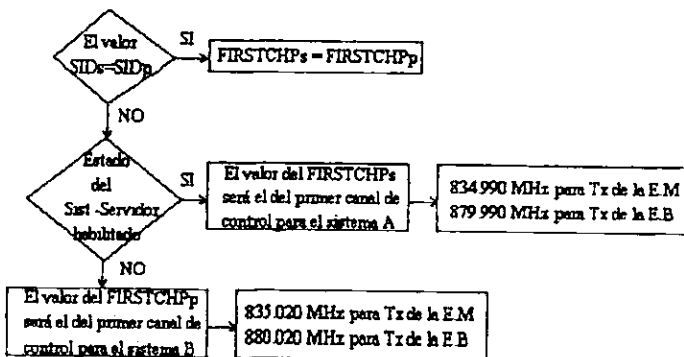
P = 11 bits de paridad.

2. La asignación de un canal de voz sigue los procedimientos descritos en el capítulo II incisos 1.6; entre estos procedimientos destacan los siguientes hechos:

a) Primero, cuando se detecta a la unidad móvil, esta debe tener la capacidad de elegir entre la toma de un canal del sistema A o del sistema B; dependiendo del tipo de conexión a realizarse.

b) El móvil debe de examinar la potencia de cada uno de los canales de control asignados al sistema A ó B.

c) Finalmente, se debe de entrar a la Tarea de *actualización de la información de encabezado* y consecuentemente a la tarea de *selección del canal de búsqueda*; en este procedimiento, la E.M debe de sintonizar al canal de control con la señal más fuerte y dentro de 3 seg. recibir un mensaje de parámetros del sistema y actualizar la información numérica de dicho mensaje, entre lo que se destaca la actualización del valor del primer canal de control utilizado para acceder al sistema (FIRSTCHPs). Este debe de actualizarse de la siguiente manera:



La confirmación de que una E.M ha sintonizado con éxito su canal de voz asignado, será recibida por la E.B por medio de un cambio en el estado del SAT, ST de (0,0) a (1,0). Si la confirmación no se recibe, la E.B debe reenviar el mensaje o apagar el transmisor del canal de voz.

Cuando la E.M confirma la designación de un canal de voz después de haber sido buscado, la E.B debe enviar a la E.M una señal de alerta con las siguientes características:

ALERTA: La E.M confirma la orden mediante un cambio en el estado del SAT, ST de (1,0) a (1,1)
La E.B debe entonces introducirse a la *espera de la tarea de respuesta*. En esta última se debe fijar un temporizador de alerta y en algunos casos tomar la acción consecuente.

Nota I-3: El *tono de llamada* se da en forma bidireccional (de la RTPC al móvil y viceversa) además presenta las siguientes características:

- El *tono de llamada* (Ring Back Tone) debe ser un tono de cadencia lenta en donde el periodo de emisión (del tono) es más corto que el de silencio.
- Los límites recomendados para el periodo del tono (incluidas las tolerancias) son de 0,67 y 1,5 seg. , para las centrales existentes, el limite superior aceptado es de 2,5 seg.
- La Figura I-3.1 precisa los límites recomendados y aceptados para la cadencia del tono de llamada.
- En cuanto al periodo de silencio los límites recomendados que median entre dos transmisores están comprendidos entre los 3 y 5 segundos.
- La cadencia de emisión del *tono de llamada* debe ser similar a la utilizada para el envío de la corriente de llamada del aparato telefónico del abonado llamado. La frecuencia recomendada para el *tono de llamada* está comprendida entre los 400 y 450 Hz. La frecuencia aceptada no debe ser inferior a 340 Hz ni superior a los 500 Hz.

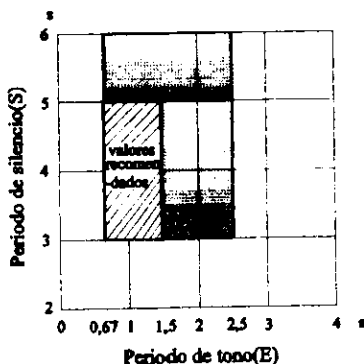


Figura I-3.1 Límites aceptados para el tono de llamada.

Nota I-4: En cuanto a la operación de una unidad móvil en el modo de transmisión discontinua, la E.B debe de enviar un *mensaje de control de estación móvil*, este mensaje es enviado en un canal de control hacia adelante con la siguiente información:

10 SCC PSCC RSVD LOCAL ORDQ ORDEN P

donde:

SCC = Código de color SAT para canal nuevo; donde:

Patrón de Bit	Frecuencia SAT
00	5970 Hz
01	6000 Hz
10	6030 Hz
11	no es una designación de canal

PSCC = Código de color SAT presente, indica el código de color SAT asociado con el canal presente.

RSVD = Reservados para futuros usos.

LOCAL = Este campo debe ser fijado a control local para que el campo pueda ser interpretado.

ORDQ = Campo calificador de orden; para nuestro caso:

ORDQ	Cambio de potencia al
000	Nivel 1
001	Nivel 2
010	Nivel 3
011	Nivel 4
100	Nivel 5
101	Nivel 6
110	Nivel 7

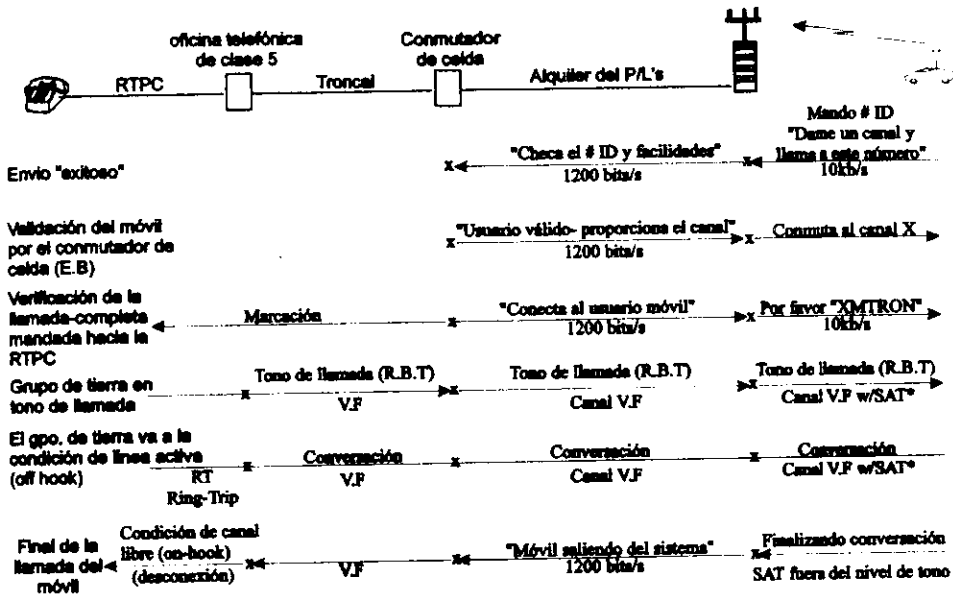
ORDEN = Campo que identifica el tipo de orden, para el proceso de cambio de potencia:

ORDEN	Cambio de potencia al
01011	Nivel 1
01011	Nivel 2
01011	Nivel 3
01011	Nivel 4
01011	Nivel 5
01011	Nivel 6
01011	Nivel 7

P = 11 bits de paridad.

Por otra parte los procedimientos de establecimiento de una llamada de un móvil a un usuario de la RTPC y del procedimiento de *handoff*, pueden ser observados en forma general de la siguiente manera:

Operación del sistema para establecer una llamada de un Móvil- a la Red Pública Conmutada.



NOTA: El procedimiento de establecimiento de la conversación puede ser similar al explicado en el ejemplo anterior; sin embargo, en el caso de que una unidad móvil requiera de servicio, se debe de tener en cuenta que los formatos de señalización (Canal de control hacia atrás y los mensajes de control de la E.M) presentaran algunos cambios.

Además como puede observarse durante el monitoreo de la conversación, la E.B debe de tener muy en cuenta el estado del código SAT que se envía y recibe de la E.M a la E.B mediante un mensaje de control de la E.M enviado sobre el canal de voz con las siguientes características:

2	2	2	9	5	3	5	12
10	SCC	PSCC	RSVD	LOCAL	ORDQ	ORDEN	P
	SCC		RSVD	VMAC	CHAN		
2	2	2	8	3	11		12

donde:

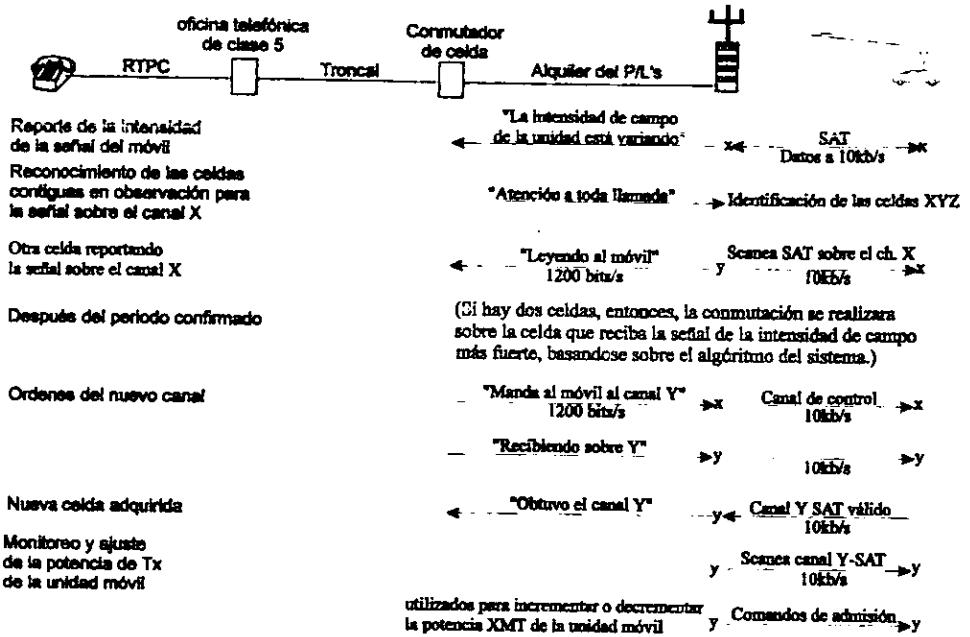
SCC.- Es el código de color SAT para un canal nuevo.

PSCC.- Indica el código de color SAT asociado con el canal presente

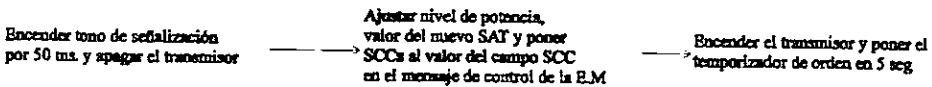
VMAC.- Indica el nivel de potencia de la E.M; ver tabla 1 del inciso 1.1 del capítulo II.

CHAN.- Campo de número de canal. Indica el canal de voz asignado; ver inciso 1.3.3 del capítulo II.

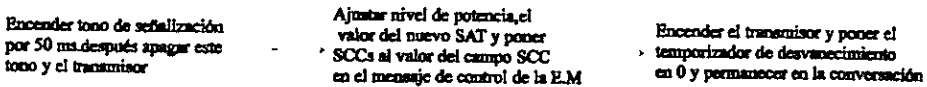
Operación del sistema para el desarrollo del procedimiento de Transferencia de Llamada.



NOTA: En forma general cuando se realiza el procedimiento de *handoff*, se debe de enviar una orden de alerta a la unidad móvil entonces en un lapso de 100 ms. se debe de comparar el valor del SCCs con el del PSCC que envien en el mensaje de control de la E.M; en caso de que SCCs ≠ PSCC, se debe ignorar la orden; en caso contrario, se puede realizar la transferencia de llamada realizando las siguientes acciones:



En cambio cuando se esta en el estado de conversacion; el procedimiento de *handoff* sigue el siguiente procedimiento:



III.1.7 ITERACIÓN ENTRE LOS PBX, CENTRALES TELEFÓNICAS Y LA TELEFONÍA CELULAR.

Como se mencionó anteriormente, un sistema celular (considerando al sistema AMP) posee tres componentes básicos: La MTSO, la estación base o sitio de la celda y la unidad móvil. En forma general la MTSO está compuesta por un sistema de conmutadores electrónicos (ESS) 1/1A, estos conmutadores son considerados como el centro de control y de interfaz con la red pública conmutada. El sistema 1/1A ESS está compuesto principalmente por procesadores lógicos, circuitos de memoria y de servicio. En estos sistemas, los switches REED son utilizados como elementos de la matriz de conmutación.

La oficina de conmutación móvil (MTSO) da servicio a una gran área geográfica, y todas las llamadas móviles originadas en esa gran área de servicio son conmutadas directamente a la MTSO; además la oficina de conmutación móvil tiene las funciones de:

- Conmutación local estándar.
- Administración de los canales de radio.
- Envío de mensajes de administración.
- Sincronización para llevar a cabo el proceso de transferencia de llamada.

La mayoría de los usuarios de una central local tiene la facilidad de ser conectados a la central telefónica móvil (MTSO) por medio de la existencia de la red conmutada. Los switches REEDS son conmutados bajo el control del procesador central de la MTSO para realizar una conexión de voz entre la central móvil y la oficina local de clase 5. La red de conmutación es configurada para conectar cualquiera de dos líneas y/o troncales al mismo tiempo con una probabilidad de bloqueo previamente diseñada. La posición de la MTSO en la jerarquía de la red telefónica pública conmutada (RTPC) es mostrada en la figura III.20

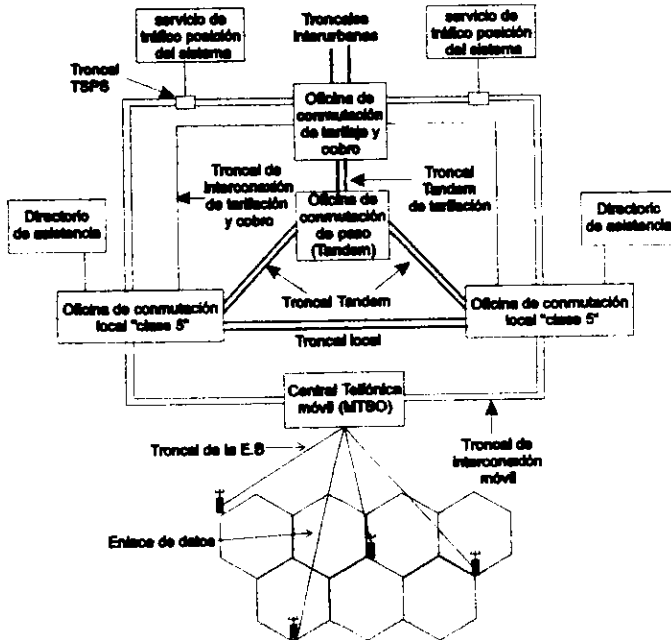


Fig. III.20 Posición de la MTSO en la jerarquía de la Red Telefónica Pública Conmutada.

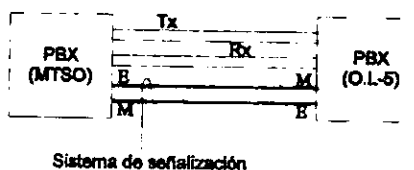
En la figura anterior se puede observar que la MTSO suministra por un lado conexiones a diferentes celdas, mientras que del otro lado, se tienen las facilidades que provee una central telefónica local de clase 5. El sistema de switches 1/1A ESS opera bajo el control de programas de software para lograr completar los procedimientos de llamada, administración y mantenimiento del hardware. El sistema 1/1A ESS utiliza algunos valores específicos para el envío de los dígitos por medio del sistema DTMF; dichos valores se muestran a continuación:

Sistema de conmutación	Pulsación M.F	
	Pulso normal e intervalo interdigital	Pulso opcional e intervalo interdigital
1/1A	60 ± 0.5 ms	50 ± 5 ms

En algunas pruebas realizadas al sistema (celular), la MTSO ocupa una posición en la jerarquía de la red telefónica por debajo de la central local de clase 5. Además de que la MTSO puede ser interconectada con una o más oficinas telefónicas locales sobre las facilidades de troncales estándar. La principal diferencia entre una línea de abonado y una troncal es que la primera está permanentemente asignada a un abonado específico, mientras que la segunda es una conexión cuyo empleo se comparte.

El arreglo para la interconexión de la MTSO es similar a la de un PBX (Private Branch Exchange) haciendo uso de las líneas telefónicas existentes de las centrales locales de clase 5. Un PBX se encarga de establecer las conexiones apropiadas para enrutar o dirigir la comunicación a través de la red telefónica hacia su destino correcto por la vía más adecuada.

Tomando en cuenta el hecho de que una central telefónica móvil puede ser considerada como un PBX, entonces los procedimientos de intercambio de información con la central local de clase 5 pueden ser descritos de la siguiente manera:



donde:

- E = Earth (Escuchar), además de que el hilo "E" proporciona voltaje a cualquier punto remoto
- M = Mouth (Hablar), este hilo recibe voltaje de cualquier punto remoto.

Características de la señalización E&M

1. El sistema de señalización E&M se da entre las troncales de interoficinas.
- Las llamadas pueden ser originadas de dos maneras.
 - Algunas de las facilidades del sistema de señalización para la mayoría de las aplicaciones son:

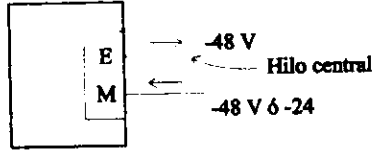
Facilidades	Facilidades del sistema de señalización
Metálicas	DX
Análogicas	SF ¹
Digitales	Bits de información en serie

¹ Señalización por frecuencia única dentro de banda.

2. En los casos de proporcionar un servicio especial:

- La señalización E&M se emplea para la marcación entre los PBX ligados a las troncales.
- Además E&M se utiliza para el transporte de canales en circuitos empleados para algunos servicios especiales.

3. Con relación a las características eléctricas tenemos que:



Algunas interfaces eléctricas comunes de E&M son mostradas en la figura III.21

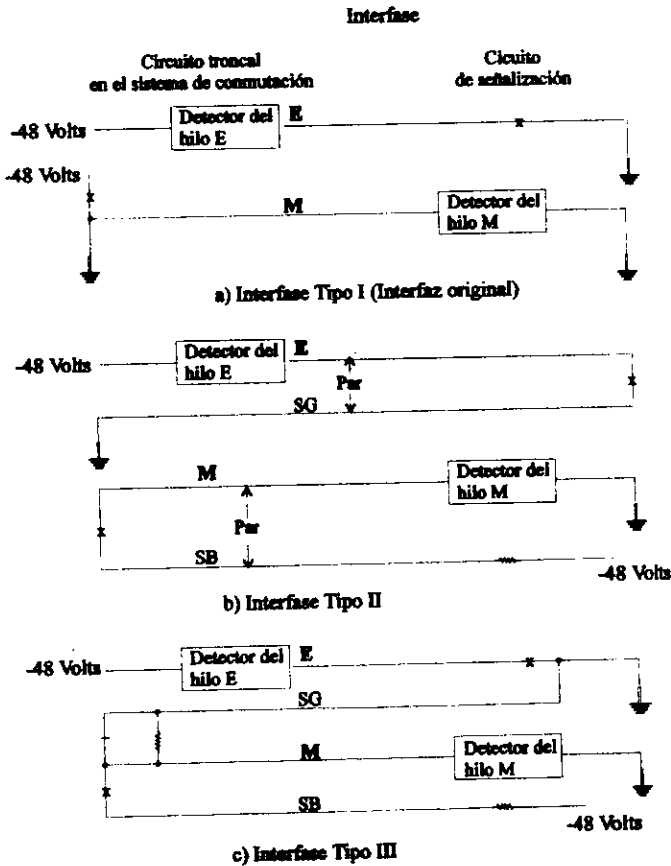
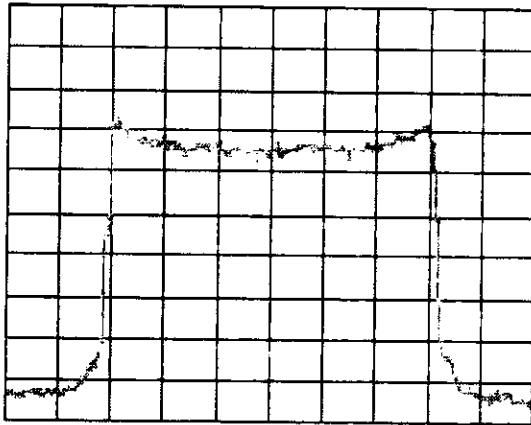


Fig. III.21 Disposiciones más comunes de la interfaz E&M.

CAPÍTULO I



SISTEMAS DE ACCESO A LA TELEFONÍA CELULAR



SEÑAL CDMA DE ESPECTRO DISPERSO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES MARCO ANTONIO



CAPITULO IV

SISTEMAS DE ACCESO ALA TELEFONÍA CELULAR

INTRODUCCIÓN.

Debido al crecimiento de la población que utiliza el servicio móvil celular, la industria de la telefonía celular es la de mayor desarrollo en el mercado de los sistemas inalámbricos. En la actualidad, hay más de 25 millones de usuarios de la telefonía inalámbrica solamente en la unión americana, esperándose un crecimiento del 30% de usuarios por año durante los próximos 5 años.

Es por ello que la industria de la telefonía móvil se ve envuelta en una serie de conflictos técnicos, debido principalmente a la capacidad inherente y limitaciones de la calidad del sistema analógico actual. Dichos sistemas analógicos (AMPS, TACS, etc.) tienen la desventaja de no soportar el acelerado desarrollo de la telefonía inalámbrica, debido principalmente a las limitaciones impuestas en relación con el espectro radioeléctrico asignado para la proporción de dicho servicio. Por lo que el crecimiento del mercado de la telefonía celular traerá como consecuencia una sobrepoblación no considerada en un principio dentro del sistema; esta sobrepoblación tendrá algunos efectos drásticos, tales como la degradación de la calidad del servicio debido a llamadas bloqueadas, interrumpidas y en particular el molesto efecto del traslape de la conversación telefónica (cross-talk).

Debido a que la asignación del espectro radioeléctrico es fija, la única solución práctica para cubrir con las expectativas de crecimiento de la industria de la telefonía celular, es la de lograr un uso más eficiente de dicho espectro. Es por ello que se requirió establecer un grupo de requerimientos técnicos exponiendo para ello la necesidad de la implementación de un *sistema telefónico celular digital*, el cual tiene como objetivo principal lograr un incremento inmediato de hasta 10 veces la capacidad del sistema celular.

Los requerimientos también deben de expresar la necesidad de una mejora en la calidad del servicio en forma general, incluyendo calidad de voz, gran flexibilidad y privacidad, además de tener en cuenta la posibilidad de obtener grandes velocidades en cuanto a los requerimientos de transmisión de datos.

Es por todo lo anterior que surgen los sistemas digitales con tecnología TDMA y CDMA cada uno de ellos con características particulares, las cuales serán tratadas mas a detalle a lo largo del capítulo. Estos sistemas traen consigo la implementación de un sistema telefónico celular completamente digital. Entre las características más importantes destacan la digitalización de la conversación analógica, debido a que este proceso es el más importante dentro del sistema, ya que con ello las técnicas de acceso múltiple (TDMA y CDMA) pueden ser empleadas con gran eficiencia.

Además del sistema celular digital TDMA y CDMA algunos otros estándares fueron desarrollados para mejorar la capacidad del sistema. Entre estos destaca el sistema E-TDMA (Enhanced-TDMA) desarrollado por Huges Network System.

La tabla IV.1 nos muestra las características más importantes de los sistemas celulares digitales mencionados anteriormente.

Tabla IV.1 Comparación de los diferentes sistemas celulares digitales en E.U.A.

	TDMA (Ericsson, AT&T)	CDMA (Qualcomm)	E-TDMA (Hughes/IMM)
Características	Divide canales de 30 kHz en 6 time slots, produciendo tres canales de voz equivalentes basados en el estándar IS-54	Las llamadas se realizan en un canal de banda ancha de 1.25 MHz, equivalente a 42 canales de 30kHz, utiliza un proceso suave de Handoff para incrementar la calidad de la señal de voz.	Utiliza canales de 30 kHz, pero utiliza las 6 time slots para 6 canales discretos; la principal característica de este sistema es que utiliza la interpolación digital de la conversación para incrementar la capacidad del sistema.
Capacidad (vs el sistema analógico)	3 - 5 veces	10 - 20 veces	8 - 10 veces
Velocidad de los codificadores de voz	8 kbps	8 kbps *	4.8 kbps
Conversión inicial del espectro requerida	5 %	10 %	10 %
Capacidad en el manejo de datos	SI	SI	SI
Privacidad	SI	SI	SI

Es conveniente mencionar que en un sistema celular digital, existen dos características principales que deben de ser consideradas para la elección adecuada del sistema de acceso; estas características son:

- La técnica de digitalización de la voz.- Por lo general se ha estandarizado el uso del sistema de *Modulación por Impulsos Codificados* (PCM).
- El sistema de codificación de voz.- Empleado para reducir la velocidad de la información (*compresión*); entre los más empleados están los siguientes algoritmos:

ADPCM : Modulación por Impulsos Codificados Diferencial Adaptiva.

APC: Codificador Predictivo Adaptivo.

ATC: Codificador Adaptivo Transformado.

VEV: Vocoder de voz excitada.

LPC: Coeficiente lineal predictivo.

VSELP: Predictor de Vector Lineal de Suma Excitado.

QCELP: Predictor Lineal Excitado de Código de Qualcomm.

- La técnica de modulación a emplear.- Esta deberá de cumplir con los requisitos mínimos estandarizados para lograr alta confiabilidad (obteniendo un bajo valor del BER). Entre las más comunes están:

• $\pi/4$ QPSK.

• DQPSK.

• F.M Digital.

Las técnicas TDMA y CDMA serán tratadas más a detalle a lo largo del capítulo.

IV.1 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LA TECNOLOGÍA DE MULTIPLEXIÓN DE SEÑALES.

Cuando más de una fuente de transmisión está involucrada en el proceso de envío de información, y la información de dichas fuentes debe ser enviada en forma simultánea, se dice que las fuentes de información deben ser *multiplexadas* (combinadas en una señal única de *banda base*).

Multiplexar significa transmitir una gran cantidad de unidades de información por medio de un número pequeño de canales o líneas de transmisión (por lo general solamente es una línea de transmisión). Esta multiplexión debe de ser tal que la forma de onda de la fuente individual pueda ser separada de manera adecuada en el proceso de recepción.

El propósito principal de un multiplexor (MUX) es dividir la capacidad del manejo de la información del sistema de comunicación entre cierto número de terminales. En este sentido, es "transparente"; es decir, un MUX no realiza ninguna acción que altere los datos que se manejan.

En forma general, hay dos formas de multiplexar una señal de información:

- Multiplexión en Frecuencia.
- Multiplexión en Tiempo.

IV.1.1 MULTIPLEXIÓN EN FRECUENCIA.

La forma más común para lograr la multiplexión por este medio es modular cada una de las fuentes en *subportadoras separadas*, cada una de ellas ubicada en una región diferente del espectro de frecuencia. Entonces las *subportadoras* deben ser sumadas para formar la señal en *banda base* multiplexada; tal como se muestra en la figura IV.1

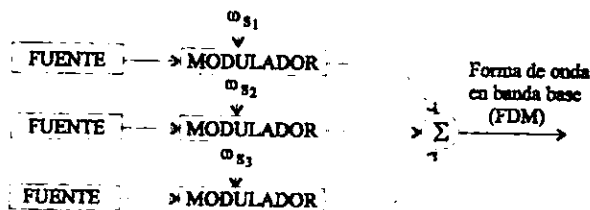


Fig. IV.1 Diagrama a bloques de un sistema de multiplexión.

Un sistema que utiliza este tipo de multiplexión es conocido como un sistema de *Multiplexión por División de Frecuencia (FDM)* en banda base; por lo que la forma de onda de las fuentes es separada en frecuencia por las subportadoras. El espectro típico de las señales FDM es mostrado en la figura IV.2 la cual muestra las fuentes multiplexadas lado a lado, cada una en su respectiva frecuencia subportadora.

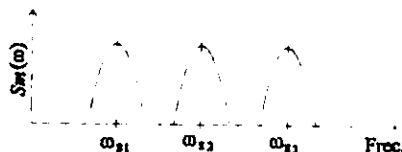


Fig. IV.2 Espectro Multiplexado.

IV.1.2 MULTIPLEXIÓN EN TIEMPO.

El método de combinar varias señales muestreadas en una determinada secuencia de tiempo es generalmente llamada *Multiplexión por División de Tiempo (TDM)*. El sistema TDM es conveniente cuando una señal se encuentra en la forma de un tren de pulsos (*señal digital*). En este tipo de sistemas, los pulsos se hacen más angostos y los espacios restantes entre estos pulsos son utilizados para la transmisión de otras señales de información (en forma discreta).

Como no es de esperarse que todas las fuentes de información transmitan señales en forma digital (tal es el caso del sistema telefónico); se plantea la necesidad de utilizar algunos dispositivos que realicen la conversión del formato *analógico-digital (A-D)* y *digital-analógico (D-A)*, por lo que es necesario el empleo de un método eficiente de conversión A-D y D-A; entre estos métodos, el más empleado por los sistemas de *multiplexaje por división de tiempo* es el de *Modulación por Codificación de Impulsos (PCM)*.

IV.1.2.1 Modulación por Impulsos Codificados (Sistema PCM).

En un sistema PCM la señal de información a modular es muestreada, cada una de las muestras se transmite mediante un código formado por un grupo de pulsos. En general las muestras pueden tomar cualquier valor en un cierto rango continuo de la amplitud; sin embargo, se permite que las muestras tomen cualquier valor del número finito de niveles en este rango por medio de la aproximación de cada muestra al nivel permitido más cercano.

A este proceso de digitalización de las señales analógicas se conoce como *cuantización* y las señales que resultan de este proceso son denominadas *cuantizadas*. El proceso de muestreo implica definir los niveles de voltaje en niveles predeterminados y medibles. Este procedimiento puede ser observado a mayor detalle considerando la figura IV.3

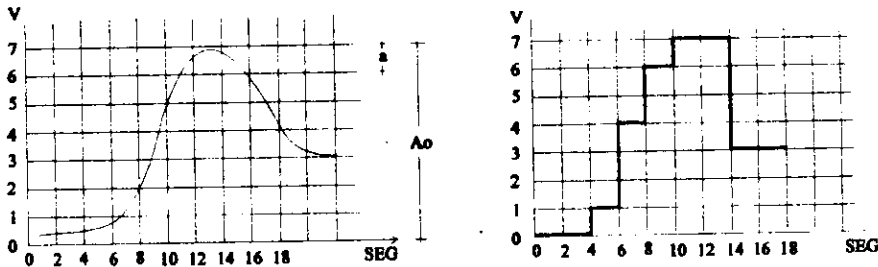


Fig. IV.3 Representación del proceso de cuantización.

Como puede observarse en la figura anterior, hay M posibles valores de amplitud siendo que:

$$M = \frac{A_0}{a + 1}$$

De acuerdo a experimentos realizados por varias Administraciones Internacionales, con 8 y 16 niveles de voltaje, las señales de voz se vuelven totalmente inteligibles.

Aunque la separación entre los niveles de amplitud indicados por a son uniformes, normalmente dicha separación no debe ser uniforme con objeto de mejorar el comportamiento del sistema en cuanto a la presencia de ruido. En general, el espaciamiento entre niveles se hace disminuir con los niveles bajos de amplitud, esta operación se realiza por medio de la técnica conocida como *compresión*.

Una vez que la señal muestreada ha sido cuantificada en un número M de intervalos, estos deben ser traducidos en un grupo de bits (código binario). El circuito que realiza dicho proceso es llamado *codificador*. La salida de un *codificador*, depende del número de intervalos de *cuantificación*. El número de bits del código esta relacionado con el número de intervalos de la siguiente manera:

Número de Bits en el Código	Número de Intervalos
1	2
2	4
3	8
4	16
5	32
6	64
7	128
8	256

Sin embargo, es necesario indicar la polaridad (+ ó -) de la señal por lo que uno de los bits del código deberá de sacrificarse para tal efecto. Por lo que, el número de bits en el código estará dado por:

$$n = \log_2(2 * N)$$

donde:

n = Número de bits del código.

N = Número de intervalos.

además de que N es multiplicado por 2 para ganar el bit extra de *señalización*, por lo tanto, si tenemos 64 intervalos:

$$n = \log_2(2 * 64) = 7 \text{ Bits de código}$$

Por lo que se requieren 7 bits de código para representar 64 intervalos de muestreo.

Con respecto a las señales de diferente amplitud, observamos que las señales con pequeña amplitud presentan algunas características especiales en cuanto a su análisis (con respecto a la relación S/N). Si consideramos que para un sistema lineal, la relación S/N es la amplitud de la señal de entrada a 0.25 de la amplitud del intervalo de *cuantificación* y si consideramos la siguiente figura tenemos que:



$$S_1/N_1 = 1/0.25 = 4$$

$$S_2/N_2 = 5/0.25 = 20$$

Los resultados anteriores no son válidos ya que las señales pequeñas ocurren con mayor frecuencia en una conversación telefónica. La manera más adecuada de solucionar este problema es ajustando el tamaño de los intervalos de *cuantificación*. De tal forma que cuando ocurran señales de gran amplitud existan intervalos grandes y en las de amplitud pequeña intervalos pequeños.

Deduciendo de ello que existe una relación entrada - salida no lineal (en cuanto a la codificación) como resultado de la compresión de salida con respecto a la entrada.

1. Leyes de Compresión.

Para los requerimientos de conversión A-D y compresión, dos leyes matemáticas han sido aceptadas, la Ley μ y la Ley A.

a) Ley μ .

Esta ley es utilizada en E.U.A y Japón principalmente. Logra la simetría cambiando el origen hacia la curva característica.

Los circuitos que aplican esta ley operan a 255 de compresión-expansión utilizando la siguiente relación:

$$F_{\mu}(X) = \text{sgn}(X) \text{Ln}(1 + \mu/X) / (\text{Ln}(1 + \mu))$$

donde:

X = Señal de entrada normalizada (entre -1 y +1)

sgn = al signo de X

$\mu = 255$ (E.U.A y Japón)

El codificador produce una salida de 8 bits, de los cuales 7 son para la magnitud, más un bit para el signo, la curva característica se muestra en la figura IV.4

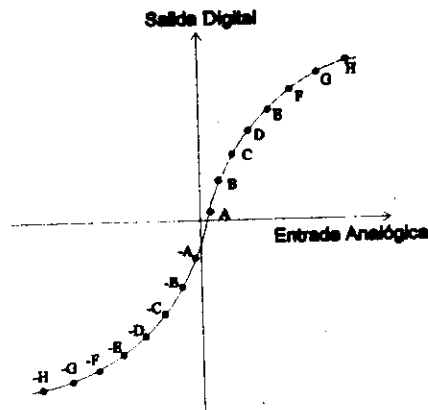


Fig. IV.4 Curva de compresión empleando la Ley μ

Formato de Codificación.

La manera de formar un código de 8 bits (palabra PCM) es de acuerdo a los siguientes valores:

Valores De Decisión	SEGMENTO	Código de 8 bits (palabra PCM)							
		POLARIDAD 1 = + 0 = -	2	3	4	5	6	7	8
			Descripción de Amplitud				16 posibles valores de Amplitud		
112-127	G - H	1	1	1	1	W	X	Y	Z
96-111	F - G	1	1	1	0	W	X	Y	Z
80-95	E - F	1	1	0	1	W	X	Y	Z
64-79	D - E	1	1	0	0	W	X	Y	Z
48-63	C - D	1	0	1	1	W	X	Y	Z
32-47	B - C	1	0	1	0	W	X	Y	Z
16-31	A - B	1	0	0	1	W	X	Y	Z
0-15	0 - A	1	0	0	0	W	X	Y	Z

NOTA: Para la selección de polaridad negativa el valor 00000000 es excluido

b) Ley A.

La Ley A, utiliza una pendiente lineal para interpolar el origen y la ley logarítmica. Su ecuación característica es:

$$F_x = \text{sgn } X \frac{(A / X)}{(1 + \text{Ln}A)}$$

cuando X tiene un rango de 0 y $\frac{1}{A}$

Para valores de $\frac{1}{A}$ hasta 1, tenemos que:

$$F_x = \text{sgn } X \frac{(1 + \text{Ln}A / X)}{(1 + \text{Ln}A)}$$

donde:

A = 87.6 de compresión para las redes europeas.

La velocidad de transmisión por canal es de 64 kbps, su curva característica es mostrada en la figura IV.5

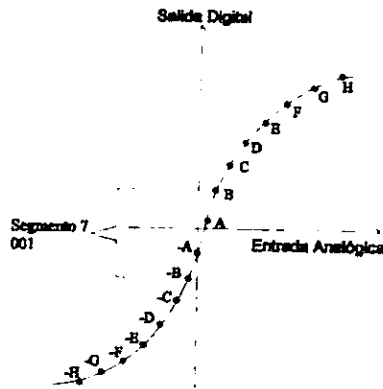


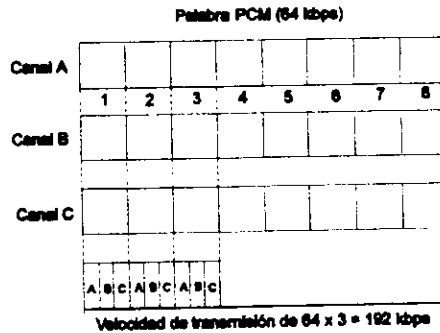
Fig. IV.5 Curva de compresión de la Ley A.

Formato de codificación.

Valores De Decisión	SEGMENTO	Código de 8 bits (palabra PCM)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		POLARIDAD 1 = + ó 0 = -	Descripción de Amplitud						
			Segmento			16 posibles valores de Amplitud			
112-127	G - H	1	1	1	1	W	X	Y	Z
96-111	F - G	1	1	1	0	W	X	Y	Z
80-95	E - F	1	1	0	1	W	X	Y	Z
64-79	D - E	1	1	0	0	W	X	Y	Z
48-63	C - D	1	0	1	1	W	X	Y	Z
32-47	B - C	1	0	1	0	W	X	Y	Z
16-31	SEGMENTO	1	0	0	1	W	X	Y	Z
0-15	7	1	0	0	0	W	X	Y	Z

Una palabra PCM corresponde a una muestra y como la velocidad de muestreo es de 8000 Hz. (de acuerdo al teorema de Nyquist) entonces se obtienen 8000 palabras PCM por segundo, por lo que para cada conversación la velocidad de transferencia de bits en un enlace digital es de $8000 \times 8 = 64000$ bps.

Entonces, si consideramos tres canales digitales (a, b y c), los cuales contienen una palabra PCM, el principio TDM puede ser ejemplificado de la siguiente manera:



IV.1.2.2 Sistemas de Transmisión PCM.

1. Sistema PCM30 (Compresión Europea).

Este sistema permite transmitir 30 conversaciones (información digital) en forma simultánea.

El espacio dado a cada palabra PCM en la línea TDM común se llama *ranura de tiempo* (time slot). De esta manera se forma lo que se conoce como una trama. Una trama es un grupo de información o conjunto de bytes de una o varias aplicaciones que presentan un formato específico; la manera de formarla está basada en la técnica del TDM.

Además de tener 30 canales (también llamados E0) para conversación, el sistema PCM30 contiene dos canales adicionales; un canal para la señalización de línea del usuario y otro para indicaciones de sincronía y alarma.

De esta manera una trama completa contiene 32 canales o *time slots* en solo 125 μ s, tal como lo muestra la figura IV.6

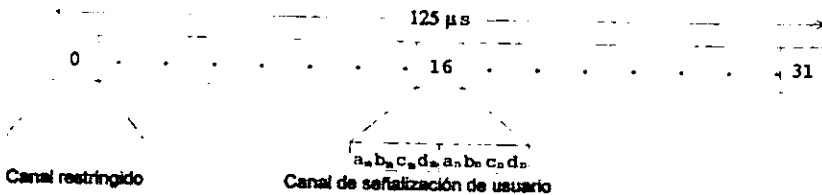


Fig. IV.6 Trama de 32 canales en un sistema PCM30.

Es conveniente mencionar que la trama anterior es conocida como un E1 a una velocidad de 2.048 Mbps; y que además el sistema PCM30 también trabaja con multitramas. Una multitrama se forma con 16 E1 y tiene una duración en tiempo de 2 mseg., tal como se puede observar en la figura IV.7

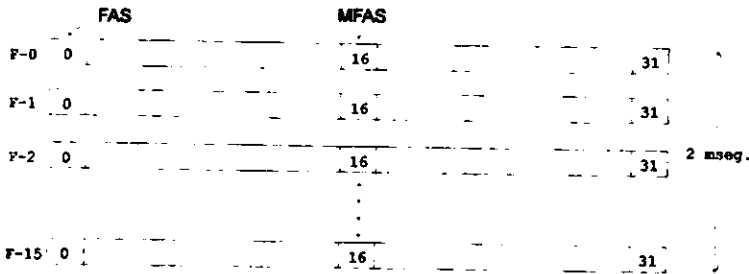


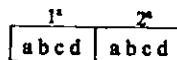
Fig. IV.7 Sistema de Multitramas.

Única y exclusivamente en el canal 16 de la trama 0 (F-0) se tiene la indicación MFAS (Palabra de Alineamiento de Multitrama), la cual tiene el siguiente formato:

MFAS $\underline{1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ x \ 1 \ 1}$ Además de que X indica lo siguiente:

- X = 0: No hay señales de alarma en el sistema
- X = 1: Indica la presencia de alarma en el sistema, por lo que si este valor se presenta, se pierde la sincronía de la multitrama y si el MFAS falla, se corta el enlace.

A partir de la F-1, el canal 16 lleva la señalización de línea del usuario, esta se compone de la siguiente manera:



NOTA. Los bits C y D no son empleados por lo que son codificados en 01 respectivamente.

Después de la F-0, el canal 16 de la F-1 es dividido en dos secciones, donde cada sección lleva la señalización de línea de un usuario determinado; por lo que el canal 16 de la F-1 lleva la señalización del usuario del canal 1 y 17, el canal 16 de la F-2 lleva la señalización del usuario del canal 2 y 18; y así sucesivamente hasta que el canal 16 de la F-15 lleva la señalización del usuario 15 y 31. El procedimiento anterior es referido comúnmente como *señalización de canal asociado (CAS)* debido a que las señales de control del sistema viajan junto con la información del usuario. Las señales de control emplean el tipo de señalización R2-MFC.

Para el caso del canal 0 de todas las tramas, este canal es restringido para el usuario, por lo que es utilizado para la indicación de algunos casos especiales. El canal está codificado de la siguiente manera:

- En el canal 0 de las tramas pares, siempre se deben de tener bits predeterminados con el siguiente formato:

1 0 0 1 0 1 1 1	FAS - Señal de alineamiento de trama
-----------------	--------------------------------------

- En el canal 0 de las tramas nones, se presentan las indicaciones de alarma, las cuales son dadas de la siguiente manera:

1 0 X Y 0 1 1 1

donde:

X ⇒ Indica **ALARMA URGENTE**, cuando:

$$X = \begin{cases} 0 & \text{; No hay alarma urgente} \\ 1 & \text{; SI hay alarma urgente, por lo que en este estado se puede} \\ & \text{perder un byte completo de información o se comienza a} \\ & \text{perder sincronía (pérdida de información de la red)} \end{cases}$$

Y ⇒ Indica **ALARMA NO URGENTE**, cuando:

$$Y = \begin{cases} 1 & \text{; No hay alarma urgente} \\ 0 & \text{; SI hay alarma. Cuando se presenta este tipo de alarma, se} \\ & \text{dice que se pierden algunos bits del usuario, pero no de la red} \end{cases}$$

2. Sistema PCM24 (Compresión Americana).

En dicho sistema se utilizan 24 canales (T0) para formar una trama, a dicha trama se le conoce comúnmente como un T1 a una velocidad de 1.544 Mbps ($[192 + 1]bit * 8000Hz$); tal como se muestra en la figura IV.7



Fig. VI.7 Trama del sistema PCM24

Además del formato de trama, el sistema funciona con multitramas, la unidad de multitrama está formada por 12 tramas. Tal como se muestra en la figura IV.8

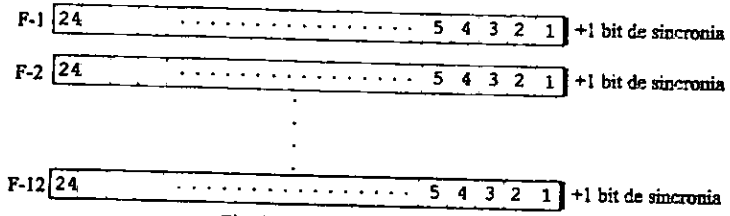
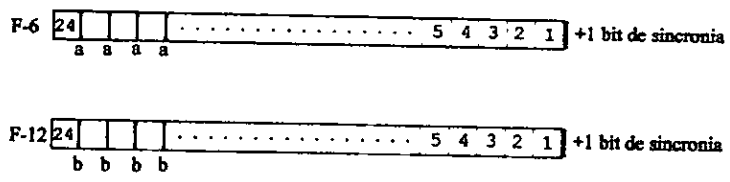


Fig. IV.8 Sistema de multitrama.

Las tramas se dividen en pares y nones, con el fin de predeterminedar la secuencia de los bits de sincronía; el orden de recepción de los bits de sincronía es el siguiente:

		Orden de Recepción del Bits de Sincronía											
Tramas	F-1	F-2	F-3	F-4	F-5	F-6	F-7	F-8	F-9	F-10	F-11	F-12	
PARES		0	0			1		1		1		0	
NONES	1		0		1		0		1		0		

En un sistema TI, la señalización de línea se manda única y exclusivamente en las tramas 6 y 12; para lo cual el sistema *roba un bit a cada canal para cumplir con esta tarea*, por lo que en estos espacios de tiempo, el usuario solamente dispone de 7 bits de código por canal, logrando con ello obtener una velocidad de 56 kbps (8000x7 bits), tal como se muestra a continuación:



Los bits a y b son utilizados para la señalización de línea del usuario, el sistema PCM24 utiliza el sistema de señalización *Winck Star*

La utilización de un bit para la señalización dentro de los canales del usuario puede traer consigo algunas limitaciones en cuanto al desempeño del sistema; ya que en la transmisión de datos el bit de señalización es utilizado en todas las tramas, reduciendo con ello la velocidad de transferencia de 64 kbps a 56 kbps; lo cual no es convencional.

3. Jerarquías Digitales de Multiplexión.

Al determinar las velocidades binarias jerárquicas hay que tener en cuenta varios factores relacionados con los servicios, los medios de transmisión y la red, como por ejemplo:

- características y método adecuado de codificación de las señales analógicas;
- velocidades binarias de las señales digitales de origen;
- utilización de los medios de transmisión disponibles;
- compatibilidad con sistemas multiplex analógicos.

Por lo que las Administraciones Internacionales especializadas (CCITT) recomiendan la utilización de las siguientes velocidades binarias jerárquicas en las redes digitales:

Nivel de la Jerarquía Digital Plesiochróna	Velocidades binarias Jerárquicas (kbits/s) para redes cuya jerarquía digital se basa en una velocidad binaria de primer nivel de	
	1544 kbits/s (T1)	2048 kbits/s (E1)
	64	64
1	1544	2048
2	6132	8448
3	44736 (32064)	34368
4	97728	139264

Las figuras IV.9 y IV.10 presentan algunas de las velocidades binarias jerárquicas recomendadas sobre las interfaces de red, equipos multiplex y secciones/sistemas de línea digital.

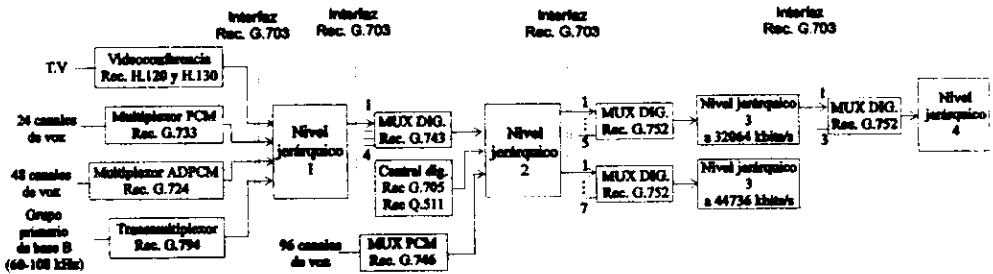


Fig. IV.9 Jerarquías Digitales Plesiochrónas Americanas según la Recomendación G.702 del CCITT.

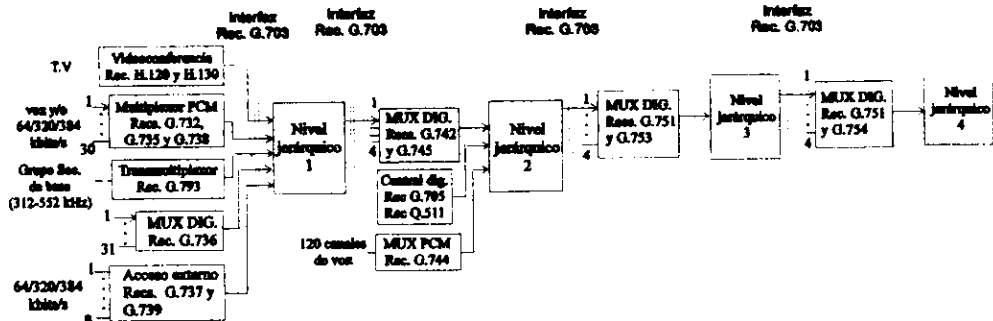


Fig. IV.10 Jerarquías Digitales Plesiochrónas Europeas según la Recomendación G.702 del CCITT.

El CCITT define las características de la interfaz eléctrica en la Rec. G.703 (Libros Azules Fascículo III.4); entre las que destacan las siguientes:

Interfaz digital a 1544 kbits/s

Velocidad binaria	1544 kbits/s \pm 50 ppm	
Par (es) en cada sentido de transmisión	Un par simétrico	
Código de línea	AMI ó B8ZS	
Impedancia de carga de prueba	100 Ω resistiva	
Forma nominal del impulso	Rectangular (Fig. IV.11)	
	Potencia a 112 kHz	De +12 dBm a +19 dBm
Nivel de señal		
	Potencia a 1544 kHz	Por lo menos 25 dBm por debajo del nivel de potencia a 772 kHz

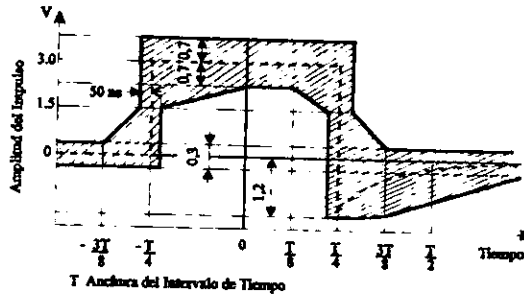


Fig. IV.11 Plantilla para el impulso en el caso de la interfaz a 1544 kbps.

Interfaz digital a 2048 kbits/s

Velocidad binaria	2048 kbits/s \pm 50 ppm	
Código de línea	HDB3	
Par (es) en cada sentido de transmisión	Un par coaxial	Un par simétrico
Impedancia de carga de prueba	75 Ω , resistiva	120 Ω , resistiva
Tensión nominal del impulso	2,37 V	3,0 V
Tensión de cresta a ausencia de pulso	0 \pm 0,237 V	0 \pm 0,3 V
Anchura nominal del pulso	244 ns	
Forma del impulso (Forma nominal: rectangular)	Los valores deberán ajustarse a la forma de la figura IV.12. El valor de V corresponde al valor nominal de cresta	

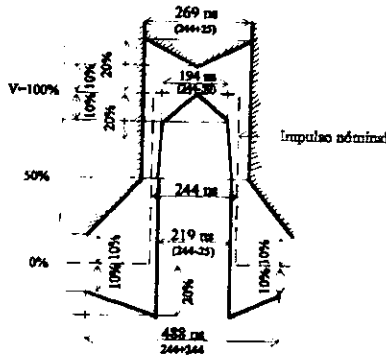


Fig. IV.12 Plantilla para el impulso en el caso de la interfaz a 2048 kbps.

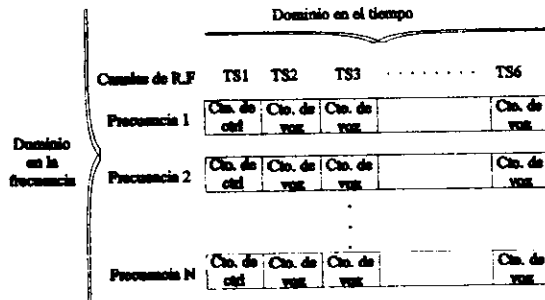
IV. II. USO DE LAS TECNOLOGÍAS DE MULTIPLEXIÓN EN TIEMPO (TDMA) Y POR DIVISIÓN DE CÓDIGOS (CDMA) PARA EL ACCESO DE LOS DIFERENTES USUARIOS A LA RED DE SERVICIOS.

IV. II. 1 EL SISTEMA TDMA (TIME DIVISION MULTIPLE ACCESS).

El empleo de la tecnología TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo) fue propuesto para lograr incrementar la eficiencia del espectro radioeléctrico en los sistemas celulares. Una de las principales causas para llegar a esta conclusión fue que el sistema TDMA tiene la capacidad de reducir el costo y volumen del equipo terminal tanto de la estación base como de la unidad móvil, ya que el equipo analógico podía ser reemplazado por medio de circuitos integrados con tecnología VLSI para el procesamiento digital de las señales.

El Acceso Múltiple por División de Tiempo es una técnica de multiplexaje en tiempo para la transmisión de portadoras moduladas digitalmente, la cual se utiliza para establecer enlaces de comunicaciones entre varias estaciones que forman una red. Cada frecuencia portadora es dividida en un número determinado de ranuras de tiempo y cada ranura constituye un circuito telefónico independiente. En un sistema TDMA cada estación participante transmite una o más ráfagas de tráfico sincronizado de tal forma que ocupa tiempos específicos dentro de una trama TDMA.

El sistema TDMA tiene la característica de incrementar de 3 a 6 veces la capacidad del sistema celular analógico; además de que todos los usuarios tienen acceso a todas las frecuencias y a su vez a las ranuras de tiempo dentro de estas frecuencias. Por lo que en este tipo de sistemas se crea una matriz de tiempo - frecuencia de la siguiente forma:



Sin embargo, la principal desventaja de este sistema son los requerimientos de exactitud del reloj para la adecuada sincronización, ya que la presencia de inestabilidad puede ser traducida en *Time Jittering*. El *Jitter* se define como las pequeñas variaciones de los instantes significativos de una señal digital con respecto a su posición ideal en el tiempo. El efecto más adverso del problema de sincronización es el de *retardo por dispersión*.

IV. II. 1. 1. El Sistema TDMA Celular Digital Norteamericano (NA-TDMA).

El sistema NA-TDMA surge como respuesta a la implementación del sistema digital (TDMA) europeo denominado GSM. En su fase inicial, el sistema NA-TDMA compartía la misma banda asignada al sistema analógico (AMPS), por lo que ambos sistemas tenían la necesidad de coexistir dentro del mismo espectro radioeléctrico. Debido a esta necesidad se decidió implementar una unidad móvil de modo - dual, cuyo objetivo primordial era el de trabajar tanto en el sistema analógico como en el digital.

a) Arquitectura.

El sistema NA-TDMA emplea el concepto de red inteligente; su arquitectura básica se muestra en la figura IV.13.

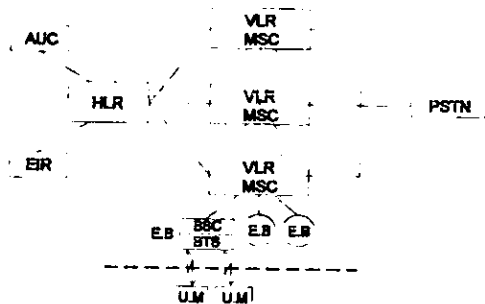


Fig. IV. 13 Arquitectura Básica del sistema NA-TDMA.

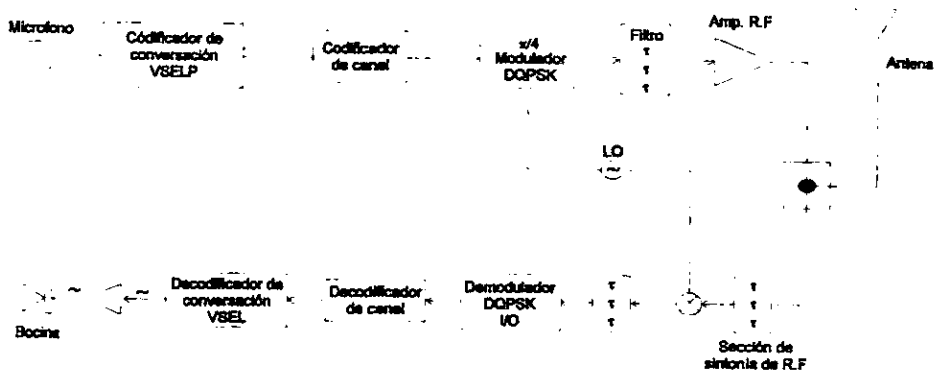
donde:

- VLR: Centro de Registro de Visitantes.
- HLR: Centro de Registro Local.
- AUC: Centro de Autenticación.
- EIR: Registro de Identidad de Equipo.
- BSC: Controlador de la Estación Base.
- BTS: Tranceptor de la Estación Base.

La fase de digitalización del sistema comprende la generación de canales digitales de establecimiento, además de que se debe de dar la especificación de un *protocolo de señal de servicio de datos*.

b) Detalles Técnicos del Sistema NA-TDMA.

Para ejemplificar las características técnicas de un sistema celular digital, consideremos el siguiente diagrama a bloques, el cual nos muestra la operación del procesamiento digital de la voz en un tranceptor móvil bajo el esquema TDMA.



Algoritmos de Codificación de Voz.

Como puede observarse en la figura anterior, la conversación analógica es digitalizada mediante la técnica PCM y posteriormente se utiliza un proceso de *codificación de voz* para lo cual se emplea una de las técnicas conocida como VSELP (*Predicador de Vector Lineal de Suma Excitado*). El algoritmo de codificación utiliza dos registros de código (*codebook*) para cuantizar vectorialmente la señal excitada (*residual*). En el proceso de codificación, el sistema moldea la conversación en un bloque vectorial de "*largos términos*" y dos bloques de "*cortos términos*" basados en los registros de código. El codificador de voz reduce la tasa de datos substancialmente a expensas de una alta demanda en la velocidad del procesamiento de las señales.

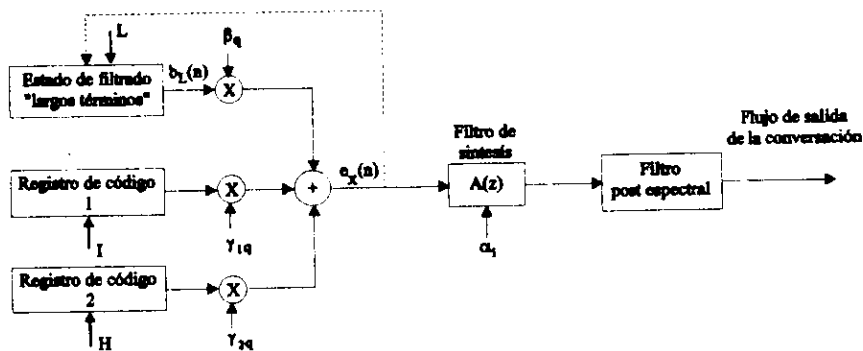
Como algunos elementos de la conversación varían lentamente en función del tiempo; pocos bits son utilizados para describir el bloque de "*largos términos*" y por consiguiente una mayor cantidad de bits son empleados para representar los "*cortos términos*" de voz, ello debido principalmente a su rápido cambio.

Después del proceso de codificación, los datos generados pasan a través de un codificador de canal y un bloque modulador, en donde se realizan las siguientes operaciones:

1. Se deben de adicionar bits para la *detección y corrección* de errores a los bits más importantes de la información.
2. La adición de un canal de control de datos.
3. Se debe establecer una secuencia de preparación de los datos para poder aplicar un proceso de *ecualización*; ya que con ello se lograra evitar en gran medida los efectos del *desvanecimiento por multitrayectorias*.
4. En el caso de los sistemas TDMA, algunos bits de guarda son adicionados para lograr la sincronía entre las tramas de la unidad móvil y la estación base.
5. Finalmente la serie de datos codificados debe de ser aplicada a un modulador capaz de transmitir la información a una baja tasa de errores (BER). De esta manera, los datos modulados con una portadora de R.F son transmitidos como paquetes de tamaño fijo.

En el lado receptor, la portadora transmitida es recibida, filtrada, y bajada hacia una frecuencia intermedia (I.F), donde nuevamente es filtrada. Esta señal de I.F es entonces pasada a un demodulador DQPSK para lo cual la información es recobrada para después pasar por el proceso de *corrección y detección de errores*, y consecuentemente ser decodificada por un sistema VSELP, recobrando de está forma la información analógica para lo cual esta es amplificada y enviada hacia el altavoz.

Cuando la conversación es digitalizada y codificada, esta es dividida en *segmentos de 20 ms. donde 159 bits codificados son generados a una tasa de 7.95 kbps*. Los bits generados son divididos de la siguiente manera:



donde:

- α_s = coeficiente de filtrado de "cortos términos", derivado de la conversación de entrada \Rightarrow 38 bits/trama;
- $R(O)$ = Energía de trama, refleja la potencia de la señal de entrada promedio sobre 20 mseg. \Rightarrow 5 bits/trama;
- L = Intervalos, 7 bits por subtrama generados en 5 mseg. \Rightarrow 28 bits/trama;
- I, H = Palabras de código 14 bits por subtrama \Rightarrow 56 bits/trama;
- $\beta, \gamma_1, \gamma_2$ = Ganancias, 8 bits por subtrama \Rightarrow 32 bits/trama.
- Tasa total de bits 159/20 ms = 7,950 bits/s.

Protección en el Canal de Transmisión.

Para lograr la disminución de los efectos de error en el canal, tres tipos de protección de canal son empleados:

1. Código convolucional a 1/2 relación, aplicado a los bits más vulnerables (bajos niveles) de la serie de datos.
2. CRC empleado para los 12 bits significantes más perceptualmente vulnerables de la conversación; y
3. El acomodo de los datos transmitidos sobre dos time slots para disminuir los desvanecimientos Rayleigh.

El diagrama a bloques de un codificador de canal y el esquema de codificación es mostrado en la figura IV.14

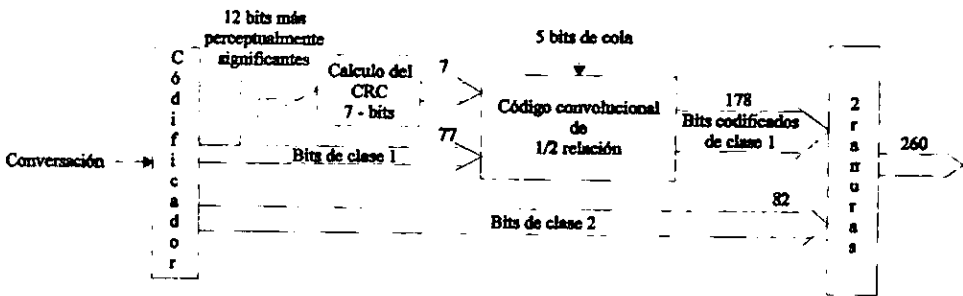


Fig. IV.14 Codificador de canal

Como puede observarse en la figura anterior los 159 bits de conversación codificados son divididos en dos clases: bits de clase 1 y bits de clase 2; los bits de mayor interés son los de clase 1, ya que a estos se les aplica un código cíclico para detección de errores y posteriormente son codificados para dar mayor seguridad a la información. Finalmente los bits de clase 1 son combinados con los de clase 2 para proporcionar una salida total de 260 bits en solo 20 mseg; o bien 13 kbps.

Acomodo de la Información.

Este acomodo se realiza para mejorar el desempeño del sistema en condiciones de altos errores; los 260 bits de datos codificados son dispersados a través de 2 time slots; tal como se muestra en la figura IV.15

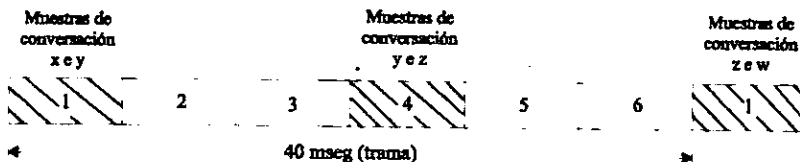
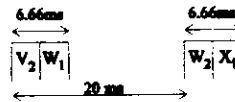


Fig. IV.15 Acomodo de la información en dos time slots.

Cada *ranura de tiempo* contiene dos tramas, las cuales son referidas como *X* e *Y*. La información codificada es ubicada en una matriz de forma rectangular de la siguiente manera:

$0X$	$26X$	\dots	$234X$
$1Y$	$27Y$		$235Y$
$2X$			\cdot
\cdot			\cdot
\cdot			\cdot
$24X$	$50X$	\dots	$258X$
$25Y$	$51Y$	\dots	$259Y$

Los bits de la matriz anterior son transmitidos en forma serial, por lo que los bits de clase 1 y clase 2 son mezclados en cierto orden. En el punto de recepción las ranuras de tiempo que contienen la información son recuperadas; cada *ranura de tiempo* que contiene parte de la información está separada por un periodo de 20 msec una con respecto a otra.



La justificación de separar un segmento de la conversación codificada en dos time slots es, que si una slot es perdida debido a los desvanecimientos Rayleigh, parte de la conversación puede no obstante ser recuperada por medio de la información contenida en la otra slot, logrando con ello suministrar un mejor rechazo a la interferencia. La E.B y la U.M deberían tener un intervalo de compensación de retardo de más de un símbolo de longitud

Esquema de Modulación.

El sistema NA-TDMA emplea el esquema $\pi/4$ -DQPSK, el sistema DQPSK es similar al QPSK, la principal diferencia es que en el sistema $\pi/4$ diferencial, los cambios de fase del símbolo transmitido son referidos al estado de fase previo. Así, la fase absoluta no es requerida en su totalidad en el receptor, lo cual hace más fácil el diseño del sistema de recepción. La constelación ideal para el sistema $\pi/4$ -DQPSK es mostrada en la figura IV.17

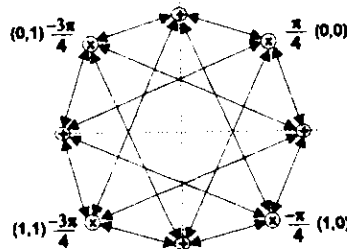


Fig. IV.17 Constelación de fase del sistema $\pi/4$ -cambio DQPSK

El uso del código Gray limita el error a un único bit en un símbolo compuesto por 2 bits.

Estructura del Canal Digital TDMA.

Un canal digital (TDMA de 30 kHz) tiene 25 tramas por segundo. Cada trama contiene 1944 bits (972 símbolos) con una duración de 40 mseg, y esta compuesta por 6 ranuras de tiempo; cada ranura de tiempo está constituida por 324 bits (162 símbolos) con una longitud de 6.66 mseg. Tal como se indica en la figura IV.18

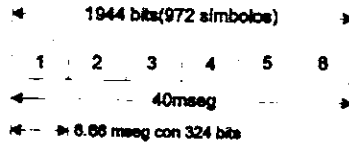


Fig. IV.18 Estructura de trama TDMA.

El ancho del pulso (bit) transmitido es de 20.57µs; por lo tanto, el canal de radio es transmitido a una tasa de 48.6 kbps, pero únicamente 48,000 bits son transmitidos sobre la trayectoria de radio.

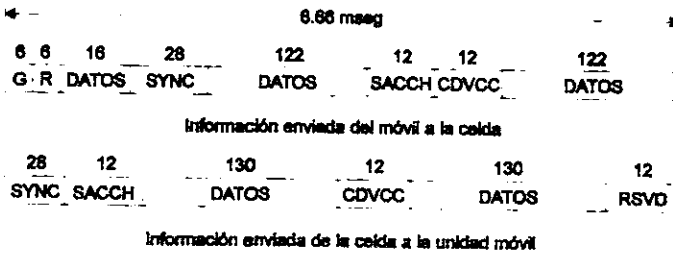
Cada canal de tráfico de relación total utiliza dos ranuras de tiempo espaciadas en la trama, de tal manera que:

- Canal 1: Utiliza la ranura de tiempo 1 y 4
- Canal 2: Utiliza la ranura de tiempo 2 y 5
- Canal 3: Utiliza la ranura de tiempo 3 y 6

En cambio, los canales de tráfico de 1/2 - relación podrán utilizar una sola ranura de tiempo, logrando con ello incrementar la capacidad del sistema (seis usuario en una trama TDMA).

En una estación móvil, el *offset* empleado para la coordinación entre la trama hacia adelante y hacia atrás sin tiempo anticipado es igual a una ranura de tiempo más 88 bits. Así, la ranura 1 de la trama N en la dirección hacia adelante se presenta en un periodo de 412 bits después de la ranura de tiempo 1 de la trama N en la dirección hacia atrás.

La información que debe de contener una ranura de tiempo para ser enviada de la celda hacia el móvil y del móvil hacia la celda es mostrada a continuación.



donde:

G: Bits empleados para el tiempo de guarda.

R: Bits utilizados para el tiempo de crecimiento; tiempo tomado por el móvil para llegar a la condición de potencia total.

A diferencia de la unidad móvil, la estación base no emplea estos dos campos; ello se debe principalmente a que la portadora del sitio de celda esta siempre en condición de encendida.

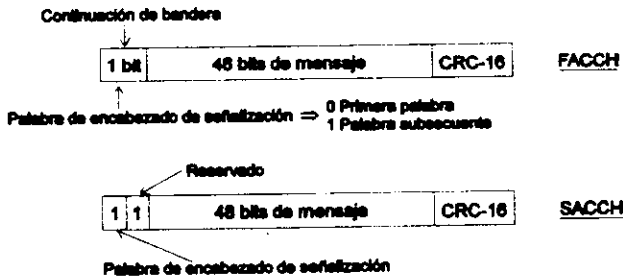
SYNC: *Campo de sincronía;* requerido para la identificación, preparación para el proceso de ecualización y sincronía de la *ranura de tiempo*. Algunos cambios de fase son empleados para describir las secuencias de sincronía, estos cambios de fase siguen la siguiente secuencia

SINC - 1	$-\pi/4$	$\pi/4$	$-3\pi/4$	$-3\pi/4$	$3\pi/4$	$-3\pi/4$	$-\pi/4$	$-3\pi/4$	$\pi/4$	$-3\pi/4$	$\pi/4$	$\pi/4$	$\pi/4$
SINC - 2	$3\pi/4$	$\pi/4$	$3\pi/4$	$3\pi/4$	$-3\pi/4$	$-3\pi/4$	$\pi/4$	$-3\pi/4$	$-\pi/4$	$-\pi/4$	$\pi/4$	$\pi/4$	$\pi/4$
SINC - 3	$-3\pi/4$	$\pi/4$	$-3\pi/4$	$-\pi/4$	$-\pi/4$	$3\pi/4$	$-\pi/4$	$-3\pi/4$	$3\pi/4$	$3\pi/4$	$3\pi/4$	$-\pi/4$	$\pi/4$
SINC - 4	$-3\pi/4$	$\pi/4$	$\pi/4$	$-3\pi/4$	$3\pi/4$	$3\pi/4$	$\pi/4$	$-\pi/4$	$-3\pi/4$	$3\pi/4$	$-\pi/4$	$-3\pi/4$	$\pi/4$
SINC - 5	$\pi/4$	$-\pi/4$	$\pi/4$	$-\pi/4$	$3\pi/4$	$3\pi/4$	$\pi/4$	$-3\pi/4$	$-3\pi/4$	$-\pi/4$	$-\pi/4$	$3\pi/4$	$3\pi/4$
SINC - 6	$-3\pi/4$	$-3\pi/4$	$-3\pi/4$	$3\pi/4$	$\pi/4$	$\pi/4$	$-\pi/4$	$-3\pi/4$	$-\pi/4$	$\pi/4$	$-3\pi/4$	$3\pi/4$	$-3\pi/4$

SACCH: *Canal de Control de Ranura Asociada;* es un canal de señalización (supervisión y control) que se encuentra presente en todas las *ranuras de tiempo* y es utilizado en ambas direcciones de transmisión. Estos mensajes son transmitidos sobre el canal de tráfico si este contiene señales de voz o información del FACCH.

FACCH: *Canal de Control de Rápida Asociación;* es un canal que utiliza la técnica *blank and burst* empleada para el envío de mensajes de señalización entre la estación base y la unidad móvil. Este campo contiene 260 bits. La mayoría de las veces, el FACCH es utilizado para el envío de los mensajes de *Handoff*.

Los formatos de estos canales de control están compuestos de la siguiente manera:



Todos los mensajes deben de contener:

	8		2				6
Tipo de mensaje	Discriminador de protocolo	Parámetros fijos mandatorios	Parámetros variables mandatorios	Longitud restante	Parámetros óptimos variables		

CDVCC: *Campo de Código Digital de Verificación de Código de Color;* este valor es utilizado por la E.M para identificar a la E.B sirviente. El DVCC es una palabra de 8-bits que es codificada utilizando un código Hamming corto (12,8) para formar el CDVCC; por lo que se permiten hasta 255 valores distintos. El mismo CDVCC puede ser utilizado para todas las E.B y U.M dentro de la misma celda. Toma la función del SAT en el sistema analógico.

Como se menciono anteriormente, la velocidad de una trama TDMA es de 48.6 kbps, la cual es compartida por tres usuarios, cada uno con 16.2 kbps, compuesta por:

- Conversación codificada: 13 kbps;
- Información del SACCH: 0.6 kbps;
- Información del CDVCC: 0.6 kbps;
- Tiempos de guarda, crecimiento y sincronización: 2.0 kbps;
- Tasa total por usuario: 16.2 kbps.

Coordinación de Modulación.

- *Dentro de una TS hacia adelante:* El primer símbolo modulado (1° de la palabra de sincronía) usado por la unidad móvil deberá tener un efecto máximo sobre la señal (312 bits) transmitida de la base, de la mitad del periodo del símbolo después de iniciada la ranura de tiempo.
- *Dentro de una TS hacia atrás:* El primer símbolo modulado tiene un efecto máximo sobre la señal transmitida en la unidad móvil de un periodo de 6 símbolos después del comienzo de la ranura de tiempo hacia atrás.

Niveles de Potencia.

En el sistema TDMA hay 11 niveles posibles de potencia; tal como se muestra en la tabla IV.1 En la condición de portadora apagada, la potencia de salida de la antena transmisora debe caer a -60dBm dentro de 2 mseg. Por lo que en la condición de portadora encendida, la potencia de salida de la antena debe estar a 3 dB del nivel especificado.

Tabla IV.1 Niveles de Potencia Nominal de la Unidad Móvil

Nivel de potencia de la E M	Código de Atenuación Móvil (MAC)	Potencia nominal radiada efectiva, dB _w , para la clase de potencia de la E M							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
0	000								
1	001	6	2	-2	-2	.	.	.	.
2	010	2	2	-2	-2	.	.	.	.
3	011	-2	-2	-2	-2	.	.	.	.
4	100	-6	-6	-6	-6	.	.	.	.
5	101	-10	-10	-10	-10	.	.	.	.
6	110	-14	-14	-14	-14	.	.	.	.
7	111	-18	-18	-18	-18	.	.	.	.
8		-22	-22	-22	-22	.	.	.	.
Únicamente en modo dual									
9					-26 ± 3 dB	.	.	.	.
10					-30 ± 6 dB	.	.	.	.
11					-34 ± 9 dB	.	.	.	.

Tiempos de Alineamiento.

Estos son necesarios para controlar las ráfagas transmitidas por la unidad móvil en las ranuras de tiempo hacia la estación base y de esta última hacia el móvil. Un error en el tiempo de alineamiento causa errores en dos ranuras de tiempo transmitidas de manera continua (el error se manifiesta como un traslape entre el encabezado de inicio o de fin de la trama).

Cuando la unidad móvil requiere acceder al sistema, primero se debe recibir un *mensaje de designación de canal de tráfico inicial*, entonces pasa a un canal de tráfico. El tiempo de alineamiento es enviado por medio de un *mensaje de control de capa física* sobre una corta ráfaga de transmisión. La unidad móvil continua transmitiendo cortas ráfagas en una *posición de referencia de offset estándar* hasta que un *mensaje de*

alineamiento es recibido de la estación base. La estación móvil ajusta su tiempo de transmisión durante la siguiente ranura disponible.

Los mensajes de *transferencia de llamada* (Handoff) contienen información estimada del tiempo de alineamiento. Los mensajes de *Handoff Analógico-Digital* y *Digital-Analógico* contienen un campo indicador de cortas ráfagas denominado SBI (Shortened Burst Indicator); cuyo significado es:

- SBI = 00 Mensaje de *Handoff* entre celdas de corto diámetro.
- SBI = 01 Mensaje de *Handoff* entre sectores.
- SBI = 10 Mensaje de *Handoff* entre celdas de gran diámetro.

El formato de transmisión de las *cortas ráfagas* es mostrado a continuación.

6	6	28	12	28	12	4	28	12	8	28	12	12	28	12	16	28	44
G	R	SYNC	CDVCC	SYNC	CDVCC	0000	SYNC	CDVCC	0's	SYNC	CDVCC	0's	SYNC	CDVCC	0's	SYNC	G

En el formato de *ráfagas cortas*, el intervalo del símbolo entre cualquiera de las dos palabras de sincronía (6 palabras de sincronía totales) es solamente de un intervalo. Después de la detección de cualquiera de dos o más palabras de sincronía, el tiempo de alineamiento se determina en la estación base.

En el sistema TDMA se realiza un proceso de *Handoff de Móvil Asistido* (MAHO). Este procedimiento lleva a cabo mediciones de la calidad de la señal en dos tipos de canales.

1. Medición del RSSI (Indicador de la Intensidad de la Señal Recibida) y de Información del BER del canal de tráfico hacia adelante durante una llamada.
2. Mediciones del RSSI de cualquier canal de R.F el cual es identificado por el *mensaje de orden de medición* por la estación base.

El MAHO consta de tres mensajes:

1. Comienzo de la orden de medición.
 - Mensaje de orden de medición: Enviado de la E.B a la U.M
 - Mensaje de reconocimiento de la orden de medición: Enviado de la U.M a la E.B
2. Orden de detención de medición.
 - Orden de detención: Enviado de la E.B a la U.M.
 - Reconocimiento del móvil: Enviado de la U.M a la E.B.
3. Mensajes de la calidad de la señal.

La unidad móvil transmite la información de calidad de la señal sobre el SACCH o FACCH.

Cuando una orden de *Handoff* es recibida, la E.M debe de estar en el estado DTX-alto y permanecer en ese estado; en el caso contrario, la E.M debe entrar al estado DTX-alto y esperar 200 ms. antes de llevar a cabo la acción del *Handoff*. El proceso de *Handoff* es llevado a cabo de la siguiente forma:

1. Encender el tono de señalización por 50ms, apagar el tono, encender el transmisor el cual estará operando en la frecuencia anterior.
2. Ajustar el nivel de potencia, sintonizar el nuevo canal y fijar el valor almacenado de DVCC_S al campo DVCC del mensaje recibido.

3. Fijar el transmisor y el receptor en el modo digital, además se debe de fijar el valor de transmisión y recepción basados en el campo del tipo de mensaje.
4. Fijar el offset del tiempo de alineamiento al valor basado sobre el campo TA. Cuando el transmisor este sincronizado, se debe de entrar a la tarea de conversacion del canal digital de tráfico.

IV.II.2 EL SISTEMA CDMA (CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS).

La tecnología CDMA suministra una solución superior para las aplicaciones inalámbricas más diversas, tales como las comunicaciones celulares, los circuitos locales inalámbricos y los nuevos servicios de comunicación personal.

Mediante el uso de las llamadas técnicas de acceso múltiple, el sistema CDMA es capaz de incrementar de 10 ha 20 veces la capacidad del sistema analógico (AMPS en nuestro caso). Además de que CDMA es una tecnología que suministra una alta calidad de voz y privacidad, su canal de control digital permite la adaptación del sistema al servicio requerido por el usuario; tales como el facsímil móvil, la transmisión de datos, la identificación de llamadas entrantes, correo electrónico, etc.

CDMA es una tecnología digital de banda ancha y espectro disperso que transmite múltiples e independientes conversaciones a través de una o varias bandas de 1.25 MHz de espectro de radio. Cada transmisión de voz, datos, fax o email es asignada a un código digital único que distingue una transmisión particular de otras que comparten el mismo espectro.

En el sistema CDMA, cada E.B contiene una o más portadoras de R.F que suministran alrededor de 45 canales por sector dentro de 1.25 MHz de espectro (1.25 MHz para el envío + 1.25 MHz para la recepción = 2.5 MHz totales para cada portadora). Cada portadora de R.F puede ser dividida en sectores que concentran la capacidad en una dirección en particular.

Para un sitio de celda de tres sectores, una portadora de R.F puede suministrar hasta 135 canales de voz. Con un espectro asignado de 20 MHz que opera con siete bandas de frecuencia, una celda con tres sectores podrá suministrar hasta 945 canales de voz en un solo sitio de celda. Incrementando el proceso de sectorización de 6 a 9 sectores, la capacidad del sistema en el sitio de celda se incrementa de una manera extraordinaria. Esta característica de alta capacidad por celda es una de las grandes ventajas que suministra el sistema CDMA.

IV.II.2.1 Técnicas de Espectro Disperso.

El estándar de compatibilidad de *Estación Móvil - Estación Base para un Modo Dual de un Sistema Celular CDMA de Banda Ancha de Espectro Disperso* fue emitida como IS-95 (PN-3118, Dic. 9 de 1992), en el se indica que CDMA utiliza la idea de **tolerancia en interferencia** por medio de la **modulación de espectro disperso**.

Las técnicas de espectro disperso se dan como una evolución de la teoría de las comunicaciones, principalmente debido a la teoría de *Shannon*. La modulación de espectro disperso se emplea por primera vez en operaciones militares con el fin de evitar interferencias y prevenir que el enemigo captara las transmisiones de mayor importancia estratégica

En forma general, hay dos métodos o técnicas de *espectro disperso*:

- FAST-FREQUENCY HOPPING SPREAD SPECTRUM (FH/SS).
- DIRECT SEQUENCE OR NOISE MODULATE SPREAD SPECTRUM (DS/SS).

a) Frequency Hopping/Spread Spectrum.

Esta técnica se basa en la implementación de una estrategia de tipo militar: por ejemplo, considérese un punto de transmisión Tx_1 y un punto de recepción Rx_1 que están intercambiando información. Ahora tomemos en cuenta un punto interferente al cual designaremos como *INT*, este tratará de encontrar la frecuencia que están utilizando los puntos Tx_1 y Rx_1 para bloquearla o en el peor de los casos saber el contenido de la información. Logrando con ello perder la privacidad entre los puntos Tx_1 y Rx_1 .

Para evitar este tipo de situaciones, los puntos transmisor y receptor desarrollaron un concepto denominado *ad-hoc*; esto se refiere a que cuando el interferente es detectado, tanto el *transmisor* como el *receptor* cambiaban su transmisión a nueva frecuencia; y de esta manera el punto *INT* tendría que volver a localizar la nueva frecuencia de transmisión. Sin embargo, es correcto pensar que si existe más de una secuencia de cambios o saltos de frecuencia para evitar las interferencias, los puntos de transmisión y recepción deberán de poseer una secuencia única establecida de saltos de frecuencia.

Pero aunque el punto transmisor y receptor posean la secuencia única de saltos de frecuencia, si el interferente posee un sistema capaz de buscar toda frecuencia disponible del espectro en un tiempo mucho menor al de las ráfagas transmitidas, este logrará captar las señales de los puntos Tx_1 y Rx_1 logrando con ello su objetivo de bloqueo.

Debido a ello se desarrolló un sistema eficaz capaz de evitar cualquier tipo de interferencia dentro del establecimiento de una transmisión. Este se conoce como *Fast Frequency Hopping*.- En esta el punto transmisor reduce la longitud de cada ráfaga de información para ser menor o igual que el tiempo de propagación de la misma, este tiempo es el que utilizan las ondas de radio para viajar del punto Tx_1 al Rx_1 , el cual puede ser típicamente del orden de 10-100 μseg . De esta forma el punto transmisor puede enviar únicamente un bit único o una secuencia de bits, antes de pasar a la siguiente frecuencia.

La secuencia de saltos debe de ser completamente *aleatoria* y en algunos casos especiales también *ortogonal*, generada con relación a una clave única disponible tanto en el transmisor como en el receptor. Así la transmisión total durante un periodo de un segundo realmente podrá ocupar el ancho de banda total, aunque en cualquier momento, cualquier ráfaga ocupa únicamente un corto porcentaje del canal.

Si consideramos los fenómenos del ruido y desvanecimiento por multitrayectorias dentro del sistema, podemos decir que estos no tendrán el efecto drástico que se presenta en el sistema analógico, ya que en el caso del ruido este estará completamente dispersado dentro del ancho de banda del canal logrando con ello que sus efectos no sean tan severos para la señal de información. En el caso de las multitrayectorias, el usuario no necesitará aleatorizar las secuencias de saltos, más bien estos saltos deberán ser cíclicos, ni tampoco muy rápidos, ya que la tasa de cambios esta completamente relacionada con la relación de desvanecimientos en el canal.

Debido a que este sistema tiene como objetivos lograr una alta capacidad de usuarios en el sistema, el nivel de interferencias entre ellos podrá crecer gradualmente a medida que los usuarios aumenten; de esta forma la calidad del enlace puede llegar a deteriorarse en forma lenta; pero nunca llegará al grado de utilizar el bloqueo de las transmisiones.

b) Direct Sequence/Spread Spectrum.

Este método fue desarrollado para proporcionar alta seguridad en las comunicaciones de voz. Ello se logra mediante el encriptamiento de las señales de voz. Este tipo de sistema tiene la capacidad de adicionar junto a la señal de voz transmitida una señal de *ruido* semejante o idéntica a la señal de voz para de esta forma lograr una muy robusta forma de transmisión. Este proceso es mostrado en la figura IV.19

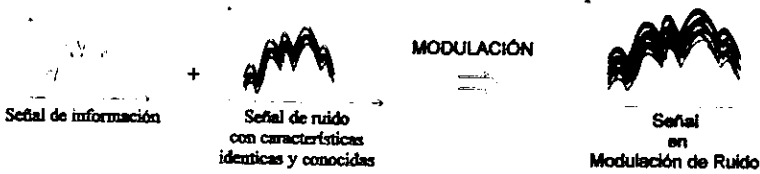


Fig. IV.19 Esquema de la *Modulación de Ruido*.

Esta señal de información con ruido adicionado será transmitida al punto destino, el cual poseerá una copia fiel de la señal de ruido, la cual será sustraída de la señal recibida para únicamente obtener la señal original transmitida. Si algún otro punto transmisor que no tuviera la copia fiel de la señal de ruido captara esta señal, solamente escucharía una señal de ruido de gran intensidad.

Un término importante para este proceso de secuencia directa es la *modulación de ruido*, el cual describe realmente el proceso de DS/SS. La idea general de la *modulación de ruido* es la de sumar dos señales digitales o dos series de bits, para crear una tercera serie, la cual es la que realmente será transmitida. Por ejemplo:

Considérese una señal de información en banda base a la salida de un dispositivo generador a una tasa de 10 kbps y una segunda señal generada en forma aleatoria fluyendo a una tasa elevada de 100 Mbps; por lo que cuando las dos señales se suman, forman una tercera serie de datos, la cual contiene la información de la primera señal, pero es transmitida a la velocidad de la segunda señal, por lo que la transmisión es expandida por decirlo a 100 MHz. Esto último es lo que se conoce como *función de dispersión del espectro*. Este procedimiento de dispersión puede observarse a mayor detalle en la figura IV.20

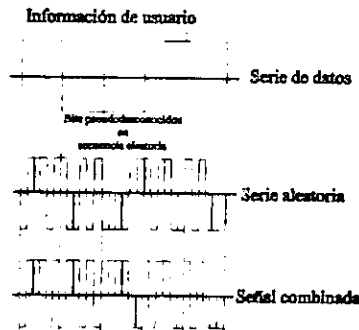


Fig. IV.20 Método de Secuencia Directa de Espectro Disperso.

A diferencia del sistema FH/SS, la transmisión de secuencia directa ocupa el ancho de banda total en todo tiempo. Como en el sistema FH/SS, es posible que muchos circuitos DS/SS operen simultáneamente sobre el mismo canal. La dinámica del canal es matemáticamente idéntica a la del sistema FH/SS, excepto que en vez de que el usuario siga una secuencia aleatoria ortogonal de saltos de frecuencia, ahora cada usuario emplea una secuencia aleatoria para la generación de la señal de ruido que es mezclada con la señal de información.

En el sistema DS/SS un gran número de usuarios pueden compartir el mismo espectro, aunque cada uno de ellos este ocupando la totalidad del canal en exactamente el mismo tiempo. Si un gran número de usuarios se adicionan al canal, el nivel de interferencia puede crecer gradualmente.

c) Desempeño de las Técnicas de Espectro Disperso.

Una de las características más importantes del desempeño de las técnicas de espectro disperso es la llamada *Ganancia de Procesamiento*, medida en términos de los decibeles (dB). La ganancia de procesamiento es aproximadamente igual al logaritmo de la relación entre el ancho de banda del canal (cuando la señal ha sido dispersada) al ancho de banda de la señal de información (antes de ser dispersada); por lo que:

$$G_P = 10 \log \frac{BW_{S-D}}{BW_{S-I}} \text{ (dB)}$$

Si asumimos que en el sistema DS/SS, la tasa de información es 10 kbps la cual es fijada a una velocidad de canal de 10 Mbps; entonces, la *ganancia de procesamiento es igual a*:

$$G_P = 10 \log \frac{10 \times 10^6}{10 \times 10^3} = 10 \log(1000) = 30$$

$$\therefore \underline{G_P = 30 \text{ dB}}$$

En una propuesta FH/SS, la ganancia de procesamiento es equivalente a la relación entre la tasa de bits del canal a la tasa del codificador de voz. Por lo que la ganancia corresponde a la relación que existe entre el ancho total del canal (MHz) y el ancho de la frecuencia utilizada durante los cambios. El sistema FH/SS puede obtener una ganancia de 30 dB con la implementación de un canal de 10 MHz dividido en 1000 saltos, cada salto con un ancho de banda de 10 kHz.

Otra ventaja de la técnica de espectro disperso es la extraordinaria reducción de los *desvanecimientos por multirayectoria* y los llamados de *Rayleigh*. Algunas pruebas realizadas muestran que los desvanecimientos experimentados por los sistemas de *espectro disperso* son de alrededor de 2 a 3 dB, en vez de 20 dB o más que comúnmente se dan en el sistema analógico. Esta característica se ve traducida a bajas potencias de transmisión en la unidad móvil.

IV.II.2.2 Detalles Técnicos del Sistema CDMA IS-95.

Como se mencionó anteriormente el concepto básico del sistema CDMA es el de incrementar la capacidad del sistema por medio del uso de un canal de banda ancha (con un B.W propuesto de 1.25 MHz) donde muchos usuarios pueden enviar su información sin interferir con algún otro que también este usando el canal.

El aislamiento entre estos usuarios es debido al empleo de una palabra de código única; es por ello que cada usuario puede recibir y enviar información de manera inteligible con la posesión de su código único.

Los factores que afectan la capacidad del canal son:

- Uso de una señal de *Espectro Disperso* (SS) de banda ancha;
- El empleo de una baja relación C/I ;
- Uso de codificadores de voz a tasas variables; y
- Factor de actividad de voz; y control de potencia en los canales hacia adelante y hacia atrás.

Las ventajas que el sistema pretende ofrecer son:

- No se requiere el empleo de un proceso de equalización para las señales digitales;
- No requiere de tiempos de guarda;

- Facilidad para la transición de la tecnología analógica a digital;
- No requiere de la administración de canales de frecuencia;
- El procedimiento de *Soft-Handoff* asegura una tranquila transición de la unidad móvil entre celdas CDMA.

a) Características de Modulación.

1. Señal en el Canal CDMA hacia atrás.

El canal CDMA hacia atrás está compuesto por canales de acceso y canales de tráfico hacia atrás. Por lo que la E.M no establece un sistema de tiempo como el de la E.B; de esta manera, la señal del canal hacia atrás recibida en la E.B no emplea el proceso de detección coherente. Concluyendo con ello que las características del canal hacia adelante y hacia atrás son diferentes.

El canal hacia atrás emplea una modulación ortogonal 64-ary a una tasa variable de 9600, 4800, 2400 y 1200 bps; tal como se muestra en la figura IV.21

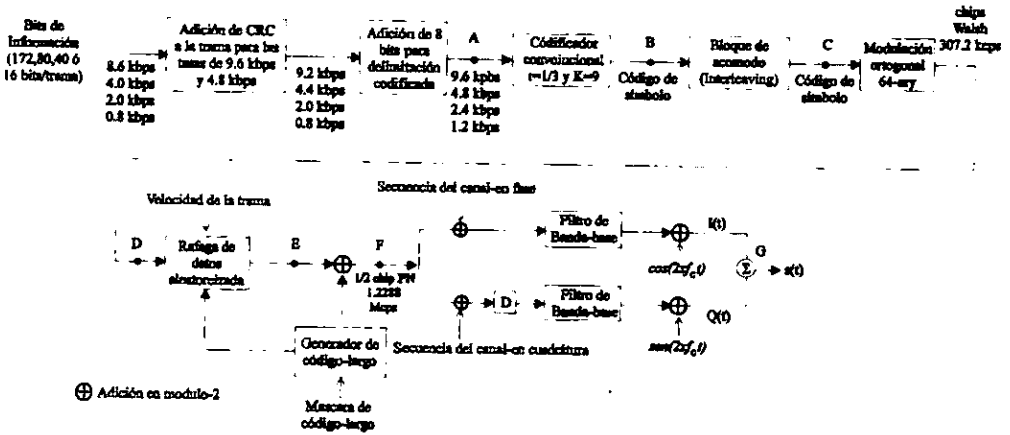


Fig. IV.21 Proceso de modulación en el canal CDMA hacia atrás.

La tasa de transmisión en ráfaga es puesta a 28,800 *códigos de símbolo*. Ello resulta en una tasa fija de 307.2 kbps. Cada *chip-Walsh* es dispersado por medio del uso de cuatro chips PN. La velocidad de la secuencia PN dispersada está fija a 1.2288 Mcps.

Código Convolutacional.

Sobre el canal de acceso, cada código de símbolo tiene una tasa de datos fija de 4800 bps, y cada símbolo se repite una vez consecutivamente.

Sobre el canal de tráfico hacia atrás, la tasa total es de 9.6 kbps. Para la velocidad de 4.8 kbps, cada símbolo se repite una vez consecutivamente, para 2.4 kbps el símbolo se repite tres veces en forma consecutiva, por lo que para la velocidad de 1.2 kbps el símbolo se repite siete veces de manera consecutiva.

Bloque de Acomodo (Interleaving).

El algoritmo empleado en el sistema CDMA podrá dar lugar a una matriz de información con 32 renglones y 18 columnas; a la velocidad de 9.6 kbps, se obtiene una matriz de 32 por 18 la cual es enviada de *renglón por renglón* en orden de secuencia hasta el 32º, el proceso de acomodo se observa más detalladamente en la siguiente tabla.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1	33	65	97	129	161	193	225	257	289	321	353	385	417	449	481	513	545
2	2	34	66	98	130			226	258	290	322	354	386	418	450	482		546
3	3	35	67	99					259	291	323	355	387	419	451			
4	4	36	68							292	324	356	388	420				
5	5	37									325	357	389					
6	6											358						
32	32	64	96	128	160	192	224	256	288	320	352	384	416	448	480	512	544	576

A 4800 bps, la secuencia de los renglones transmitidos debe de seguir un orden único, el cual estará descrito de la siguiente manera:

$$J, J+2, J+1, J+3$$

para $J = 1 + 4i$ donde $i = 0, 1, 2, 3, \dots, (32/4 - 1)$

A la velocidad de 2400 bps, la secuencia única de transmisión de los renglones debe de ser:

$$J, J+4, J+1, J+5, J+2, J+6, J+3, J+7$$

para $J = 1 + 8i$ donde $i = 0, 1, 2, \dots, (32/8 - 1)$

Para los códigos de simbolo del canal de acceso, el acomodo de los renglones sigue el siguiente orden:

$$J, J+16, J+8, J+24, J+4, J+20, J+12, J+28, J+2$$

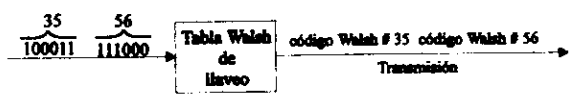
$$J+18, J+10, J+26, J+6, J+22, J+14, J+30$$

para $J = 1, 2.$

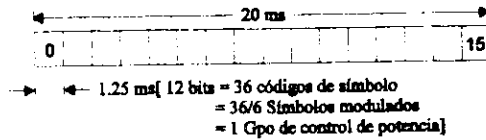
Modulación Ortogonal para el Canal hacia Atrás.

El *código-Walsh* 64-ary contiene 64 códigos, cada código se compone de 64 bits, donde estos códigos son ortogonales uno con respecto a otro; tal como se muestra en la tabla IV.2

Seis simbolos interpretan cada *código-Walsh* de 64 chips enviados, por ejemplo:



Cada trama del canal de tráfico hacia atrás deberá ser dividida en 16 grupos de control de potencia de igual longitud, numerados del 0 al 15; tal como se muestra a continuación.



Tanto el canal de acceso como el canal de tráfico hacia atrás deberán ser dispersados mediante la técnica DS/SS por el empleo de un *código largo* prioritario para la transmisión. Este código deberá ser periódico con una duración de $2^{42} - 1$ chips y deberá satisfacer la recursión lineal especificada por el polinomio.

$$\begin{aligned}
 p(x) = & x^{42} + x^{35} + x^{33} + x^{31} + x^{27} + x^{26} + x^{25} + x^{22} + x^{21} + x^{19} + x^{18} \\
 & + x^{17} + x^{16} + x^{10} + x^7 + x^6 + x^5 + x^3 + x^2 + x + 1
 \end{aligned}$$

Cada chip PN del *código largo* deberá ser generado por un registro de 42-cambios de *código largo*.

Aleatorización de las Ráfagas de Datos.

Las ráfagas aleatorizadas son generadas por medio de una mascara de 0's y 1's que en forma aleatoria cubren los datos redundantes generados por la repetición de código. La forma de la mascara es determinada por la velocidad de la trama y por un bloque de 14 bits tomado del *código largo*. Estos 14 bits deberán ser los últimos bits del *código largo* empleados para la dispersión.

Dispersión por Secuencia Directa.

La operación de dispersión envuelve la adición en modulo-2 de la *serie de datos en ráfaga aleatorizados* y del *código largo* con un periodo de $2^{42} - 1$ chips.

Posteriormente se debe de realizar la *dispersión en cuadratura*, la secuencia que se debe de emplear para ello debe de ser periódica con un periodo de 2^{15} chips; los polinomios de dispersión para las secuencias piloto PN de los canales I y Q son:

$$\begin{aligned}
 P_I(x) &= x^{15} + x^{13} + x^9 + x^8 + x^7 + x^5 + 1 \\
 P_Q(x) &= x^{15} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + 1
 \end{aligned}$$

La secuencia piloto PN se repite cada 26.66 ms ($2^{15}/1228800$ s). El mapeo para una modulación *Offset-QPSK* de los canales I y Q del canal CDMA hacia atrás es mostrado en la figura IV.22

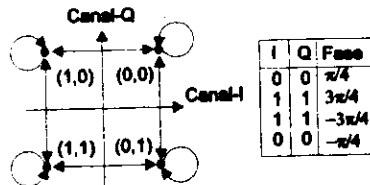
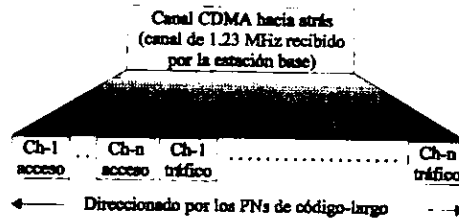


Fig. IV.22 Mapeo de los canales en fase y en cuadratura.

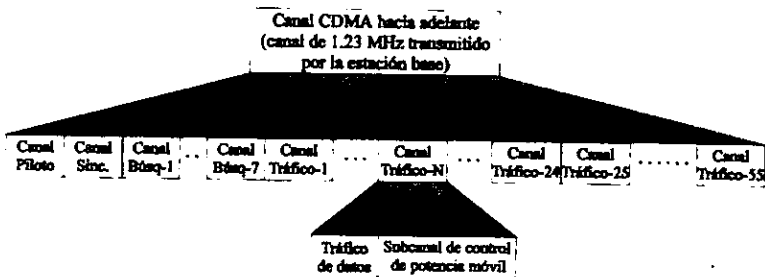
Estructura de los Canales de Tráfico hacia Atrás y de Acceso.

• Canal de acceso

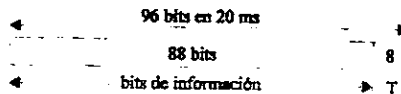
- Tiempo de alineamiento.- La trama de este canal deberá comenzar únicamente cuando el tiempo del sistema este en un valor múltiplo entero de 20 ms.
- Tasa de modulación.- Debe permanecer a un valor fijo de 4800 bps.
- Estructura.- El canal hacia atrás puede contener hasta 32 canales de acceso, numerados del 0 al 31, por canal de búsqueda soportado, tal como se muestra a continuación:



Cada canal de acceso es asociado con un simple canal de búsqueda sobre el canal hacia adelante correspondiente, tal como se muestra:

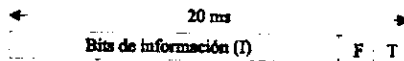


El formato de la trama del canal de acceso es la siguiente:



• Canal de tráfico.

- Tasa de datos variables: 9600, 4800, 2400 ó 1200 bps.
- Todas las tramas tienen una duración de 20 ms. con el siguiente formato:



donde:

I.- Bits de información; estos varían dependiendo de la velocidad del canal, por lo que:

- A 9600 bps se tienen 172 bits.
- A 4800 bps se tienen 80 bits.
- A 2400 bps se tienen 40 bits.
- A 1200 bps se tienen 16 bits.

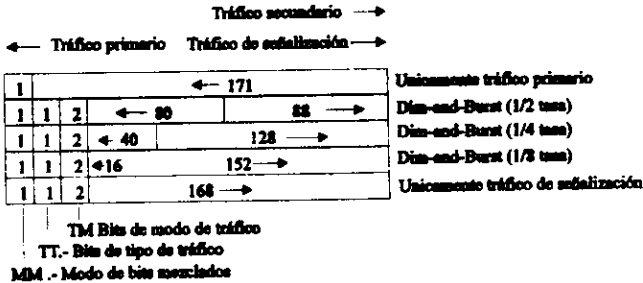
F.- Indicador de calidad de Trama (detección de errores por medio de un CRC);

- 12 bits para 9600 bps.
- 8 bits para 4800 bps.
- 0 bits para 2400 bps.
- 0 bits para 1200 bps.

T.- 8 bits para todas las velocidades.

- El canal de tráfico hacia atrás debe de utilizar un preámbulo para auxiliar a la E.B en el intento de adquisición inicial del canal de tráfico hacia atrás. Este preámbulo deberá componerse de tramas de 192 ceros a la relación de 9600 bps.
- Los bits de información (172 bits) son suministrados para la transmisión de tráfico primario, señalización o de tráfico secundario. La información de señalización puede ser transmitida utilizando la técnica *blank and burst* con el tráfico primario; compartiendo de esta manera la trama.

La unidad móvil emplea cinco estructuras diferentes para el envío de los bits de información; estas son:



El tiempo de referencia para el canal de tráfico hacia adelante es empleado para el tiempo de transmisión del canal de tráfico hacia atrás. - El tiempo de referencia del canal de búsqueda es utilizado para el tiempo de transmisión del canal de acceso.

2. Señales en el Canal CDMA hacia delante.

Estructura del Canal CDMA hacia delante.

Este canal esta compuesto por los siguientes canales de código:

- Un canal Piloto;
- Un canal de sincronía;
- Canales de búsqueda (1 al 7); y
- Canales de tráfico hacia adelante.

Cada canal es ortogonalmente dispersado por una de 64 funciones-Walsh, por lo que la dispersión se lleva a cabo por un par de secuencias PN en cuadratura a una tasa fija de 1.2288 Mcps. La estructura de estos canales es mostrada en la figura IV.23

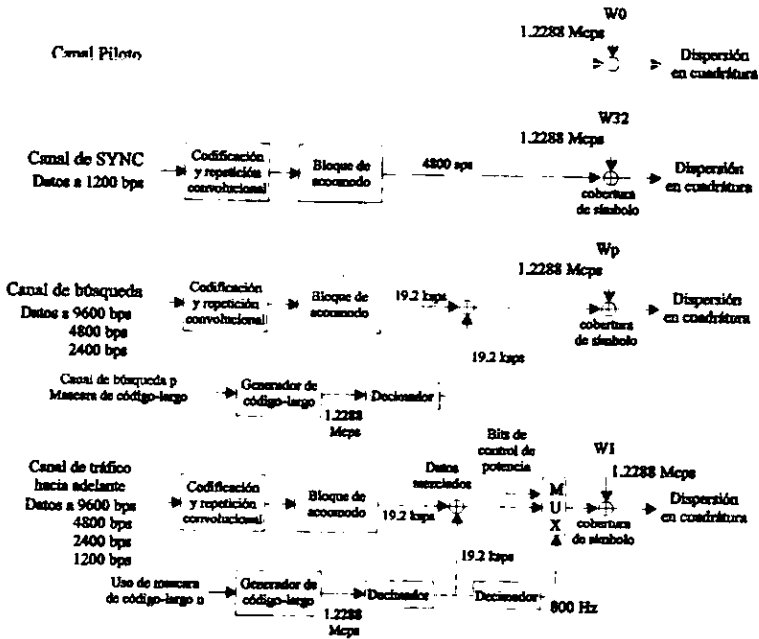


Fig. IV.23 Estructura del Canal CDMA hacia Adelante.

La modulación del canal Piloto no utiliza la corrección de errores para la transmisión. Los canales toman cada bit y lo dispersan en 64 bits de *código Walsh*, por lo que la velocidad de 19.2 kbps llega a ser de 1.2288 Mcps.

Los parámetros de modulación de los canales de búsqueda, de sincronía y de tráfico hacia adelante son listados a continuación:

Parámetros de modulación del canal de sincronía.

Parámetros	Tasa de datos	
	1200	Unidades
Tasa de chips de PN	1 2288	Mcps
Tasa de código	1/2	bits/código de símbolo
Repetición de código	2	simb mod / código de símbolo*
Tasa de modulación de símbolos	4800	sps
Chips PN/ Símbolo modulado	256	Chips PN/ Simb mod.
Chips PN/ bit	1024	chips PN/ bit

Parámetros de modulación del canal de búsqueda.

Parámetros	Tasa de datos, bps			Unidades
	9600	4800	2400	
Tasa de chips PN	1.2288	1.2288	1.2288	Mcps
Tasa de código	1/2	1/2	1/2	bits / código de símbolo
Repetición de código	1	2	4	simb mod / código de simb. *
Tasa de modulación de símbolos	19,200	19,200	19,200	Sps
Chips PN/ Símbolo modulado	64	64	64	Chips PN/ Símb. mod.
Chips PN/ bit	128	256	512	chips PN/ bit

Parámetros de modulación del canal de tráfico hacia adelante.

Parámetros	Tasa de datos, bps				Unidades
	9600	4800	2400	1200	
Tasa de chips PN	1.2288	1.2288	1.2288	1.2288	Mcps
Tasa de código	1/2	1/2	1/2	1/2	bits / cod. de símbolo
Repetición de código	1	2	4	8	simbolo mod / cod. de simbolo *
Tasa de modulación de símbolos	19,200	19,200	19,200	19,200	Sps
Chips PN/ Símbolo modulado	64	64	64	64	Chips PN/ Símb. mod.
Chips PN/ bit	128	256	512	1024	chips PN/ bit

* Cada repetición de un código de símbolo es un símbolo modulado. Para los canales de tráfico hacia adelante y de búsqueda la repetición depende de la tasa de datos de cada canal. Una baja tasa de modulación necesita de mayor repetición para lograr fijar la tasa de modulación de símbolos a 19.2 kbps.

Bloque de Acomodo (Interleaving).

El propósito de utilizar un bloque de acomodo es para tratar de evitar errores en las ráfagas mientras se envían los datos a través de los entornos de desvanecimientos por multitrayectorias.

Mezcla de Datos.

La mezcla deberá llevarse a cabo a la salida del bloque de acomodo por medio de la adición de símbolos en módulo-2 de los valores binarios de chips PN del *código largo*; la máscara empleada es para obtener una mayor privacidad de la información. Además, la tasa de datos del *código largo* es reducida a 800 Hz por medio del empleo de dos decimadores, esto es utilizado para multiplexar controles de temporización.

Subcanales de Control de Potencia.

A la tasa de un bit cada 1.25 ms (por ej. 800 bps), un bit indicador es enviado a la E.B para incrementar el nivel de potencia de salida promedio (0) y otro es enviado para decrementar este valor (1). Hay 16 posibles posiciones de comienzo. Cada posición corresponde a uno de los primeros 16 símbolos modulados.

El canal de tráfico hacia atrás envía un bit con 6 símbolos Walsh en solo 1.25 ms.

La E.B mide la intensidad de la señal, convirtiendo esta medición a un bit de control de potencia y transmite este valor con un número binario de 4-bits (16 posibles niveles) mezclándolos entre los bits 20, 21, 22 y 23; tal como lo muestra la figura IV.24. Donde el valor de estos bits es un 11 binario (1011), lo cual nos indica que los bits de control de potencia comienzan en la posición 11 correspondiente a los 24 símbolos modulados de la ranura 7 del canal de tráfico hacia adelante.

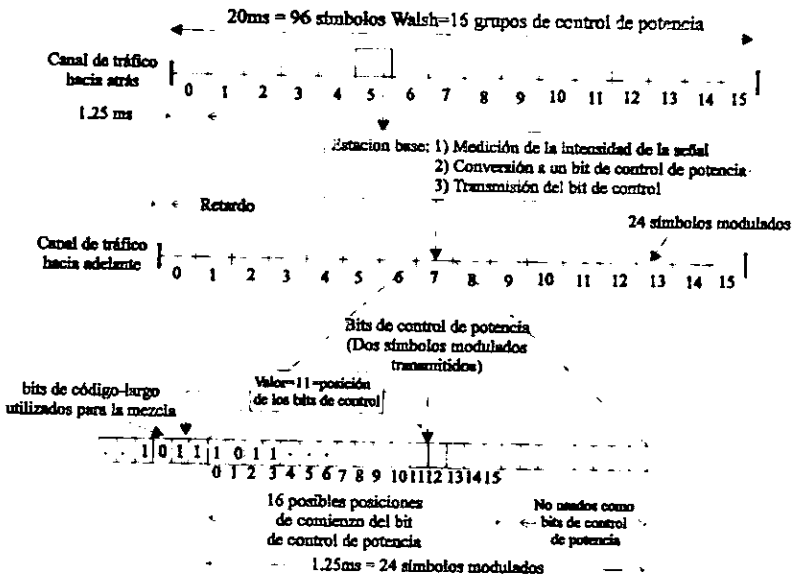


Fig. IV.24 Aleatorización de la posición de los bits de control de potencia.

Offset de la Secuencia PN.

Canal Piloto.- Este es transmitido todo el tiempo por la E.B sobre una función Walsh W_0 . El offset de la secuencia piloto PN es utilizado para identificar cada E.B. El tiempo del offset es revisado dentro del sistema celular CDMA.

Canal de sincronía.- Es un canal cuyas señales son codificadas, mezcladas, moduladas y dispersadas en forma de una señal dispersa. El canal de sincronía utiliza la misma secuencia piloto PN de offset que el canal piloto para una E.B dada.

Recepción en la E.M.

La E.M deberá suministrar un mínimo de cuatro elementos de procesamiento en el proceso de demodulación, tres de ellos deberán ser capaces de rastrear y demodular componentes de multirayectoria del canal hacia adelante. El elemento restante deberá ser capaz de buscar y estimar la intensidad de la señal del piloto, utilizado para seleccionar la E.B deseada durante el estado libre o de inicialización. La información sobre el *Handoff* podrá ser enviada a la E.B via el canal de tráfico de señalización hacia atrás. La opción múltiple es la misma tanto para el canal de tráfico hacia adelante y hacia atrás. Tal como lo indica la siguiente tabla IV.3.

Tabla IV.3 Bits de información para la Opción Múltiplex 1 de los canales de Tráfico hacia Adelante y Atrás.

Tasa de transmisión (bits / seg)	Formato de bits			Tráfico Primario	Tráfico de señalización	Tráfico Secundario	Categoría del canal de tráfico recibido
	Modo Mezcado (MM)	Tipo de tráfico (TT)	Modo de Tráfico (TM)	bits/trama	bits/trama	bits/trama	
9600	'0'	-	-	171	0	0	1
	'1'	'0'	'00'	80	88	0	2
	'1'	'0'	'01'	40	128	0	3
	'1'	'0'	'10'	16	152	0	4
	'1'	'0'	'11'	0	168	0	5
	'1'	'1'	'00'	80	0	88	11
	'1'	'1'	'01'	40	0	128	12
	'1'	'1'	'10'	16	0	152	13
	'1'	'1'	'11'	0	0	168	14
4800	-	-	-	80	0	0	6
2400	-	-	-	40	0	0	7
1200	-	-	-	16	0	0	8

b) Autenticación, Encriptamiento y Privacidad.

Autenticación.

La autenticación es el proceso por medio del cual la E.B confirma la identidad de la E.M. En el sistema CDMA se utilizan grupos idénticos de Datos Secretos Compartidos (SSD).

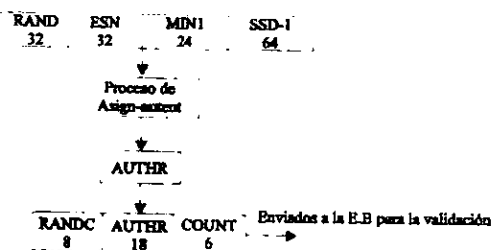
El SSD es una muestra de 128 bits en la estación móvil, el SSD se divide en dos grupos de 64 bits:

- El SSD-A: Soporta el proceso de autenticación inicializado con información específica de la E.M, de datos aleatorios y la clave A de la E.M. Una clave también es llamada como PIN.
- El SSD-B: Soporta el proceso de privacidad de la voz y mensajes de tipo confidencial.

El propósito de emplear la autenticación es:

- Para registro de la estación móvil;
- Para la originación de una estación móvil; y
- Finalización de la estación móvil.

Cuando los elementos de información AUTH en el mensaje de encabezado de los parámetros del sistema son fijados a 1 y la E.M trata de registrarse, originar o terminar, entonces el proceso de asignación para la autenticación se lleva a cabo de la siguiente manera:



Encriptamiento.

Este procedimiento se lleva a cabo para proteger la información más sensible del usuario, la disponibilidad de un algoritmo se debe de tomar bajo la Regulación de los Organismos Internacionales adecuados (ITAR).

Los mensajes no deberán ser encriptados si la autenticación no es realiza; el encriptamiento de los mensajes de señalización debe de estar controlado para cada llamada en forma individual.

Privacidad de la voz.

Esta se lleva a cabo por medio de la máscara privada de *código largo* empleada para la dispersión de los PN. El control de la privacidad se suministra únicamente sobre los canales de tráfico.

Todas las llamadas son iniciadas empleando una máscara pública para la dispersión de los PN, por lo que para iniciar una transición de una máscara pública a una privada, tanto la E.B o la E.M deben de enviar una solicitud de transición de *código largo* sobre el canal de tráfico.

c) Procesamiento de llamada.

El procedimiento de llamada en la E.M envuelve los siguientes estados:

- Estado de inicialización.

- La E.M debe seleccionar el tipo de sistema a utilizar.
- En un tiempo de 20 ms. la E.M debe de obtener el canal piloto.
- Esta obtiene la configuración del sistema e información de coordinación para un sistema CDMA.
- Se debe sincronizar con el sistema CDMA.

- Estado libre de la E.M

- La E.M debe llevar a cabo un proceso de monitoreo en el canal de búsqueda, este canal es dividido en ranuras de 200 ms. Los mensajes de búsqueda y de control para la E.M que opera en el modo **no ranurado** pueden ser recibidos por medio del arreglo de una ranura del canal de búsqueda; por lo tanto el modo **no ranurado** de operación requiere del monitoreo de todas estas ranuras por parte de la unidad móvil.
- A menos que se especifique otra cosa, la E.M deberá transmitir un reconocimiento en respuesta a cualquier mensaje recibido que este direccionado hacia ella.
- La E.M deberá mantener todos los temporizadores de registro activos.

El sistema CDMA soporta nueve diferentes registros:

Registros Autónomos:

1. Registro de aumento de potencia.
2. Registro de decremento de potencia.
3. Registro basado en tiempo.
4. Registro basado en distancia.
5. Registro basado en zona.

Registro bajo diferente solicitud:

6. Registro de cambio de parámetros.
7. Ordenación de registro.
8. Registro implícito.
9. Registro de canal de tráfico.

• Estado del sistema de acceso.

La E.M envía mensajes a la E.B sobre el canal de acceso y recibe sobre el canal de búsqueda. El proceso de envío y reconocimiento de mensajes es comúnmente llamado *sondeo de acceso*. Cada *sondeo de acceso* consta de un *preámbulo de canal de acceso* y un *mensaje encapsulado de canal de acceso*. Hay dos tipos de mensajes enviados sobre un canal de acceso: *una respuesta de mensaje* y *una solicitud de mensaje*.

• Control de la E.M sobre el estado del canal de tráfico.

En este control se emplean 5 funciones principalmente:

1. La E.M verifica que ella pueda recibir el canal de tráfico hacia adelante y comenzar a transmitir sobre el canal de tráfico hacia atrás.
2. La E.M espera una orden sobre alerta con mensaje de información.
3. La E.M espera para que el usuario conteste la llamada.
4. La opción de servicio primario de aplicación de la E.M intercambia paquetes de tráfico primario con la E.B.
5. La E.M desconecta la llamada.

d) Procedimientos de Transferencia de llamada (Handoff).

La E.M soporta 4 diferentes procesos de Handoff:

1. *Soft - Handoff*.- Este tipo de Handoff maneja una asignación idéntica de frecuencias entre la E.B anterior y la nueva. El *soft -Handoff* suministra la selección de diversidad en diferentes sitios para el incremento de la señal.
2. *Hard - Handoff CDMA-CDMA*.- La E.M transmite entre dos E.B con diferente asignación de frecuencias.
3. *Handoff de CDMA - Analógico*.- La E.M es directamente enviada de un canal de tráfico hacia adelante CDMA a un canal de voz analógico con una asignación diferente de frecuencias.
4. *Softer Handoff*.- Ello se refiere a la transferencia de llamada entre sectores de una celda.

Grupos Pilotos.

La información obtenida del canal piloto es utilizada para el Handoff. Un canal piloto es identificado por una secuencia piloto de offset, cada canal piloto es asignado a una E.B particular. La E.M puede obtener cuatro grupos de canales pilotos:

1. Grupo piloto.- El piloto asociado con el canal de tráfico hacia adelante asignado a la E.M
2. Grupo candidato.- Es el piloto que no está dentro del grupo activo, pero que es recibido por la E.M con la suficiente intensidad.
3. Grupo vecino.- Piloto que no está dentro de los grupos anteriores, pero que es probable candidato para el Handoff.
4. Grupo restante.- El grupo en el sistema corriente sobre la asignación corriente de frecuencias CDMA.

Requerimientos de Piloto.

1. La E.M asiste a la E.B en el proceso de Handoff por medio de mediciones y reporta la intensidad de los pilotos recibidos.
2. Una disminución del tiempo de Handoff deberá ser mantenida para cada piloto en el grupo activo y candidato. Cuando el nivel de la intensidad de la señal esta por debajo de TDROP, T-TDROP es fijado a cero. Hay 15 valores de T-TDROP, el valor más alto de T-TDROP debe de ser de 319 seg.

Cuando la E.M recibe un nivel de la intensidad de la señal de la celda vecina excediendo el nivel de TADD, el proceso de Handoff comienza. Si se recibe un valor de nivel por debajo del T-DROP, el *Soft-Handoff* finaliza. La acción del Handoff podrá tomar lugar después de que el nivel recibido por la celda servidora este por debajo del TDROP. Si el tiempo entre el TADD y TDROP es muy corto, el tiempo T-TDROP debe de ser más largo. En ciertas circunstancias, este proceso es preferible para reducir las llamadas interrumpidas sacrificando la calidad de voz.

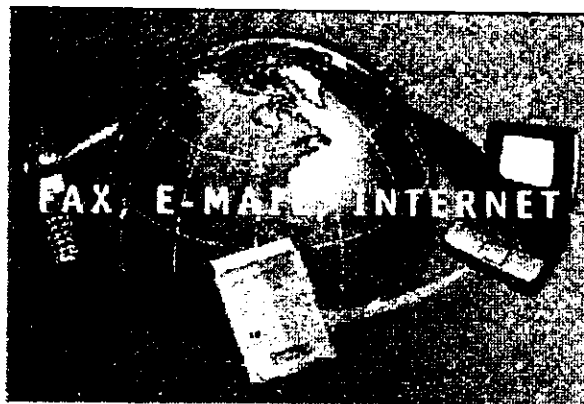
3. La E.M deberá medir el tiempo de llegada para cada piloto reportado por la E.B. El tiempo de llegada anterior de componentes por multitrayectoria del piloto es utilizado para realizar mediciones relativas al tiempo de referencia de la E.M en unidades de chips PN.
4. Soft - Handoff.
 - A) Cuando el grupo activo contiene más de un piloto, la E.M deberá suministrar diversidad combinando los canales de tráfico hacia adelante asociados. La E.M deberá suministrar esto para diferenciar los retardos de propagación de cero a 150 μ s.
 - B) Hay 7 mensajes durante el *Soft - Handoff*, el primer mensaje que envía la E.M es un mensaje de medición de la intensidad del piloto cuando el piloto vecino excede el nivel TADD, por lo que se comienza con la transferencia.

El séptimo mensaje que la E.M envía es el de mover el piloto del grupo activo al grupo vecino y enviar un mensaje de conclusión del soft-Handoff.

CAPITULO 7



INTEGRACIÓN DE REDES INFORMÁTICAS EN LA TELEFONÍA CELULAR.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES APLICADOS



CAPITULO V

INTEGRACIÓN DE REDES INFORMÁTICAS EN LA TELEFONÍA CELULAR

V.I INTRODUCCIÓN.

La Asociación de Industrias de Telecomunicaciones Celulares (CTIA) y la Asociación de Industrias de las Telecomunicaciones (TIA) se encuentran desarrollando estándares para nuevos sistemas celulares digitales, los cuales reemplazaran el antiguo sistema analógico AMPS. Dos interfaces han sido emitidas, la IS-54 que especifica un sistema TDMA de tres slots y el estándar IS-95 que especifica un sistema CDMA de espectro disperso. En ambos sistemas, una amplia variedad de servicios de datos están siendo planeados.

La propuesta general tomada en la definición del servicio de datos de la IS-95 se basa en un protocolo de datos estándar para la mayor extensión posible.

La capa física del protocolo IS-95 fue adoptada para el servicio de datos en conmutación de circuitos, con un protocolo de enlace de radio apropiado. La estandarización actual define tres servicios primarios:

1. Datos asíncronos.
2. Grupo 3, facsímil.
3. Acceso en paquete de datos llevada sobre una conexión de datos en modo circuito.

Los datos asíncronos de IS-95 serán estructurados como un servicio de conmutación de circuitos. Para una conexión en conmutación de circuitos una trayectoria dedicada es establecida entre los dispositivos de datos para la duración de la llamada. Este tipo de servicios pueden proveer conectividad punto a punto con dispositivos estándares tales como PC's o Facsímil en la Red Telefónica Publica Conmutada.

Para la transferencia de archivos que envuelven comunicaciones de PC's a PC's el servicio de datos asíncrono es el modo de servicio celular deseado. Este servicio utiliza un *Protocolo de Enlace de Radio* (RLP) para la protección de errores en la transmisión de datos causados por la degradación del canal de radio en la interfaz aérea.

El RLP emplea una *solicitud de repetición automática* (ARQ), *corrección de errores en el sentido de envío* (FEC), y un *control de flujo*. El control de flujo y la retransmisión de bloques de datos con errores se emplean para suministrar una mejora en la presencia de errores en el segmento móvil de la conexión de datos al costo de variaciones en retardos.

Como se menciona, TIA/EIA/IS-95-A define dos opciones de servicio debido a que la *Interfaz de Usuario* y los *Procedimientos de Control de Llamada Asociados* son similares.

Dichas opciones de servicio son definidas a detalle en el estándar TIA/EIA/IS-99, que define La *Opción de Servicio de Datos para un Sistema Celular Digital de Banda Ancha de Espectro Disperso*, considerando las siguientes opciones:

- Opción de Servicio 4.- Suministra la capacidad de transmisión de Datos Asíncronos sobre el Sistema Celular TIA/EIA/IS-95-A de Banda Ancha de Espectro Disperso.
- Opción de Servicio 5.- Suministra la capacidad de transmisión de Facsimile de Grupo-3 sobre el Sistema Celular TIA/EIA/IS-95-A de Banda Ancha de Espectro Disperso.

Los procedimientos definidos en IS-99 se basan en una serie de estándares y recomendaciones internacionales; pero, debido al acelerado desarrollo de las tecnologías inalámbricas, los organismos internacionales han visto la forma de crear un solo grupo de desarrollo científico para la formación de estándares globales inalámbricos de tercera generación, este grupo es llamado IMT-2000.

V.1.1 MODELO DE SISTEMA ABIERTO DE RED (OSI).

Debido al crecimiento desmesurado de las aplicaciones informáticas, Organismos Internacionales trataron de implementar un estándar general para regir el interfuncionamiento de las redes de computo. Dichos esfuerzos con el tiempo dieron frutos creándose la Organización de Estándares Internacionales conocida como ISO, la cual propuso un Modelo de Sistema Abierto (OSI) para el acceso a diferentes sistemas informáticos.

El modelo se refiere a una *arquitectura simétrica en la red*, la cual tiene como objetivo conectar a cualquier usuario a nivel de red.

Este modelo se basa en la siguiente estructura de capas:

CAPA DE APLICACIÓN	7
CAPA DE PRESENTACIÓN	6
CAPA DE SESIÓN	5
CAPA DE TRANSPORTE	4
CAPA DE RED	3
CAPA DE ENLACE	2
CAPA FISICA	1

donde:

- CAPA FISICA:** Es el medio físico por donde se envía la información mediante señales eléctricas con formatos específicos (*códigos de línea*). Este medio de condiciones mecánicas - eléctricas nos permite la interconexión entre diferentes sistemas.
- CAPA DE ENLACE:** En esta capa la información del usuario es *empaquetada* de manera substancial para protegerla contra errores de diferentes tipos. En esta capa la información es etiquetada al principio y al final del paquete.
- CAPA DE RED:** Esta capa tiene la función principal de enrutar a todas las capas anteriores hacia la trayectoria predeterminada. En ella se deben de especificar las direcciones de destino de la información y el tipo de servicio que se emplea.
- CAPA DE TRANSPORTE:** Esta capa realiza el monitoreo y el transporte de la información hacia el destino final (usuario).

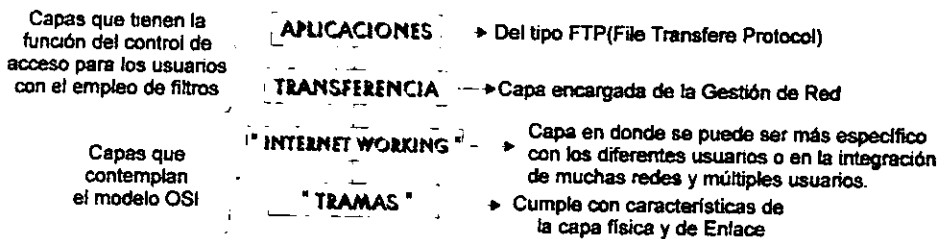
Las CAPAS DE SESIÓN, PRESENTACIÓN y de APLICACIÓN son específicas de usuario, consideradas como capas de alto nivel las cuales involucran protocolos de redes de usuario.

En forma general debe de existir una correlación entre las capas de los diferentes sistemas.

Además del Modelo de Sistema Abierto que propone una arquitectura totalmente accesible, fue desarrollada la Arquitectura DoD (Departament of Defense) con la finalidad de restringir información a cierto número de usuarios.

V.1.2 ARQUITECTURA DoD (Departament of Defense).

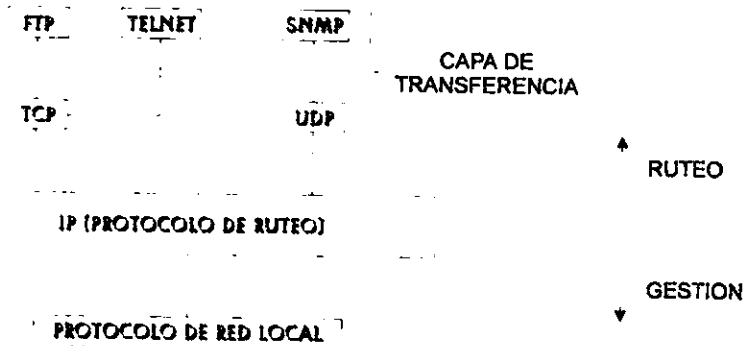
Este sistema establece el siguiente modelo de referencia:



Para la mayoría de los casos este tipo de sistema fue creado para aplicaciones estrictamente informáticas.

V.1.3 ESTRUCTURA DEL SISTEMA DoD.

Se basa en la aplicación de Protocolos de Enlace y Aplicación, estructurados de la siguiente forma:



Entre los protocolos más importantes para nuestro propósito se encuentran el Protocolo de Internet y el Protocolo de Control de Transferencia descritos a continuación.

V.1.4 PROTOCOLO DE INTERNET (INTERNET PROTOCOL - IP).

El Protocolo de Internet (IP) es empleado en la interconexión de sistemas de redes de comunicaciones que utilizan *conmutación de paquetes*. Este protocolo transmite bloques de datos llamados datagramas desde un punto de origen a un punto destino. Los datagramas son segmentos de tramas de información que tienen la característica principal de viajar en forma desordenada. Los puntos fuente y destino son identificados por direcciones de longitud fija.

V.1.4.1 Operación.

El Protocolo IP implementa dos funciones básicas: **Direccionamiento y Fragmentación.**

Los módulos de Internet utilizan el direccionamiento llevado en el encabezado para transmitir datagramas hacia su destino. La selección de una trayectoria para la transmisión es llamada *ruteo*.

El Protocolo de Internet emplea cuatro mecanismos claves en la provisión de su servicio, ellos son:

Tipo de Servicio: Empleado para indicar la calidad del servicio deseado. Es un grupo generalizado de parámetros que caracterizan el servicio elegido suministrado en la red. Esta indicación es usada por las compuertas para seleccionar los parámetros de transmisión actuales en una red particular, ó en la subsiguiente red, o para la siguiente compuerta cuando se direcciona un datagrama.

Time to Live: Indica el máximo tiempo de vida de un datagrama. El valor es puesto por el generador. Si el valor de Time to Live es de cero antes de que el datagrama llegue a su destino, el datagrama es destruido.

Options: Empleado para llevar a cabo funciones de control, no es necesario para las comunicaciones más comunes. Este comando incluye parámetros de seguridad, ruteo especial y la función de timestamps.

Header Checksum: Verifica la información que ha sido generada y transmitida en un datagrama. - Sin embargo, la información puede contener errores. Si este parámetro falla, el datagrama es descartado por el punto que detecta el error.

El Protocolo de Internet no asegura que la comunicación sea confiable, ya que no hay reconocimientos en los puntos intermedios y finales del trayecto. No hay *retransmisión*, ni *control de flujo*. La detección de errores puede ser reportada via el Protocolo de Control de Mensajes de Internet. (ICMP) el cual es implementado en el modulo de IP.

V.1.4.2 Descripción Funcional.

El Protocolo de Internet transporta datagramas a través de un grupo de redes interconectadas, enviando dichos datagramas de un modulo a otro hasta llegar al destino final. Los módulos de Internet residen en *servidores y compuertas* de los sistemas de red.

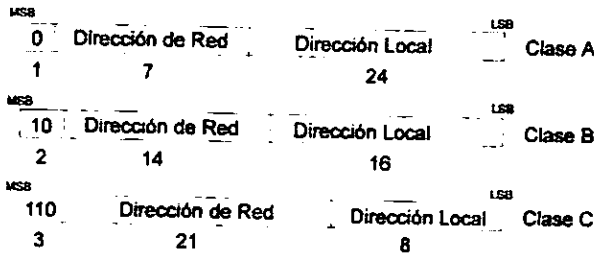
Los datagramas son llevados de un modulo de Internet a otro a través de redes individuales, basándose en la interpretación de una dirección de Internet. Por lo que un mecanismo importante es la dirección de Internet.

Cuando se rutean mensajes de un módulo a otro, los datagramas pueden necesitar viajar a través de una red cuyo máximo tamaño de paquetes permitido es menor que el tamaño del datagrama enviado. Para evitar dicho obstáculo, un mecanismo de *fragmentación* es provisto en el protocolo de IP.

V.1.4.2.1 Direccionamiento.

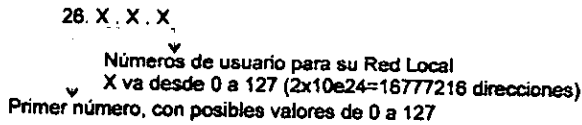
Una dirección nos indica hacia donde queremos ir; en nuestro caso es el punto final de llegada de la información. En el protocolo IP, la dirección tiene una longitud fija de cuatro octetos (32 bits).

En forma general hay 3 clases de direcciones IP. Los formatos de estas direcciones son mostrados a continuación:

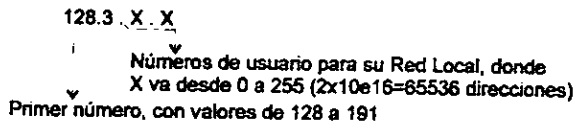


La estructura de las direcciones IP está dada de la siguiente manera:

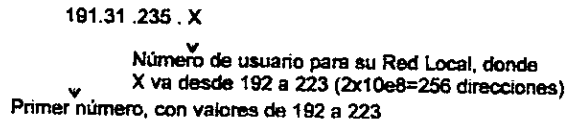
Clase A:



Clase B:



Clase C:



Especial cuidado debe tenerse en el mapeo de las direcciones IP a direcciones de red local; ya que físicamente un servidor debe interfundar como si tuviera varios servidores distintos empleando varias direcciones IP diferentes.

Por lo que algunos servidores pueden tener varias interfaces físicas (Multi-Homing), teniendo cada interfaz varias direcciones lógicas IP.

V.I.4.2.2 Fragmentación.

Los procedimientos de fragmentación y reensamble son indispensables para el envío de datagramas a través del sistema de redes.

El punto de recepción utiliza los campos de identificación para asegurar que los fragmentos de diferentes datagramas no sean mezclados.

El campo *offset* del fragmento indica al receptor la posición de un fragmento en el datagrama original.

Para fragmentar un gran datagrama, un módulo IP (por ej. : en una compuerta), crea dos nuevos datagramas y copia el contenido del campo del encabezado desde el datagrama de mayor longitud en ambos nuevos encabezados. Los datos del datagrama original son divididos en dos porciones limitadas de 8 octetos (no siempre es así, la primera porción siempre debe de ser de 8 octetos, la siguiente puede no ser un múltiplo de 8).

La primera porción del bloque es llamada NFB (Number Fragment Blocks). La primera porción de datos es puesta en el primer nuevo datagrama y el campo de longitud total es asignado al valor de longitud del primer datagrama. El valor de la bandera de los demás fragmentos es 1.

La segunda porción de datos es puesta en el segundo nuevo datagrama, y el campo de longitud total es puesto al valor de longitud del segundo datagrama. La bandera de los demás fragmentos lleva el valor definido en el datagrama de mayor longitud.

El campo de fragmentación *offset* del segundo nuevo datagrama es puesto al valor de ese campo en el datagrama de mayor longitud más el parámetro NFB.

Para ensamblar los fragmentos de un datagrama, un módulo IP combina todos los datagramas que contengan el mismo valor para los campos de *identificación, fuente, destino y de protocolo*. La combinación es realizada ubicando la porción de datos de cada fragmento en la posición relativa indicada por el *offset* del fragmento en ese encabezado del fragmento IP.

V.I.4.2.3 Formato del Encabezado IP.

El formato del encabezado es el siguiente:

0				1				2				3									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1
Versión				IHL				Tipo de servicio				Longitud Total									
Identificación								Flags				Offset del Fragmento									
Time to Live				Protocolo				Header Checksum													
Dirección Fuente																					
Dirección Destino																					
Opción												Relleno									

Versión: 4 bits

Este campo indica el formato del encabezado de Internet. La siguiente información describe la versión 4

IHL: 4 bits.

Longitud del encabezado en palabras de 32 bits.

Tipo de Servicio: 8 bits

Empleado en redes particulares que requieren de un servicio especial en el transporte de tráfico. El tipo de servicio especifica principalmente el trato que se le da a los datagramas durante su transmisión a través del sistema de Internet.

La mejor elección es una de tres condiciones entre *bajo - retardo*, *alta - confiabilidad*, y *alto-throughput*.

Este campo contiene los siguientes valores dependiendo del tipo de elección deseada:

- Bits 0 - 2: Preferencia.
- Bit 3: 0 = Retardo Normal. 1 = Bajo retardo.
- Bit 4: 0 = Throughput Normal 1 = Alto Throughput.
- Bit 5: 0 = Confiabilidad Normal 1 = Alta confiabilidad.
- Bit 6 - 7: Reservado para uso futuro.

0 1 2 3 4 5 6 7
Preferencia: D T R 0 0

donde el campo de *Preferencia* puede tener los siguientes valores:

- 111 - Control de Red.
- 110 - Control de Internetwork.
- 101 - CRITIC/ECP.
- 100 - Anulación Flash.
- 011 - Flash.
- 010 - Inmediata.
- 001 - Prioritaria.
- 000 - Rutina.

Longitud Total: 16 bits

Longitud total del datagrama medido en octetos, incluyendo el encabezado y los datos. Este campo permite una longitud máxima de hasta 65,535 octetos. La mayoría de los servidores deben de enviar datagramas con un mínimo de longitud de 576 octetos para asegurar la entrega.

Identificación: 16 bits.

Etiqueta asignada por el transmisor que auxilia en el ensamble de los fragmentos de un datagrama.

Bandera: 3 bits

Especifica si los datagramas están segmentados o no; y si hay o no más fragmentos.

- Bit - 0: Reservado, por lo general 0
- Bit - 1: (DF) 0 = fragmentado 1 = No fragmentado
- Bit - 2: (MF) 0 = Último fragmento 1 = Más fragmentos

0 1 2
0 | D | F | M

Offset del fragmento: 13 bits

Indica a que parte del datagrama pertenece el fragmento, este campo da el orden en que deben de llegar los paquetes y es medido en unidades de 8 octetos. El primer fragmento tiene un *offset* de valor cero.

Time to Live: 8 bits

La duración de este parámetro esta entre 0 y 255 mseg.

Protocolo: 8 bits

Indica el protocolo que va ha utilizarse en el siguiente nivel empleado en la porción de datos del datagrama de Internet.

Header Checksum: 16 bits

El campo esta compuesto de 16 bits "1" complementado con la suma complementaria de "1" de todas las palabras de 16 bits en el encabezado. Para propósito de cálculo del campo, el valor de este es cero.

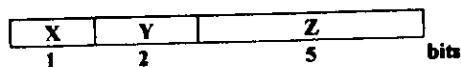
Options: variable

La *Opción* puede o no aparecer en los datagramas. En caso de aparecer, esta debe ser implementada por todos los módulos IP. Este campo es variable en longitud, pudiendo tener una o más opciones. Dos casos pueden presentarse:

Caso 1: Un simple octeto de *tipo de opción*.

Caso 2: Un octeto de *tipo de opción*, uno de *opción de longitud*, y el de *opción de datos actual*.

El octeto de *tipo de opción* se compone de:



X : Banderas copiadas (si es 0: no hay banderas copiadas, si es 1: copiadas en todos los fragmentos)

Y : Campo de dos bits que indica las clases de opción; estas pueden ser:

- 0 = Control.
- 1 = Reservado para uso futuro.
- 2 = Depuración y Medición.
- 3 = Reservado para uso futuro.

Z: Campo de *número de opción*; las siguientes opciones son definidas:

CLASE	NÚMERO	LONGITUD	DESCRIPCIÓN DE LA OPCIÓN
0	0	-	<i>Fin de la Lista de Opción</i> Esta opción ocupa únicamente 1 octeto, no tiene octeto de longitud
0	1	-	<i>No Operación</i> Ocupa únicamente un octeto, no tiene octeto de longitud
0	2	11	<i>Seguridad</i> Usado para tener seguridad, seccionamiento, grupo de usuarios (TCC), y códigos de restricciones de manejo compatibles con los requerimientos DoD.
0	3	VARIABLE	<i>Ruteo fuente Libre.</i> Usado para rutear los datagramas basados en la información proporcionada por la fuente
0	9	VARIABLE	<i>Ruteo fuente preciso</i> Usado para rutear los datagramas basados en la información proporcionada por la fuente.
0	7	VARIABLE	<i>Ruta Grabada.</i> Usado para trazar la ruta que un datagrama toma.
0	8	4	<i>Serie ID.</i> Usado para llevar el identificador de la serie.
2	4	VARIABLE	<i>Internet Timestamp</i>

V.1.5 PROTOCOLO DE CONTROL DE TRANSFERENCIA (TCP).

Es empleado como un Protocolo de alta confiabilidad entre servidores (Host) de redes de comunicación que emplean la técnica de conmutación de paquetes, y en sistemas interconectados a tales redes.

El TCP presenta una *Arquitectura de Capas* por encima del Protocolo IP, el cual suministra la forma necesaria para que el Protocolo de Transferencia envíe y reciba segmentos de información de longitud variable contenidos en los datagramas de IP.

V.1.5.1 Interfases.

Dos son las principales localizadas y observadas en la arquitectura del sistema DoD:

Interfaz TCP Proceso de Aplicación. - Esta interfaz está provista para realizar llamadas del usuario sobre el TCP para **ABRIR** o **CERRAR** una conexión, **ENVIAR** o **RECIBIR** datos, o para obtener un estado acerca de la conexión.

Interfaz IP/TCP. - Suministra la facilidad de realizar llamadas para enviar y recibir direcciones de datagramas para módulos TCP en servidores ubicados en cualquier punto del sistema Internet. Las llamadas tienen parámetros que transportan información de dirección, tipo de servicio, información de control y de seguridad.

V.1.5.2 Propósito.

El principal propósito del Protocolo de Control de Transferencia (TCP) es mantener un alto nivel de seguridad en una conexión de servicio entre algunos pares de procesos. Para suministrar este servicio a las capas superiores de un sistema de comunicación, se requiere encontrar facilidades en los siguientes procesos:

- Transferencia Básica de Datos:

El TCP debe poseer un mecanismo propio de decisión empleado para realizar el envío y bloqueo de datos en la dirección hacia adelante por conveniencia propia. Se debe emplear un procedimiento de acuse de recibo de datos que han sido transmitidos. - Para dicho propósito una función denominada **PUSH** debe ser definida, ya que ella comprometerá al TCP a entregar los datos transmitidos por el origen hasta el punto receptor.

- **Confiabilidad:**

El TCP debe recuperar los datos dañados, perdidos, o entregados fuera de secuencia por el sistema originador.

Esto se realiza mediante el empleo de números de secuencia para cada octeto transmitido y requiriendo de un acuse de recibo(ACK) para el TCP recibido. Si dicho reconocimiento no es recibido durante cierto intervalo de tiempo, los datos son retransmitidos. En el punto de recepción, el número de secuencia es empleado para ordenar correctamente los segmentos que puedan ser recibidos fuera de orden y por consiguiente eliminar octetos duplicados, si es que los hay.

Para evitar que los datos sufran de daños, una función de verificación es adicionada; en caso de estar dañados, se deben descartar los segmento, pidiendo que sean retransmitido.

- **Control de Flujo:**

El TCP suministrara un medio para que el receptor controle la cantidad de datos enviados por el transmisor. Ello se realiza regresando una "ventana" con cada reconocimiento (ACK) indicando un rango de números de secuencia aceptables además del último segmento recibido exitosamente. La "ventana " indica el número permitido de octetos que el transmisor puede enviar antes de recibir otro permiso de envío.

- **Multiplexión:**

Se deben permitir muchos procesos dentro de un solo servidor, usando simultáneamente las facilidades de comunicación TCP, el TCP deberá suministrar un grupo de direcciones o puertos dentro de cada servidor, relacionándose con la red y la dirección del servidor desde la capa de comunicación Internet formando un "Socket "

Un par de "Sockets" identifican únicamente cada conexión; por lo que un "Socket " puede ser usado en forma simultánea en múltiples conexiones.

- **Conexionado:**

Los mecanismos descritos anteriormente requieren que el TCP inicie y mantenga ciertos estados en la información de intercambio de datos.

La combinación de esta información, incluyendo los números de secuencia, el tamaño de " ventana " y los Sockets, es llamada una conexión. Cada conexión se especifica únicamente por un par de Sockets identificados en ambos lados.- Cuando dos procesos desean comunicarse, sus TCP's deben primero establecer una conexión.

- **Precedencia y Seguridad:**

Los usuarios del Protocolo de Transferencia pueden indicar su nivel de seguridad y precedencia de su comunicación mediante valores definidos dependiendo del tipo de información a intercambiar.

El Protocolo de Transferencia debe de empaquetar una serie de datos segmentados procedentes de un *buffer*, llamando al modulo de IP para la transmisión de cada segmento al TCP destino. El receptor ubica los datos desde una pequeña porción del *buffer* del usuario el cual es notificado para recibir dichos datos.

Generalmente hay un módulo IP asociado con cada TCP el cual provee una interfaz a la red local. Este módulo empaqueta los segmentos TCP dentro de los datagramas de IP ruteandolos hacia un módulo destino o compuerta intermedia; esta compuerta puede realizar la desempaquetación de los datagramas para observar hacia que parte de la red pertenecen los paquetes.

Para identificar la serie de datos separadas que un TCP puede manejar, el TCP incluye un identificador de puerto, dicho identificador es seleccionado independientemente por cada TCP pudiendo no ser único.

Para dar una dirección única dentro de cada TCP, se debe de vincular una dirección IP que relaciona al TCP con un identificador de puerto para crear un "Socket" el cual puede ser único a lo largo de todas las redes conectadas entre si.

Una conexión es especificada en la llamada OPEN realizada por el puerto local y los argumentos de un "Socket" externo. La información de una conexión debe ser almacenada y manejada por medio de una estructura de datos llamada Bloque de Control de Transmisión (TCB).

El proceso para establecer conexiones utiliza banderas de control de sincronía (SYN) e implica un intercambio de tres mensajes; dicho intercambio es denominado como "Handshake" de tres vías. Una conexión es iniciada mediante la reunión de un segmento que llega conteniendo un mensaje de SYN y un registro TCB en espera, cada uno de ellos creado por un comando OPEN de usuario. La conexión llega a ser establecida cuando el número de secuencia ha sido sincronizado en ambas direcciones.

Para que una conexión sea inicializada, los dos TCP's deben de sincronizarse sobre la base de los números de secuencia tanto de uno como de otro. Esto se realiza mediante el intercambio de segmentos de establecimiento de conexión llevando un bit de control (SYN) y los números de secuencia iniciales. El procedimiento de sincronización entre dos puntos se da en la siguiente forma:

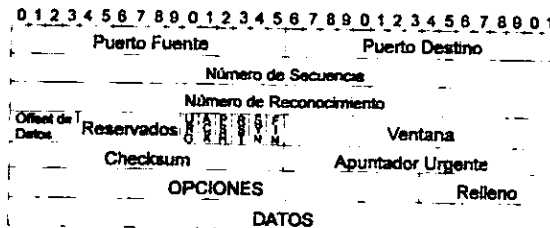
- 1) A → B SYN mi número de secuencia es X
- 2) A ← B ACK tú número de secuencia es X
- 3) A ← B SYN mi número de secuencia es Y
- 4) A → B ACK tú número de secuencia es Y

El despeje de una conexión también implica el intercambio de segmentos que contienen banderas de control con el comando FIN.

V.1.5.3 Especificaciones Funcionales.

V.1.5.3.1 Formato del Encabezado.

Este se compone por los siguientes campos de información y control:



Puerto fuente: 16 bits

Puerto destino: 16 bits

Número de Secuencia: 32 bits

El número de secuencia del primer octeto de datos en este segmento (excepto cuando SYN esta presente). Si SYN esta presente el número de secuencia es el *número de secuencia inicial* (ISN) y el primer octeto de datos es ISN+1.

Número de reconocimiento: 32 bits

Si el bit de control ACK es puesto, este campo contiene el valor del siguiente número de secuencia del segmento esperado para ser recibido. Una vez que la conexión es establecida este número siempre es enviado.

Offset de datos: 4 bits

El número de palabra de 32 bits en el encabezado TCP. Indica donde comienzan los datos.

Reservado: 6 bits

Reservados para uso futuro. Deben ser puestos a '0'

Bits de Control: 6 bits

- URG: Campo Significativo de Apuntador Urgente.
- ACK: Campo Significativo de Reconocimiento.
- PSH: Función PUSH.
- RST: Reinicio de Conexión.
- SYN: Números de Secuencia de Sincronía.
- FIN: No más datos desde la fuente.

Ventana: 16 bits

El número de octeto de datos comenzando con el uno indicado en el campo de reconocimiento, el cual el emisor de este segmento esta dispuesto a aceptar.

Checksum: 16 bits

Cumple la misma función que en el Protocolo de Internet. Si un segmento contiene un número impar de octetos de datos y encabezado a ser revisados, el último octeto es rellenado con 'ceros' para formar una palabra de 16 bits para propósitos de revisión. El relleno no es transmitido como parte del segmento.

El Checksum también cubre un pseudo encabezado conceptual antepuesto al encabezado TCP. Esto protege al TCP contra segmentos mal ruteados. Esta información es llevada en el IP y es transferida a través de la interfaz TCP/Red o por resultado de llamadas realizadas por el TCP sobre el IP. El pseudo encabezado contiene los siguientes campos:

Dirección Fuente	Dirección Destino	Cero	PTCL	Longitud del TCP
------------------	-------------------	------	------	------------------

La longitud TCP es la longitud del encabezado TCP más la longitud de los octetos de datos (esta no es una cantidad explícita transmitida, pero es calculada), este no cuenta los 12 octetos del pseudo encabezado.

Apuntador Urgente: 16 bits

El apuntador urgente selecciona el número de secuencia del octeto siguiendo a los datos urgentes. Este campo solamente es interpretado en segmentos con el bit de control URG puesto.

Opción: variable

La opción puede ocupar espacio al final del encabezado TCP y es un múltiplo de 8 bits en longitud. Todas las opciones son incluidas en el checksum. Hay dos casos para el formato de una opción:

Caso 1: Un único octeto de clase de opción.

Caso 2: Un octeto de clase de opción, un octeto de longitud de opción, y el octeto actual de opción de datos.

La longitud de opción cuenta con los dos octetos de datos de clase de opción y opción de longitud así como la opción de octeto de datos.

Un TCP debe implementar todas las opciones.

Actualmente las opciones definidas incluyen (indicadas en octal):

Clase	Longitud	Significado
0	-	Fin de la lista de opción.
1	-	No operaciones.
2	4	Tamaño máximo del segmento.

Definición de las Opciones Especificadas.

Fin de la Lista de Opción

00000000

Clase = 0

Esta opción de código indica el fin de la lista de opción. Esto podrá no coincidir con el final del encabezado TCP con relación al campo de offset de datos. Es utilizado en el fin de toda opción, no al final de cada opción, y necesita únicamente ser usado si el final de la opción no puede de otra manera coincidir con el final del encabezado TCP.

No Operación

00000001

Clase = 1

Este código puede ser empleado entre opciones; por ejemplo, para alinear el comienzo de una opción subsecuente sobre un límite de palabra. No hay garantía que el envió pueda usar esta opción, pero el receptor debe estar preparado para procesar las opciones aún si ellas no comienzan sobre el límite de una palabra.

Tamaño Máximo de Segmento.

00000010 00000100 Tamaño máximo de segmento

Clase = 2 Longitud=4

Máximo Tamaño del Segmento de la Opción de Datos: 16 bits

Si esta opción esta presente, entonces esta comunica el máximo tamaño de segmento recibido al TCP el cual envia este segmento. Este campo debe únicamente ser enviado en la solicitud de conexión inicial (por ejemplo, en segmentos con el bit de control SYN fijado). Si esta opción no es empleada, cualquier tamaño de segmento es permitido.

Relleno: variable

El relleno del encabezado TCP es usado para asegurar que el encabezado TCP finaliza y los datos comienzan sobre un limite de 32 bits. El relleno esta compuesto de ceros.

V.II MODELO DE REFERENCIA DE RED DEL ESTÁNDAR TIA/EIA/IS-99.

Para propósitos generales, el Modelo de Referencia de Red utilizado para la Opción de Servicio 4 y la Opción de Servicio 5 de IS-99 es el mostrado en la figura V.II-1

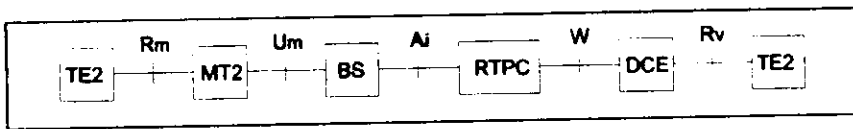


Figura V.II-1 Modelo de Referencia

donde:

DCE (Data Circuit Terminating Equipment):

Un DCE puede ser un módem definido en la Serie V del CCITT. Para el servicio de Fax de Grupo-3, el DCE y su TE2 asociado son a menudo combinados en un único dispositivo Fax de Grupo-3.

Mobile Termination 2 (MT2):

Este provee una interfaz de usuario no-ISDN (Rm); por ejemplo: una interfaz de las series V ó serie X del CCITT.

Terminal Equipment 2 (TE2):

Un TE2 es un dispositivo terminal de datos que no tiene una interfaz usuario - red ISDN; por ejemplo un dispositivo que emplea interfaces de la serie V ó X del CCITT.

Para fines de IS-99, el término de estación móvil se refiere a un MT0 o al par formado por MT2/TE2. Las especificaciones dadas para una estación móvil implementada como un MT0 difieren de aquella dada para una estación móvil implementada como un MT2.

V.II.1 PUNTOS DE REFERENCIA DE RED.

Los puntos de referencia pertenecientes al servicio de datos asincrónicos y fax son los siguientes:

Punto de referencia Ai: Interfaz física que conecta una Estación Base a la Red Telefónica Pública Conmutada.

Punto de referencia Rm: Interfaz física que conecta un TE2 a un MT2.

Punto de referencia Um: Interfaz física que conecta un MT0 ó un MT2 a una Estación Base. Esta interfaz es por lo general el espacio atmosférico.

Punto de referencia W: Una interfaz física que conecta un DCE a la RTPC.

Punto de referencia Rv: Esta puede ser una interfaz externa ó interna para equipo de usuario. Un ejemplo pueden ser los módem que se mencionan en la Rec. -V del CCITT; además un fax de Grupo-3 entra dentro de este tipo de interfaz.

Para llamadas realizadas de un sistema celular hacia la Red Telefónica Pública Conmutada, el servicio de datos en *modo circuito* está provisto entre los puntos de referencia R_M y R_V . En cambio para llamadas entre sistemas celulares, el servicio de datos en *modo circuito* esta provisto entre dos puntos de referencia R_M .

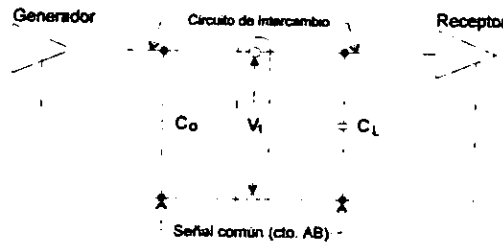
V.III TIPO DE INTERFAZ FÍSICA EN EL PUNTO DE REFERENCIA R_M .

V.III.1 CAPA FÍSICA.

El MT2 soporta los circuitos de EIA/TIA-232-E; sin embargo, se tiene la capacidad de soportar otras interfaces de capa física.

V.III.1.1 Características Eléctricas.

El MT2 soportara los circuitos EIA/TIA-232-E, los cuales se aplican tanto a sistemas de comunicación señales de datos binarios sincrónicos y asincrónicos. EIA/TIA-232-E contempla un *circuito equivalente de intercambio*. Este circuito es mostrado en la figura V.III-1



C_0 es la capacitancia total efectiva asociada con el generador, medida en el punto de interfase e incluyendo cualquier cable en el punto de interfaz.

C_L es la capacitancia total efectiva asociada con el receptor, medida en el punto de interfase e incluyendo cualquier cable a el punto de interfaz.

V_1 es el voltaje en el punto de interfaz

Figura V.III-1 Circuito Equivalente de Intercambio.

El circuito equivalente es independiente de si el generador está localizado en el DCE y el receptor en el DTE ó viceversa

Cuando se realiza el intercambio de datos, la señal se considera en la condición de "marca" cuando el voltaje V_1 es más negativo que -3Volts con respecto al circuito AB. En cambio, la señal se considera en la condición de "espacio" cuando el voltaje V_1 es más positivo que +3Volts con respecto al circuito AB. La región entre ± 3 volts es definida como *región de transición*.

De la misma manera, los estados binarios, de control y temporización son definidos de acuerdo a la tabla V.III-1

Tabla V.III-1 Condiciones Eléctricas de las Señales de Información

Notación	Intercambio de Voltaje	
	Negativo	Positivo
Condición de la señal	Marca	Espacio
Estado Binario	" 1 "	" 0 "
Función	OFF	ON

El máximo tiempo de transición permitido se basa en la *Unidad de Intervalo* (bit time) de la tasa de señalización de datos, y se debe relacionar con los siguientes valores:

Duración de la Unidad de Intervalo (UI)	Máximo tiempo de Transición permitido
UI \geq 25 ms.	1 milisegundo
25 ms \geq UI \geq 50 μ s	4% de un Intervalo de Unidad

NOTA: Para propósitos de este circuito, el TE2 es equivalente a un DTE; similarmente, el MT2 es equivalente a un DCE.

V.III.1.2 Características Mecánicas.

Se recomienda el empleo de un conector de 25 "pines" normalmente especificado para todo circuito de intercambio por el estándar EIA/TIA-RS-232-E.

El conector *hembra* debe ser asociado físicamente (no necesariamente), a el DCE. Por lo que un cable de interfaz con un conector *macho* debe ser provisto con el DTE. La longitud máxima de separación entre el conector y el equipo no debe exceder los 3 metros (10 ft), pudiendo haber un equipo intermedio; tal como se puede observar en la figura V.III-2. La asignación de pines del conector es listada en la Tabla V.III.-2

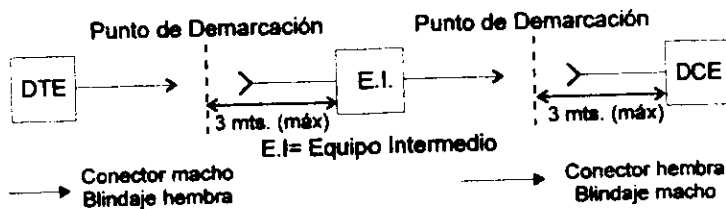


Figura V.III-2 Interconexión de Equipo

Tabla V.III.1-2: Posición y función de posiciones del conector de 25 "pines".

Número de Pin	Número CCITT	Circuito	Descripción
1	-	-	Blindaje.
2	103	BA	Transmisión de Datos.
3	104	BB	Recepción de Datos.
4	105/133	CA/CJ	Solicitud para enviar/Listo para Recibir.
5	106	CB	Listo para enviar
6	107	CC	DCE listo
7	102	AB	Señal Común.
8	109	CF	Detector de Señal de Línea de Recepción.
9	-	-	Reservado para prueba.
10	-	-	Reservado para prueba
11	126	-	No asignado.
12	122/112	SCF/CI	Señal de Línea Secundaria recibida.
13	121	SCB	Detector /Selector de velocidad de señal de datos.
14	118	SBA	Datos Secundarios Transmitidos.
15	114	DB	Elemento de Temporización de señal Transmitida (Fuente DCE)
16	119	SBB	Datos recibidos Secundarios.
17	115	DD	Elemento de Temporización de señal Recibida (Fuente DCE).
18	141	LL	Loopback Local.
19	120	SCA	Solicitud para envío secundario.
20	108/1/2	CD	DTE listo.
21	140/110	RL/CG	Loopback remoto/Detector de Calidad de la Señal.
22	125	CE	Indicador de Timbre.
23	111/112	CH/CI	Selector de Velocidad de Señal de Datos (fuente DCE/DTE).
24	113	DA	Elemento Temporizador de transmisión de señal (fuente DTE)
25	142	TM	Modo de Prueba.

Para el servicio de datos y fax sobre CDMA los circuitos *requeridos* en la interfaz R_M son: 102, 103, 104, 106, 107, 108/2, 109, 125 (recomendado) y 133.

V.III.2 GRUPO DE COMANDOS AT.

Entre el MT2 y el TE2 debe de existir un intercambio de información para el control de llamada y algunas otras capacidades propias del sistema; es por ello, que un *Grupo de Comandos de Control* denominados *Comandos AT* y sus respectivos *códigos resultantes* deben ser enviados sobre la interfaz R_M . Estos comandos son transmitidos como caracteres ASCII, tal como se define en ANSDX.3.4.

Un MT2 soportará al Grupo de comandos AT definidos en EIA/TIA-602. Tanto la estación móvil como la estación base deben soportar otras extensiones para el servicio de datos CDMA directamente o por medio de los comandos AT+CXT y AT+CFG.

V.IV REQUERIMIENTOS PARA LA INTERFAZ U_M .

La arquitectura requerida sobre la Interfaz U_M nos muestra un grupo de protocolos TCP, IP y PPP empleados por la estación móvil. El grupo de protocolo para la estación base deberá ser compatible con el de la estación móvil cumpliendo con la arquitectura estándar, tal como se muestra en la figura V.IV-1.

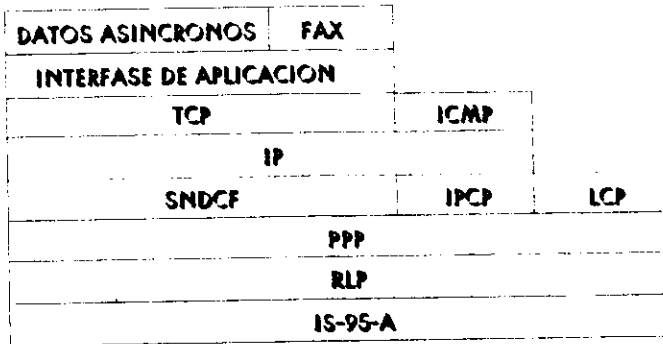


Figura V.IV-1. Arquitectura requerida sobre la Interfaz U_M .

Como podemos observar, la arquitectura requerida sobre la interfaz U_M toma el modelo OSI para la interconexión del sistema a *nivel de red*; teniendo como objetivo primordial la operación entre sistemas de diferentes proveedores de servicio.

Claramente se puede observar, que IS-99 adopta o recomienda las mínimas características que se deben de cumplir en el punto de interfaz para la adecuada provisión del servicio de *Fax* y *Datos Asíncronos* sobre el servicio celular digital con tecnología CDMA tomando como base fundamental el modelo OSI y parte de la arquitectura DoD (En cuanto a funciones de tipo informático).

Es importante hacer la mención que cada capa observada en la figura V.IV-1. cumplirá con los mínimos estándares propuestos por la ISO, tal como se hace mención en las siguientes secciones.

V.IV.1 INTERFAZ DE APLICACIÓN.

En la estación móvil, el servicio de fax y datos CDMA deberá incluir una Interfaz de Aplicación entre el origen/destino en el MT0 ó TE2 y la Capa de Protocolo de Transporte.

En la estación base, la Interfaz de Aplicación reside entre la *fuenteldestino* de datos en el lado de la red (Punto de referencia A₁) y la Capa de Protocolo de Transporte.

La Interfaz de Aplicación realiza las siguientes funciones:

- Control de Módem;
- Procesamiento de los comandos AT;
- Negociación de la compresión de datos; y
- Compresión de datos sobre la interfaz aérea.

En una estación móvil, los datos que entran a la Interfaz de Aplicación provenientes del punto R_M deben ser analizados para extraer los tiempos locales procesados dependientes de los comandos de control de módem y los caracteres de escape asociados. Los datos resultantes son analizados gramaticalmente para extraer de forma local los comandos AT procesados.

En el curso del proceso anterior se deben insertar comandos *dentro de banda* definidos en TIA/EIA-617 incluyendo cualquier tipo de cancelación si así se requiere.- Por lo que los datos resultantes serán entonces enviados a la Capa de Transporte

En caso de que los datos entrantes a la **Interfaz de Aplicación** provinieran de la **Capa de Transporte**, estos son analizados para extraer los *Comandos de Opción de Negociación y Salidas Asociadas*. Los datos resultantes son analizados para extraer los comandos TIA/EIA-617 procesados y enviados al punto R_M .

En una estación base, los datos que entran a la **Interfaz de Aplicación** provenientes del punto de referencia A_1 deben ser enviados a la **Capa de Transporte** insertando los comandos dentro de banda TIA/EIA-617. Incluyendo *Comandos de Opción de Negociación*.

En cambio, cuando tenemos datos entrando a la **Interfaz de Aplicación** provenientes de la **Capa de Transporte**, estos son inicialmente analizados para extraer cualquier *Comando de Opción de Negociación*. - A su vez, los datos resultantes vuelven a ser analizados para extraer cualquier comando de control de módem TIA/EIA-617.

Por último, si la estación base se encuentra en un estado de comando o en un estado de comandos en línea, los datos resultantes vuelven a ser examinados para extraer cualquier comando AT y posteriormente ser enviados al punto de referencia A_1 .

La **Interfaz de Aplicación** en el servicio CDMA de datos y fax cumple con los siguientes requerimientos:

- El equipo de la estación base servidor de múltiples usuarios puede ser tomado como parte de un simple servidor Multihome o como servidores independientes.

Quando el servidor remoto es del tipo Multihome el nombre de usuario debe ser buscado en una lista de direcciones IP alternativas, dicha lista deberá tener un orden de preferencia decreciente para la adecuada asignación de un número de dirección IP.

Quando el servidor local sea del tipo Multihome, un UDP basado en la *solicitud/respuesta* deberá enviar la respuesta con una dirección IP fuente que será idéntica a la dirección destino especificada por el datagrama UDP solicitado.

- La **Interfaz de Aplicación** de la estación móvil especificara el tipo de servicio. La estación móvil y la estación base especificaran el tipo de servicio de acuerdo a lo mostrado en la Tabla V.IV.1-I

Tabla V.IV.1-I Tipo de servicio IP.

Opción de Servicio	Tipo de Servicio
4 (Datos Asíncronos)	Bajo retardo
5 (Fax de Grupo-3)	Máximo disparo

El valor del *tipo de servicio* debe cumplir con lo especificado en el formato del Encabezado IP.

Si una unidad móvil inicia una llamada de datos, la **Interfaz de Aplicación** de dicha unidad deberá abrir la **Capa de Transporte** empleando el **Protocolo de Control de Transmisión** conocido como el puerto 380 (módem servidor) para ser designado como el puerto destino.

Para llamadas realizadas a una unidad móvil, la **Capa de Aplicación** de la estación base abre la **Capa de Transporte** empleando el **Protocolo de Control de Transmisión** conocido como el puerto 379 (módem cliente) para ser el puerto de destino.

La **Interfaz de Aplicación** debe soportar la compresión de datos, empleando el siguiente protocolo de negociación.

Para asegurar la transparencia de los datos de usuario en la compresión de los comandos de negociación, el transmisor insertará un octeto adicional de valor 255 antes de cada byte de datos de valor 255, excepto para los octetos IAC que son parte de los comandos de negociación. El receptor remueve los octetos insertados y cualquier comando de negociación antes de la descompresión.

La Interfaz de Aplicación emplea los siguientes comandos de negociación para la Opción de Servicio 4 y 5.

NOMBRE	CODIGO	SIGNIFICADO
SE	240	Fin de los parámetros de subnegociación.
SB (código opcional)	250	Indica que la siguiente es un subnegociación de la opción indicada.
WILL (código opcional)	251	Indica una petición para comenzar a ejecutar la opción indicada.
WON'T (código opcional)	252	Indica una negativa para llevar a cabo, o continuar desempeñando la opción indicada.
DO (código opcional)	253	Indica una solicitud para que la otra estación comience a llevar a cabo la opción indicada.
DON'T (código opcional)	254	Indica una demanda para que la otra estación detenga la ejecución de la opción indicada.
IAC	255	Interpretada como comando.

La estación base inicia la negociación de compresión enviando un comando WILL cuando la Capa de Transporte se encuentra abierta. La estación móvil responderá con un comando DO ó DON'T.

La estación móvil no iniciará negociaciones de compresión.

En caso de que la compresión haya sido aceptada, será llevada a cabo de la siguiente manera:

- Para la Opción de Servicio 4, si la compresión V.42bis es empleada todos los datos pasados por la Interfaz de Aplicación a la Capa de Transporte, en la dirección negociada, deberán ser comprimidos. La compresión en cada dirección es negociada en forma independiente.
- Para la Opción de Servicio 5, si la compresión del tipo MMR es empleada, esta deberá aplicarse únicamente a la imagen de datos actual a ser transmitida. En cambio si V.42bis es empleada, todos los datos pasados desde la Interfaz de Aplicación a la Capa de Transporte, en la dirección negociada, deberán ser comprimidos de la manera indicada anteriormente.

Ambos lados pueden finalizar la compresión en cualquier momento enviando un comando DON'T seguido por datos no comprimidos. El receptor responderá con un comando WON'T seguido por datos no comprimidos.

Los parámetros de negociación son transmitidos en el siguiente formato.

Si cualquier octeto siguiendo al octeto de OPTION y precediendo al siguiente octeto IAC tiene un valor de 255, un octeto adicional de valor 255 deberá ser insertado. El valor de PARAMETER_LEN no deberá cambiar como resultado de tal inserción. El receptor deberá remover todos los octetos antes del procesamiento de los parámetros de subnegociación.

Nombre del Campo	Tamaño (Octetos)
IAC	1
SB	1
OPTION	1

Si se presenta o no algún acontecimiento de inserción de octetos, se tendrán los siguientes sucesos:

PARAMETER ID	1
PARAMETER LEN	1
PARAMETER VAL	PARAMETER LEN

La lista de parámetros de subnegociación deberá ser seguida inmediatamente con:

IAC	1
SE	1

OPTION - Valor de opción.

La Interfaz de Aplicación deberá fijar este campo al valor mostrado en la Tabla V.IV.1-II correspondiente al tipo de compresión seleccionada.

Tabla V.IV.1-II Opciones de Compresión.

Opción	Tipo de Compresión
0x00	Compresión V.42bis
0x01	Modified Modified Read Coding (únicamente opción de servicio 5).
Todos los demás valores son reservados.	

PARAMETER_ID : Identificador de Parámetro.

La Interfaz de Aplicación fija este campo para la identificación del parámetro. Todos los parámetros en los comandos de subnegociación deberán ser requeridos para la opción de compresión seleccionada.

PARAMETER_LEN : Longitud de Parámetro.

La Interfaz de Aplicación pone este campo al número de octetos totales, no incluyendo los campos PARAMETER_ID y PARAMETER_LEN.

PARAMETER_VAL : Valor de Parámetro.

Si la negociación no ocurre, el ajuste por default será aplicado. Para ambas Opciones de servicio, se define la *no compresión*.

Si el campo de OPTION selecciona la compresión del tipo MMR, los parámetros entrantes no son definidos.

Si la opción de servicio 5 está activa, y la compresión MMR ó V.42bis es negociada, esta deberá únicamente ser empleada en conformidad con la tabla V.IV.1-III:

Tabla V.IV.1-III Opción de compresión de la Opción de Servicio 5.

Método de compresión en la RTPC	Método de Compresión en la interfaz U _M
Modified Huffman	Modified Modified Read ó V.42bis
Modified Read	(Compresión no adicional)
Modified Modified Read	(Compresión no adicional)

V.IV.2 CAPA DE TRANSPORTE.

La Capa de transporte se basa en el Protocolo de Capa de Transporte de Internet conocido como Protocolo de Control de Transmisión (TCP).

La implementación cumple con las siguientes condiciones (definidas en el RFC 1122 con algunas modificaciones):

- El TCP siempre anunciara un tamaño de segmento máximo (MSS), el cual no será menor de 536 octetos.
- El TCP limitara el tamaño del segmento transmitido a no más de 2047 octetos para evitar altas tasas de errores.
- El TCP anunciara un tamaño de "ventana" no menor del doble MSS anunciado, y no mayor que cuatro veces el tamaño de MSS.
- Para cada conexión, la capa de transporte deberá utilizar un número de puerto fuente diferente al utilizado en la conexión previa. El puerto utilizado deberá estar en el rango de 0x1000 (4096 decimal) al 0xffff (65535 decimal). El número de puerto de la estación móvil podrá ser iniciado en un valor arbitrario en este rango estando en la condición de encendida.
- El máximo tiempo de vida de un segmento IP debe ser de 0xfe (254 decimal) en caso de no estar configurado. Cuando el suministro es hecho por configuración, el valor inicial deberá ser el número actual en efecto publicado en el RFC 1700.
- La estación móvil maneja las características de conexión TCP empleando el siguiente procedimiento, a menos que se inhabilite por la Interfaz de Aplicación:
 - (a) Durante la conexión inicial de sincronización, el número de intentos de retransmisión (R2) deberá ser de cinco, después de lo cual la conexión deberá ser cerrada.
 - (b) Después de que la conexión ha sido establecida, el valor definido de R2 deberá ser de 100 segundos ó 10 retransmisiones, después de lo cual la conexión será cerrada.

V.IV.3 CAPA DE RED.

V.IV.3.1 Requerimientos Generales.

La Capa de Red en CDMA se basa en el Protocolo de Internet (IP). Dicha capa también incluye un Protocolo de Control de Mensaje de Internet (ICMP).

La implementación debe cumplir con los requerimientos del RFC 791 como lo ratifica el RFC 1122, con las siguientes modificaciones:

- La **Capa de Red** de la estación móvil no requiere soportar los modos de direccionamiento de subred descritos en el RFC 950. En cambio la **Capa de Red** de la estación base debe soportar los direccionamientos de subred como se describe en el RFC 950 y RFC 1122.
- La **Capa de Red** de la estación móvil puede asumir que se encuentra conectada localmente a la estación base.
- La estación móvil no requiere soportar el **Protocolo de Administración de Grupo Internet** (Internet Group Management Protocol - IGMP).
- La **Capa de Red** no deberá fragmentar los datagramas IP para la transmisión sobre la **Interfaz U_M**. Si los datagramas fragmentados que son recibidos desde una red no pueden ser transmitidos sobre la **interfaz U_M** después de reensamblarse, estos deberán ser descartados.
- La estación móvil soportará el **Final de Opción** listada en la **Opción IP** y la **Opción de No Operación IP**.

La interfaz entre la **Capa de Red** y la **Capa de Transporte** deberá cumplir con lo requerido en el punto 3.4 del RFC 1122.

V.IV.3.2 Asignación de Dirección de Red.

La estación base asigna a la estación móvil una **dirección IP temporal** mediante el establecimiento de la llamada. Esta dirección será válida y únicamente asignada a la estación móvil durante el tiempo de llamada. La estación base transferirá la **dirección IP temporal** a la estación móvil usando **IPCP**.

V.IV.4 FUNCIÓN DE CONVERGENCIA DEPENDIENTE DE SUB-RED (SND CF).

La **Función de Convergencia Dependiente de Sub-Red** lleva a cabo la compresión del encabezado de la **Capa de Transporte** y la **Capa de Red**. Es negociada utilizando el **Protocolo PPP de Control de Protocolo de Internet** (PPP-IPCP).

La estación móvil comprimirá el encabezado por medio del método **Van Jacobson TCP/IP**. La compresión del encabezado **TCP/IP** será compatible entre la estación móvil y la estación base. La negociación de los parámetros de compresión del encabezado se llevará a cabo usando **IPCP**.

La **subcapa SND CF** deberá aceptar datagramas de **Capa de Red** desde la **Capa de Red**, llevando a cabo la compresión del encabezado como es requerido, y pasando los datagramas a la **capa PPP**, indicando la apropiada identificación del protocolo **PPP**.

V.IV.5 CAPA DE ENLACE DE DATOS (DATA LINK LAYER).

La **Capa de Enlace de Datos** utiliza el **Protocolo Punto a Punto**, para la encapsulación de datagramas y formación de tramas respectivamente. El **Protocolo de Control de Enlace PPP** es empleado para el establecimiento de enlace inicial, y para negociar las capacidades opcionales de enlace.

La **Capa de Enlace de Datos** utiliza el **Protocolo de Control IP Punto a Punto**, para negociar el **direccionamiento IP** y la compresión del encabezado **TCP/IP**.

La **Capa de Enlace de Datos** acepta datagramas de la **Capa de Red** desde el **SND CF**, encapsulados en el campo de información **PPP**. Los paquetes deberán formarse empleando el **Protocolo de Estructuración de Octetos Síncrono** definido en el RFC 1662, excepto que no se debe tener rellenos entre tramas. Los **paquetes PPP** formados deberán ser enviados a la **Capa RLP** para transmisión.

La **Capa de Enlace de Datos** acepta octetos recibidos de la **Capa RLP**, y reensambla los paquetes originales PPP. El Proceso PPP descarta cualquier paquete para el cual la Secuencia de Verificación de Trama (FCS) recibida, no sea igual al valor calculado.

V.IV.5.1 IPCP.

La subcapa **IPCP** realiza negociaciones de direccionamiento IP (Tipo = 3) y de parámetros del **Protocolo de Compresión IP**.

IPCP negocia una dirección IP temporal para la estación móvil cada vez que una conexión de la **Capa de Transporte** esta activa y mantiene dicha dirección mientras la conexión de la **Capa de Transporte** este abierta o este siendo abierta, de lo contrario, se deberá descartar la dirección IP temporal.

V.IV.5.2 Protocolo de Control de Enlace.

Si el identificador de protocolo es *0xc021*, la **capa PPP** debe procesar los paquetes en relación con el **Protocolo de Control de Enlace PPP**. Si el identificador de protocolo es *0x8021*, la subcapa **IPCP** también procesara los paquetes. Para el soporte de distintos identificadores de protocolo, la **capa PPP** deberá eliminar la encapsulación PPP y pasar los datagramas e identificadores de protocolo a **SNDCCF**. Para identificadores no soportados, el **Protocolo de Rechazo LCP** será enviado a la **Capa RLP** para transmisión.

La estación móvil soporta la *solicitud de configuración PPP LCP*, *Reconocimiento de Configuración*, *Configuración Nak*, *Rechazo de Configuración*, *Solicitud de Terminación*, *Rechazo de Código*, y *Rechazo de Protocolo*. Otros paquetes **LCP** pueden también ser soportados.

El **PPP LCP** deberá negociar las siguientes opciones de configuración:

- Mapeo de Caracteres de Control Asíncrono. La estación móvil no requiere el mapeo de los caracteres de control. La estación base podrá negociar dicho mapeo.
- Protocolo de Compresión de Campo (aplicado cuando el número del protocolo es menor que *0xffff*).
- Direccionamiento y compresión del campo de control (aplicado cuando el número del protocolo no es *0xc021*).

La estación móvil podrá soportar otras opciones de configuración (tales como unidades máximas recibidas, protocolos de autenticación, protocolos de calidad de enlace, o números mágicos). Cuando una opción es recibida y no es soportada, el *Rechazo de configuración* deberá ser enviado como una indicación de dicho punto.

V.IV.6 PROTOCOLO DE ENLACE DE RADIO.

La **capa de protocolo de enlace de radio (RLP)** suministra un servicio sobre el estándar TIA/EIA/IS-95-A en forma de una serie de octetos tanto en el canal de tráfico hacia adelante y hacia atrás, reduciendo substancialmente la tasa de errores exhibida por dichos canales. Este servicio es proyectado para llevar los paquetes de datos de longitud variable de la **Capa PPP**.

El **RLP** divide los paquetes PPP en tramas de canal de tráfico IS-95-A para transmisión. No hay relación directa entre los paquetes PPP y las tramas IS-95-A; un gran paquete puede comprender múltiples tramas de canal de tráfico IS-95-A, o una simple trama de canal de tráfico puede contener todo o parte de varios pequeños paquetes PPP. El **RLP** ignora las tramas de capas de alto nivel; ya que estas operan sin características específicas.

V.IV.6.1 Requerimientos Generales.

V.IV.6.1.1 Soporte Requerido para la Opción Múltiplex.

Para la opción de servicio soportando una interfaz con Opción Múltiplex 1, las tramas RLP pueden ser transportadas como tráfico primario, secundario, o de señalización via *Mensajes en Ráfagas de Datos*.

V.IV.6.1.1.1 Interfaz para la Opción Múltiplex 1.

a) Tráfico Primario.

El RLP deberá generar y suministrar una trama a la *Subcapa Múltiplex* cada 20 mseg. La trama contiene los bits de información de la opción de servicio. El tipo de trama y sus bits asociados suministrados a la *Subcapa Múltiplex* es mostrado en la tabla V.IV.6-1. El RLP suministrará tramas a diferentes velocidades. En comandos únicos, la *Capa RLP* genera tramas en blanco. Además de comandos únicos, la *Capa RLP* deberá generar una trama *no blanqueada* con una tasa máxima de media velocidad.

Tabla V.IV.6-1 Tipos de Trama Suministrados por el RLP a la Subcapa Múltiplex.

Tipo de Trama RLP	Bits por Trama
Tasa Completa	171
Media Tasa	80
Un octavo de tasa	16
Blanco	0

En la estación móvil, la *Subcapa Múltiplex* clasifica cada trama de *Canal de Tráfico* recibida, y suministra el tipo de trama y bits acompañados, a la *Capa RLP*. La Tabla V.IV.6-2 lista los tipos de trama suministrados por la *Subcapa Múltiplex* cuando el RLP es llevado como *Tráfico Primario*.

Tabla V.IV.6-2 Tipos de Trama de Tráfico Primario Suministrados por la Subcapa Múltiplex al RLP.

Tipo de Tramas RLP	Bits por Trama	Categoría de las Tramas de Opción Múltiplex 1.
Tasa Completa	171	1
Media Tasa	80	2, 6, 11
Octavo de Tasa	16	4, 8, 13
Blanco	0	5, 14
Borradas	0	Todas las demás

b) Tráfico Secundario.

El RLP deberá generar y suministrar una trama a la *Subcapa Múltiplex* cada 20 mseg. La trama contiene información de la *Opción de Servicio*. La trama y su número de bits correspondientes deberá ser una de las mostradas en la Tabla V.IV.6-3. Se debe suministrar tramas a diferentes velocidades. Únicamente, por medio de comandos la subcapa RLP deberá generar tramas en *Blanco*. Una trama en *Blanco* no contiene bits y es empleada para el tráfico de señalización o cuando el tráfico primario tiene prioridad sobre el tráfico secundario, y la opción de servicio de tráfico primario envía una trama a tasa completa.

Tabla V.IV.6-3 Tipos de Trama de Tráfico Secundario Suministrados por el RLP a la Subcapa Múltiplex.

Tipo de Tramas RLP	Bits por Trama
Tasa de 1	168
Tasa de 7/8	152
Tasa de 3/4	128
Tasa de 1/2	88
Blanco	0

En la estación móvil la *Subcapa Múltiplex* clasifica cada trama recibida y proporciona el tipo y bits asociados, a la subcapa RLP. La subcapa RLP determinará la validez de dichas trama. La Tabla V.IV.6-4 muestra los tipos de trama que pueden ser enviadas a RLP por la *Subcapa Múltiplex* cuando el RLP es llevado como tráfico secundario.

Tabla V.IV.6-4 Tipos de Trama de Tráfico Secundario Suministrados por la Subcapa Múltiplex al RLP.

Tipo de Trama RLP	Bits por Trama	Categoría de Trama de la Opción Múltiplex 1
Tasa completa	168	14
Tasa de 7/8	152	13
Tasa de 3/4	128	12
Tasa de 1/2	88	11
Blanco	0	1-8
Borrada	0	9,10

V.IV.6.1.1.2 Formato de Tramas RLP.

El RLP envía y recibe tramas del canal de tráfico con relación a los requerimientos de IS-95-A, Opción Múltiplex 1. Los subcanales de señalización pueden llevar tramas de múltiples RLP, con cada RLP teniendo un BURST_TYPE distintivo. Cada *Opción de Servicio* deberá definir un único BURST_TYPE empleado por el RLP.

La trama de datos enviada sobre un subcanal múltiplex no deberá ser transmitida sobre otro subcanal.

Las tramas de RLP no deben ser enviadas sobre los canales de búsqueda o de acceso.

Las tramas de control y de datos RLP podrán ser llevadas sobre la trama IS-95-A de la *Opción Múltiplex 1*, cumpliendo con las siguientes características:

- Únicamente como tráfico primario a 9600 bps (velocidad total).
- Únicamente como tráfico primario a 4800 bps (a media velocidad).
- En la forma de *Dim and Burst* a 1/2 tasa como tráfico primario y de señalización, como parte del tráfico primario.
- En la forma de *Dim and Burst* a 1/2 tasa como tráfico primario y secundario, cualquiera como parte de tráfico primario, secundario, ó como ambos.
- En la forma de *Dim and Burst* a 1/4 de velocidad de tráfico primario y secundario, como parte del tráfico secundario.
- En la forma de *Dim and Burst* a 1/8 de velocidad de tráfico primario y secundario, como parte del tráfico secundario.
- En la forma de *Blank and Burst* con tráfico secundario únicamente.

Este mismo formato puede también ser llevado como parte de una *ráfaga de mensaje de datos IS-95-A*, usando todas las tramas de canal de tráfico IS-95-A que puedan llevar bits de señalización.

a) Tramas de Control RLP.

Las tramas de control no son numeradas secuencialmente, pero contienen el número de secuencia del siguiente dato, en orden para descartar tramas de datos RLP que puedan ser rápidamente detectadas. El número de secuencia no se incrementa después de que una trama de control RLP ha sido detectada.

Ciertas tramas de control (específicamente los *mensajes NAK*) pueden ser referidas a los números de secuencia de otras tramas de datos. El formato de trama es mostrado a continuación:

SEQ	CTRL	LEN	FIRST	LAST	RSVD	FCS	PADDING
8	4	4	8	8	8 x LEN	16	VARIABLE

donde:

- SEQ.-** Número de secuencia de trama de datos RLP. Ver V.IV.6.1.2.2
- CTRL.-** Tipo de trama RLP. Para las tramas de control RLP, es definido de la siguiente manera:
 - '1100' - NAK (Negative Acknowledgment). Solicitando retransmisión de la trama de datos RLP numerada desde la primera (FIRST) hasta la última (LAST), inclusive.
 - '1101' - SYNC. Solicitud de regreso de una trama de control RLP con el bit ACK puesto a un cierto valor.
 - '1110' - ACK. *Reconocimiento de Acuse de Recibo* de una trama de control RLP con el bit SYNC puesto a un cierto valor.
 - '1111' - SYNC/ACK. Indica tanto sincronía (SYNC) y reconocimiento (ACK).
- LEN.-** Longitud de campo de octetos reservado. Si la capa RLP soporta la *Opción de Servicio 4* ó *5*, este campo es puesto a '0000'.
- FIRST.-** Para las tramas de control NAK RLP, este campo contiene el número de secuencia de la primera trama de datos RLP para la cual la retransmisión es solicitada. Para todos los demás tipos de trama de control, este campo deberá contener 0x00.
- LAST.-** Para las tramas NAK RLP, este campo contiene el número de secuencia de la última trama de datos RLP para la cual la retransmisión es solicitada. Para cualquier otro tipo de trama de control RLP, este campo deberá contener 0x00.
- RSVD.-** Octetos reservados. Cuando la capa RLP soporta la *Opción de Servicios 4* ó *5*, el contenido de este campo deberá ser ignorado.
- FCS.-** Secuencia de Verificación de Trama. El contenido deberá ser el generado por el *polinomio FCS de 16-bits*. El FCS deberá cubrir los campos *SEQ*, *CTRL*, *LEN*, *FIRST*, *RSVD*, y *LAST* (4+LEN octetos).
- PADDING.-** Bits de relleno. Puestos a '0'

b) Trama de Datos RLP.

1. Tramas no Segmentadas.

Estas tramas llevan un número variable de octetos de datos, empleando un campo de longitud para indicar dicho número de octetos. Tal como se muestra a continuación:

SEQ	CTRL	LEN	DATA (LEN OCTETS)	PADDING
8	1	7	8 x LEN	VARIABLE

donde:

- SEQ.- Número de Secuencia de Trama de Datos RLP. Ver V.IV.6.1.2.2
 CTRL.- Tipo de Trama RLP. Para una trama llevando datos no segmentados el campo CTRL debe estar puesto a '0'
 LEN.- Longitud de Datos. Cualquier valor en el rango de 0 al máximo permitido por la trama RLP. Valores máximos de LEN(MAX_LEN) son dados en la Tabla V.IV.6-5.

Cuando LEN es cero, la trama RLP es tratada como una *trama RLP libre*, y el número de secuencia no es adelantado.

DATA.- Octeto de datos.

PADDING.- Bits de relleno. Estos bits deben ser puestos a '0'.

Tabla V.IV.6-5 Valores de la Longitud de Datos Máximos Permitidos (MAX_LEN).

Subcanal Múltiplex	MAX_LEN
Tráfico Primario - Opción Múltiplex 1 a ½ tasa	8
Tasa completa	19
Tráfico Secundario - Opción Múltiplex 1	
Con tráfico primario a ½ tasa	9
Con tráfico primario a ¼ de tasa	14
Con tráfico primario a 1/8 de tasa	17
Blank and Burst	19
Señalización (Ráfagas de Mensaje de Datos)	22

2. Tramas Segmentadas.

Compuestas de un número variable de octetos de datos, emplean un campo de longitud para indicar dicho número de octetos. Este tipo de trama se usa únicamente para llevar tramas de datos retransmitidas. Su formato es el siguiente:

SEQ	CTRL	LEN	DATA (LEN OCTETS)	PADDING
8	4	4	8 x LEN	VARIABLE

donde:

SEQ.- Número de Secuencia de Trama de Datos RLP.

CTRL.- Tipo de Trama RLP. Para tramas RLP segmentadas, el campo CTRL está definido de la siguiente manera:

- '1000' - Primer Segmento. Contiene el primer octeto LEN de la trama de datos RLP segmentada.
- '1001' - Segundo Segmento. Contiene el siguiente octeto LEN de la trama de datos RLP segmentada.
- '1010' - Último Segmento. Contiene el último octeto LEN de la trama de datos RLP segmentada.
- '1011' - Reservado.

LEN.- Longitud de Datos. Cualquier valor en el rango de 1 al máximo permitido por la trama RLP, o 15, cualquiera que sea menor. Valores de longitud de datos máximos permitidos (MAX_LEN) son dados en la Tabla V.IV.6-5

DATA.- Octetos de datos.

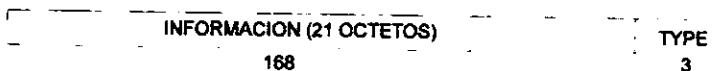
PADDING.- Bits de relleno. Deben ser puestos a '0'

c) Tramas de Tráfico Primario.

Para tramas RLP llevadas como tráfico primario a velocidad total, dos formatos de trama descritos a continuación deben ser empleados.

1. "Formato A" de Velocidad Total.

Las tramas de tráfico primario IS-95-A con *Formato A* pueden llevar tanto tramas de datos como de control RLP; tal como se muestra a continuación:



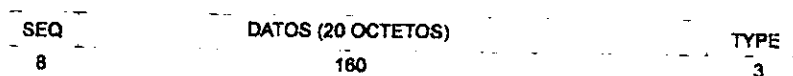
donde:

INFORMACION.- Trama de datos o de control RLP. Formada en relación con la trama RLP de control y de datos descrita anteriormente.

TYPE.- Tipo de trama. Este campo es puesto a '001'

2. "Formato B" de Velocidad Total.

El formato B contiene 20 octetos de datos, como se muestra en el siguiente diagrama:



donde:

SEQ.- Número de secuencia de trama.

DATOS.- Octeto de datos. Este campo debe de contener 20 octetos de datos.

TYPE.- Tipo de trama. El campo TYPE deberá ser puesto a '010'

3. Trama RLP a un Octavo de Velocidad.

Estas son tramas RLP sin datos. Las tramas RLP a tasas altas con cero longitud ($LEN=0$) son también tramas RLP sin datos, y pueden ser enviadas como una alternativa. El número de secuencia no deberá ser incrementado después de una trama RLP libre.



donde:

- SEQ.- Número de secuencia de trama RLP. Este campo deberá ser puesto al actual número de secuencia de trama RLP transmitida. El número de secuencia no deberá ser incrementado siguiendo la transmisión de una trama RLP libre.
- FCS.- Secuencia de Verificación de Trama basado en el código Nordstrom - Robinson modificado.

d) Tráfico Secundario.

Cuando la capa RLP es llevada en tramas de tipo IS-95-A conteniendo tráfico secundario, dicho tráfico que es parte de las tramas de canal de tráfico IS-95-A deberá contener tramas RLP en el formato definido en V.IV.6.1.1.2

Cuando una *Opción de Servicio* usando RLP sobre tráfico secundario tiene más baja prioridad que la opción de servicio usando tráfico primario, el tipo *Blank and Burst* con formato de trama de tráfico secundario no deberá ser usada a menos que la opción de servicio de tráfico primario no tenga datos para enviar. Las siguientes prioridades deberán ser tomadas en cuenta cuando se utiliza el canal de tráfico:

1. Señalización TIA/EIA/IS-95-A.
2. Tramas de control RLP, retransmisiones RLP, y transmisiones RLP debido a la libre expiración del timer (ver V.IV.6.1.2.2). Si la opción de servicio primario lo permite, la subcapa multiplex deberá forzar al tráfico primario a transmitir a no más de media velocidad cuando las tramas RLP en esta categoría son enviadas.
3. Datos para la opción de servicio de tráfico primario.
4. Nuevas tramas de datos RLP.

El tráfico primario deberá tomar prioridad sobre las tramas de control, retransmisiones y transmisiones RLP relacionadas con la opción de servicio usando tramas de tráfico secundario.

e) Tráfico de Señalización.

Las *Ráfagas de Mensajes de Datos* soportando tramas RLP son enviadas sin la *Solicitud de Reconocimiento de Capa 2* (por ejemplo: *ACK REQ* es puesto a cero). Entonces el RLP incluirá un mecanismo de retransmisión para eliminar tramas de datos. Las *Ráfagas de Mensajes de Datos* que soportan tramas RLP no deberán ser enviadas más de una sola vez.

V.IV.6.1.2 Procedimientos.

V.IV.6.1.2.1 Inicialización/Reset.

El protocolo RLP se establece con un *handshake bidireccional*, posterior a la conexión de la *Opción de Servicio* que usa RLP, para sincronizar la conexión.

Cuando un *subcanal múltiplex* llevando tramas RLP es activado o cambia de estado, la capa RLP deberá llevar a cabo el proceso de *Inicialización Reset* descrito a continuación.

Cuando la capa RLP es inicializada o reiniciada, y si una trama de control SYNC RLP se recibe, la capa RLP deberá llevar a cabo el siguiente procedimiento:

- Reiniciar la variable de estado enviada y recibida V(S), V(R), y V(N) a un valor de cero.
- Fijar el conteo consecutivo de E borrado a cero.
- Limpiar los buffer de resecuenciamiento.
- Deshabilitar todos los temporizadores de retransmisión NAK y todos los temporizadores de aborto NAK.
- Descartar cualquier trama de datos RLP en cola para retransmisión.
- Descartar cualquier trama de datos RLP siendo reensamblada.

Cuando la capa RLP es reiniciada, se deberá transmitir una serie continua de tramas de control SYNC RLP. Cuando la capa RLP recibe una trama SYNC RLP esta responde con una trama de control SYNC/ACK RLP, y se continua enviando tramas de control SYNC/ACK RLP hasta que la siguiente trama válida que no sea una trama de control SYNC RLP es recibida. Cuando la capa RLP recibe una trama SYNC/ACK RLP esta responde con una trama de control SYNC RLP, continuando con el envío de tramas de control ACK RLP hasta que la siguiente trama válida la cual no sea una trama de control SYNC/ACK sea recibida. Cuando la capa RLP recibe una trama de control ACK RLP, esta no debe enviar más tramas de control SYNC, SYNC/ACK ó ACK RLP, por lo que se debe comenzar a enviar tramas de datos RLP.

V.IV.6.1.2.2 Transferencia de Datos.

Cuando se transfieren datos, el RLP se basa en el *protocolo NAK*. Por lo que, el receptor es transparente con relación a las tramas de datos RLP; únicamente solicita la retransmisión de tramas que no fueron recibidas.

La capa RLP realiza un conteo de 8-bits del número de secuencia V(S) para todas las tramas de datos RLP transmitidas (ver la figura V.IV.6.1.2.2-1). El campo del número de secuencia (SEQ) en cada nueva trama de datos RLP enviada y en cada trama RLP libre enviada deberá ser puesto a V(S). V(S) será incrementado, en modulo 256, formando cada nueva trama de datos RLP enviada con al menos un octetos de datos.

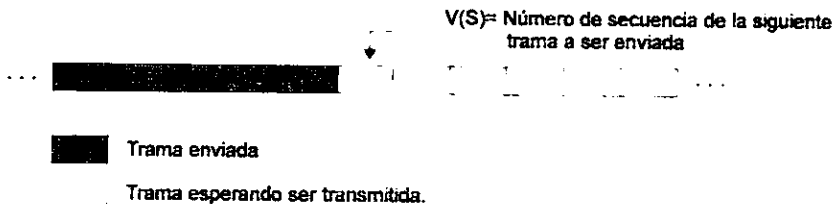


Figura V.IV.6.1.2.2-1 Número de Secuencia RLP Transmitido.

La capa RLP clasifica las tramas a enviar en tres categorías. En orden de prioridad estas son:

1. Tramas de control NAK RLP.
2. Tramas de datos RLP reenviadas en respuesta a tramas de control NAK RLP recibidas.
3. Tramas de datos RLP enviadas por primera vez.

Cuando la *subcapa múltiplex* IS-95-A indica que se encuentra lista para enviar una trama de canal de tráfico, el RLP deberá seleccionar la trama RLP con alta prioridad entre las disponibles para transmisión. Cuando RLP es llevado como tráfico primario, y si las tramas RLP descritas anteriormente no están disponibles para su transmisión, una trama RLP libre debe ser enviada.

La capa RLP mantiene dos números de secuencia variables de 8-bits para recibir $V(R)$ y $V(N)$ (figura V.IV.6.1.2.2-2). $V(R)$ contiene el valor esperado del campo de *número de secuencia* de la trama RLP en la siguiente nueva trama de canal de tráfico a ser recibida. En cambio $V(N)$ contiene el número de secuencia de la siguiente trama de canal de tráfico necesaria no recibida en secuencia, tal como se describe abajo.

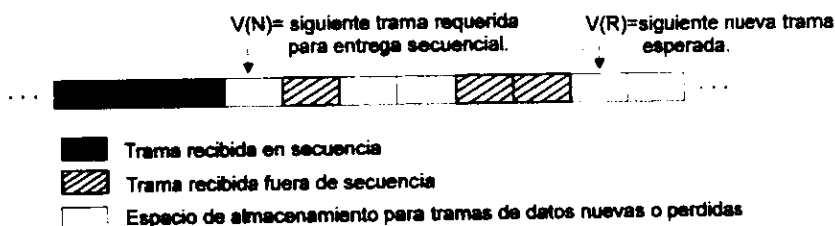


Figura V.IV.6.1.2.2-2 Número de Secuencia RLP Recibida Variable.

Para cada trama de datos RLP que es válida y contiene un número de octetos de datos diferente de cero, la capa RLP deberá comparar el número de secuencia a $V(R)$ y $V(N)$; por lo que:

- Si el número de secuencia de trama RLP es menor que $V(N)$, o si la trama de datos RLP ya se almacena en el *buffer*, la trama de datos RLP deberá ser descartada como un duplicado.
- Si el número de secuencia de trama RLP recibido es mayor que o igual a $V(N)$ y menor que $V(R)$, y la trama de datos RLP no es almacenada en el *buffer* de resecuenciamiento, entonces:
 - Si la trama recibida no es segmentada la capa RLP la almacenara en el *buffer* de resecuenciamiento.
 - Si la trama recibida es una trama segmentada, el segmento debe ser reensamblado.
 - Si la trama completa ha sido recibida, y el número de secuencia es igual a $V(N)$, la capa RLP deberá pasar los datos a todas las tramas de datos RLP contigua en el *buffer* de resecuenciamiento, desde $V(N)$ hacia arriba, a las capas altas, y eliminar las tramas que pasaron hacia el *buffer* de resecuenciamiento.
- Si el número de secuencia de trama RLP recibido es igual a $V(R)$, entonces:
 - Si la trama recibida esta segmentada, deberá ser descartada. De otra manera, se procesara de la siguiente forma:
 - Si $V(R) = V(N)$, la capa RLP incrementará $V(N)$ y $V(R)$, en módulo 256, y deberá pasar todos los octetos de datos de la trama RLP a las capas superiores.
 - Si $V(R) \neq V(N)$, la capa RLP incrementará $V(R)$, en módulo 256, y almacenará la trama de datos RLP recibida en el *buffer* de resecuenciamiento.
- Si el número de secuencia recibido es mayor que $V(R)$, y:

- Si la trama recibida es una trama RLP segmentada, la trama deberá ser descartada. De otra manera, deberá ser procesada de la siguiente manera:

- La capa RLP deberá almacenar la trama de datos RLP recibida en el buffer de resecuenciamiento y poner $V(R)$ al número de secuencia recibido.
 - La capa RLP deberá entonces enviar una o más tramas de control NAK RLP solicitando la retransmisión de todas las tramas de datos RLP no recibidas desde $V(N)$ a $[V(R) - 1]$.
 - La capa RLP incrementará $V(R)$, en módulo 256.
- Si el número de secuencia de trama RLP recibido es igual a $V(R)$, la capa RLP no tomara acción alguna.
 - Si el número de secuencia de trama RLP recibido es mayor que $V(R)$, la capa RLP deberá poner $V(R)$ al número de secuencia de trama recibida, y entonces enviar una o más tramas de control NAK solicitando la retransmisión de todas las tramas de datos RLP no recibidas con números de secuencia de $V(N)$ a $[V(R) - 1]$.

Si el tamaño de la trama retransmitida excede el número de octetos permitidos en la trama del canal de tráfico en el tiempo de retransmisión, la capa RLP puede segmentar la trama.

La capa RLP deberá mantener un temporizador de retransmisión NAK para cada trama de datos solicitada en una trama de control NAK RLP.

Si alguna trama RLP solicitada no ha llegado cuando su temporizador de retransmisión NAK expira, el receptor deberá enviar una o más tramas de control NAK RLP solicitando la retransmisión de todas las tramas de datos RLP no recibidas desde $V(N)$ hacia adelante. Cada trama de control NAK RLP transmitida como resultado de la finalización del temporizador de retransmisión NAK deberán ser transmitidas doble vez. La capa RLP deberá entonces volver a iniciar el temporizador de retransmisión NAK para la trama de datos RLP solicitada.

La capa RLP deberá llevar a cabo el siguiente proceso cada vez que las tramas RLP sean llevadas como tráfico secundario:

- Cuando una nueva trama de datos RLP es enviada, la capa RLP inicia un temporizador de libre. La capa RLP mantendrá un contador de transmisión de trama libre, inicialmente a cero. El temporizador deberá ser reiniciado, y el contador puesto a cero, siguiendo la transmisión de alguna trama RLP antes de la expiración del temporizador. Cuando el temporizador de libre termina, la capa RLP deberá transmitir una trama de control RLP conteniendo el número de secuencia $V(S)$ actual, debiendo incrementar el conteo de la transmisión de tramas libres, y reiniciando el tiempo libre. Si el conteo de transmisión de tramas libres es igual a tres, el temporizador de libre deberá ser inhabilitado.

La capa RLP deberá llevar a cabo lo siguiente cada vez que las tramas RLP sean llevadas como señalización:

- Siempre que una nueva trama de datos RLP es enviada, la capa RLP deberá comenzar un temporizador libre. Dicho temporizador es implementado como un contador de trama. El contador será incrementado por cada trama de canal de tráfico recibida. El temporizador deberá ser reiniciado siguiendo la transmisión de alguna trama RLP antes de la expiración del reloj. El reloj expira cuando el contador de trama libre excede de 127; cuando se excede este valor, la capa RLP transmitirá una trama de control RLP o una trama libre que contenga los datos actuales del número de secuencia de trama $V(S)$, debiendo reiniciar el reloj de liberación.

V.IV.6.1.2.3 Secuencia de Verificación de Trama (Frame Validity Check).

a) Tráfico Primario.

La capa RLP debe considerar como inválida toda trama de canal de tráfico recibida para lo cual se cumpla lo siguiente:

1. Que la trama de canal de tráfico sea clasificada en las categorías 3, 5, 7, 9, 10, 12 ó 14 por la Opción Múltiplex 1.
2. Para tramas de control RLP, si el campo FCS no concuerda; para tramas libres RLP a 1/8 de velocidad, si el campo FCS no es el correcto para el valor del campo SEQ.
3. Tramas RLP con valor en el campo TYPE que no sea uno de los valores definidos en V.IV.6
4. Tramas RLP con valor en el campo LEN que no este dentro del rango permitido en V.IV.6
5. Tramas RLP con valor en el campo CTRL que no sea uno de los definidos en V.IV.6.1
6. Para tramas a 1/8 de velocidad, en donde el número de secuencia de trama recibido no este dentro del rango desde $V(R)$ a $(V(R)+E)$, donde E es el número de eliminaciones consecutivas precediendo la trama actual.
7. Para tramas a 1/8 de velocidad, donde la trama no es idéntica en contenido a la trama precedente.

Todas las demás tramas de canal de tráfico deben ser consideradas válidas.

b) Tráfico Secundario.

La capa RLP considera como inválidas todas las tramas de canal de tráfico recibidas que presenten las siguientes características:

1. Todas las tramas de canal de tráfico que sean clasificadas en la categoría 5, 9 ó 10 por la Opción Múltiplex 1 deberán ser eliminadas por RLP. Todas las demás tramas son ignoradas por RLP.
2. Para las tramas de control RLP, cuyo campo FCS no es verificado.
3. Tramas RLP cuyo valor del campo TYPE no es uno de los valores definidos en V.IV.6.1.
4. Tramas RLP cuyo valor del campo LEN no está dentro del rango permitido en V.IV.6.1.
5. Tramas RLP cuyo valor del campo CTRL no sea un valor como el definido en V.IV.6.1.

Todas las demás tramas de canal de tráfico serán consideradas válidas, y deberán ser procesadas por RLP si estas contienen datos de tráfico secundario.

La capa RLP incluirá el contador E de las tramas consecutivas clasificadas como eliminadas. Si E excede de 127, la capa RLP deberá realizar el procedimiento de *inicialización/reset*.

c) Tráfico de Señalización.

La capa RLP deberá aceptar como válida toda trama de *mensajes en ráfaga de datos* con el campo BURST_TYPE del servicio siendo soportado que es declarado válido en relación con los requerimientos de IS-95-A. Cada *Opción de Servicio* soportada por RLP que emplea tráfico de señalización deberá definir un único campo BURST_TYPE.

Cualquier mensaje de señalización recibido cuyo CRC no concuerde, deberá ser descartado por la capa RLP. La capa RLP deberá mantener un registro E de las eliminaciones entre tramas válidas RLP. Si E excede de 127, la capa RLP deberá llevar a cabo el procedimiento de *inicialización/reset*.

V.IV.6.1.2.4 Segmentación de las Tramas de Datos Retransmitidas.

Una trama de datos RLP retransmitida puede ser enviada tanto en uno, dos ó tres segmentos. Si la trama retransmitida es enviada en un único segmento, el formato de trama *no segmentado* debe ser empleado. Si el tamaño de la trama retransmitida excede el número de octetos disponibles en el tiempo en que la retransmisión ocurre, la capa RLP puede segmentar la trama usando el siguiente procedimiento:

- El primer segmento será transmitido utilizando el tipo de trama de *Primer Segmento* (ver V.IV.6.1.1.2), este contendrá el máximo número de octetos de datos disponibles.
- Si el número de octetos restantes excede el número de octetos disponibles en el tiempo de transmisión del siguiente segmento, otro segmento deberá ser transmitido usando el tipo de trama de *Segundo Segmento*. De otro modo, el siguiente segmento deberá ser transmitido usando el tipo de trama de *Último Segmento*.
- Si más octetos restan después de la transmisión de una trama de tipo de *Segundo Segmento*, los octetos restantes son transmitidos utilizando la trama de *Último Segmento*.
- Tramas de datos segmentadas no deben ser enviadas con el campo LEN igual a cero.
- El campo SEQ de todo segmento es puesto al número de secuencia de la trama de datos siendo retransmitida
- La capa RLP puede transmitir tramas de control RLP o tramas libres entre segmentos de una trama de datos RLP segmentada. La capa RLP no debe transmitir otras tramas de datos RLP ni tampoco segmentos con diferentes números de secuencia entre segmentos de una trama de datos RLP segmentada.

La capa RLP comenzará reensamblando tramas sobre acuses de recibo del primer segmento de la trama de datos segmentada. Cuando el último segmento es recibido, la capa RLP procesara las tramas de datos RLP de la misma forma como si estas no estuvieran *segmentada*.

La capa RLP deberá descartar, cualquier trama de datos RLP segmentada que es recibida bajo cualquiera de las siguientes condiciones:

- Si un segmento es recibido fuera de orden (por ej.; un *último segmento* recibido en vez del primer segmento).
- Si una trama inválida es recibida entre la llegada del primero y el último segmento.
- Si un segmento de trama RLP con número de secuencia diferente es recibido entre el primer y último segmento.

V.IV.6.2 Requerimientos para Fax y Datos Asíncronos.

V.IV.6.2.1 Tratamiento del Canal de Tráfico.

La capa RLP que soporta la opción de servicio de Fax o Datos Asíncronos será llevada como tráfico primario o de señalización. Para esta opción de servicio, el uso de tráfico de señalización para llevar tramas RLP es restringido a casos específicos. El campo BURST_TYPE '000001' ó '000010' deberá ser usado para llevar tramas RLP para la opción de servicio 4 y 5, respectivamente.

Cuando un canal de tráfico es activado y la opción de servicio de Fax o Datos Asíncronos llega a estar activa, la capa RLP deberá llevar a cabo el procedimiento de *inicialización reset*.

V.IV.7 INTERFAZ DE RADIO.

La estación móvil y la estación base deberán soportar la *capa física*, la *subcapa múltiplex*, la administración del enlace de radio y el control de llamadas definidas en TIA/EIA/IS-95-A.

La estación móvil y la estación base no transmitirán tramas a $\frac{1}{4}$ de velocidad cuando la opción de servicio 4 o la opción de servicio 5 estén activas.

V.IV.7.1 Opción Múltiplex.

La opción de Servicio 4 y 5 debe soportar una interfaz con la Opción Múltiplex 1. Las tramas RLP para la Opción de Servicio 4 y Opción de Servicio 5 serán únicamente transportadas como tráfico primario o tráfico de señalización.

V.IV.7.2 Inicialización y Conexión de la Opción de Servicio.

a) Inicialización y Conexión en la Estación Móvil.

Si la estación móvil envía una Respuesta a la Orden de Opción de Servicio aceptando la Opción de Servicio 4 ó 5 en respuesta a una Solicitud de Orden de Opción de Servicio recibida, esta deberá inicializar y conectar cualquiera de las Opciones de Servicio con relación a:

- Si la estación móvil está en el Subestado de Conversación, deberá completar la inicialización y conexión de los lados de transmisión y recepción dentro de 200 mseg desde:
 - El tiempo de acción implícito o explícito asociado con la Solicitud de Orden de Opción de Servicio; ó
 - El tiempo que la estación móvil envía la Respuesta a la Orden de Opción de Servicio aceptando la Opción de Servicio 4 ó Opción de Servicio 5.
- Si la estación móvil no está en el Subestado de Conversación, está deberá completar la inicialización y conexión del lado transmisor y receptor dentro de 200 mseg. desde:
- La acción de tiempo implícita o explícita asociada con la Solicitud de Orden de Opción de Servicio.
- El tiempo que la estación móvil envía la Respuesta a la Orden de Opción de Servicio aceptando la Opción de Servicio 4 o la Opción de Servicio 5; ó
- El tiempo que la estación móvil entre al Subestado de Conversación.

Si la estación móvil recibe una Respuesta a la Orden de Opción de Servicio aceptando esta solicitud para las Opciones de Servicio, la estación móvil deberá inicializar y conectar la Opción de Servicio 4 y la Opción de Servicio 5 con relación a lo siguiente:

- Si la estación móvil esta en el Subestado de Conversación, esta deberá completar la inicialización y conexión de los lados de transmisión y recepción dentro de 200 mseg. Del tiempo de acción implícito o explícito asociado con la Respuesta a la Orden de Opción de Servicio.
- Si la estación móvil no esta en el estado anterior, deberá completar la inicialización y conexión del lado de transmisión y recepción dentro de 200 mseg desde lo último de:

- El tiempo de acción implícito o explícito asociado con la *Respuesta a la Orden de Opción de Servicio*; ó
- El tiempo que la estación móvil entra al *Subestado de Conversación*.

Cuando el lado transmisor de la *Opción de Servicio 4 ó 5* esta conectado, la *opción de servicio* deberá generar y transferir tramas de datos RLP a la *Subcapa Múltiplex*. En cambio si el lado receptor se encuentra conectado, la *opción de servicio* deberá transferir y procesar tramas de datos RLP desde la *subcapa Múltiplex*.

b) Inicialización y Conexión en la Estación Base.

La estación base deberá esperar una *Respuesta a la Orden de Servicio* o *Solicitud de Orden de Opción de Servicio* transmitida antes de la inicialización y conexión de las Opciones de Servicio.

Cuando el lado que transmite la *Opción de Servicio 4 ó 5* está conectado, la *opción* deberá generar y transferir tramas de datos RLP a la *subcapa múltiplex*. Cuando el lado de recepción es conectado, la *opción de servicio* deberá transferir y procesar tramas de datos RLP desde la *subcapa múltiplex*.

V.IV.7.3 Control de Velocidad en el Canal de Tráfico.

La estación base puede enviar una *Orden de Control de Opción de Servicio* a la estación móvil sobre el canal de tráfico hacia adelante. La estación móvil no deberá enviar una *Orden de Control de Opción de Servicio* a menos que las *opciones de servicio* estén activas.

Si las *opciones de servicio* están activas y la estación móvil recibe la *Orden de Control de Opción de Servicio* teniendo un campo **ORDQ** que contengan alguno de los valores dados en la tabla V.IV.7-1; entonces la estación móvil deberá generar la *fracción P* de estas nuevas tramas de canal de tráfico como se observa en la tabla V.IV.7-1. Mientras el canal de tráfico este activo la estación móvil continuará con el uso de esta *fracción* hasta que se reciba una *Orden de Control de Opción de Servicio* que especifica diferentes *fracciones*.

Cada vez que un canal de tráfico sea inicialmente activado, la estación móvil deberá poner la *fracción P* a 1.

Tabla V.IV.7-1. Fracción de Trama a Tasa 1, a ½ Tasa con Reducción de Velocidad.

ORDQ (Binario)	P = Fracción de Tramas de tasa 1 normalmente para ser de Tasa 1	(1-P) Tramas de Tasa 1 para ser normalmente Tramas de ½
000XXXXX	1	0
001XXXXX	¾	¼
010XXXXX	½	½
011XXXXX	¼	¾
100XXXXX	0	1

Cuando la estación móvil debe llevar a cabo la reducción de velocidad, secuencias de N tramas son formadas como se muestra en la Tabla V.IV-7-2. La primera trama L de canal de tráfico en secuencia contiene una *Tasa 1*, la siguiente trama N - L es forzada a ser de $\frac{1}{2}$ *Tasa*. Cuando la capa RLP no tiene más octetos para enviar que el conveniente en una trama de datos a $\frac{1}{2}$ *tasa*, una trama de datos RLP a $\frac{1}{2}$ *tasa* debe ser enviada, y la secuencia debe ser reiniciada. Esto asegura que la primera trama de canal de tráfico en una ráfaga de datos sea a *Tasa 1*, a menos que ORDQ sea igual a '100XXXXX' o la capa RLP sea comandada por la *subcapa multiplex* para generar otra trama de *Tasa 1*.

Tabla V.IV-7-2 Parámetros de Secuencia para Reducción de Velocidad.

ORDQ (Binario)	Longitud de Secuencia, N	Máximo Número de Tramas Contiguas a Tasa 1 en una Secuencia, L	Número de Tramas Contiguas a $\frac{1}{2}$ Tasa en una Secuencia, L
000XXXXX	1	1	0
001XXXXX	4	3	1
010XXXXX	2	1	1
011XXXXX	4	1	3
100XXXXX	1	0	1

V.IV.8 PROCESAMIENTO DE LLAMADA U_M .

V.IV.8.1 Establecimiento de la Conexión.

a) Originación Móvil.

Cuando la Interfaz de Aplicación de la estación móvil solicita la iniciación de una conexión de datos asíncronos o fax, esta deberá emitir una llamada OPEN a la Capa de Transporte. La llamada especificará el número de puerto del módem servidor (380) como puerto de destino, con el direccionamiento IP origen/destino no especificado. La dirección IP deberá ser provista a la Capa de Red después de concluir la configuración de IPCP. Los datos de la Capa de Transporte no deberán ser enviados sobre la Interfaz U_M antes de la conclusión de la configuración del IPCP.

La originación de llamadas es llevada a cabo mediante las dos forma siguientes. La estación base también soportara estos procesos.

- a. Si la originación se inicia como una llamada de datos o fax (comandos ATD o la apropiada fijación de AT+CXT seguido por los comandos de módem no reconocidos) y la configuración del módem incluye la adición de "speaker off" la estación móvil deberá transmitir un Mensaje de Originación conteniendo el número apropiado de datos de la Opción de Servicio.

Si la originación se inicia como resultado de un comando ATD, la estación móvil deberá poner la condición de marcación en el Mensaje de Originación, incluyendo tantos caracteres como sea posible sin exceder el tamaño de la cápsula del mensaje.

Si la originación se inicia como resultado de un comando no reconocido, la estación móvil deberá ubicar el comando no reconocido, incluyendo el AT inicial en el Mensaje de Originación. Se deberá enviar tantos caracteres del comando como sea posible sin exceder el tamaño de la cápsula del mensaje.

Después de recibir una solicitud para la opción de servicio de datos o fax, la estación base deberá asignar una dirección IP para la estación móvil y emitir una llamada OPEN pasiva a la capa de transporte. La llamada OPEN deberá especificar el número del puerto del módem servidor (380) como puerto fuente, con la dirección IP de la estación base como la dirección fuente.

Subsecuentemente el estado transitorio de llamada de la estación móvil y la estación base deberá seguir los requerimientos de IS-95-A.

Si la originación es iniciada como resultado de un comando ATD, y la estación móvil no envía la condición de marcación completa en el *Mensaje de Originación*, la estación móvil deberá enviar los caracteres restantes de la serie de marcación a la estación base en los *Mensajes de Continuación de Originación*, el cual requiere de reconocimiento por parte de la estación móvil dentro de T_{34M} segundos.

- b. Si la originación es iniciada como una llamada de datos o fax (comando ATD o fijando apropiados AT+CXT seguidos por comandos de módem no reconocidos) y la configuración del módem incluye la puesta de "speaker on until connect" (ATMI) la estación móvil deberá transmitir un *Mensaje de Originación* conteniendo el número apropiado de la *opción de servicio de datos*.

Si la originación se inicia como resultado de un comando ATD, la estación móvil deberá poner la condición de marcación en el *Mensaje de Originación* incluyendo tantos caracteres de marcación como sea posible sin exceder el tamaño de la cápsula del mensaje. Si la originación se inicia como resultado de comandos no reconocidos, la estación móvil pondrá los comandos no reconocidos, incluyendo "AT" en el *Mensaje de Originación* incluyendo tantos caracteres de los comandos como sea posible.

Después de recibir una solicitud de *opción de servicio de datos* o Fax, la estación base deberá asignar una dirección IP para la estación móvil y emitir una llamada OPEN pasiva a la capa de transporte. La llamada OPEN especificará el número de puerto de módem servidor (380) como puerto fuente, con la dirección IP de la estación base como la dirección fuente.

Si la originación se inicia como un resultado de un comando AT, y la estación móvil no puede enviar la serie de marcación completa en el *Mensaje de Originación*, esta deberá enviar los caracteres restantes de marcación a la estación base en la *Continuación del Mensaje de Originación* como un mensaje que requiere reconocimiento dentro de T_{34M} segundos después de haber entrado en el *Subestado de Conversación*.

Cuando la conexión de la Capa de Transporte esta en el estado de ESTABLISHED, y los comandos de marcación (ATD) han sido recibidos, la estación base deberá transmitir una *Solicitud de Orden de Opción de Servicio* solicitando un servicio de voz, y debiendo conectar el servicio de la RTPC a la estación móvil a través de el *Canal de Tráfico hacia Adelante*. La estación móvil transmitirá datos en el *Canal de tráfico hacia Atrás* en relación con los requerimientos de la *opción de servicio* conectada. De cualquier manera, la estación base no deberá conectar alguna señal de voz en el enlace hacia atrás a la RTPC. Mientras que la opción del servicio de voz este activa, la estación base deberá generar señales DTMF sobre la RTPC en respuesta a mensajes de señalización TIA/EIA/IS-95-A, relacionado con DTMF, recibido de la estación móvil. La capa RLP deberá ser llevada como tráfico de señalización mientras que la opción de servicio de voz este activa.

Cuando la estación base detecta una portadora, se transmitirá una *Solicitud de Orden de Opción de Servicio* solicitando la Opción de Servicio de datos o fax según se requiera. Cuando estas opciones llegan ha estar activas, la capa RLP será restablecida en el *subcanal de tráfico primario*.

b) Terminación Móvil.

Cuando una llamada esta por ser terminada a un número de directorio de estación móvil, la estación base deberá determinar el MIN de la estación móvil asociada, y enviar un *Mensaje de Búsqueda* para dicha estación. El *Mensaje de Búsqueda* deberá incluir el número apropiado de la Opción de Servicio.

Para llamadas de datos asíncronos y fax, la estación base deberá asignar una dirección IP a la estación móvil y emitir una llamada OPEN a la capa de transporte.

La llamada OPEN deberá especificar el número de puerto de módem cliente (379) TIAEIA/IS-99 como destino, con la dirección IP de la estación base como la dirección fuente y la dirección IP asignada de la estación móvil como la dirección destino.

La estación móvil siempre responderá a un *Mensaje de Búsqueda* especificando la Opción de Servicio de datos o fax.

Cuando el usuario de la estación móvil configura el servicio de datos asíncronos o fax por el modo de *autorespuesta* (registro SO \neq 0), la estación móvil deberá llevar a cabo la *autorespuesta*, definida como sigue: Después de que la estación móvil entra a la *Espera para el Subestado de Respuesta de Estación Móvil* la estación deberá enviar una *Orden de Conectado* después del tiempo especificado en el registro SO, e inmediatamente entrar al *Subestado de Conversación*.

Si la estación móvil entra al *Subestado de Conversación* en esta manera, la estación móvil deberá llevar a cabo la siguiente acción:

- Si alguna otra Opción de Servicio esta activa, la estación móvil iniciará la negociación de la Opción de Servicio para cambiar a la Opción de Fax o Datos Asíncronos, como la asignada por la configuración de módem actual.
- La *Interfaz de Aplicación* de la estación móvil deberá emitir una llamada OPEN pasiva a la capa de transporte. Esta llamada deberá especificar el número del puerto del módem cliente (379) TIA/EIA/IS-99 sin una dirección de red local (IP).

Cuando las opciones de servicio están activas por un periodo de tiempo en el *Subestado de Conversación*, la estación móvil deberá llevar a cabo las siguientes acciones:

- La estación móvil deberá llevar a cabo la acción especificada en el *Subestado de Conversación*.
- La *Interfaz de Aplicación* de la estación móvil deberá enviar el comando de respuesta ("ATA"), precedido por los comandos de configuración, antes de enviar cualquier otro dato desde la interfaz R_M.

c) Subestado de Conversación.

Cuando ambas estaciones (base y móvil) entran al *Subestado de Conversación* con una Opción de Servicio de Datos Asíncronos o Fax activa, se deberá comenzar a sincronizar al RLP. Cuando el RLP lleva a cabo la sincronización, ella debe indicar el evento a la capa PPP. La capa PPP y la subcapa IPCP deberán autoconfigurarse.

La estación base deberá enviar una solicitud de configuración IPCP con un parámetro de *Compresión de Protocolo IP*, con el parámetro de dirección IP puesto a la dirección IP asociada con la función de Interworking asignada. La estación móvil almacenara la dirección IP de la estación base ubicándola en el campo de dirección destino de todo datagrama IP enviado mientras que la capa de transporte permanezca conectada.

Si la *Solicitud de Configuración IPCP* de la estación móvil no contiene una dirección IP, la estación base deberá seleccionar una dirección IP para ser usada por la estación móvil y enviar una *Configuración-Nak* con el parámetro de dirección IP puesto al valor seleccionado.

La subcapa IPCP de la estación móvil deberá almacenar la dirección asignada y pasar esta a la Capa de Red para ser usada como una dirección fuente en todos los datagramas IP enviados a la estación base mientras la conexión de la capa de transporte permanece abierta.

Cuando la Capa de Transporte entra al estado de ESTABLISHED se comenzará a enviar y recibir caracteres hacia y desde el punto de Interfaz de Aplicación. La estación móvil transmite su configuración almacenada y los comandos AT que causan el establecimiento de la conexión de la Capa de Transporte. La estación base suministra un comando temporizador de estado inactivo que es iniciado cuando la conexión de la Capa de Transporte entra al estado de ESTABLISHED y es inhabilitado cuando un comando ATA o ATD es recibido por la estación base.

El comando temporizador de estado inactivo será reiniciado cuando algún dato es enviado o recibido por la estación base, sobre la Interfaz U_m. Si el comando temporizador de estado inactivo finaliza, la conexión de la capa de transporte será cerrada.

d) Handoff del Canal de Tráfico.

Cualquier método de transferencia de canal empleado por el sistema CDMA implica un cambio en el *offset* del campo de trama el cual no debe afectar el estado de los protocolos para datos asincrónicos o facsimile.

Si se presenta un *Hard Handoff CDMA-CDMA*, la capa RLP deberá ser reiniciada e inmediatamente restablecida. Esto es necesario para asegurar el apropiado restablecimiento de RLP después de un *Handoff* entre sistemas. Los datos perdidos durante el reinicio de RLP podrán ser retransmitidos por la Capa de Transporte.

TIA/EIA/IS-99 también soporta *Handoff CDMA- Analógico*.- sin embargo, la estación móvil y la estación base deberán cerrar la conexión de la Capa de Transporte si la estación móvil sale de la cobertura CDMA.

V.IV.8.2 Liberación de la Conexión.

Las siguientes condiciones causarán que la conexión de la Capa de Transporte sea cerrada por medio de la llamada de CLOSE.

- La Interfaz de Aplicación cierra directamente la conexión de la Capa de Transporte.
- La estación base detecta que la conexión a la RTPC ha sido perdida o que el módem remoto o el dispositivo de facsimile ha liberado la conexión.
- La estación base libera directamente la llamada (por medio de un comando ATH).
- La estación móvil se mueve fuera del área de cobertura CDMA.
- La expiración del temporizador de conexión *end to end* (registro S7).

Cada una de las siguientes condiciones causará que la conexión de la Capa de transporte sea cerrada por medio del comando ABORT. La estación base deberá inmediatamente liberar la llamada de la RTPC.

- La Capa de Transporte detecte fallas en la conexión.
- La estación móvil decae en potencia, o la estación base recibe una *Orden de liberación* con una indicación de baja potencia.
- La estación base no puede soportar la *opción de servicio* solicitada, o la estación móvil recibe una *Orden de Liberación* indicando que la *opción de servicio* solicitada es rechazada.
- La ocurrencia de una liberación del canal de tráfico.

Si la conexión esta por ser cerrada porque la estación móvil tiene bajo nivel de potencia, esta puede enviar una *Orden de Liberación* con una indicación de baja potencia e inmediatamente disminuir la potencia.

En todos los demás casos, la Capa de Transporte cerrará la conexión en relación con los requerimientos del RFC 793. Si un canal de tráfico está activo cuando el estado de conexión llega a estar en CLOSE, este canal será liberado en relación con IS-95-A. Si una llamada de la RTPC está activa cuando el estado de conexión llega a estar en la condición de CLOSED, la estación base deberá liberar la llamada.

V.V RECOMENDACIONES PARA LA INTERFAZ A_i

V.V.1 RECOMENDACIONES PARA EL ESTÁNDAR DEL MÓDEM.

La estación base deberá soportar los módems estándar V.17, V.21, V.22, V.22bis, V.27ter, V.29, V.32, V.32bis, V.42 y V.42bis sobre la Interfaz A_i. La estación base también soportará V.34, Bell 103, y Bell-212A.

V.V.1.1 Rec. V.32: Familia de Módems Dúplex a 2 Hilos que Funcionan a Velocidades Binarias de Hasta 9600 bits/s para Uso en la RTPC y en Circuitos Arrandados de Tipo Telefónico.

Entre sus principales características encontramos las siguientes:

- a) Modo de funcionamiento dúplex para las diferentes aplicaciones;
- b) Separación de canales por técnicas de compresión de eco;
- c) Modulación de Amplitud en Cuadratura para cada canal con Transmisión Síncrona en línea a 2400 baudios;
- d) Combinaciones de velocidades binarias:

9600 bits/s síncrona.

4800 bits/s síncrona.

2400 bits/s síncrona.

- e) A la velocidad de 9600 bits/s dos esquemas de modulación pueden ser empleados: el de 16 estados de portadora y el otro que emplea una codificación en rejilla con 32 estados de portadora. Siendo la más empleada la que proporciona 16 estados de portadora;
- f) Intercambio de secuencias indicativas de velocidad binaria durante la secuencia de arranque para establecer la velocidad binaria, codificación y cualquier otra facilidad.

La frecuencia portadora ha de ser de $1800 \pm 1\text{Hz}$. No habrá señales piloto separadas; el receptor funcionará con desplazamientos de la frecuencia recibida de hasta $\pm 7\text{Hz}$.

La velocidad de modulación será de 2400 baudios $\pm 0.01\%$.

Se incluirán en el módem un *aleatorizador/desaleatorizador* de sincronización automática. Cada sentido de transmisión emplea un aleatorizador distinto. El método de atribución es diferente dependiendo del sentido de establecimiento de la llamada. Conforme al sentido de transmisión, el polinomio generador es:

Polinomio Generador del módem en el modo llamada (PGL) = $1 + x^{-18} + x^{-23}$, ó

Polinomio Generador del módem en modo respuesta (PGR) = $1 + x^{-5} + x^{-23}$

Módem en el Modo Llamada.

Después de recibir el tono de respuesta durante un segundo, el módem se conectara a la línea y acondicionara los circuitos *aleatorizador/desaleatorizador*, continuando con la transmisión repetida del estado de portadora A.

El módem estará acondicionado para detectar uno de los tonos entrantes a la frecuencia de $600 \pm 7\text{Hz}$ y $3000 \pm 7\text{Hz}$, y una inversión de fase de dicho tono. Al detectar una de dichas fases, el módem podrá detectar una segunda inversión de fase en el mismo tono, *anular un temporizador* y cambiar a la transmisión repetida del estado C (1101). El tiempo entre la recepción de inversión de fase y la transición entre AA y CC será de 64 ± 2 periodos de símbolo.

Cuando el módem detecte una secuencia S entrante procederá a acondicionar su receptor y tratará de detectar por lo menos dos secuencias idénticas consecutivas indicativas de velocidad binaria, de 16 bits. El estado S consiste de alternancias entre los estados A y B durante 256 intervalos de símbolo.

Al detectar una señal de velocidad (R1), el módem transmitirá una secuencia S durante un periodo de tiempo NT estimado por el temporizador. Al terminar el periodo, el módem aplicara la señal de acondicionamiento del receptor, comenzando con una secuencia S de 256 intervalos de símbolo. Continuando con la transmisión del segmento TRN (este segmento se compone de unos aleatorizados a 4800 bits/s, con díbits codificados en los estados A,B,C y D).

Después del segmento TRN, el estado cerrado es aplicado al circuito 107 y se transmitirá una señal indicativa de velocidad (R2) para indicar las velocidades binarias disponibles. Si no se logra un comportamiento satisfactorio con ninguna de las velocidades binarias disponibles, entonces se utilizará R2 para pedir una liberación por la RTPC.

La transmisión de R2 continuará hasta detectar una señal que indique la velocidad entrante R3. Entonces al completarse la secuencia indicativa de velocidad vigente, de 16 bits, se transmitirá una sola secuencia E de 16 bits indicando la velocidad binaria, la codificación y cualquier modo operativo especial exigido por R3. Sin embargo, R3 puede pedir liberación por la RTPC por lo que el módem llamante será desconectado de la línea y realizara una liberación (La secuencia E indica una sola secuencia de 16 bits que marca y sigue al final de un número entero de secuencias indicativas de velocidad binaria, de 16 bits en R2 y R3).

Después el módem transmitirá unos binarios aleatorizados continuos a la velocidad binaria y codificación solicitada por R3 aplicando el estado correspondiente al circuito 112.

Al detectar una secuencia E entrante, el módem se autoacondicionará para recibir los datos a la velocidad y con la codificación indicada por la secuencia E entrante. Después de un retardo de 128 intervalos de símbolo, se aplicará un estado cerrado al circuito 109 y se rehabilitara el circuito 104.

El módem permitirá entonces que el circuito 106 responda al estado del circuito 105 y este preparado para transmitir datos.

Módem en el Modo Respuesta.

Al estar conectado a la línea, el módem acondicionara su *aleatorizador/desaleatorizador* y transmitirá la secuencia de respuesta conforme a la recomendación V.25. Después de la secuencia de respuesta, se transmitirán alternadamente los estados de portadora A y C.

Al terminar la transmisión de los estados alternados A y C durante un número par de intervalos igual o mayor a 128 y después de detectar un tono entrante de $1800 \pm 7\text{Hz}$ durante 64 periodos, el módem está listo para detectar una inversión de fase en el tono entrante, arrancar un temporizador y empezar a transmitir los estados de portadora C y A durante un número par de intervalos de símbolo.

Al detectar una inversión de fase en el tono entrante, el módem parará el temporizador y, después de transmitir un estado A, se volverán a transmitir los estados alternados A y C. El tiempo de retardo entre la recepción de la inversión de fase y la transición transmitida de CA y AC que aparece en los terminales de línea, será de 64 ± 2 periodos de símbolo.

Se transmitirá una señal TRN de la señal de acondicionamiento del receptor para garantizar un nivel satisfactorio de compensación del eco. Después del segmento TRN, el módem transmitirá una señal de velocidad (R1) para indicar las velocidades binarias, la codificación y cualquier modo de operación especial disponible en el momento en el que el módem responde y el ETD asociado.

Al detectar una señal indicativa de velocidad (R2), el módem aplicará un estado CERRADO al circuito 107 y transmitirá una segunda señal de acondicionamiento del receptor.

Después de que se ha enviado un segmento TRN, el módem transmitirá una segunda señal indicativa (R3) a fin de indicar la velocidad binaria, la codificación y cualquier modo operativo especial en ambos módems. Cuando el módem detecte una secuencia E entrante, de 16 bits, se autocondicionará para recibir los datos a la velocidad y con la codificación indicada por la secuencia E.

El módem completará la secuencia indicativa de velocidad vigente, de 16 bits y transmitirá entonces una sola secuencia E, indicando la velocidad binaria y la codificación que ha de emplearse en la subsiguiente transmisión de 'UNOS' binarios aleatorizados. El módem transmitirá 'UNOS' binarios aleatorizados durante 128 intervalos de símbolo, con lo cual permitirá al circuito 106 responder al estado del circuito 105 y que este preparado para transmitir datos. El módem aplicará también el estado CERRADO al circuito 109 y rehabilitará el circuito 104.

Los circuitos de enlace empleados son los siguientes:

Circuitos de Enlace	
No.	Denominación
102	Tierra de señalización o retorno común.
103	Transmisión de datos.
104	Recepción de datos.
105	Petición de transmitir.
106	Preparado para transmitir
107	Aparato de datos preparado.
108/1 ó	Conecte el aparato de datos a la línea.
108/2	Terminal de datos preparado.
109	Detector de señales de línea recibidas por el canal de datos.
111	Selector de velocidad (origen ETD).
112	Selector de velocidad (origen ETCD).
113	Temporización para los elementos de señal en la transmisión (origen ETD).
114	Temporización para los elementos de señal en la transmisión (origen ETCD).
115	Temporización para los elementos de señal en la recepción (origen ETCD).
125	Indicador de llamada.
140	Conexión en bucle/prueba de mantenimiento.
141	Conexión en bucle local.
142	Indicador de prueba.

V.V.1.2 Rec. V.34. Módem Operando a Velocidades de Hasta 28,800 bits/s Para Uso en la Red Telefónica Pública Conmutada y en Circuitos Arrendados Punto a Punto de Tipo Telefónico.

Las principales características son:

- a) Modo de operación *dúplex* y *half dúplex*;
- b) Separación de canales por técnicas de cancelación de eco;
- c) Modulación de Amplitud en Cuadratura para cada canal con transmisión en línea sincrónica a velocidades seleccionables incluyendo las velocidades de 2400, 3000 y 3200 símbolos por segundo y las velocidades suplementarias de 2743, 2800 y 3429 símbolos por segundo.
- d) Velocidades en el canal de datos sincrónico primario de:

28,800 bits/s	14,400 bits/s
26,400 bits/s	12,000 bits/s
24,000 bits/s	9,600 bits/s
21,600 bits/s	7,200 bits/s
19,200 bits/s	4,800 bits/s
16,800 bits/s	2,400 bits/s

- e) Codificación por el método de rejilla en todas las velocidades;
- f) Un canal auxiliar opcional con una velocidad de datos sincrónica de 200 bits/s, porción del cual puede ser provista para el usuario como un canal secundario asincrónico;
- g) Cambio de secuencia de velocidades durante el arranque para establecer la velocidad de datos;
- h) Modo autónomo para el soporte de módems de la Serie-V que comprenden el modo V.32bis y dispositivos facsimile de Grupo-3.

Señales de Línea.

El canal primario soporta velocidades de datos sincrónicos de 2400 a 28,800 bits/s en múltiplos de 2400 bits/s. Las velocidades del canal primario y de datos son determinadas durante la fase 4 de arranque del módem. Las velocidades del canal primario pueden ser asimétricas.

La velocidad de símbolo debe ser de $S = \left(\frac{a}{c}\right) \cdot 2400 \pm 0.01\%$ símbolos/seg. ; donde *a* y *c* son especificados en la siguiente tabla:

Velocidad (S)	<i>a</i>	<i>c</i>
2400	1	1
2743	8	7
2800	7	6
3000	5	4
3200	4	3
3429	10	7

La velocidad de símbolos es seleccionada durante la fase 2 de inicio del módem.

La frecuencia portadora debe ser $\left(\frac{d}{e}\right) \cdot S \text{ Hz}$, donde d y e son enteros. Una de dos frecuencias portadoras pueden ser seleccionadas en cada velocidad, como se especifica en la siguiente tabla.

S	Baja Portadora			Alta Portadora		
	Frecuencia	d	e	Frecuencia	d	e
2400	1600	2	3	1800	3	4
2743	1646	3	5	1829	2	3
2800	1680	3	5	1867	2	3
3000	1800	3	5	2000	2	3
3200	1829	4	7	1920	3	5
3429	1959	4	7	1959	4	7

Circuitos de Enlace.

Estos son listados a continuación:

No	Descripción
102	Señal de Tierra ó Retorno común.
103	Transmisión de datos.
104	Recepción de datos.
105	Solicitud para envío (RTS).
106	Listo para envío.
107	Datos listos para ser enviados (DSR).
108/1	Grupo de datos conectados a la línea.
108/2	Terminal de datos lista (DTR).
109	Detector de señal de línea del canal de datos recibiendo.
113	Elemento de la señal de temporización en el transmisor (fuente DTE).
114	Elemento de la señal de temporización en el transmisor (fuente DCE).
115	Elemento de temporización de señal de recepción (fuente DCE).
125	Indicador de llamada.
133	Listo para recibir.
140	Mantenimiento/Retroalimentación.
141	Lazo local.
142	Indicador de prueba.
118	Transmitiendo por el canal de datos secundario.
119	Recibiendo por el canal de datos secundario.
120	Señal de línea del canal secundario de transmisión.
121	Canal secundario listo.
122	Detector de señal de línea de recepción del canal secundario.

Interfases Sincronas.

El módem debe aceptar datos sincrónicos desde el DTE sobre el circuito 103 bajo control de los circuitos 113 y 114. El módem deberá pasar datos sincrónicos al DTE sobre el circuito 104 bajo el control del circuito 115.

En algunas aplicaciones es necesario sincronizar el temporizador de transmisión al temporizador de recepción dentro de un módem.

Después de las secuencias de inicio y reconversión, el circuito 106 debe seguir al estado del circuito 105 dentro de 2mseg.

Interfases en el Modo de Caracteres Asíncronos.

Canal Primario.

El módem puede incluir un convertidor asíncrono-síncrono que maneje al DTE a un modo asíncrono (con caracteres de inicio - parada). El protocolo de conversión deberá estar relacionado a los dispositivos con soporte V.14 ó V.42 pudiendo emplear la compresión de datos.

Canal Secundario.

Canal empleado únicamente en modo asíncrono; sin embargo, el proceso de modulación opera de manera sincrónica, una conversión asíncrona - sincrónica combinada con el control de flujo de datos debe ser provista.

Control de Flujo DTE a DCE sobre la Interfaz del Canal Secundario.

El módem indicará al canal secundario DTE una inhabilitación temporal en la aceptación de datos sobre los circuitos 103 ó 118 (DCE no listo). Recibiendo únicamente tal indicación, el DTE completará la transmisión de cualquier carácter transmitido parcialmente y entonces parará la transmisión de datos sobre el circuito 103 (118) y fijará estos circuitos al estado "1" binario. La indicación de control de flujo puede llevarse en una de las dos formas siguientes:

- a) Empleando el circuito 106(121).- Una condición de *DCE no listo* puede ser indicada invirtiendo el circuito 106(121) OFF y regresándolo a la condición de ON.
- b) Empleando los caracteres *DC1/DC3* (funciones *XON / XOFF*).- Una condición de DCE no listo es indicada transmitiendo un carácter *DC3* y despejándola mediante la transmisión de un carácter *DC1* sobre el circuito 104(119).

Características Eléctricas de los Circuitos de Intercambio.

Cuando una interfaz física externa es provista, características eléctricas conforme a la recomendación V.10 y V.11 deben ser empleadas. El conector y la asignación de pines de ISO 2110 Amd 1.0 ó ISO/IEC 11569, columna de la serie V > 20000 bits/s, deberán ser usadas.

Estructura de Trama.

La figura V.V.1.2 - 1 nos muestra la estructura de trama.

Como puede observarse en esta figura, una supertrama contiene *J* tramas de datos a una velocidad de símbolo de 2400, 2800, 3000 y 3200 si *J=7*; en cambio cuando *J=8* las velocidades de datos son de 2743 y 3429 símbolos.

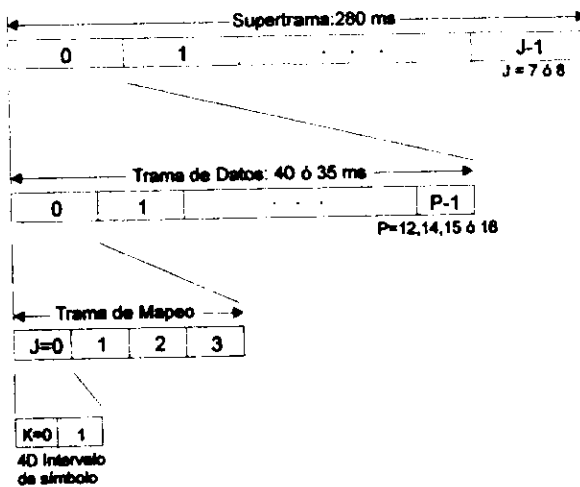


Figura V.V.1.2-1 Estructura básica de trama.

Generalmente una trama de datos debe contener P tramas mapeadas, donde P se especifica de la siguiente manera:

Velocidad de Símbolo, S	J	P
2400	7	12
2743	8	12
2800	7	14
3000	7	15
3200	7	16
3429	8	15

Una trama mapeada comprende cuatro intervalos de símbolo en cuatro dimensiones (4D). Un intervalo de símbolo de 4D comprende dos intervalos de símbolo de 2D. Un método de inversión de bit debe ser empleado para sincronización de la supertrama.

El número total de bits de datos del canal primario y auxiliar transmitido en una trama de datos es denotado por $N = R \cdot (0.28 / J)$; siendo R la suma de la velocidad del canal de datos primario y del canal auxiliar.

El número total (canal primario y auxiliar) de bits de datos transmitidos en una trama mapeada deberá variar entre $b-1$ ("trama baja") y b ("trama superior") bits con relación a una forma periódica de conmutación SWP , de periodo P , tal que el número promedio de bits de datos por trama mapeada es N/P .

Los bits del canal auxiliar deben ser multiplexados por división en tiempo con la mezcla de bits del canal primario. El número de bits transmitidos del canal auxiliar por trama es de $W=8$ a velocidades de 2400, 2800, 3000 y 3200; $W=7$ cuando se presentan las velocidades binarias de 2743 y 3429.

V.5.1.3 Rec. V.42 Procedimiento de Corrección de Errores para los ETCD que Utilizan la Conversión de Modo asincrónico a Modo Síncrono.

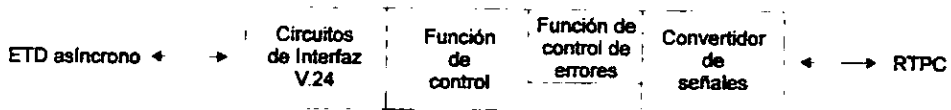
La recomendación contiene un protocolo basado en HDLC denominado *Procedimiento de Acceso al Enlace para Módems (LAPM)*; sin embargo, existen algunos otros procedimientos para la corrección de errores.

Las características principales del procedimiento LAPM son las siguientes:

- a) Interfuncionamiento en el modo sin corrección de errores con los ETCD de la serie V que incluyen la conversión de modo asincrónico a modo síncrono de conformidad con la recomendación V.14;
- b) Detección de errores mediante la utilización de *Comprobación por Redundancia Cíclica*;
- c) Corrección de errores mediante la utilización de retransmisión automática de datos;
- d) Transmisión síncrona mediante la conversión de datos arrítmicos;

El protocolo de corrección de errores definido es especificado en términos de los formatos y procedimientos de control de alto nivel del enlace de datos. En particular, utiliza la clase asincrónica simétrica de los procedimientos HDLC.

El protocolo de corrección de errores puede utilizarse con un convertidor de señales para crear un ETCD con corrección de errores. El ETCD debe comprender tres secciones: circuitos de enlace para la interfaz con el ETCD y convertidores de señales para transmisión por circuitos telefónicos. La estructura lógica de un ETCD con corrección de errores se muestra en el siguiente diagrama a bloques:



Una conexión en la cual funciona el protocolo de corrección de errores del ETCD se establece en dos fases. Inicialmente se establece una conexión física entre los convertidores de señales pares. Una vez establecida la conexión física, el convertidor de señales está en el modo de datos.

Los ETCD con corrección de errores proporcionan un mecanismo para activar o desactivar el establecimiento del protocolo con corrección de errores. Los circuitos de enlace afectados por la corrección de errores son los siguientes:

Número	Descripción
103	Transmisión de datos
104	Recepción de datos
106	Preparado para transmitir
109	Detector de señales de línea recibidas por el canal de datos
133	Preparado para recibir

La interconexión de los elementos funcionales de un ETCD con corrección de errores se muestra en la figura V.5.1.3-1

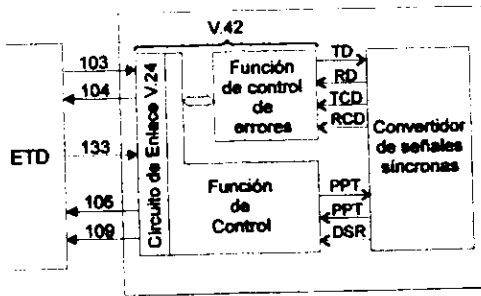


Figura V.12.1.8 - I Circuitos afectados por el control de errores

La *función de control* será responsable de la coordinación global de funciones dentro de un ETCD, entre sus funciones principales, encontramos las siguientes:

- Determinar si el ETCD distante emplea la función de corrección de errores V.42;
- Trabajar con un modo sin conexión de errores para interfuncionar con los ETCD de la serie V. que incluyen la conversión de modo asíncrono - síncrono de conformidad con la recomendación V.14;
- La coordinación de la entrega de datos entre el interfaz V.24 y la *función de control de errores* de modo que, en la medida posible, no se produzcan pérdidas de datos debido a congestión en el interfaz ETD/ETCD o ETCD/ETCD;
- Conversión de datos recibidos en la interfaz V.24 con formato asíncrono para la transmisión síncrona;
- Conversión de datos recibidos en la interfaz ETCD/ETCD en formato síncrono para entrega asíncrona en la interfaz V.24;
- Procesamiento de señal de corte recibida en la interfaz V.24 para transmisión síncrona;
- Renegociación de parámetros si las condiciones lo justifican; y
- Liberación ordenada de la conexión con corrección de errores.

La *función de control de errores* será responsable del funcionamiento del protocolo que realiza la conexión con corrección de errores. El protocolo tendrá las siguientes capacidades:

- Negociación y/o indicación de parámetros operacionales apropiados;
- Establecimiento de una conexión con corrección de errores;
- Transmisión y recepción de datos;
- Detección y corrección de errores;
- Transmisión y recepción de una señal de corte;
- Inicio de una prueba en bucle; y
- Liberación de una conexión con corrección de errores.

La comunicación entre la *función de control* y la *función de control de errores* se modela como un conjunto de primitivas abstractas, que representan el intercambio lógico de información y control para la realización de un servicio. Una primitiva tiene la forma general de:

X - NOMBRE - TIPO

donde:

- X*: Designa un par particular de entidades de comunicación;
NOMBRE: Designa el servicio que invoca;
TIPO: Designa al iniciador de la comunicación.

Los servicios previstos para la función de control (valores que adopta el parámetro *NOMBRE*) son mostrados a continuación:

<i>Servicio</i>	<i>Primitiva</i>
Establecer una conexión con corrección de errores entre entidades pares con corrección de errores	E-ESTABLECIMIENTO
Transferir datos.	E-DATOS
Liberar una conexión con corrección de errores.	E-LIBERAR
Transferir una señal de corte.	E-SEÑAL
Negociar/indicar valores de parámetros y procedimientos facultativos.	E-FIJARPARM
Efectuar una prueba en bucle entre entidades correctoras de errores	E-PRUEBA

Hay cuatro tipos de primitivas que son:

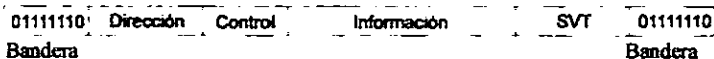
- a) La primitiva *petición*, empleada por el usuario del servicio para solicitar un servicio;
- b) Una primitiva *indicación*, usada por el proveedor de servicio para notificar al usuario una petición de un servicio o una acción iniciada por el proveedor de servicio;
- c) Una primitiva *respuesta*, utilizada por el usuario del servicio para responder a una petición de un servicio; y
- d) Una primitiva *confirmación*, utilizada para indicar que se ha completado una petición de servicio.

Operación de la Función de Control de Errores: Procedimiento LAPM.

Dentro del protocolo LAPM, todos los mensajes se transmiten por medio de tramas, que están delimitadas por banderas de apertura y de cierre. El protocolo LAPM prevé una o más conexiones con corrección de errores "lógicas"; la discriminación entre estas conexiones se efectúa por medio de un *Identificador de Conexión de Enlace de Datos (ICED)* contenido en una trama.

Estructura de Trama.

Todas las comunicaciones de ETCD a ETCD se realizan utilizando la siguiente estructura de trama:



Banderas: Se emplean para delimitar una trama de otra, es importante mencionar que solo las banderas podrán tener más de cinco unos consecutivos en toda la trama.

Campo de dirección: Indica el sentido de flujo de la información; o sea, que identifica una conexión con corrección de errores y la entidad asociada a él. Su formato es el siguiente:



donde:

ICED: Identifica la conexión entre dos entidades de errores pares, los valores de este parámetro son:

Valor ICED	Utilizado para
0	Datos de ETD a ETD (Interfaz V.24).
1-31	Reservado para uso futuro.
32-62	Empleado para otro tipo de aplicaciones.
63	Reservado para información de función de control a función de control.

I/R : Bits de *Instrucción/Respuesta*; sus posibles valores son:

<i>Instrucción</i>	Tx → Rx	I/R = 1
	Rx → Tx	I/R = 0
<i>Respuesta</i>	Tx → Rx	I/R = 0
	Rx → Tx	I/R = 1

ED: Cuando el bit ED se pone a 1 en un octeto, significa que este octeto es el último en el campo de dirección; en caso contrario cuando ED es igual a 0 otro octeto sigue al campo de dirección.

Campo de control: Se emplea para distinguir los diferentes tipos de tramas. Entre sus funciones principales esta la de supervisar y controlar el flujo de la información (mediante el empleo de etiquetas). Tres tipos de formato son especificados, ellos son:

- **Tramas de Información:** Tiene la función de transferir, a través de una conexión, tramas numeradas secuencialmente que contienen datos recibidos en la interfaz V.24 proporcionadas por la función de control; donde N(S) es el número de secuencia de transmisión y es la etiqueta de la trama en curso a ser enviada, por el contrario N(R) es el número de secuencia de la trama que se espera recibir.
- **Tramas de Supervisión:** Llevan a cabo procesamientos de supervisión en la conexión, tales como acuses de tramas I, petición de retransmisión de una o mas tramas I, y solicitud de suspensión temporal de transmisión de tramas I. Sus valores son los siguientes:

	<i>Instrucción</i>	<i>Respuesta</i>	<i>Codificación</i>									
	<i>Supervisión</i>	RR (Receive Ready)	RR (Recive Ready)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	P/ F
N(R)												
RNR (Receive no Ready)		RNR (Receive no Ready)	0	0	0	0	0	1	0	0	1	P/ F
N(R)												
REJ (Reject)	REJ (Reject)	0	0	0	0	1	0	0	0	1	P/ F	
N(R)												
SREJ (Selective Reject)	SREJ (Selective Reject)	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	
N(R)												

- **Tramas no Numeradas:** Proporciona procedimientos de control de conexión tales como *conexión* y *desconexión del Handshake* de capa de enlace. Sus formatos son los siguientes:

	<i>Instrucción</i>	<i>Respuesta</i>	<i>Codificación</i>							
	<i>No Numeradas</i>	SABME (Paso al Modo Equilibrado Asíncrono Extendido.)		0	1	1	P	1	1	1
		DM (Disconnection Mode)	0	0	0	F	1	1	1	1
UI (Información No Numerada)		UI (Información No Numerada)	0	0	0	P/F	0	0	1	1
DISC (Desconexión)			0	1	0	P	0	0	1	1
		UA (Reconocimiento no Numerado)	0	1	1	F	0	0	1	1
		FRMR (Rechazo de trama)	1	0	0	F	0	1	1	1
XID (Identificación de cambio)		XID (Identificación de cambio)	1	0	1	0	1	1	1	1
PRUEBA			1	1	1	0	0	0	1	1

Cuando se detectan fallas en la transmisión de tramas de supervisión o información, la entidad correctora de errores puede rechazar tramas mediante el envío de la trama FRMR con el siguiente formato:

Campo de control de trama rechazada	V(S)	0	V(R)	I/R	0	0	0	0	Z	Y	X	W
1		8		8		8		8				8

donde:

V(S): Valor actual de la variable de estado en emisión del ETCD que informa la condición de rechazo (Nos indica cuantas veces la información llega de manera errónea).

V(R): Valor de la variable de estado en recepción del ETCD que informa la condición de rechazo (Indica la secuencia en la que se envió el error).

I/R: Si *I/R*=1, la trama rechazada era de respuesta; si *I/R*=0, la trama rechazada era de instrucción.

W = 1; Indica un valor indefinido de la trama.

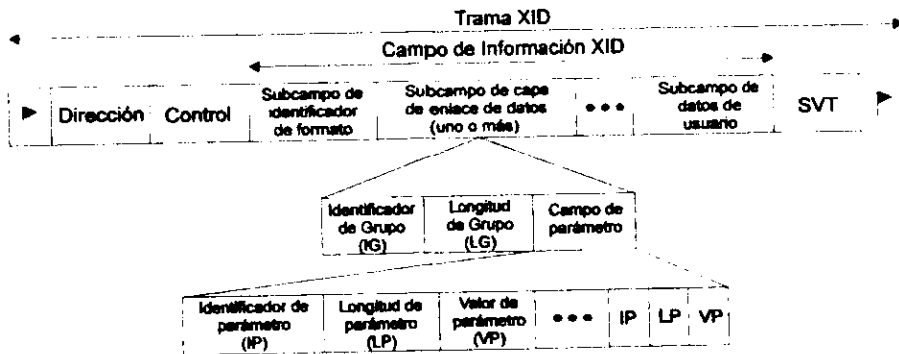
X = 1; Indica que la longitud de una trama de supervisión o no numerada es errónea.

Y = 1; Indica que el campo de información recibido excede del tamaño permitido.

Z = 1; Indica que el valor *N(R)* del campo de control recibido es inválido.

Campo de Información: En caso de haber, este campo llevara información de usuario. La codificación de los campos de información de tramas I es determinada por la utilización de la conexión con corrección de errores.

Campo de Información en tramas XID. - Las tramas *XID* se utilizan para intercambiar información de identificación general. La estructura general del campo de información de una trama *XID* se basa en la codificación de la norma ISO 8885. El campo de información está compuesto de varios subcampos. Tal como muestra a continuación:



Subcampo de identificador de formato: En general IF está codificado de modo que pueda designar 128 formatos diferentes normalizados por la ISO y 128 formatos definidos por el usuario. Para la negociación/indicación de valores de parámetro, el subconjunto IF está codificado como '10000010' para indicar "finalidad general".

Subcampo de capa de enlace de datos: Solo estará presente cuando se asocia con la "negociación de parámetros"; se compone de los siguientes campos:

IG: Contiene un valor establecido de '10000000'.

LG: Valor que depende de la información real que ha de transmitirse.

Subcampo de datos de usuario: Este campo puede estar presente independientemente de si se realiza o no la negociación o indicación. Este subcampo tiene un valor IG de '11111111'. El único parámetro definido por esta recomendación es un "ID" de fabricante identificado por un valor de IP de '11111111'. La codificación del campo VP asociado es específica del fabricante.

El bit de orden superior del primer octeto del campo VP se emplea de la siguiente manera:

Bit = 0: entonces un ID de fabricante no asignado por el CCITT.

Bit = 1; ID de fabricante asignado por el CCITT.

Campo SVT: Campo de verificación de trama empleando un polinomio generador que puede ser de 16 ó 32 bits, dependiendo de la capacidad del sistema.

Procedimientos de Establecimiento de Conexión.

La petición de establecimiento de conexión se realiza mediante la transmisión de la instrucción SABME (con el bit P puesto a 1). La transmisión de una instrucción SABME como resultado de la recepción de una primitiva de Petición E-ESTABLECIMIENTO implica el descarte de todos los datos en cola.

Un ETCD que recibe una instrucción SABME, y puede establecer la conexión con corrección de errores:

- Responderá con una respuesta UA con el bit F puesto al mismo valor que el bit P en la instrucción SABME recibida;
- Pondrá $V(S)$, $V(R)$ y $V(A)$ a 0;

- Considerará establecida la conexión con corrección de errores y pasará al estado conectado;
- Liberará todas las conexiones de excepción existentes,
- Liberará cualquier condición de ocupado del receptor par existente, y
- Arrancará el temporizador T403, si se utiliza.

En caso de no poder establecerse la conexión (indicado por E LIBERACION en respuesta a la indicación E-ESTABLECIMIENTO), el ETCD responderá a la instrucción SABME con más respuestas DM con el bit F puesto al mismo valor que el bit P de la instrucción SABME.

Al recibir la respuesta UA con el bit F puesto a 1, el originador de la instrucción SABME:

- Parará el temporizador T401;
- Arrancará el temporizador T403, si se utiliza;
- Pondrá V(S), V(R) y V(A) a 0; y
- Considerará establecida la conexión con corrección de errores o informará a la función de control utilizando la primitiva E-ESTABLECIMIENTO).

Transferencia de Datos desde la Interfaz V.24.

Tras haber recibido una respuesta UA a una instrucción SABME, se puede comenzar la transferencia de información. Los datos recibidos por la entidad correctora de errores desde la función de control por medio de una primitiva de Petición E-DATOS serán transmitidos en una trama I. A los parámetros de control N(S) y N(R) se les asignarán los valores V(S) y V(R), respectivamente. V(S) aumentará a 1 al final de la transmisión de la trama I.

V.V.2 CONTROL DE FLUJO.

V.V.2.1 Control de Flujo para Datos Asíncronos.

La estación base podrá implementar un control de flujo sobre la Interfaz A₁ en una de dos formas:

- Por el uso de V.42 permitido para el control de flujo entre la estación base y el DCE remoto de la RTPC.
- Si el control de flujo por software es habilitado sobre la Interfaz A₁ la estación base podrá enviar (e interpretar) XON y XOFF. Esto permitirá el control de flujo entre la estación base y la terminal remota

V.V.2.2 Control de Flujo para Facsímil de Grupo-3

La Interfaz A₁ puede operar a altas velocidades que son posibles sobre la Interfaz U_M. La discrepancia de velocidad resulta en requerimientos de almacenamiento (buffering) en la estación base y, eventualmente, por un control de flujo necesario del lado de la máquina de Fax fija. Entonces el Fax de Grupo-3 es considerado como un servicio *half-duplex*, por lo que no hay mecanismos para suministrar un control de flujo real sobre la Interfaz A₁, pero métodos indirectos que llevan a cabo una forma de control de flujo pueden ser utilizados bajo algunas circunstancias.

V.V.3 EXPECTATIVAS DE LA TECNOLOGÍA DE ESPECTRO DISPERSO EN LA TELEFONÍA CELULAR.

En la actualidad se planea que los sistemas CDMA con tecnología de *Espectro Disperso de Banda Ancha* tengan una gran flexibilidad en la interfaz aérea ofreciendo una amplia gama de servicios, entre los que podemos encontrar:

- Servicio de vídeo y datos en altas velocidades.
- Posibilidades basadas en la tecnología de Modo de Transferencia Asíncrona (ATM).
- Ancho de Banda sobre demanda.
- Provisión de terminales celulares pequeñas con alto grado de eficiencia.

Cabe destacar que el sistema de *espectro disperso* debe de suministrar algunos otros requerimientos en la planeación de futuros estándares; estos requerimientos se enfocan en los siguientes servicios:

- Amplio rango de servicio de datos.
- Velocidades variables y servicios de paquetes.
- Vídeo teléfonos.
- Extensión Satelital.
- Sistemas no sincronizados.
- Alta calidad en el modo de conversación.

En la actualidad la tecnología de *espectro disperso* dentro de la telefonía celular esta enfocada a la implementación de servicios de tercera generación, tal es el caso de los *Sistemas de Comunicación Personal* (PCS) y la emisión de nuevos estándares, tal es el caso del IMT-2000.

En el caso de los *Sistemas de Comunicación Personal* el sistema de *espectro disperso* deberá generar herramientas aptas para el adecuado desempeño en la provisión de servicios; tales herramientas deberán tener la suficiente capacidad para hacer frente a las futuras demandas de PCS, cuyos requisitos fundamentales son:

- Calidad del servicio.
- Capacidad y Cobertura para el usuario.
- Alta flexibilidad para el operador del sistema.

Los sistemas PCS pueden ser definidos en forma general como la siguiente generación del *servicio telefónico móvil*. Entre sus características principales encontramos:

- El sistema PCS trabaja tanto en la banda de los 900-950 MHz así como en la banda de los 1.85-2.2 GHz.
- Tiene la capacidad de proveer servicios de *banda angosta* y de *banda ancha*.
- Provisión de servicios de voz (isocronos), como lo son las llamadas convencionales, los servicios de correo de voz, la recepción de cortos mensajes alfanuméricos, entre algunas otras aplicaciones.
- Provisión de servicios de datos, entre los que podemos encontrar transmisión en forma asíncrona, servicio de Internet móvil y características de correo electrónico.

Los objetivos principales se basan en cuatro puntos esenciales, definidos de la siguiente manera:

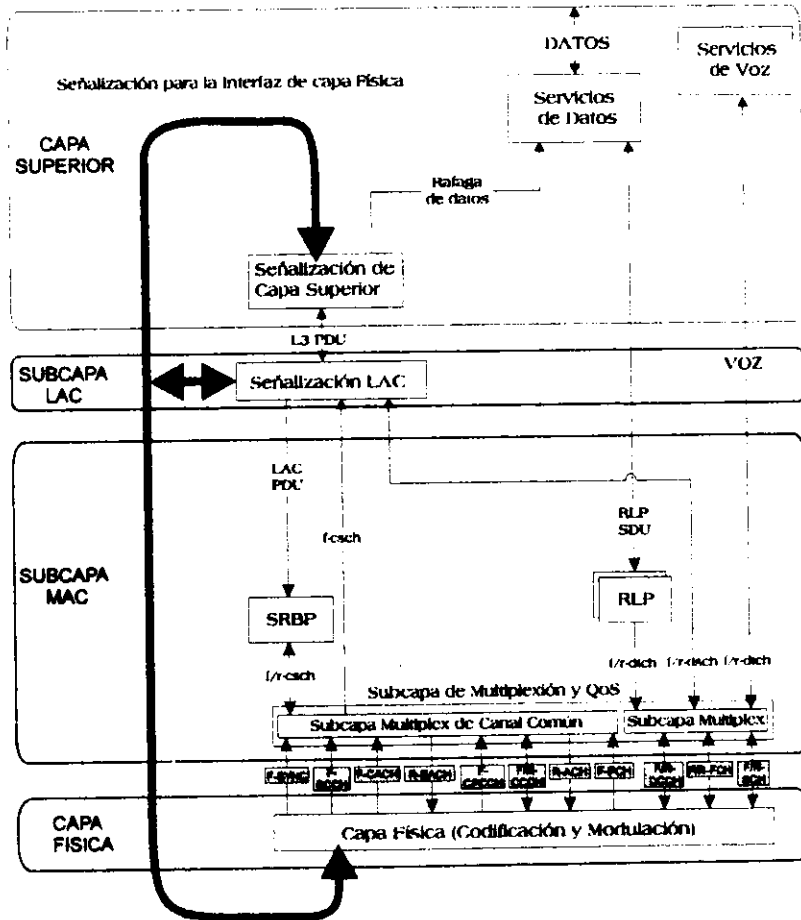
1. **Calidad de Voz Alámbrica:** Esto se refiere a la mejora en la calidad de la señal de voz que se debe de tener sobre el canal de radio, por lo que se deben de hacer mejoras sobre el sistema celular actual.
2. **Administración de Llamada:** El usuario tiene el control de sus llamadas pro medio de la implementación de un filtro para llamada.
3. **Numeración Personal:** Se refiere a las facilidades que se pueden implementar en el sistema sobre la marcación telefónica.
4. **Conveniencia:** Se refiere a la provisión de teléfonos portátiles ligeros y pequeños.

El servicio PCS podrá ser suministrado por medio de una **Infraestructura de Red de Comunicación Personal** con las siguientes características:

- **Celdas de tamaño pequeño.**
- **Empleo de bajas potencias de transmisión, lo que conlleva a:**
 - La reducción del tamaño y peso del aparato telefónico.
 - El incremento del tiempo de vida de la batería del teléfono.
 - Reducción de emisiones de frecuencia dañinas para la salud.
- **Asignación del espectro en la banda de frecuencia de los 2 GHz.**
- **El empleo de Tecnologías de Transmisión Digital.**

Con relación al sistema celular IS-95, el cual define un sistema celular digital CDMA con tecnología de *espectro disperso* podemos hacer mención que su evolución será orientada hacia los sistemas inalámbricos de tercera generación, la cual comprenderá también una amplia gama de servicios de voz y datos a diferentes velocidades, que pueden ser definidos como *Sistemas de Comunicación Personal*. Dichas mejoras del sistema son definidas en el estándar de tercera generación denominado IMT-2000, el cual tiene como característica principal mencionar las interfaces de capas superiores e inferiores para la provisión de un servicio de tercera generación. La estructura de capas para la provisión de servicio de tercera generación se muestra en la figura D-1.

Cabe mencionar que la implementación del estándar IMT-2000 deberá de darse de forma gradual en los sistemas celulares que aún trabajan bajo el estándar de IS-95 ya que es necesario implementar sistemas de modulación más robustos y un adecuado algoritmo de control de potencia, ya que como se menciono anteriormente, una de las principales características de desarrollo del sistema de *espectro disperso*, es el adecuado control de potencia tanto de la unidad móvil como de las estaciones base servidoras.



Arquitectura básica del Sistema CDMA-2000.

CONCLUSIONES.

1. El contenido de este trabajo se obtuvo de diferentes fuentes bibliográficas, las cuales no es muy común encontrar debido a la poca difusión del tema y alto costo del mismo. Además de ello, se incluye información técnica especializada, tomada de estándares internacionales normalizados, obtenidos de ejemplares actualizados y de consulta en el Internet; por lo que podemos mencionar que la investigación en forma global contiene un valor agregado debido a la recopilación hecha de diferentes fuentes; esperando que la información presentada en él sea de utilidad para las personas que deseen realizar su consulta.
2. Uno de los puntos básicos que pude apreciarse en el desarrollo de este trabajo, es lo importante que se ha vuelto la telefonía celular en muchos aspectos de la vida cotidiana de las personas; debido principalmente al crecimiento de usuarios y servicios, no olvidando lo importante que ha sido el desarrollo tecnológico de la industria de la Electrónica y las Telecomunicaciones. Este desarrollo ha traído como consecuencia una mejora en la calidad de los servicios proporcionados por este tipo de sistemas.
3. Relacionado al desarrollo de un sistema celular es fundamental contemplar que la adecuada planeación del sistema desde un principio, traerá consigo la proporción de un servicio de calidad para el usuario final. La planeación debe ser llevada a cabo en forma completa mediante modelos estadísticos bien fundamentados, tanto en calidad de servicio como en máximo número de circuitos disponibles que cubran el área de servicio planeada, ya que de ello dependerá el desempeño deseado del sistema.

En este punto es importante mencionar que es necesario realizar una adecuada planeación de asignación de canales, radios de cobertura, procedimientos de transferencia de llamada; así como instalación y funcionamiento de antenas de transmisión, altura de las torres y tipos de línea de transmisión con la finalidad de iniciar el servicio al menor costo posible y con las mayores ventajas para los usuarios.

4. Fue muy importante el haber realizado un análisis de los principios básicos de funcionamiento del sistema celular, ya que ello nos da la base técnica fundamental de su funcionamiento. Entre ellos podemos mencionar que el desarrollo de los principios de transmisión por medio de radiación ha sido y serán por mucho tiempo una de las premisas fundamentales de los sistemas celulares, su integración al desarrollo actual del servicio es indispensable para el mejoramiento de calidad de señales recibidas, tratando de evitar un mal funcionamiento en el sistema.
5. Uno de los puntos más importantes dentro de los avances tecnológicos de los sistemas celulares se dio al realizarse la migración de las tecnologías de modulación analógicas a las digitales, ya que ello propicia la integración de otros servicios de carácter no vocal, llegando con ello a tratar de vincular aplicaciones estrictamente informáticas como es el caso de envío de datos a través de unidades telefónicas en movimiento. Con el desarrollo de las técnicas de modulación digitales, se pudo llegar al establecimiento de sistemas que tuvieran la capacidad de soportar múltiples usuarios por medio del empleo de un ancho de banda pequeño; en mi caso realice un estudio más profundo del sistema CDMA que surge como evolución de las técnicas de modulación digital y que además ha generado que la integración de sistemas informáticos de datos a la red de telefonía celular se haya logrado con gran éxito.

6. Es importante mencionar el papel tan importante que tienen los organismos internacionales para estandarizar el desarrollo de cualquier tecnología vinculada con el campo de las telecomunicaciones, ya que de ello dependerá en gran parte la convivencia de diferentes tipos de sistemas siendo desarrollados por diferentes compañías. Ello puede ser observado en el capítulo V donde se menciona el empleo de la arquitectura de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI) en puntos específicos de conexión. La implementación de este tipo de arquitectura asegura el cumplimiento de compatibilidad en puntos de interconexión con ciertas características preestablecidas que darán la posibilidad de un mejor servicio.

7. En cuanto a los medios físicos empleados para la adecuada transmisión de datos sobre el sistema inalámbrico, es conveniente mencionar que los *modems* juegan un papel muy importante en el desarrollo de esta tecnología por lo que es fundamental que mientras estos dispositivos sufran modificaciones y logren ser más eficientes, las aplicaciones informáticas y servicios personales en los sistemas celulares seguirán avanzando de igual manera.

8. No cabe duda que los avances tecnológicos que se nos presentan en la actualidad va más allá de lo que muchas personas se hubieran podido imaginar, tal es el caso del servicio de Internet o el correo electrónico, tal es el avance que podemos ver a una persona del otro lado del mundo por medio de estos servicios o platicar con él en tiempo real. Pocas personas se podían imaginar el traer consigo a cualquier sitio un teléfono ya sea para conversar o hasta llegar a consultar paginas del Internet o viajar grandes distancias consultando información personalizada de algún punto fijo en nuestra oficina.

9. Sin embargo actualmente todo esto es posible, pudiendo imaginarnos que el futuro será mucho más divertido y con grandes avances en cuanto a servicios considerados como de simple diversión los cuales podrán ser transformados en servicios básicos indispensables para la vida de las personas.

10. Como Ingenieros este trabajo nos abre la posibilidad de visualizar ésta ventana tecnológica y entender el funcionamiento de la misma a fin de ir proponiendo nuevas aplicaciones que faciliten la transmisión de información y la vida.

Anexo A
Tablas de tráfico de Poisson y de Erlang C

Capacidad de carga de troncales - Tablas de tráfico de Poisson Total disponibilidad

Troncales	P = .001		P = .01		P = .02		P = .03		P = .05		P = .10	
	CCC	Erlangs	CCC	Erlangs	CCC	Erlangs	CCC	Erlangs	CCC	Erlangs	CCC	Erlangs
1	0.1	.003	0.4	.001	0.7	0.19	1	0.31	1.9	.053	3.8	1.06
2	1.6	.044	5.4	.150	7.9	2.14	9.7	2.69	12.9	.358	19.1	.531
3	6.9	.192	15.7	.436	20.4	5.67	24.0	6.67	29.4	1.100	39.6	1.100
4	15.4	.428	29.6	.822	36.7	1.019	41.6	1.156	49.1	1.369	63	1.750
5	26.6	.739	46.1	1.281	55.8	1.550	61.6	1.711	70.9	1.969	88	2.444
6	40.0	1.11	64.4	1.79	76.0	2.11	82.8	2.30	94.1	2.61	113	3.14
7	54.7	1.52	83.9	2.33	96.8	2.69	105	2.92	118	3.28	140	3.89
8	70.9	1.97	105	2.91	119	3.31	129	3.58	143	3.97	168	4.67
9	88.2	2.45	126	3.50	142	3.94	153	4.25	169	4.69	195	5.42
10	107	2.97	149	4.14	166	4.61	178	4.54	195	5.42	224	6.22
11	126	3.50	172	4.78	191	5.31	204	5.67	222	6.17	253	7.03
12	145	4.03	195	5.42	216	6.00	230	6.39	249	6.92	282	7.83
13	166	4.61	220	6.11	241	6.69	256	7.11	277	7.69	311	8.64
14	187	5.19	244	6.78	267	7.42	283	7.83	305	8.47	341	9.47
15	208	5.78	269	7.47	293	8.14	310	8.61	333	9.25	370	10.28
16	231	6.42	294	8.18	320	8.89	337	9.36	362	10.06	401	11.14
17	253	7.03	320	8.89	347	9.64	365	10.14	390	10.83	431	11.97
18	276	7.67	346	9.61	374	10.39	392	10.89	419	11.64	462	12.83
19	299	8.31	373	10.36	401	11.14	420	11.67	448	12.44	492	13.67
20	323	8.97	399	11.08	429	11.92	449	12.47	477	13.25	523	14.53
21	346	9.61	426	11.83	458	12.72	478	13.28	507	14.08	554	15.39
22	370	10.28	453	12.58	486	13.50	507	14.08	536	14.89	585	16.25
23	395	10.97	480	13.33	514	14.28	536	14.89	566	15.72	616	17.11
24	419	11.64	507	14.08	542	15.06	564	15.67	596	16.56	647	17.97
25	444	12.33	535	14.86	571	15.86	593	16.47	626	17.39	678	18.83
26	469	13.03	562	15.61	599	16.64	623	17.31	656	18.22	710	19.72
27	495	13.75	590	16.39	627	17.42	652	18.11	686	19.06	741	20.58
28	520	14.44	618	17.17	656	18.22	682	18.94	717	19.92	773	21.47
29	545	15.14	647	17.97	685	19.03	711	19.75	747	20.75	805	22.36
30	571	15.86	675	18.75	715	19.86	741	20.59	778	21.61	836	23.22
31	597	16.58	703	19.53	744	20.67	771	21.42	809	22.47	868	24.11
32	624	17.33	732	20.33	773	21.47	801	22.25	840	23.33	900	25.00
33	650	18.06	760	21.11	803	22.31	831	23.08	871	24.19	932	25.89
34	676	18.78	789	21.92	832	23.11	861	23.92	902	25.06	964	26.78
35	703	19.53	818	22.72	862	23.94	891	24.75	933	25.92	996	27.67
36	729	20.25	847	23.53	892	24.78	922	25.61	964	26.78	1028	28.56
37	756	21.00	876	24.33	922	25.61	952	26.44	995	27.64	1060	29.44
38	783	21.75	905	25.14	952	26.44	982	27.28	1026	28.50	1092	30.33
39	810	22.50	935	25.97	982	27.28	1013	28.14	1057	29.36	1125	31.25
40	837	23.25	964	26.78	1012	28.11	1043	28.97	1088	30.22	1157	32.14
41	865	24.03	993	27.58	1042	28.94	1074	29.83	1120	31.11	1190	33.06
42	892	24.78	1023	28.42	1072	29.78	1104	30.67	1151	31.97	1222	33.94
43	919	25.53	1052	29.22	1103	30.64	1135	31.53	1183	32.86	1255	34.86
44	947	26.31	1082	30.06	1133	31.47	1166	32.39	1214	33.72	1287	35.75
45	975	27.08	1112	30.89	1164	32.33	1197	33.25	1246	34.61	1320	36.67
46	1003	27.86	1142	31.72	1194	33.17	1228	34.11	1277	35.47	1352	37.56
47	1030	28.61	1171	32.53	1225	34.03	1259	34.97	1309	36.36	1385	38.47
48	1058	29.39	1201	33.36	1255	34.86	1291	35.86	1340	37.22	1417	39.36
49	1086	30.17	1231	34.19	1286	35.72	1322	36.72	1372	38.11	1450	40.28
50	1115	30.97	1261	35.03	1317	36.58	1353	37.58	1403	38.97	1482	41.17

Capacidad de carga de troncales - Tablas de tráfico de Poisson Total disponibilidad

Troncales	P = .001		P = .01		P = .02		P = .03		P = .05		P = .10	
	CCC	Erlangs	CCC	Erlangs	CCC	Erlangs	CCC	Erlangs	CCC	Erlangs	CCC	Erlangs
51	1143	31.75	1291	35.86	1348	37.44	1384	38.44	1435	39.86	1515	42.08
52	1171	32.53	1322	36.72	1379	38.31	1416	39.33	1467	40.75	1548	43.00
53	1200	33.33	1352	37.56	1410	39.17	1447	40.19	1499	41.64	1581	43.92
54	1228	34.11	1382	38.40	1441	40.03	1478	41.06	1531	42.53	1514	44.83
55	1256	34.92	1412	39.22	1472	40.89	1509	41.92	1563	43.42	1646	45.72
56	1285	35.69	1443	40.08	1503	41.75	1541	42.81	1595	44.31	1679	46.64
57	1313	36.47	1473	40.92	1534	42.61	1572	43.69	1627	45.19	1712	47.56
58	1342	37.28	1504	41.78	1565	43.47	1604	44.56	1659	46.08	1745	48.47
59	1371	38.08	1534	42.61	1596	44.33	1635	45.41	1691	46.97	1778	49.39
60	1400	38.89	1565	43.47	1627	45.19	1667	46.31	1723	47.86	1811	50.31
61	1428	39.67	1595	44.31	1659	46.08	1698	47.17	1755	48.75	1844	51.22
62	1457	40.47	1626	45.17	1690	46.94	1730	48.06	1787	49.64	1877	52.14
63	1486	41.28	1657	46.03	1721	47.81	1762	48.94	1819	50.53	1910	53.06
64	1516	42.13	1687	46.86	1752	48.67	1794	49.83	1851	51.42	1943	53.97
65	1544	42.89	1718	47.72	1784	49.56	1825	50.69	1884	52.33	1976	54.89
66	1574	43.72	1749	48.48	1816	50.44	1857	51.58	1916	53.22	2009	55.81
67	1603	44.53	1780	49.44	1847	51.31	1889	52.47	1948	54.11	2042	56.72
68	1632	45.33	1811	50.31	1878	52.17	1921	53.36	1981	55.02	2076	57.67
69	1661	46.14	1842	51.17	1910	53.06	1953	54.25	2013	55.92	2109	58.58
70	1691	46.97	1873	52.03	1941	53.92	1985	55.14	2046	56.83	2142	59.50
71	1720	47.78	1904	52.89	1973	54.81	2017	56.03	2078	57.72	2175	60.42
72	1750	48.61	1935	53.75	2004	55.67	2048	56.89	2111	58.64	2209	61.36
73	1779	49.42	1966	54.61	2036	56.56	2080	57.78	2143	59.93	2242	62.28
74	1809	50.25	1997	55.47	2067	57.42	2112	58.67	2176	60.44	2276	63.22
75	1838	51.06	2028	56.33	2099	58.31	2145	59.58	2208	61.33	2309	64.14
76	1868	51.89	2059	57.19	2130	59.17	2176	60.44	2241	62.25	2342	65.06
77	1898	52.72	2091	58.08	2162	60.06	2209	61.36	2274	63.17	2376	66.00
78	1927	53.53	2122	58.94	2194	60.94	2241	62.25	2306	64.06	2410	66.94
79	1957	54.36	2153	59.81	2226	61.83	2273	63.14	2339	64.97	2443	67.86
80	1986	55.17	2184	60.67	2258	62.72	2305	64.03	2372	65.89	2477	68.81
81	2016	56.00	2215	61.54	2290	63.61	2337	64.92	2405	66.81	2510	69.72
82	2046	56.83	2247	62.42	2322	64.50	2370	65.83	2437	67.69	2543	70.64
83	2076	57.67	2278	63.28	2354	65.39	2402	66.72	2470	68.61	2577	71.58
84	2106	58.50	2310	64.17	2386	66.28	2435	67.64	2503	69.53	2610	72.50
85	2136	59.33	2341	65.03	2418	67.17	2467	68.53	2536	70.44	2644	73.44
86	2166	60.17	2373	65.92	2450	68.06	2499	69.42	2569	71.36	2678	74.39
87	2196	61.00	2404	66.78	2482	68.94	2532	70.33	2601	72.25	2711	75.31
88	2226	61.83	2436	67.67	2514	69.83	2564	71.22	2634	73.17	2745	76.25
89	2256	62.67	2467	68.53	2546	70.72	2596	72.11	2667	74.08	2778	77.17
90	2286	63.50	2499	69.42	2578	71.61	2629	73.03	2700	75.00	2812	78.11
91	2317	64.36	2530	70.28	2611	72.53	2661	73.92	2733	75.92	2846	79.06
92	2347	65.19	2562	71.17	2643	73.42	2694	74.83	2766	76.83	2880	80.00
93	2377	66.03	2594	72.06	2675	74.31	2726	75.72	2798	77.72	2913	80.92
94	2407	66.86	2625	72.92	2707	75.19	2759	76.64	2831	78.64	2947	81.86
95	2437	67.69	2657	73.81	2739	76.08	2791	77.53	2864	79.56	2981	82.81
96	2468	68.56	2689	74.69	2771	76.97	2824	78.44	2897	80.47	3014	83.72
97	2498	69.39	2721	75.58	2803	77.86	2857	79.36	2930	81.39	3048	84.67
98	2528	70.22	2752	76.44	2836	78.78	2889	80.25	2963	82.31	3082	85.61
99	2559	71.08	2784	77.33	2868	79.67	2921	81.14	2996	83.22	3116	86.56
100	2589	71.92	2816	78.22	2900	80.56	2954	82.06	3029	84.14	3149	87.47

Tablas de Tráfico de Erlangs C.

Tiempo de retención 6.0 seg.

Retardo de interés en segundos 3.0

Número de Troncales	% llamadas retardadas 0.5		% llamadas retardadas 1.0		% llamadas retardadas 1.5		Número de Troncales
	Tráfico en Erlangs	Tráfico en CCC	Tráfico en Erlangs	Tráfico en CCC	Tráfico en Erlangs	Tráfico en CCC	
1	0082	2952	0162	5832	0244	8784	1
2	1646	5 9256	2324	8.3664	2842	10.2312	2
3	5247	18 8892	6639	23 9004	7620	27.4320	3
4	1 0246	36 8856	1.2287	44.2332	1 3671	49.2156	4
5	1 6195	58 3020	1 8796	67 6656	2 0516	73.8576	5
6	2 2805	82 0980	2 5909	93 2724	2 7917	100 5012	6
7	2 9911	107 6796	3 3441	120.3876	3 5715	128 5740	7
8	3 7390	134.6040	4 1314	148 7304	4 3805	157 6980	8
9	4 5173	162 6228	4 9436	177 9696	5 2138	187 6968	9
10	5.3195	191.5020	5 7784	208 0224	6.0652	218.3472	10
11	6.1414	221 0904	6 6276	238.5936	6 9310	249.5160	11
12	6 9797	251 2692	7 4923	269 7228	7 8103	281 1708	12
13	7 8328	281 9808	8 3690	301 2840	8 7006	313 2216	13
14	8 6983	313 1388	9 2557	333 2052	9 6006	345 6216	14
15	9 5724	344 6064	10 1510	365 4360	10 5080	378 2880	15
16	10 4568	376 4448	11 0546	397 9656	11 4218	411 1848	16
17	11 3489	408 5604	11 9650	430 7400	12 3408	444 2688	17
18	12 2494	440 9784	12 8801	463 6836	13 2667	477 6012	18
19	13 1550	473 5800	13 8019	496 8684	14 1962	511 0632	19
20	14 0658	506 3688	14 7287	530 2332	15 1315	544 7340	20
21	14 9831	539 3916	15 6574	563 6664	16 0688	578 4768	21
22	15 9035	572 5260	16 5922	597 3192	17 0098	612 3528	22
23	16 8285	605 8260	17 5305	631 0980	17 9543	646 3548	23
24	17 7579	639 2844	18 4713	664 9668	18 9021	680 4756	24
25	18 6901	672 8436	19 4149	698 9364	19 8512	714 6432	25
26	19 6267	706 5612	20 3612	733 0032	20 8040	748 9440	26
27	20 5641	740 3076	21 3109	767 1924	21 7591	783 3276	27
28	21 5057	774 2052	22 2608	801 3888	22 7155	817 7580	28
29	22 4504	808 2144	23 2152	835 7472	23 6735	852 2460	29
30	23 3967	842 2812	24 1697	870 1092	24 6347	886 8492	30
31	24 3451	876 4236	25 1266	904 5576	25 5959	921 4524	31
32	25 2968	910 6848	26 0858	939 0888	26 5604	956 1744	32
33	26 2482	944 9352	27 0457	973 6452	27 5250	990 9000	33
34	27 2033	979 3188	28 0086	1,008 3096	28 4899	1,025 6364	34
35	28 1592	1,013 7312	28 9711	1,042 9596	29 4582	1,060 4952	35
36	29 1157	1,048 1652	29 9352	1,077 6672	30 4274	1,095 3864	36
37	30 0756	1,082 7216	30 9021	1,112 4756	31 3967	1,130 2812	37
38	31 0370	1,117 3320	31 8695	1,147 3020	32 3659	1,165 1724	38
39	31 9966	1,151 8776	32 8366	1,182 1176	33 3390	1,200 2040	39
40	32 9610	1,186 5960	33 8058	1,217 0088	34 3112	1,235 2032	40
41	33 9250	1,221 3000	34 7758	1,251 9288	35 2841	1,270 2276	41
42	34 8910	1,256 0760	35 7473	1,286 9028	36 2577	1,305 2772	42
43	35 8556	1,290 8016	36 7191	1,321 8876	37 2334	1,340 4024	43
44	36 8240	1,325 6640	37 6912	1,356 8832	38 2096	1,375 5456	44
45	37 7927	1,360 5372	38 6658	1,391 9688	39 1850	1,410 6600	45
46	38 7616	1,395 4176	39 6389	1,427 0004	40 1624	1,445 8464	46
47	39 7305	1,430 2980	40 6139	1,462 1004	41 1391	1,481 0076	47
48	40 7018	1,465 2648	41 5896	1,497 2256	42 1198	1,516 3128	48
49	41 6722	1,500 1992	42 5666	1,532 3976	43 0987	1,551 5532	49
50	42 6449	1,535 2164	43 5423	1,567 5228	44 0760	1,586 7360	50
51	43 6191	1,570 2876	44 5203	1,602 7308	45 0571	1,622 0556	51
52	44 5920	1,605 3120	45 4978	1,637 9208	46 0375	1,657 3500	52
53	45 5673	1,640 4228	46 4782	1,673 2152	47 0183	1,692 6588	53
54	46 5410	1,675 4760	47 4571	1,708 4556	48 0012	1,728 0432	54
55	47 5168	1,710 6048	48 4368	1,743 7248	48 9807	1,763 3052	55
56	48 4938	1,745 7768	49 4166	1,778 9976	49 9636	1,798 6896	56
57	49 4711	1,780 9596	50 3963	1,814 2668	50 9461	1,834 0596	57
58	50 4487	1,816 1532	51 3779	1,849 6044	51 9300	1,869 4800	58
59	51 4263	1,851 3468	52 3592	1,884 9312	52 9138	1,904 8968	59
60	52 4044	1,886 5584	53 3419	1,920 3084	53 8985	1,940 3460	60

Número de Troncales	% llamadas retardadas 0.5		% llamadas retardadas 1.0		% llamadas retardadas 1.5		Número de Troncales
	Tráfico en Erlangs	Tráfico en CCC	Tráfico en Erlangs	Tráfico en CCC	Tráfico en Erlangs	Tráfico en CCC	
61	53.3821	1,921.7556	54.3238	1,995.6568	54.8823	1,975.7628	61
62	54.3632	1,957.0752	55.3053	1,990.9908	55.8654	2,011.1544	62
63	55.3418	1,992.3048	56.2896	2,026.4256	56.8510	2,046.6360	63
64	56.3239	2,027.6604	57.2732	2,061.8352	57.8357	2,082.0852	64
65	57.3029	2,062.9044	58.2552	2,097.1872	58.8224	2,117.6064	65
66	58.2852	2,098.2672	59.2401	2,132.6436	59.8082	2,153.0952	66
67	59.2666	2,133.5976	60.2234	2,168.0424	60.7938	2,188.5768	67
68	60.2468	2,168.8848	61.2097	2,203.5492	61.7801	2,224.0836	68
69	61.2295	2,204.2620	62.1940	2,238.9840	62.7667	2,259.6012	69
70	62.2110	2,239.5960	63.1809	2,274.5124	63.7533	2,295.1188	70
71	63.1949	2,275.0164	64.1655	2,309.9580	64.7397	2,330.6292	71
72	64.1774	2,310.3864	65.1508	2,345.4288	65.7287	2,366.2332	72
73	65.1621	2,345.8356	66.1380	2,380.9680	66.7149	2,401.7364	73
74	66.1452	2,381.2272	67.1229	2,416.4244	67.7034	2,437.3224	74
75	67.1283	2,416.6188	68.1102	2,451.9672	68.6916	2,472.8976	75
76	68.1140	2,452.1040	69.0975	2,487.5100	69.6793	2,508.4548	76
77	69.0967	2,487.4812	70.0841	2,523.0276	70.6689	2,544.0804	77
78	70.0824	2,522.9664	71.0703	2,558.5308	71.6558	2,579.6088	78
79	71.0677	2,558.4372	72.0585	2,594.1060	72.6443	2,615.1948	79
80	72.0529	2,593.9044	73.0468	2,629.6848	73.6350	2,650.8600	80
81	73.0374	2,629.3464	74.0336	2,665.2096	74.6245	2,686.4820	81
82	74.0243	2,664.8748	75.0229	2,700.8244	75.6134	2,722.0824	82
83	75.0107	2,700.3852	76.0110	2,736.3960	76.6012	2,757.6432	83
84	75.9964	2,735.8704	76.9988	2,771.9568	77.5910	2,793.2760	84
85	76.9841	2,771.4276	77.9881	2,807.5716	78.5819	2,828.9484	85
86	77.9687	2,806.8732	78.9765	2,843.1540	79.5720	2,864.5920	86
87	78.9573	2,842.4628	79.9663	2,878.7868	80.5638	2,900.2968	87
88	79.9432	2,877.9552	80.9555	2,914.3980	81.5515	2,935.8540	88
89	80.9300	2,913.4800	81.9432	2,949.9552	82.5435	2,971.5660	89
90	81.9192	2,949.0912	82.9353	2,985.6708	83.5340	3,007.2240	90
91	82.9071	2,984.6556	83.9235	3,021.2460	84.5233	3,042.8388	91
92	83.8939	3,020.1804	84.9133	3,056.8788	85.5168	3,078.6048	92
93	84.8826	3,055.7736	85.9043	3,092.5548	86.5059	3,114.2124	93
94	85.8697	3,091.3092	86.8939	3,128.1804	87.4992	3,149.9712	94
95	86.8588	3,126.9168	87.8849	3,163.8564	88.4878	3,185.5608	95
96	87.8463	3,162.4668	88.8750	3,199.5000	89.4812	3,221.3232	96
97	88.8352	3,198.0672	89.8654	3,235.1544	90.4723	3,257.0028	97
98	89.8259	3,233.7324	90.8546	3,270.7656	91.4648	3,292.7328	98
99	90.9149	3,269.3364	91.8454	3,306.4344	92.4555	3,328.3980	99
100	91.8025	3,304.8900	92.8371	3,342.1356	93.4476	3,364.1136	100
101	92.7929	3,340.5444	93.8271	3,377.7756	94.4406	3,399.8616	101
102	93.7820	3,376.1520	94.8184	3,413.4624	95.4315	3,435.5340	102
103	94.7734	3,411.8424	95.8108	3,449.1888	96.4237	3,471.2532	103
104	95.7619	3,447.4284	96.8015	3,484.8540	97.4172	3,507.0192	104
105	96.7514	3,483.0504	97.7930	3,520.5480	98.4082	3,542.6952	105
106	97.7409	3,518.6724	98.7859	3,556.2924	99.4005	3,578.4180	106
107	98.7317	3,554.3412	99.7765	3,591.9540	100.3937	3,614.1732	107
108	99.7237	3,590.0532	100.7683	3,627.6588	101.3881	3,649.9716	108
109	100.7133	3,625.6788	101.7615	3,663.4140	102.3801	3,685.6836	109
110	101.7045	3,661.3620	102.7517	3,699.0612	103.3730	3,721.4280	110
111	102.6935	3,696.9660	103.7451	3,734.8236	104.3652	3,757.1472	111
112	103.6837	3,732.6132	104.7365	3,770.5140	105.3584	3,792.9024	112
113	104.6750	3,768.3000	105.7304	3,806.2944	106.3507	3,828.6552	113
114	105.6672	3,804.0192	106.7216	3,841.9776	107.3440	3,864.3840	114
115	106.6573	3,839.6628	107.7139	3,877.7004	108.3384	3,900.1824	115
116	107.6485	3,875.3460	108.7072	3,913.4592	109.3302	3,935.8872	116
117	108.6407	3,911.0652	109.7013	3,949.2468	110.3261	3,971.7396	117
118	109.6307	3,946.7052	110.6929	3,984.9444	111.3193	4,007.4948	118
119	110.6232	3,982.4352	111.6855	4,020.6780	112.3119	4,043.2284	119
120	111.6136	4,018.0896	112.6790	4,056.4440	113.3053	4,078.9908	120

ANEXO B Recomendación G.162 CCITT.

CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPANSORES (COMPRESOR-EXPANSOR) PARA LA TELEFONÍA

Estas características se aplican a los compansores de construcción moderada, utilizables en circuitos internacionales de gran longitud, o en circuitos nacionales e internacionales de longitud moderada.

En algunas de las siguientes cláusulas se especifican las características conjugadas de un compresor y de un expansor en el mismo sentido de transmisión de un circuito a cuatro hilos. Las características especificadas de esta forma pueden lograrse muy fácilmente si los compresores y los expansores son de construcción analógica.

1. Definición y valor del nivel invariable

Se entiende por *nivel invariable* el nivel absoluto, en un punto de nivel relativo cero de la línea situada entre el compresor y el expansor, de una señal de 800 Hz que permanece invariable independientemente de que la explotación del circuito se haga con el compresor o sin él. El nivel invariable se define así con objeto de no imponer valores de nivel relativo a la entrada del compresor o a la salida del expansor.

El nivel invariable debe de ser en principio igual a 0 dBm₀. Sin embargo, para tener en cuenta el aumento de la potencia media introducida por el compresor, y para evitar el eventual aumento del ruido de intermodulación y sobrecarga, en ciertos casos podrá reducirse este nivel invariable en un valor de hasta 5 dB. Esta reducción del nivel invariable, trae consigo, una disminución de la mejora de la relación S/N proporcionada por el compansor. Por regla general, no es necesaria ninguna reducción para los sistemas de menos de 60 canales.

Nota. - El aumento de la potencia media en la banda transmitida determinado por el compresor en el canal telefónico, depende del valor del nivel invariable, de los tiempos de establecimiento y de retorno al reposo, de la distribución de las intensidades vocales y de la potencia media de las señales vocales transmitidas. Cuando se adopta para el nivel invariable el valor de 0 dBm₀ parece ser que el aumento efectivo de la potencia media es del orden de 2 ó 3 dB.

2. Relación de compresión y de expansión

2.1 Definición y valor preferido de la relación de compresión

La relación de compresión de un compresor se define mediante:

$$\alpha = \frac{n_e - n_{e0}}{n_s - n_{s0}}$$

donde

n_e es el nivel de la señal a la entrada.

n_{e0} es el nivel de la señal de entrada que corresponde a 0 dBm₀.

n_s es el nivel de la señal a la salida.

n_{s0} es el nivel de la señal a la salida correspondiente a un nivel a la entrada n_{e0} .

El valor preferido de α es 2, pero pueden admitirse valores inferiores, a condición de que se obtenga una mejora suficiente del ruido. Este valor no deberá exceder de 2.5 cualquiera que sea el nivel de la señal de entrada, en la gama de temperaturas comprendida entre los +10 °C y +40 °C.

2.2 Definición y valor preferido de la relación de expansión

La relación de expansión de un expansor, está dada por la siguiente expresión.

$$\beta = \frac{n'_s - n'_{s0}}{n'_e - n'_{e0}}$$

donde:

n'_e es el nivel de la señal a la entrada

n'_{e0} es el nivel de la señal a la entrada que corresponde a 0 dBm₀

n'_s es el nivel de la señal a la salida

n'_{s0} es el nivel de la señal a la salida correspondiente a un nivel a la entrada n'_{e0}

El valor preferido de β es 2, pero pueden admitirse valores inferiores, a condición de que se obtenga una mejora suficiente del ruido. Este valor no deberá exceder de 2.5 cualquiera que sea el nivel de la señal de entrada, en la gama de temperaturas comprendida entre los +10 °C y +40°C.

2.3 Intervalo de variación de nivel.

El intervalo de variación de nivel en el que deben de respetarse los valores de α y β adoptados, debe extenderse por lo menos:

de +5 a -45 dBm₀ para el nivel de entrada del compresor

de +5 a -50 dBm₀ para el nivel nominal de salida del expansor.

2.4 Variación de la ganancia del compresor.

El nivel a la salida del compresor, medido a 800 Hz para el nivel de entrada de 0 dBm₀, no deberá variar más de ± 0.5 dB con relación a su valor nominal para temperaturas comprendidas entre +10 °C y 40 °C y una variación del voltaje de alimentación de $\pm 5\%$ con relación al valor nominal.

2.5 Variación de la ganancia del expansor.

El nivel a la salida del expansor, medido a 800 Hz para un nivel de entrada de 0 dBm₀, no deberá variar más de ± 1 dB con relación a su valor nominal para temperaturas comprendidas entre +10 °C y 40 °C y una variación del voltaje de alimentación de $\pm 5\%$ del valor nominal.

Nota.- Es conveniente establecer algunos límites más rigurosos en cuanto a la ganancia del compresor y expansor, principalmente para circuitos de gran longitud; dichos valores podrán ser de ± 0.25 dB y +0.5 dB, para el compresor y expansor respectivamente.

2.6 Condiciones de estabilidad.

La inserción de un compresor no deberá reducir de modo apreciable el margen de estabilidad. Para tener la seguridad de que se cumpla esta condición en una combinación del expansor y compresor de un solo circuito a cuatro hilos y en una determinada estación, el error del nivel de salida del compresor, con relación a cualquier nivel de entrada en el expansor, no deberá exceder un valor +0.5 dB. Dicho error está referido al nivel que se obtiene a la salida del compresor para un nivel a la entrada del expansor de 0 dBm₀. Debe respetarse este límite en el rango de frecuencias comprendida entre los 200 y 4000 Hz, así como entre el rango de temperatura comprendido entre los +10 °C y +40 °C.

2.7 Tolerancia en los niveles de salida del conjunto compresor y expansor en el mismo sentido de transmisión de un circuito a cuatro hilos.

El compresor y el expansor se conectan en tándem. Entre la salida del compresor y la entrada del expansor se introduce una atenuación (o ganancia) igual a la atenuación (o ganancia) nominal entre esos puntos en el circuito real en que se utilizarán. La figura 1 indica, en función del nivel de una señal de 800 Hz aplicada a la entrada del compresor, los límites admisibles de la diferencia entre el nivel a la salida del expansor y el nivel a la entrada del compresor. (Los valores positivos indican que el nivel a la salida del expansor rebasa el nivel a la entrada del compresor).

Estos límites deben respetarse para todo el rango de temperaturas comprendido entre +10 °C y +40 °C. Se respetarán igualmente si la prueba se efectúa cuando la atenuación (o la ganancia) entre el compresor y el expansor aumenta o disminuye 2 dB.

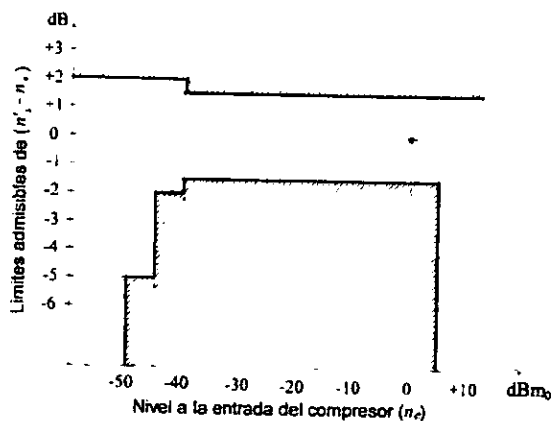


Fig. 1 Límites admisibles entre la diferencia a la salida del expansor y la entrada del compresor.

3. Impedancias y pérdidas de retorno.

El valor nominal de las impedancias de entrada y de salida del compresor y del expansor debe ser de 600 Ω (valor resistivo puro).

La pérdida de retorno, con relación a la impedancia nominal, a la entrada y a la salida del compresor y expansor, no deberá ser menor a 14 dB entre los 300 y 3400 Hz (Canal de voz/telefónico), para cualquier nivel de señal comprendido entre los +5 y -45 dBm₀ a la entrada del compresor o a la salida del expansor.

4. Características de funcionamiento a diferentes frecuencias.

4.1 Características de funcionamiento con el circuito de control bloqueado.

Se considera que el circuito de control está bloqueado cuando la corriente (o voltaje) de control obtenida rectificando la señal se sustituye por una corriente (o voltaje) continua proveniente de una fuente externa. El valor de esta corriente (o voltaje) debe ser igual al valor de la corriente o voltaje de control que se obtiene cuando el nivel de la señal de entrada es de 0 dBm₀ a 800 Hz.

Para el compresor y el expansor considerados por separado, las variaciones de equivalente en función de la frecuencia deben estar comprendidas en los límites de un contorno que puede deducirse de la figura 1, dividiendo por 8 las tolerancias indicadas; la medida se realiza con una señal de nivel entrante constante correspondiente al nivel de 0 dBm₀.

4.2 Características de funcionamiento trabajando el circuito de control en forma normal.

El compresor debe respetar los límites indicados en el inciso anterior, la medida debe hacerse con un nivel de entrada constante correspondiente al nivel de 0 dBm₀. Para el expansor, en las mismas condiciones de medida, se aplicará un patrón que puede deducirse de la figura 1, dividiendo por 4 las tolerancias indicadas.

5. Distorsión no lineal.

5.1 Distorsión armónica.

El coeficiente de distorsión armónica, medido con una onda sinusoidal de 800 Hz y un nivel de 0 dBm₀, debe ser inferior o igual a un 4% para el compresor y el expansor considerados por separado.

5.2 Pruebas de intermodulación.

Es indispensable agregar a la medida de distorsión armónica una medida de intermodulación cada vez que los compansores estén destinados a circuitos internacionales (cualquiera que sea el sistema de señalización utilizado), así como cuando se destinen a circuitos nacionales en los que se prevea el uso de la señalización multifrecuencia o la transmisión de datos empleando señales similares.

Los productos de intermodulación de interés para el funcionamiento de los receptores de señal multifrecuencia son los de tercer orden de los tipos $(2f_1 - f_2)$ y $(2f_2 - f_1)$, donde f_1 y f_2 son dos frecuencias de señalización (se recomienda que f_1 y f_2 sean de 900 Hz y 1020 Hz respectivamente).

Conviene prever dos condiciones de medida: la primera con un nivel de -5 dBm₀ para cada una de las dos frecuencias de medida f_1 y f_2 , y la segunda con un nivel de -15 dBm₀, también para cada una de las dos frecuencias. Los niveles mencionados corresponden a la entrada del compresor o a la salida del expansor (niveles no comprimidos).

Los límites para los productos de intermodulación se definen como la diferencia entre el nivel de cada una de las dos señales de medida, a las frecuencias f_1 ó f_2 , y el nivel de cada uno de los productos de intermodulación a las frecuencias $(2f_1 - f_2)$ ó $(2f_2 - f_1)$. El valor de esta diferencia, que parece suficiente para las exigencias de la señalización multifrecuencia, es de 26 dB para el compresor y para el expansor consideradas separadamente.

Nota 1: Estos valores parecen adecuados para el sistema de señalización No 5 que va a utilizarse en algunos circuitos internacionales de gran longitud.

6. Tensión de ruido.

El valor eficaz de la suma de todas las tensiones de ruido, medido en un punto de nivel relativo de cero, con una resistencia de terminación a la entrada y a la salida de 600 Ω, deberá ser igual o inferior a los siguientes valores:

A la salida del compresor: (10mV no ponderados - 38 dBm₀);

(7 mV ponderados - 41 dBm_{0P});

A la salida del expansor: (0.5 mV ponderados - 84 dBm_{0P}).

7. Respuesta transitoria.

La respuesta transitoria global de un compresor y un expansor que deban ser utilizados en el mismo sentido de transmisión en un circuito a cuatro hilos provisto de compansores debe comprobarse de la siguiente manera:

El compresor y expansor deben ser conectados en cascada, insertándose entre ellos, una atenuación apropiada.

A la entrada del compresor se aplica una señal escalón de 12 dB, a la frecuencia de 2000 Hz; de hecho, se produce una variación de -16 a -4 dBm₀ en el tiempo de establecimiento y de -4 a -16 dBm₀ para el retorno al reposo. A la salida del expansor se observa la envolvente de la señal. La sobreoscilación (positiva o negativa) después de la aplicación de la función escalón ascendente, expresada en porcentaje de la tensión final en régimen permanente, da la medida de la distorsión transitoria global del conjunto del compresor y del expansor para el tiempo de establecimiento.

El tiempo de establecimiento, se define como el tiempo comprendido entre el instante en que se aplica la variación brusca y aquel en que la envolvente del voltaje de salida alcanza un valor igual a 1,5 veces su valor en régimen permanente; dicho tiempo no debe de ser superior a 5mseg.

La sobreoscilación (positiva o negativa) después de la aplicación de un escalón descendente de 12 dB, expresada en porcentaje del voltaje final en régimen permanente, da la medida de la distorsión transitoria global del conjunto del compresor y del expansor para el tiempo de retorno al reposo. El tiempo de retorno al reposo se define como el tiempo comprendido entre el instante en que se aplica la variación brusca y aquel en que la envolvente del voltaje de salida alcanza un valor igual a 0.75 veces su valor en régimen permanente. El tiempo de retorno al reposo no debe ser superior a 22.5 mseg.

Los límites admisibles tanto para el tiempo de establecimiento como para el tiempo de retorno, son de $\pm 20\%$.

Las medidas de la respuesta transitoria al escalón << infinito >> se aplican al conjunto de un compresor y de un expansor conectados en cascada, varias administraciones han verificado, por otra parte, la posibilidad de responder a los límites de la figura 2, incluso con una cadena de tres compansores conectados en cascada, haciendo intervenir también en el enlace los equipos de modulación y demodulación de canal. Los equipos mencionados anteriormente pueden ocasionar un fenómeno transitorio indeseable en la señal de escalón a la salida del expansor, este fenómeno y la intermodulación de tercer orden a él asociada, pueden tener consecuencias en la señalización multifrecuencia.

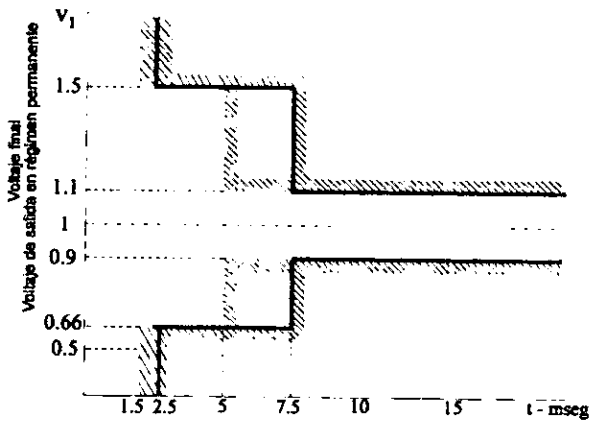


Fig. 2 Límites de decisión.

BIBLIOGRAFIA.

- ♦ **Cellular Mobile Telephone Guide**
Seybold Andrew M.
Editorial Marcombo.
- ♦ **Cellular Radio: Analog And Digital Systems**
Mehrotra, Asha.
Editorial Artech House.
- ♦ **Cellular Radio Handbook**
Neil J. Boucher
Editorial Quantum Publishing.
- ♦ **Cellular Radio Performance Engineering.**
Mehrotra, Asha.
Editorial Artech House
- ♦ **Digital Communication**
Haykin, Simon S
Editorial Mac Graw-Hill
- ♦ **Digital Communication**
Proakis, John G.
Editorial Iberoamericana.
- ♦ **Mobile Cellular Telecommunication System**
Lee William C. Y
Editorial Mac Graw-Hill.
- ♦ **Estándar TIA/EIA/IS-95-A: Mobile Station-Base Station Compatibility Standard For Dual Mode Wideband Spread Spectrum Cellular System.**
Telecommunications Industry Association.
Mayo 18, 1995
- ♦ **Estándar TIA/EIA/IS-99: Data Service Options Standard for Wideband Spread Spectrum Digital Cellular System.**
Telecommunications Industry Association.
Julio de 1995.
- ♦ **Estándar EIA/TIA-232-E: Interface Between Data Terminal Equipment (DTE) and Data Circuit Terminating Equipment (DCE) Employing Serial Binary Interchange.**
Revisión del Estándar EIA-232-D
Telecommunications Industry Association.
Julio de 1991.

- ♦ **International Standard ISO 2110: Information Technology-Data Communication -25 pole DTE/DCE Interface Connector and Contact Number Assignments for DTE/DCE.**
Interface para Velocidades de Datos mayores de los 20,000 bits/s.
ISO 2110:1989/Amd.1: 1991(F).
- ♦ **Norma Oficial Mexicana NOM-081-SCT1-1993: Sistemas de Radiotelefonía con Tecnología Celular que Operan en la Banda de los 800 MHz.**
Diario Oficial de la Federación.
Paginas 25-75, Viernes 19 de Agosto de 1994.
- ♦ **Recomendación G.162: Características de los Compasores (compresor-expansor) para la Telefonía**
Libros Azules del CCITT.
Fascículo III.1
Paginas 178-185
- ♦ **Recomendación V.32: Familia de Módems Dúplex a 2 Hilos que Funcionan a Velocidades Binarias de Hasta 9600 bits/s para Uso en la Red Telefónica Pública Conmutada y en Circuitos Arrendados.**
Libros Azules del CCITT.
Fascículo VIII.1
Paginas 234-251
- ♦ **Recomendación V.34: Módems Operando a Velocidades de Hasta 28,800 bits/s para uso sobre la Red Telefónica Pública Conmutada y Sobre Circuitos Arrendados a 2 Hilos Punto a Punto de Tipo Telefónico.**
ITU-T RECMN* V34 94
4862591 0594373026
- ♦ **Recomendación V.42: Procedimiento de Corrección de Errores para los Equipos Terminales de Comunicación de Datos Usando la Conversión Asíncrona-Síncrona.**
ITU-T RECMN* V.42 (REV*1) 93
4862591 0581825208
- ♦ **RFC 791: Internet Protocol.**
- ♦ **RFC 793: Transmission Control Protocol.**
- ♦ **RFC 1661: The Point to Point Protocol (PPP).**

DIRECCIONES ELECTRONICAS.

1. <http://www.tiaonline.org/standards/search/>
2. <http://www.wirelessu.com/>
3. <http://www.wirelessdata.org/>
4. <http://www.qualcomm.com/cdma/Infrastructure/>
5. <http://www.lhs.com.mx>
6. <http://www.cdma2000.org/>
7. <http://faq.org/rfc/>
8. <http://www.ss-online.com/>
9. <http://www.cfi.gob.mx>