

53



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES.

CAMPUS ARAGÓN

ANÁLISIS DESCRIPTIVO DEL PROCESAMIENTO DE LOS  
DATOS EN EL MINI LINK 7E PARA LOS ENLACES  
TERRESTRES DE MICROONDAS PUNTO A PUNTO.

2001

# TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO  
ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

ENRIQUE LÓPEZ CORDERO.

ASESOR:

M. EN. I. ELEAZAR MARGARITO PINEDA DÍAZ.





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.



SECRETARÍA NACIONAL  
DE EDUCACIÓN  
MEXICO

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES ARAGÓN - UNAM**

**JEFATURA DE CARRERA DE  
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

**OFICIO: ENAR/JAME-426/01.**

**ASUNTO: Síno.**

**LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS  
SECRETARIO ACADÉMICO  
PRESENTE.**

Por este conducto me permito relacionar los nombres de los Profesores que sugiero integren el Síno del Examen Profesional del alumno, **ENRIQUE LÓPEZ CORDERO**, con Número de Cuenta **8716317-5**, con el tema de tesis: **"ANÁLISIS DESCRIPTIVO DEL PROCESAMIENTO DE LOS DATOS EN EL MINI LINKK 7E PARA LOS ENLACES TERRESTRES DE MICROONDAS PUNTO A PUNTO"**.

<b>PRESIDENTE:</b>	<b>ING. RAÚL BARRÓN VERA</b>	<b>OCTUBRE</b>	<b>78</b>
<b>VOCAL:</b>	<b>ING. JUAN GASTALDI PÉREZ</b>	<b>OCTUBRE</b>	<b>79</b>
<b>SECRETARIO:</b>	<b>ING. ELEAZAR MARGARITO PINEDA DÍAZ</b>	<b>OCTUBRE</b>	<b>80</b>
<b>SUPLENTE:</b>	<b>ING. CARLOS ULISES MAVRIDIS TOVAR</b>	<b>MAYO</b>	<b>90</b>
<b>SUPLENTE:</b>	<b>ING. PABLO LUNA ESCORZA</b>	<b>ENERO</b>	<b>96</b>

Quiero subrayar que el Director de Tesis es la Ing. Eleazar M. Pineda Díaz, el cual está incluido en base a lo que reza el Reglamento de Exámenes Profesionales de esta Escuela.

**ATENTAMENTE**  
**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**  
San Juan de Aragón, Edo. de México 4 de junio del 2001.

**EL JEFE DE CARRERA**

**ING. IVÁN MUÑOZ SOLÍS**

c c p Lic Ma Teresa Luna Sanchez - Jefa del Depto de Servicios Escolares  
c c p Ing Eleazar M Pineda Diaz. - Asesor  
Alumno

IVS scd

A mi esposa Mari, por su  
cariño y por impulsarme a  
concluir lo que un día  
inicié

## INDICE

### PAGINA

INTRODUCCION. ....	I
--------------------	---

### CAPITULO I

1. ENLACE TERRESTRE DE MICROONDAS PUNTO A PUNTO. ....	1
1.1. Microondas. ....	2
1.1.1. Radiación electromagnética. ....	3
1.1.2. Espectro electromagnético. ....	4
1.1.3. Radiofrecuencias. ....	5
1.2. Propagación de microondas. ....	7
1.2.1. Relación entre longitud de onda y frecuencia. ....	7
1.2.2. Características de propagación. ....	8
1.2.2.1. Efectos de la frecuencia. ....	8
1.2.2.2. Efectos de la tierra. ....	9
1.2.2.3. Efectos troposféricos. ....	9
1.2.2.4. Multitrayectoria. ....	10
1.2.3. Mecanismos de propagación. ....	10
1.2.3.1. Propagación en el espacio libre. ....	11
1.2.3.2. Refracción. ....	12
1.2.3.3. Difracción. ....	14
1.2.3.4. Reflexión y dispersión. ....	16
1.2.3.5. Absorción. ....	20
1.2.4. Atenuación por lluvia. ....	22
1.2.5. Desvanecimiento. ....	23
1.3. Enlace terrestre. ....	24
1.3.1. Línea de vista geométrica. ....	25
1.3.2. Horizonte de Radio. ....	26
1.3.3. Claridad. ....	27
1.3.4. Perfil de trayectoria. ....	29
1.3.5. Diagrama del enlace. ....	31
1.3.6. Margen de desvanecimiento. ....	32
1.3.7. Diversidad. ....	33
1.3.8. Disponibilidad y calidad. ....	35
1.3.9. Plan de frecuencia. ....	37

## CAPITULO II

2. DESCRIPCION GENERAL DEL MINI LINK 7E. ....	39
2.1. Elementos de intemperie para el enlace. ....	41
2.1.1. Unidad de Radio 7E. ....	41
2.1.2. Módulo de antena. ....	43
2.1.3. Cable de radio. ....	45
2.1.4. Accesorios externos. ....	46
2.2. Elementos internos para el enlace. ....	47
2.2.1. Unidad de Modem. ....	48
2.2.2. Unidad de Conmutación y Multiplexaje. ....	49
2.2.3. Unidad de Acceso y Servicio. ....	51
2.2.4. Magazin de Acceso. ....	54
2.2.5. Accesorios internos. ....	55
2.3. Estructura de una red de mini link 7E. ....	56
2.3.1. Terminales de red. ....	58
2.3.1.1. Terminal sin protección 1+0. ....	58
2.3.1.2. Terminal con protección 1+1. ....	59
2.3.1.3. Terminal sin protección 2+0. ....	61
2.3.2. Módulo de acceso a red. ....	62
2.3.3. Sitio. ....	64
2.3.4. El software Netman. ....	65

## CAPITULO III

3. ANALISIS DESCRIPTIVO DEL PROCESAMIENTO DE LOS DATOS EN EL MINI LINK 7E. ....	68
3.1. Unidad de Modem. ....	69
3.1.1. Tributarias de tráfico. ....	72
3.1.1.1. Interfaz a 2.048 Mbps. ....	72
3.1.1.2. Interfaz a 8.448 Mbps. ....	76
3.1.1.3. Interfaz a 34.368 Mbps. ....	81
3.1.2. Interfaz de tráfico y ruteo. ....	84
3.1.3. Control y supervisión. ....	87
3.1.4. Multiplexor y Demultiplexor de la trama de radio. ....	89
3.1.5. Modulador y Demodulador. ....	92
3.1.6. Interfaz de cable. ....	98
3.2. Unidad de Radio 7E. ....	100
3.2.1. Interfaz de cable. ....	102

3.2.2. Amplificadores de Frecuencia Intermedia. ....	103
3.2.3. Transmisor de Radio Frecuencia. ..	104
3.2.4. Filtro de Radio Frecuencia. ....	107
3.2.5. Receptor de Radio Frecuencia. ....	108
3.2.6. Control y supervisión. ....	109
3.3. Unidad de Multiplexaje y Conmutación. ....	110
3.3.1. Interfaz de tráfico y ruteo. ....	113
3.3.2. Etapa de multiplexaje y demultiplexaje. ....	114
3.3.3. Conmutador lógico 1+1. ....	115
3.3.4. Control y supervisión. ....	117
3.4. Unidad de acceso y servicio. ....	117
3.4.1. Canales de servicio. ....	119
CONCLUSIONES. ....	121
GLOSARIO. ....	124
APENDICE.	
Recomendaciones G.703, G.704, G.742 y G.751 de la ITU-T. ....	129
BIBLIOGRAFIA. ....	148

## INTRODUCCIÓN

La apertura que México ha tenido en las telecomunicaciones se intensificó en los últimos años, originando que muchas empresas nacionales e internacionales estén compitiendo por el mercado, principalmente del servicio telefónico móvil. Actualmente se vive el creciente y fuerte desarrollo de la telefonía celular en plenitud.

La estructura de red en la telefonía móvil está basada generalmente por áreas de cobertura conocidas como celdas, donde cada una de éstas contemplan una estación radiobase como núcleo y que a su vez requiere tener acceso una central de conmutación digital o central telefónica para poder integrarse a la red telefónica pública tanto nacional como internacional. Este acceso se proporciona en su mayoría por los enlaces de microondas terrestres punto a punto.

La constante instalación de estaciones de radiobase ha incrementado a su vez la gran demanda de los enlaces terrestres de microondas punto a punto debido a sus ventajas sobre otros tipos de acceso, como el cable coaxial o la fibra óptica, ya que su instalación es mucho más rápida y fácil que estos últimos. Sin embargo, la inmunidad al desvanecimiento de los enlaces de microondas provocada por las condiciones meteorológicas de las distintas zonas de nuestro territorio mexicano, ha reducido su utilización en otras áreas de las telecomunicaciones.

Asimismo, el tiempo que la empresa telefónica se ahorra en los trámites legales es realmente menor, pues los permisos son menores debido a que no se realizan construcciones enormes a lo largo de la trayectoria, como ocurre con el cableado físico donde hay que hacer excavaciones y colocar postería para su instalación, involucrando varios trámites para su autorización y meses de tiempo para su utilización; mientras que en un enlace de microondas su instalación es más sencilla y rápida llevando escaso medio día para su puesta en servicio después de la certificación de los órganos reguladores de la COFETEL (Comisión Federal de Telecomunicaciones).

El mini link 7E es un sistema de comunicación que utiliza las microondas como instrumento de enlace, para conseguir el acceso de las estaciones de radiobase a la central telefónica, utiliza la banda de 7 GHz de las microondas en el espectro radioeléctrico y que será tema de estudio en el presente. Este equipo es fabricado por la empresa internacional de telecomunicaciones Ericsson Telecom S.A. de C.V. de origen Sueco, pero con instalaciones en el estado de México, la cual prestó todas las facilidades y ventajas para llevar a cabo este trabajo de tesis.

Los objetivos de esta investigación son: conocer el funcionamiento de un enlace de microondas que se emplea principalmente en la telefonía celular, analizar la forma en como se procesan los datos, conociendo sus características técnicas y físicas, además de tratar los aspectos teóricos recomendados que regulan a este tipo de tecnología de comunicación, tomando como referencia al equipo de microondas mini link 7E.

En el primer capítulo se hace referencia de manera general a los enlaces terrestres de microondas punto a punto, revisando los conceptos teóricos que gobiernan la propagación de las microondas así como su ubicación en el espectro electromagnético. Se mencionan también los efectos troposféricos como la lluvia, que afectan el desplazamiento de estas ondas provocando su desvanecimiento.

Los mecanismos de propagación, como la reflexión y la refracción entre otras, también son analizados en el capítulo I, los cuales son variables que determinan en gran medida la trayectoria del enlace a través del cual se logra la transferencia de los datos en el sistema de comunicación, tocando temas como línea de vista y margen de libramiento, para representar sus efectos. Se expresa la importancia que tiene la primera zona de Fresnel para este tipo de sistemas a lo largo de la trayectoria de propagación.

En el segundo capítulo se describe gráficamente las características técnicas y físicas del mini link 7E, mostrando los elementos internos y externos que lo constituyen. Además de las diferentes configuraciones que se emplean para la variada cantidad de datos a transportar.

Una de las principales características del sistema mini link es, sin duda alguna, su flexibilidad para contar con sistemas redundantes o protegidos, para evitar cualquier eventualidad en el sistema, así el equipo tiene estrategias de seguridad para garantizar su eficiencia en los sistemas de

comunicación y la calidad suficiente para emplearse en diferentes áreas de las telecomunicaciones.

Otro de los puntos que se tratan en el segundo capítulo es el referente a la administración de una red de mini link para facilitarle las actividades de mantenimiento al personal que labora en la empresa telefónica, debido a la tremenda cantidad de estaciones de radiobase y en consecuencia de enlaces en la red telefónica celular. El netman es el software que se utiliza para gestionar y supervisar toda una red de enlaces cual compleja que ésta sea.

En el tercero y último capítulo se analiza descriptivamente el procesamiento de los datos en el mini link 7E con la ayuda de diagramas a bloques para los diferentes subsistemas y gráficas de las señales involucradas en dicho análisis, haciendo referencia a las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU-T. Primeramente se estudia la etapa que recibe los datos para enviarse a través del enlace, para luego continuar con la etapa final del procesamiento que lleva estos datos al nivel de las microondas para transmitirlos. Entendiéndose como datos a las señales que el usuario de la estación de radiobase conecta al enlace de microondas, además de toda la señalización que el mismo equipo genera para su adecuado funcionamiento.

Finalmente, se anexa un glosario de términos utilizados en el presente trabajo para facilitar la comprensión y el acceso a los tecnicismos y sus definiciones, además se agrega un apéndice con un extracto fiel de las cuatro recomendaciones de la ITU-T citadas en el capítulo III en su formato original.

## CAPITULO I

### ENLACE TERRESTRE DE MICROONDAS PUNTO A PUNTO

A la interconexión de dos puntos distantes en el ámbito de las telecomunicaciones se le conoce como enlace, si este enlace se realiza a través del aire y utilizando ondas electromagnéticas de una longitud milimétrica, entonces recibirá el nombre de enlace de microondas.

Existen dos tipos de enlaces de microondas principalmente. Enlaces Terrestres y Enlaces Satelitales. Los primeros como su nombre lo dice, se efectúan sobre la superficie de la tierra (en la tropósfera), mientras que los segundos se utilizan para conectar un satélite y una estación ubicada en la tierra.

El propósito de un enlace terrestre de microondas es el intercambio de información entre dos puntos distantes. Información como: voz, datos o video. Esto depende en gran medida de la capacidad de información que manejan los sistemas empleados.

A los puntos que un enlace terrestre de microondas interconecta se conocen como sitios, los cuales deberán tener la peculiaridad de poder verse uno al otro (línea de vista), de lo contrario será imposible lograr dicha interconexión. Sin duda la distancia es uno de los problemas que existe en este tipo de enlaces. Sin embargo, existen enlaces que pueden alcanzar distancias de hasta 50 Km o más en condiciones ideales en la trayectoria.

Para lograr el establecimiento de un enlace terrestre de microondas se requiere en una serie de estudios del lugar donde se pretende instalar el equipo. Todos los datos investigados nos ayudan a realizar los cálculos necesarios para: seleccionar el equipo a utilizar, ajustar los parámetros adecuados (frecuencia, potencia, etc.), conocer la posición correcta de las antenas y predecir el estado del enlace en condiciones meteorológicas adversas.

## 1.1 Microondas.

Las microondas son ondas de radiofrecuencia y están comprendidas desde 1 GHz hasta 300 GHz. La longitud de onda de las señales de microondas (considerando que se propagan en el vacío), está comprendida entre 30 cm y 1 mm.<sup>1</sup>

Las microondas se subdividen en bandas que se indican mediante letras del alfabeto, sin embargo, la denominación y los límites de la mayoría de dichas bandas no están bien definidos. Las características que definen a las microondas y a las ondas electromagnéticas en general son:

- a) La amplitud. Es el máximo valor de la perturbación, medido desde su valor de reposo.
- b) La frecuencia. Es el número de ciclos que la onda completa en cada segundo en un punto dado. La unidad de medida es el Hertz (Hz). Una propiedad básica de la onda es que su frecuencia permanece constante para toda clase de circunstancias y sólo está determinada por el generador.
- c) La fase. Es la situación de un punto en una onda respecto del principio del ciclo. La fase se expresa generalmente en términos de una medida angular.
- d) La longitud de onda. Es la distancia entre dos puntos de igual fase en dos ciclos consecutivos de una onda periódica como la microonda.
- e) El frente de onda. Es una superficie imaginaria que pasa por dos puntos de igual fase de un conjunto de ondas. Los frentes de onda pueden ser superficies de cualquier configuración, dependiendo de la fuente, el medio y las obstrucciones encontradas en el camino. Así, hay frentes de onda esféricos, planos, etc.
- f) Polarización. Es la forma en que vibra el campo eléctrico al desplazarse una onda electromagnética y puede ser vertical u horizontal.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ortega L. Ma De Jesús "Prácticas y laboratorio de teoría electromagnética I" Apuntes de la ENEP Aragón México, Julio de 1989, pp 7-11.

<sup>2</sup> Frank Baylin "Televisión doméstica via satélite" Baylin/Gale productions Mexico 1985, p 6

### 1.1.1. Radiación electromagnética.

En la tabla 1.1 podemos observar los diferentes tipos de radiación electromagnética, desde las ondas de radiofrecuencia hasta los rayos cósmicos que recibimos del espacio exterior. Así como sus diferentes fuentes que las emiten; mientras que en la tercera columna se indican sus características y efectos.

TIPO DE RADIACION	FUENTE DE RADIACION	CARACTERISTICAS Y EFECTOS
Ondas de radiofrecuencia	Osciladores electromagnéticos, partículas que se mueven en campos magnéticos, el sol.	Inducción electromagnética, pueden ser reflejadas, producen algunos efectos químicos y fisiológicos.
Radiación infrarroja	Cuerpos calientes, vibraciones aceleradas de átomos y moléculas, el sol.	Calienta los objetos, causa impresiones en películas fotográficas especiales, produce efectos de interferencia como los de la luz visible.
Luz visible	Objetos calientes, gases ionizados, cambios en los estados de energía de los átomos, el sol	Hace visibles a los objetos, impresionan la película fotográfica, induce algunas reacciones químicas tales como la fotosíntesis, produce el efecto fotoeléctrico
Radiación ultravioleta.	Arcos de vapor de mercurio, carbón y hierro, vibraciones aceleradas de átomos y moléculas, el sol.	Pasa a través de algunos materiales transparentes como el cuarzo, pero no a través del vidrio, es reflejada por metales, produce fosforescencia, induce reacciones químicas, broncea la piel
Rayos X	Interacciones entre electrones y átomos, el sol	Capaces de penetrar a través de sólidos, son refractados por cristales, impresionan la película fotográfica, ionizan los gases.
Rayos gamma	Sustancias radiactivas, colisiones entre partículas nucleares, el espacio exterior, el sol	Tienen el más grande poder de penetración de cualquier radiación electromagnética, ionizan los gases.
Rayos cósmicos	Rayos de origen hipotético que procedentes del espacio exterior, penetran constantemente en la atmósfera terrestre	

Tabla 1.1. Radiación electromagnética

### 1.1.2. Espectro electromagnético.

Cada tipo de radiación electromagnética se caracteriza por un parámetro muy importante conocido como frecuencia, así; cada tipo de radiación comprende un intervalo de frecuencias que van desde los 3 KHz hasta frecuencias más allá de los  $3 \times 10^{22}$  Hz.

En la figura 1.1 se muestran los tipos de radiación y su respectivo intervalo de frecuencias.

3 KHz
<b>Radiofrecuencias</b>
300 GHz
<b>Radiación Infrarroja</b>
$4 \times 10^{14}$ Hz
<b>Luz Visible</b>
$8 \times 10^{14}$ Hz
<b>Radiación Ultravioleta</b>
$3 \times 10^{17}$ Hz
<b>Rayos X</b>
$3 \times 10^{18}$ Hz
$5 \times 10^{19}$ Hz
<b>Rayos Gamma</b>
$3 \times 10^{22}$ Hz
<b>Rayos Cósmicos</b>

Figura 1.1. Espectro electromagnético

### 1.1.3. Radiofrecuencias.

Por acuerdos internacionales el espectro de radio o también conocido como radiofrecuencias, está dividido en ocho bandas; cada una de ellas tiene asignado un intervalo de frecuencias que van desde los 3 KHz en múltiplos de diez consecutivamente hasta los 300 GHz.

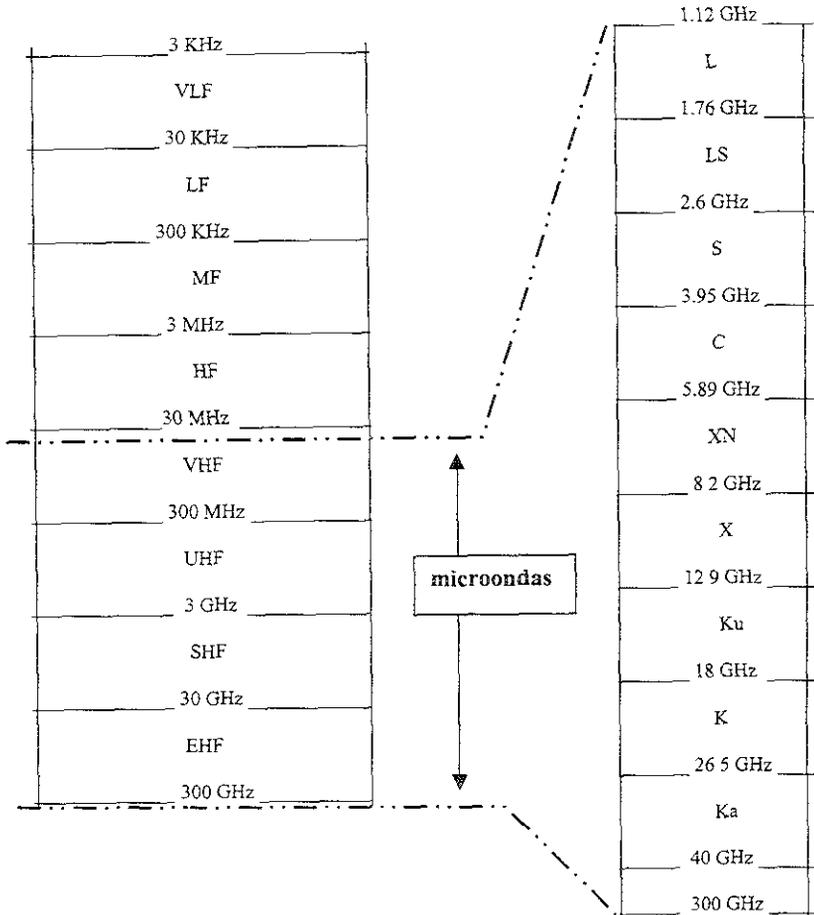


figura 1.2. Espectro de ondas de Radio

La figura 1.2 ilustra el espectro de radiofrecuencias, comprendiendo desde las muy bajas frecuencias (Very Low Frequency VLF) hasta las extremadamente altas frecuencias (Extremely High Frequency EHF), reguladas por la International Telecommunication Union (ITU). Así mismo, se desprende el intervalo de las microondas y sus respectivas sub-bandas.

La tabla 1.2 especifica las siglas de cada banda de radiofrecuencias así como los servicios de comunicación típicos empleados en estas mismas. Cabe resaltar la utilización de las microondas para canales de Televisión, comunicación satelital y enlaces terrestres.

BANDA	SERVICIOS TÍPICOS
VLF (Very Low Frequency) Debajo de 30 KHz	Radionavegación (radiofaros), comunicación marítima
LF (Low Frequency) 30 KHz a 300 KHz	Comunicación marítima y aeronáutica, radiolocalización, radionavegación (radiofaros)
MF (Medium Frequency) 300 KHz a 3000 KHz.	Radiodifusión AM (535 a 1600 KHz), radioaficionados, señales de socorro (490 a 510 KHz), comunicación marítima y aeronáutica.
HF (High Frequency) 3 MHz a 30 MHz (onda corta).	Radiodifusión internacional, comunicaciones a larga distancia, radioaficionados, banda civil (26.96 a 27.5 MHz), frecuencia estándar (5, 10, 15, 20, 25 MHz, radioastronomía, comunicación marítima y aeronáutica, investigación espacial, facsímil
VHF (Very High Frequency) 30 MHz a 300 MHz	Canales de TV del 2 al 6 (54 a 88 MHz), canales de TV del 7 al 13 (174 a 216 MHz), radiodifusión FM (88 a 108 MHz), telemetría espacial, radioaficionados, servicios públicos, comunicaciones móviles, comunicaciones para aviación y navegación, meteorología.
UHF (Ultra High Frequency) 300 MHz a 3000 MHz	Canales de TV del 14 al 82 (470 a 890 MHz), satélites, investigación espacial, radiosondas, radionavegación, radiolocalización, servicios públicos, aviación, radioaficionados
SHF (Super High Frequency) 3 GHz a 30 GHz	Satélites de comunicación, satélites meteorológicos, radionavegación para satélites, enlaces de microondas, radar, radionavegación, radioastronomía, investigación espacial
EHF (Extremely High Frequency) 30 GHz a 300 GHz	Investigación espacial, radioastronomía, radiolocalización, experimentación

Tabla 1.2. Radiofrecuencias

## 1.2. Propagación de microondas.

Una microonda es una onda electromagnética que al propagarse por el espacio libre, el vector E (campo eléctrico) y el vector H (campo magnético) son perpendiculares entre sí y ambos lo son a la dirección de propagación tal y como se puede observar en la figura 1.3.<sup>1</sup>

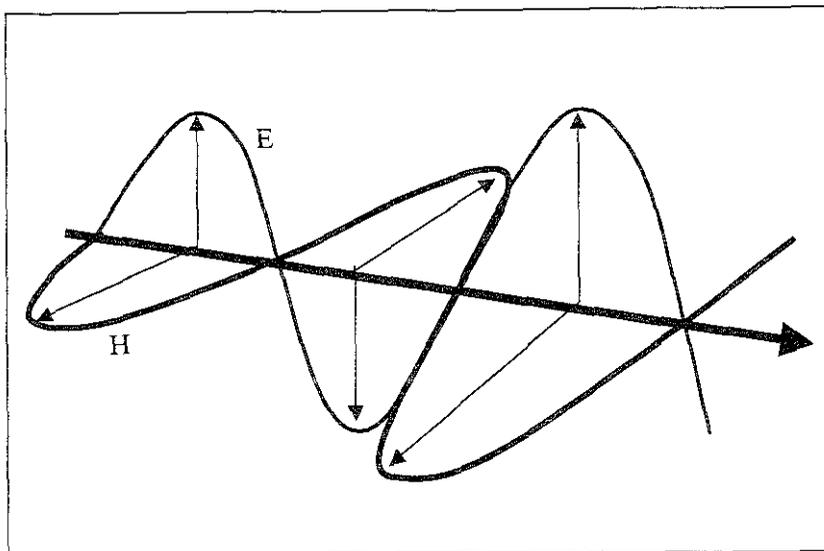


Figura 1.3. Propagación electromagnética

### 1.2.1. Relación entre longitud de onda ( $\lambda$ ) y frecuencia (f).

La longitud de onda ( $\lambda$ ) y la frecuencia (f) de las ondas electromagnéticas, y por consecuencia de las microondas, están relacionadas de acuerdo a la siguiente fórmula:

<sup>1</sup> Ortega L. Ma De Jesus. Op Cit. p 1

$$\lambda = c/f$$

$\lambda$  = Longitud de onda (m)

f = Frecuencia (Hz)

c = Velocidad de propagación de las ondas  
electromagnéticas en el vacío ( $=3 \times 10^8$  m/s)

La ecuación anterior es de suma importancia cuando se fabrican las guías de onda de los alimentadores en los módulos de antenas para los enlaces de microondas.

### 1.2.2. Características de propagación.

La propagación de las ondas de radio es afectada por varios factores, factores independientes del servicio de la radio comunicación o de otros propósitos específicos de telecomunicaciones.

Las condiciones meteorológicas, las edificaciones en zonas urbanizadas, las irregularidades de la tierra como: cerros, montañas, manantiales, lagos, letreros espectaculares, son ejemplos de factores que afectan la propagación de las ondas de radio en la trayectoria.

Todos los factores tienen un impacto fuerte sobre la transmisión. Es tan grande su influencia que cuando éstos son combinados deciden si un enlace de radio es satisfactorio o no.<sup>3</sup>

#### 1.2.2.1. Efectos de la frecuencia.

Los efectos de los factores que influyen en la propagación de ondas de radio varían en importancia, dependerán en gran medida de la banda de frecuencia con que se está trabajando. En las bandas LF (frecuencias bajas) y en MF (frecuencias medias), la propagación es fuertemente influenciada por las características eléctricas de la tierra y por las condiciones de la

<sup>3</sup> Ericsson Mini Link E Planning and Engineering Manual ERICSSON Sweden 1997, pp 7-16

ionosfera. En las bandas VHF(muy alta frecuencia) y UHF(ultra alta frecuencia), los efectos de las condiciones de la ionosfera decrecen, sin embargo, los efectos de la tierra se extienden aún más, y aparecen nuevos factores como las características meteorológicas de la tropósfera (la parte más baja de la atmósfera terrestre) que de alguna forma dominan la propagación de las ondas de radio.

En la banda de las microondas, la importancia de las características de la tierra y las condiciones meteorológicas de la tropósfera son aún predominantes, sin embargo, arriba de los 6 GHz los efectos de la absorción de gas (humedad) y la precipitación (lluvia) deben ser tomados muy en cuenta. En las frecuencias muy cercanas a los 10 GHz, la precipitación comienza a dominar por sobre cualquier otro factor. La absorción de gas comienza a influenciar en gran medida arriba de los 22 GHz, donde el vapor de agua muestra un pico característico.

#### **1.2.2.2. Efectos de la tierra.**

Cuando las ondas de radio se propagan cerca de la superficie de la tierra, sus características de propagación son dominadas por los efectos eléctricos de la tierra y por la topografía del terreno, incluyendo la vegetación, las estructuras hechas por los hombres, etc.

La forma curva de la tierra provoca que las ondas de radio también se curven, esto por las condiciones de permitividad y permeabilidad de la troposfera que son los que rigen la velocidad de propagación en el aire, así las ondas altas en un frente de onda plano viajan más rápido que las ondas bajas dando la impresión de que todas las ondas viajan en forma curva.

Los letreros espectaculares, las grandes edificaciones y las zonas boscosas, también intervienen en la propagación de las ondas de radio, por lo que se hace necesario evitarlos utilizando estrategias como torres para las antenas más altas, la utilización de reflectores que sirvan como espejos, entre otras.

#### **1.2.2.3. Efectos de la tropósfera.**

La constitución gaseosa de la atmósfera influye en la propagación de las ondas de radio, debido a la absorción de la energía de la onda, provocando

una atenuación y un debilitamiento en su magnitud, además por las variaciones en el índice de refracción.

Las variaciones en el índice de refracción de la atmósfera causan reflexión, refracción y dispersión a las ondas de radio que viajan a través de ella. La magnitud de estos efectos depende, por supuesto, de la frecuencia.

Un decremento considerable en la magnitud de la onda de radio involucra una gran dificultad para separar la señal de información del ruido, lo que deriva al empleo de equipo de recepción muy selectivo, sensible y costoso.

#### **1.2.2.4. Efecto de la Multitrayectoria.**

El término *efecto por multitrayectoria* aplica a esos casos en los cuales la señal de recepción efectiva es construida por varios componentes cuando ésta es recibida por la antena proveniente de diferentes caminos o trayectorias. Los componentes pueden tener diferentes fases y diferentes amplitudes, en consecuencia se pueden anular, dando como resultado una señal muy pequeña.

Los efectos de la multitrayectoria resultan de las reflexiones provenientes de los edificios, la superficie de la tierra o de las interfaces horizontales entre diferentes capas en la atmósfera. Los efectos por multitrayectoria causados por reflexiones son responsables del desvanecimiento rápido observado en los enlaces de microondas. Estos factores sin duda pueden degradar seriamente el servicio de comunicación.

#### **1.2.3. Mecanismos de propagación.**

Las ondas de radio pueden ser propagadas en diferentes formas a través del aire, éstas dependen en gran parte de la topografía y de las condiciones meteorológicas que pueden, normalmente, pero no siempre, causarles *atenuación en su magnitud*.

Una de las principales tareas de los Ingenieros en radio es evaluar la atenuación que pudieran sufrir las señales de radio transmitidas entre transmisores y receptores.

Para evaluar la atenuación de la señal de radio propagada en transmisores y receptores, es útil categorizar la propagación en los siguientes mecanismos:

- Propagación en el espacio libre
- Refracción
- Difracción
- Reflexión y dispersión
- Absorción

A continuación se describe a detalle cada uno de los mecanismos de propagación, presentando las fórmulas de cálculo para facilitar su entendimiento.

### 1.2.3.1. Propagación en el espacio libre.

La propagación de una onda electromagnética en el espacio libre, se refiere a un medio homogéneo y dielectricamente ideal. Este medio debe ser considerado infinito en todas direcciones.

La pérdida en la transmisión sobre el espacio libre es conocida como la pérdida más pequeña posible entre el transmisor y el receptor. Los Ingenieros en radio a menudo descartan la pérdida en el espacio libre, concentrándose más en pérdidas causadas por otros mecanismos de propagación en particular.

Básicamente, el cálculo de la pérdida de la transmisión en el espacio libre se refiere a un punto fuente isotrópico en ambos extremos de la transmisión. Si estos puntos isotrópicos son reemplazados por dipolos de media onda u otras antenas que tengan una cierta ganancia, entonces los cálculos podrán ser ajustados introduciendo estas ganancias.

La siguiente ecuación nos sirve para calcular la pérdida de la transmisión en el espacio libre ( $A_{FE}$ ).<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> R. U. Laine "Digital Microwave Systems Applications Seminar" Harris Corporation, EUA 1997, pp 279

$$A_{FE} (dB) = 92.4 + 20 \log f + 20 \log D$$

Donde:

$f$  = Frecuencia, (GHz)

$D$  = Longitud de la trayectoria (Km)

$A_{FE}$  = Atenuación en el espacio libre en decibeles (dB)

92.4 es una constante y está medida en dB.

### 1.2.3.2. Refracción.

La refracción de las ondas de radio a través de la atmósfera se debe a que éstas viajan con diferentes velocidades y en diferentes partes del medio con características eléctricas variables. Las ondas de radio se desplazan más lentamente en la atmósfera donde la constante dieléctrica ( $\epsilon_r$ ) es más grande que la constante dieléctrica del vacío ( $\epsilon_0$ ).

La constante dieléctrica  $\epsilon_r$  depende de la presión, la temperatura y el vapor de agua (humedad) que contiene la atmósfera. Normalmente los niveles de estos parámetros meteorológicos decrecen con la altitud. Así una onda electromagnética se desplaza más rápidamente en un medio con una constante dieléctrica menor que en otro medio con una constante dieléctrica mayor, la parte superior de un frente de onda tiende a viajar más rápido que la parte inferior, dando origen a una deflexión del haz en forma descendente.

En una atmósfera horizontalmente homogénea el cambio vertical de los parámetros meteorológicos es gradual; y en consecuencia la constante dieléctrica  $\epsilon_r$  también cambia. Esto provoca una continua deflexión del haz, así el haz u onda electromagnética es deflectada desde una capa ligera a una capa más densa del aire, siguiendo la curvatura de la tierra. Por lo tanto, existe una relación entre el radio de la curvatura del haz y el radio de la curvatura de la tierra. El radio de la curvatura del haz es generalmente llamado "radio equivalente de la curvatura de la tierra".

Existe también una relación entre el factor de la curvatura de la tierra ( $k$ ) y el índice de refracción de la tierra. Esto significa que el factor  $k$  afecta la

línea recta que conecta a dos puntos arbitrariamente separados en la atmósfera, provocando un arco entre estos dos puntos. Si una atmósfera puede ser descrita por un valor  $k$ , el radio del haz que existe entre los dos puntos arbitrarios puede ser representado por una línea recta. Tal y como se ilustra en la figura 1.4.

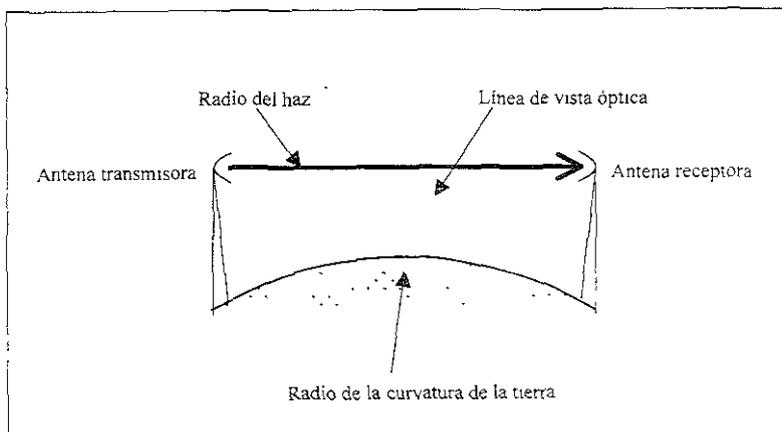


Figura 1.4. El factor  $k$  y el radio de la curvatura de la tierra

Como previamente se mencionó, la deflexión del radio del haz está relacionada al índice de refracción de la atmósfera o por su refractividad ( $N$ ). La refractividad depende de la presión, la temperatura y el vapor de agua que contiene la atmósfera. Su variación con respecto de la altura ( $h$ ) en la atmósfera es llamada gradiente refractivo ( $dN/dh$ ) y es relacionado al radio de la tierra.

En la práctica, el gradiente promedio medido en el primer kilómetro sobre la tierra y en regiones con diferentes temperaturas es de  $-40 N$  unidades por kilómetro aproximadamente. Como resultado de lo anterior tenemos un factor de la curvatura de la tierra de aproximadamente  $4/3=1.33$  y un radio real de la tierra de aproximadamente de 6370 km. Un gradiente de refracción negativo indica una refractividad decreciendo con la altura de la atmósfera.

La combinación de los efectos provocados por la refracción y la difracción causarán pérdida debido a los obstáculos en la trayectoria de los enlaces de microondas.

### 1.2.3.3. Difracción.

Difracción es la capacidad de las ondas para deflectarse o cambiar de dirección alrededor de obstáculos colocados en su trayectoria.<sup>5</sup>

La difracción puede ocurrir e incrementar la pérdida en la transmisión cuando el tamaño de un obstáculo en la trayectoria es tan largo como la longitud de onda ( $\lambda$ ) de la señal de radio transmitida. Los efectos de la difracción son más notorios para señales arriba de 1 GHz. Esto provoca problemas en la trayectoria para la radiocomunicación.

La pérdida en la transmisión debido a una obstrucción depende de las propiedades difractivas del obstáculo y además del área del haz obstruido comparada con el total del área del frente de onda. Así, es necesario dar suficiente claridad a la trayectoria para que una apreciable pérdida en la transmisión pueda ser evitada.

Si el frente de una onda es parcialmente obstruida por un obstáculo, un poco de energía será difractada dentro de una región de sombra del obstáculo. Sin embargo, en situaciones reales los efectos de la difracción serán complicados debido a la forma del obstáculo y a la atmósfera, pero en muchos casos un modelo simplificado puede crear aproximaciones útiles del fenómeno. Los modelos son generalmente empleados para propagación cercana a la superficie de la tierra los cuales comprenden la difracción debido a la irregularidad o protuberancias de la tierra y/o a los diferentes obstáculos sobre la superficie de la tierra.

La pérdida de la transmisión sobre el terreno irregular es una función complicada de frecuencia, trayectoria geométrica, densidad de vegetación y otras variables menos significativas. A pesar de la complejidad de este problema, algunas simplificaciones y suposiciones tienen que ser realizadas en orden para que coincidan con ésta. El resultado es que algunos métodos prácticos tienen que ser creados para la estimación de pérdida de

<sup>5</sup> Paul E. Tippens Física Conceptos y Aplicaciones. McGraw-Hill México 1981, pp 366

obstrucción. Un método conocido es la aproximación del “borde de cuchilla” en el cual la punta de una arista es considerada como obstrucción por su “borde de cuchilla”, extendiéndose infinitamente hacia abajo. Este procedimiento se utiliza para tener un razonamiento exacto cuando hay un solo pico bien definido o la punta de una arista.

La figura 1.5. ilustra algunos ejemplos (como una estimación aproximada) de la pérdida por difracción en el “borde de cuchilla” comparado a la penetración del obstáculo dentro de la primera zona de Fresnel.

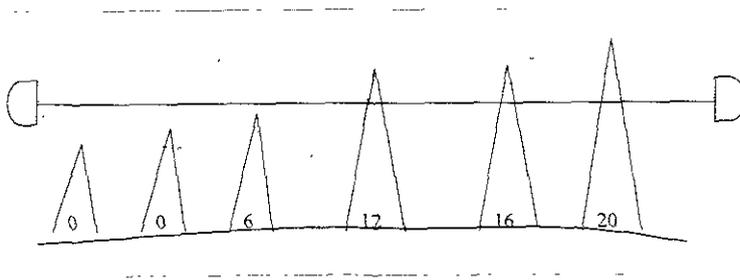


Figura 1.5 Estimación aproximada de la pérdida por difracción en el “borde de cuchilla” en dB.

De esta forma se ha considerado la difracción debido a la cercanía de obstáculos con borde de cuchilla para la trayectoria de línea de vista. Sin embargo, para trayectorias en cuyos bordes no hay mayor difracción, un obstáculo podría asumir la pérdida total por difracción debido a la forma esférica de la tierra. En el momento en que la tierra tiene forma esférica, las distancias desde los puntos de transmisión y recepción hacia el punto de obstrucción (el horizonte) son las distancias de línea de vista.

La figura 1.6. ilustra algunas estimaciones aproximadas de pérdida de difracción sobre un plano esférico de la tierra comparado con la penetración de las protuberancias de la tierra dentro de la primera zona de Fresnel.

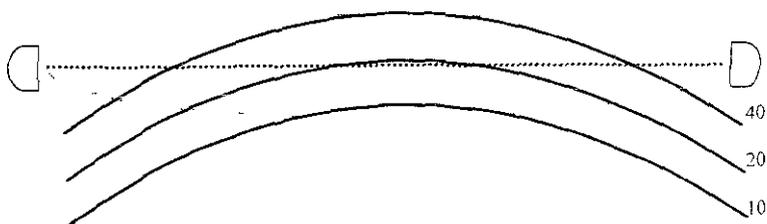


Figura 1.6 Pérdida aproximada por difracción, debido a la forma esférica de la tierra en dB

#### 1.2.3.4. Reflexión y Dispersión.

Cuando las ondas electromagnéticas inciden sobre una superficie, éstas pueden ser reflejadas. La reflexión depende de la frecuencia, el ángulo de incidencia y las propiedades eléctricas de la superficie. Se supone que la energía de las ondas electromagnéticas no es de ninguna manera absorbida por la superficie, y que las ondas son simplemente reflejas hacia una nueva dirección. Esto es, por supuesto una reflexión ideal llamada *reflexión regular o especular*, de acuerdo con la reflexión de las ondas de luz que convergen en los espejos. La reflexión especular es por lo tanto una aproximación que puede ser usada en muchas aplicaciones relacionadas a la comunicación por ondas de radio.

La reflexión especular es, como se mencionó con anterioridad, un caso ideal que puede ser considerada para algunas aplicaciones. Sin embargo, en la práctica la reflexión en superficies es un poco más complicada.

El criterio de *Rayleigh* es utilizado para consideraciones cualitativas de las reflexiones sobre una superficie. La pregunta más importante en este caso es: ¿para qué valor de longitud de onda, superficie irregular y ángulo de incidencia, la reflexión regular cambia a reflexión difusa?. En otras palabras ¿cuándo una superficie plana se vuelve irregular?.

De acuerdo al criterio de Rayleigh<sup>3</sup> una superficie se considera plana cuando:

$$h < \frac{\lambda}{8 \operatorname{sen} \gamma}$$

Donde .                     $h$ =La altura de las irregularidades de la superficie en metros  
                                $\lambda$ =Longitud de onda en metros  
                                $\operatorname{sen} \gamma$ = Es el seno del complemento del ángulo de incidencia

El criterio de Rayleigh está basado en la suposición de que el valor de la diferencia de fase entre dos rayos paralelos los cuales inciden sobre una superficie es igual a  $90^\circ$ . Naturalmente, dependiendo de la aplicación, el valor adoptado para la diferencia de fases puede ser de  $45^\circ$ ,  $22.5^\circ$  así sucesivamente. La figura 1.7, ilustración gráfica del criterio de Rayleigh.

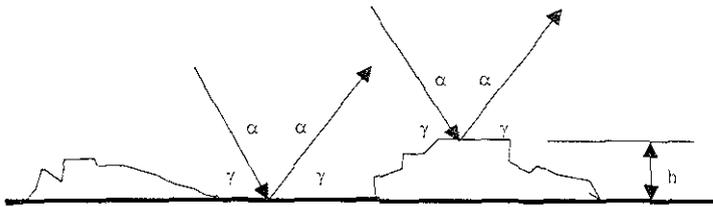


Figura 1.7. El criterio de Rayleigh. ( $\alpha$ =ángulo de incidencia)

Si la diferencia de fases es pequeña, las dos ondas estarán casi en fase como en una superficie perfectamente plana. Si la diferencia de fases se incrementa las dos ondas se interferirán hasta una diferencia de  $180^\circ$ . En este valor las ondas estarán en oposición de fase y se cancelarán entre sí, de esta forma no se tiene flujo de energía en una dirección específica pero como la energía no se puede desaparecer, la energía debe ser distribuida en otras direcciones, ésta se dispersa a través de la superficie. De aquí que cuando la diferencia de fases es igual a  $180^\circ$ , la superficie dispersa la energía y se considera superficie irregular. Cuando la diferencia de fases es igual a  $0^\circ$ , la superficie refleja en forma regular y se considera una superficie plana.

Generalmente la reflexión se caracteriza por su coeficiente total de reflexión ( $\rho$ ) el cual está definido por el cociente del campo reflejado y el campo incidente. El coeficiente de reflexión caracteriza la capacidad de la superficie en cuestión para reflejar ondas de radio. Cuando  $|\rho|=0$  nada será reflejado. Cuando  $|\rho|=1$  tenemos una reflexión especular o regular.

El coeficiente de reflexión depende de la polarización, la frecuencia, las características eléctricas de la superficie y el complemento del ángulo de incidencia ( $\gamma$ ).

El campo electromagnético resultante en la antena receptora está compuesto por dos elementos, el campo incidente y el campo reflejado. Así, también depende del coseno de la diferencia de fases entre la onda incidente y la onda reflejada. Esto significa que la señal resultante en el receptor, para un valor arbitrario del coeficiente de reflexión, oscilará entre un valor mínimo y un valor máximo. La amplitud de esta oscilación depende de los parámetros que determinan la diferencia de fases: la altura de la antena, la longitud de la trayectoria, el factor de la curvatura de la tierra, la frecuencia y el ángulo de fase del coeficiente de reflexión.

Cuando ambos elementos (los campos incidente y reflejado) tienen la misma dirección, el ángulo entre ellos es de  $0^\circ$  y la señal recibida tiene un valor máximo. Cuando el ángulo entre los elementos es de  $180^\circ$  ellos tienen direcciones opuestas y la señal recibida tiene un valor mínimo. Estos valores extremos son ilustrados en la figura 1.8. como una función del coeficiente total de reflexión

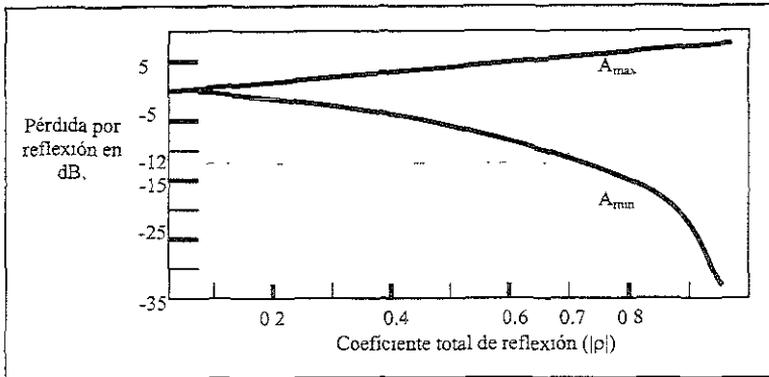


Figura 1.8 Valores mínimo y máximo de la pérdida por reflexión en función del índice de reflexión

Como se ilustra en la figura 1.8, el intervalo de la pérdida por reflexión es más grande que 40 dB para valores del coeficiente de reflexión aproximados a 1. El coeficiente total de reflexión puede ser considerado como el producto de tres factores:

- El coeficiente reflectivo de Fresnel, el cual es aplicable sólo para superficies lisas y determinado por la frecuencia, el complemento del ángulo de incidencia  $\gamma$ , la polarización de la onda y por las características eléctricas de la superficie.
- El factor de divergencia, el cual permite la curvatura de superficies lisas e irregulares. El valor de este factor depende de la altura de las antenas, de la longitud de la trayectoria y del factor del radio terrestre.
- El factor de protuberancia, el cual cuenta para la irregularidad de la superficie. El valor de este factor depende de la frecuencia y el grado de irregularidad de la superficie.

Una aproximación estimada de valores posibles se ilustra en el siguiente ejemplo:

Considerando una trayectoria de ondas de radio sobre la superficie de un lago, el coeficiente reflectivo de Fresnel es muy cercano a 1, para aplicaciones de enlaces de radio ( $\gamma$  entre 1 mrad y 10 mrad), realmente es igual 0.9; estimando una distancia de 30 Km de trayectoria y un factor de la curvatura terrestre de 1.33, con una diferencia de altura entre las antenas de 30 m, entonces el factor de divergencia es de aproximadamente 0.9. Para frecuencias arriba de 10 GHz el factor de protuberancia de la superficie de un lago durante los días de relativa calma está alrededor de 0.9.

Cuando se multiplican estos factores se produce un coeficiente total de reflexión de 0.7 ( $0.9 \times 0.9 \times 0.9 \approx 0.7$ ). Aplicando este resultado en el diagrama de la figura 1.8, tenemos una pérdida por reflexión de aproximadamente  $|12|$  dB.

Esta pérdida por reflexión se conoce como *pérdida adicional* en el análisis del cálculo de un enlace de microondas que se tratará en la sección 1.3.5. diagrama del enlace.

### 1.2.3.5. Absorción.

A frecuencias arriba de los 10 GHz, la propagación de ondas de radio a través de la atmósfera de la tierra es comúnmente afectada por la absorción resonante de la energía electromagnética debido a las moléculas del vapor de agua y del oxígeno. En la ingeniería de radio es muy usual clasificar la composición química de la atmósfera en dos gases principalmente: el vapor de agua (humedad) y el aire seco.

Como es conocido, el nitrógeno ( $N_2$ ) y el oxígeno ( $O_2$ ) constituyen aproximadamente el 99% del volumen del aire seco, mientras que el 1% restante está compartido por dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y un número de elementos raros. Afortunadamente, las moléculas de nitrógeno no afectan el espectro de ondas de radio y el aire seco puede, en consecuencia ser considerado una composición de oxígeno solamente. Además, la composición química del aire seco no muestra ninguna variación significativa a través de la atmósfera y puede ser considerada una constante en cualquier punto. La atenuación por absorción del oxígeno muestra un pico entre 50 GHz y 70 GHz con un máximo aproximado a los 60 GHz como puede observarse en la figura 1.9.

La cantidad de vapor de agua en la atmósfera varía grandemente de lugar a lugar de acuerdo a las condiciones meteorológicas locales. La temperatura y la humedad son dos variables importantes para determinar la atenuación provocada por el vapor de agua. La atenuación por absorción del vapor de agua muestra un pico característico a los 23 GHz. Este valor pico subsecuentemente cae a un mínimo a los 29-31 GHz aproximadamente y luego sube nuevamente. No obstante, la absorción por gases es transparente para enlaces de 7 GHz.

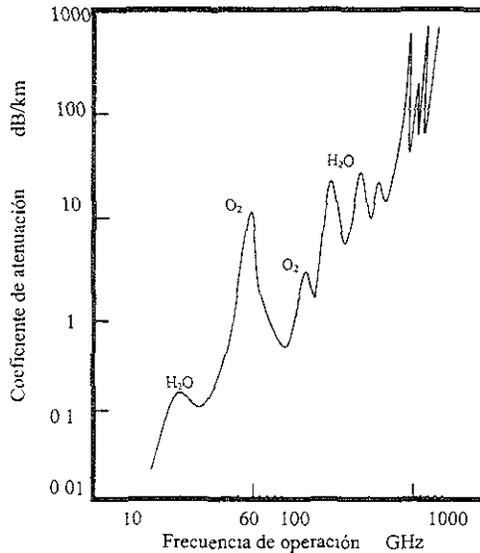


Figura 1.9. Atenuación por Gases

#### 1.2.4. Atenuación por lluvia.

El siguiente concepto de atenuación será empleado como dispersión difusa, cuando las ondas de radio interactúan con la caída de lluvia resultando una absorción. El efecto de precipitación, especialmente de lluvia sobre las ondas de radio puede ser de una importancia considerable dependiendo de la frecuencia y de la intensidad de la precipitación. La dispersión y la absorción de las ondas de radio debido a la lluvia causan atenuación en la señal de recepción en un enlace de microondas. Aunque todas las frecuencias son susceptibles a estos efectos, la atenuación por lluvia es de importancia práctica sólo para frecuencias arriba de 10 GHz.

La atenuación específica puede ser obtenida de cartas especiales que ilustran la interdependencia de la atenuación específica en dB/Km y la frecuencia en GHz. El efecto de la polarización de la onda será ignorada aquí. Sin embargo, para altas tasas de lluvia (30 mm/h) y altas frecuencias (20 GHz) la polarización horizontal puede dar una atenuación específica del 0.5 dB/Km mucho más alta que la polarización vertical.

La atenuación por lluvia puede ser evaluada introduciendo un factor de reducción, el cual toma en consideración las nubes de lluvia que se extienden a lo largo de la trayectoria del enlace y determinando la longitud efectiva de la misma trayectoria; luego multiplicando la longitud actual de la trayectoria por el factor de reducción, se obtiene la atenuación.

Es importante recalcar que la tasa de lluvia es un parámetro que depende en gran medida de la localización geográfica de la trayectoria. Esta debe ser obtenida de la distribución acumulativa de mediciones de largo plazo, además, por tiempos de integración muy cortos, preferentemente recientes. Para propósitos de planeación de una red de enlaces, la tierra se divide en 16 diferentes zonas de lluvia, para las cuales se tienen valores de tasas de lluvia actualizadas.

A pesar de las características fortuitas de la lluvia, su atenuación no está incluida como una contribución al cálculo del enlace. Sin embargo, su valor es de crucial importancia en el cálculo del desvanecimiento por lluvia.

La figura 1.10 muestra claramente la atenuación en decibeles por cada kilómetro cuando la intensidad de la lluvia varía considerablemente.

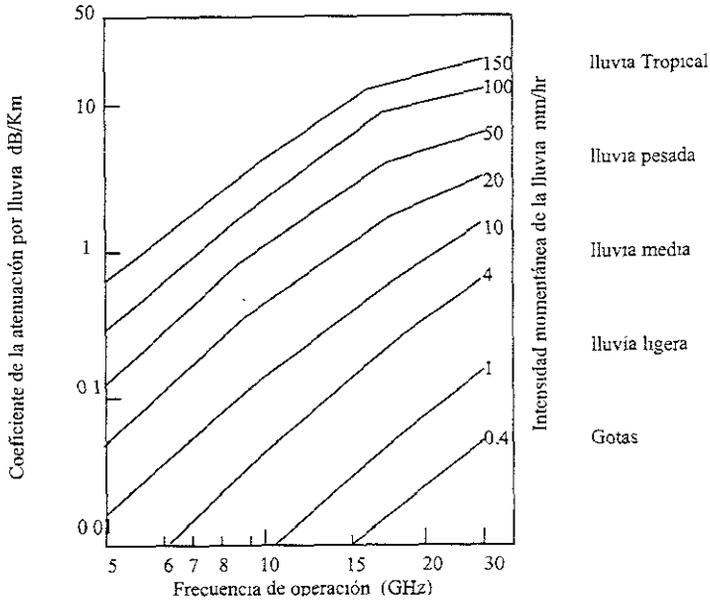


Figura 1.10. Atenuación por lluvia.

### 1.2.5. Desvanecimiento.

Varios factores pueden causar pérdida de la señal cuando dos terminales de un enlace de radio están en línea de vista. Si la línea de vista del sistema está cerca del suelo con obstáculos de gran tamaño, las pérdidas por los obstáculos pueden ser importantes aún si la línea de vista no está obstruida. Si hay cualquier cambio en el factor de la curvatura de la tierra debido a la refracción, el enlace podría estar sujeto a desvanecimiento por difracción/refracción.

Generalmente, las ondas de radio se desplazan en la atmósfera, propensas a las variaciones meteorológicas y a las condiciones de la superficie terrestre. La señal de recepción normalmente no permanece constante, si no que oscila alrededor de un valor nominal, y a la intensidad temporal del campo

eléctrico se le llama comúnmente desvanecimiento. El desvanecimiento puede ocurrir además por la interferencia entre el componente de campo de la señal directa y las componentes de la señal reflejada por la tierra o por las capas de propagación de la atmósfera o quizá por algunos edificios en la trayectoria.

Los efectos por multitrayectoria causan cortos periodos de desvanecimiento. Además, a frecuencias arriba de 10 GHz, la atenuación debido a la absorción por gases atmosféricos y por lluvia puede ser aún más importante. El desvanecimiento por lluvia puede alcanzar periodos más largos, atenuando así a la señal de recepción. La importancia del desvanecimiento debido a la lluvia y a los efectos de multitrayectoria depende en gran medida de la frecuencia, del clima y de la longitud de la trayectoria. Sin embargo, puede decirse que el desvanecimiento por multitrayectoria es la principal influencia que causa atenuación abajo de los 10 GHz, así como la lluvia lo hace para frecuencias arriba de los 10 GHz.

En conclusión, podemos decir que desvanecimiento es cualquier variación temporal de la fase, la polarización o la intensidad de la señal de recepción, debido a los mecanismos de propagación, condiciones meteorológicas y topografía del terreno.

### 1.3. Enlace terrestre.

En la planeación de un enlace de microondas se deben considerar los requerimientos, provisiones y dependencias para lograr que el enlace tenga suficiente disponibilidad y calidad que garanticen la completa conexión de dos suscriptores dentro de los límites que marcan los estándares internacionales regulados por la ITU-T.<sup>3</sup>

La planeación de un enlace de microondas no debe ser desarrollado o realizado exclusivamente al lado de un escritorio, sino que se debe inspeccionar, revisar y analizar los sitios en donde se va a instalar el enlace. A esta actividad se le conoce como *estudios de campo*, existen instrumentos que facilitan la elaboración del estudio de campo para un enlace, entre los cuales podemos mencionar las siguientes:

---

<sup>3</sup> Ericsson, Op. Cit, pp 17-29

- Cartas topográficas
- Altimetros
- Fotografías aéreas
- Teodolitos
- El sistema de posición global (GPS)
- Señales luminosas con espejo.

Toda la información recopilada en el estudio de campo se vacía posteriormente en documentos llamados *perfiles de trayectoria*, donde se dibujan a escala todos los obstáculos a través de la trayectoria, esto con el fin de calcular la altura y ubicación de las antenas de microondas. Los márgenes de libramiento son criterios que deben ser considerados para la correcta ubicación de las antenas, criterios como la irregularidad de la tierra, la refracción atmosférica y el radio de la primera zona de fresnel.

La distancia de la trayectoria es parte fundamental para la colocación de los sitios del enlace, es por esta razón que el análisis de potencias es necesario para determinar su alcance. Las potencias de transmisión, las ganancias de las antenas, las pérdidas en el espacio libre y el desvanecimiento entran en juego en este análisis en el diagrama del enlace.

### **1.3.1. Línea de vista geométrica.**

Para un enlace de microondas la línea de vista entre las antenas es indispensable. Los obstáculos que resaltan dentro y sobre la línea de vista causarán atenuación y harán no práctico al enlace. Estos obstáculos pueden ser topográficos (como colinas, cerros, etc.), por irregularidades del terreno (vegetación, bosques, edificios, chimeneas, letreros espectaculares, etc.) o por cualquier otro tipo de estructuras.

Cuando se utilizan cartas topográficas para lograr las condiciones de línea de vista, se deben poner especial atención a los obstáculos cercanos a los sitios y a lo largo de la trayectoria del enlace, puesto que no podrían ser incluidos en las cartas factores inherentes a los mapas debido a la escala de los mismos. Las cartas no son muy adecuadas cuando se trabajan en zonas urbanas donde existen edificaciones o estructuras hechas por el hombre, por eso es necesario desplazarse al sitio para determinar la altura de estas

estructuras y lograr de cualquier manera que las antenas tengan la línea de vista requerida, como se observa en la figura 1.11.

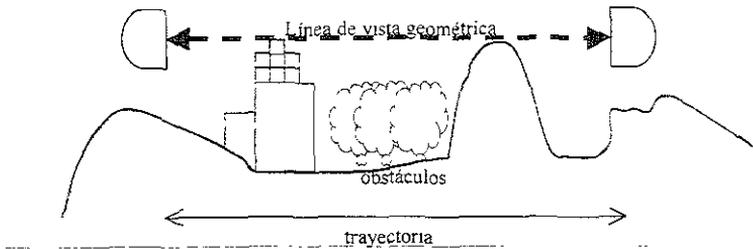


Figura 1.11. Perfil de trayectoria que muestra la línea de vista entre dos antenas.

### 1.3.2. Horizonte de Radio.

La atmósfera terrestre influye en la propagación de las ondas de radio en diferentes formas. Las ondas de radio se desplazan con diferentes velocidades en diferentes capas de la atmósfera, esto debido a las variaciones de la constante dieléctrica  $\epsilon_r$ , las cuales causan refracción. La refracción atmosférica, provoca que las ondas de radio sean suavemente dobladas hacia abajo.

En los sistemas de línea de vista, las ondas viajan en línea recta y se limitan en el horizonte a causa de la curvatura de la tierra. Bajo condiciones normales la línea de vista de radio u horizonte de radio alcanza distancias más allá de la línea de vista geométrica u horizonte óptico. (Ver figura 1.12).

La atmósfera terrestre altera enormemente al factor de refracción, el cual a su vez, tiene una estrecha relación con la curvatura de la tierra ( $k$ ). El valor de  $k$  depende de las condiciones del clima; no obstante, tiene un valor de  $4/3$  cuando se aplica a la atmósfera estándar.

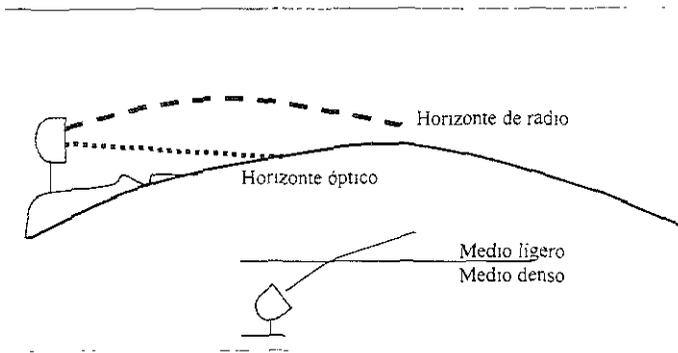


Figura 1.12. Horizonte de radio.

El horizonte de radio se determina con la siguiente ecuación:

$$d_{eff} = d \ k$$

Donde  $d_{eff}$  = distancia del horizonte de radio (km)  
 $d$  = distancia del horizonte geométrico (km)  
 $k$  = factor de radio de la tierra (normalmente 4/3)

### 1.3.3. Claridad.

Si la línea de vista entre dos antenas está libre, pero cerca de obstáculos, tiene un efecto de atenuación considerable si dichos obstáculos están lo suficientemente cerca de la trayectoria. Es usual definir una zona de Fresnel alrededor del centro de la línea de la trayectoria. La primera zona de Fresnel está definida como una zona en forma elipsoidal con sus puntos focales en las antenas del enlace. (figura 1.13)

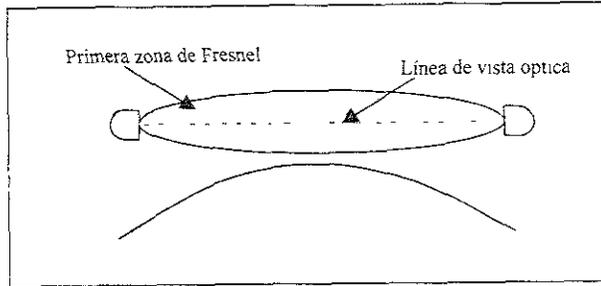


Figura 1.13 primera zona de Fresnel

El cálculo del radio de la primera zona de Fresnel en cualquier punto, requiere conocimiento de la geometría de una elipsoide, obteniendo la siguiente ecuación:

$$r_F = 17.3 \frac{d_1 \cdot d_2}{f \cdot d}$$

Donde:  $r_F$  = radio de la primera zona de Fresnel en un punto p (m)  
 $d_1$  = distancia entre la antena 1 y el punto de interés (km)  
 $d_2$  = distancia entre la antena 2 y el punto de interés (km)  
 $f$  = frecuencia de transmisión (GHz)  
 $d$  = distancia total entre las antenas (km)

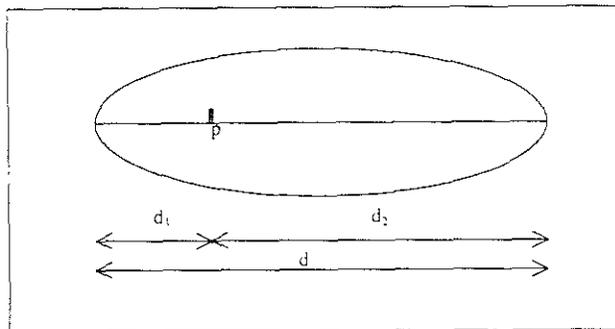


Figura 1 14. Elipsoide de Fresnel

En la primera zona de Fresnel se concentra el 50% de la potencia radiada por el transmisor, es por esta razón que no debe de haber ningún obstáculo dentro de ella. Sin embargo, en ocasiones el radio es demasiado grande que se hace imposible librarlo en su totalidad; al criterio de librar el 60% del radio de Frasnol se le conoce como *claridad*, como se ilustra en la figura 1.15.

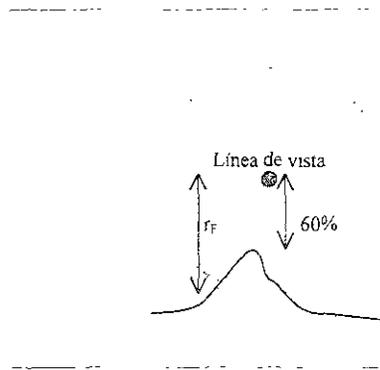


Figura 1.15. Claridad del 60%

#### 1.3.4. Perfil de trayectoria.

El propósito del perfil de trayectoria es proporcionar la información concerniente a la línea de vista entre los dos sitios seleccionados, y decidir en todo caso si hay suficiente claridad para evitar atenuación debido a obstáculos. El perfil de trayectoria será utilizado cuando se determine el desvanecimiento de la señal recibida.

El perfil de trayectoria es esencialmente un plano de la elevación de la tierra como una función de la distancia a lo largo de la trayectoria entre las antenas. El dato es originado por la localización de las dos terminales sobre un mapa de *contorno elevado*, dibujando una línea recta entre los dos puntos, y leyendo los contornos de elevación en intervalos adecuados en distancia.

La información topográfica utilizada para diseñar un perfil de trayectoria puede también ser obtenida de bases de datos de mapas topográficos, los cuales incluyen una base de datos de altitud y una base de datos de las características de la tierra. El perfil de trayectoria se es mapea sobre una carta de perfil de trayectoria (Figura 1.16). Además, el borde de la tierra  $\Delta h$  debe ser calculado de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\Delta h = \frac{d_1 \cdot d_2}{2 \cdot k \cdot R}$$

Donde  $\Delta h$ =La irregularidad terrestre en un cierto punto a lo largo de la trayectoria(m)  
 $d_1$ =A la distancia del sitio 1 al punto de interés(Km).  
 $d_2$ =A la distancia del sitio opuesto al punto de interés (Km).  
 $k$ =Factor de la curvatura de la tierra.  
 $R$ =El radio del globo terrestre (6370 Km)

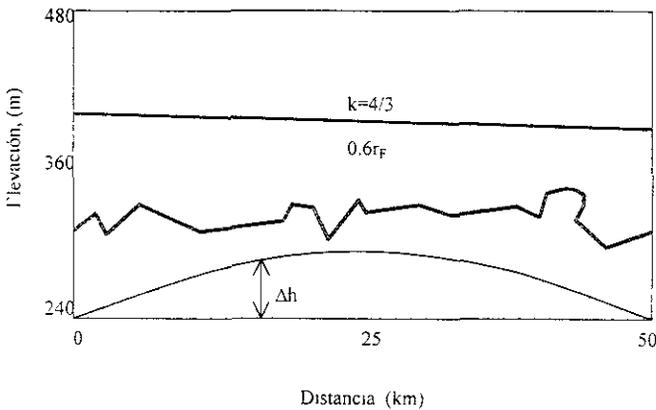


Figura 1.16 perfil de trayectoria.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Harris Corporation Op Cit , p 211

En un perfil de trayectoria diseñado con un factor  $k$  correspondiente a la atmósfera estándar de los lugares geográficos en donde se encuentran localizados los sitios, el radio del haz se dibuja en forma rectilínea.

Las escalas de elevación y distancia del perfil de trayectoria se ajustan a las condiciones reales de los obstáculos. La escala de elevación normalmente cubre algunos cientos de metros, y la escala de distancia normalmente cubrirá algunas decenas de kilómetros.

Una vez obtenido el perfil de trayectoria, las elevaciones de las antenas se registran y la línea de vista se dibuja entre éstas. Si la primera zona de Fresnel también se registra, entonces se puede determinar en todo caso si hay suficiente claridad para tener una línea de vista libre de obstáculos sobre la trayectoria proyectada. El perfil de trayectoria también debe contener información acerca de bosques, edificios y otras estructuras hechas por el hombre a lo largo del trayecto.

### 1.3.5. Diagrama del enlace

Un diagrama de enlace debe prepararse para calcular el nivel de la señal recibida en condiciones ideales (sin desvanecimiento). El diagrama suma todas las atenuaciones y las amplificaciones de la señal entre la salida del transmisor y la entrada del receptor del enlace. Esto puede ser ilustrado de acuerdo a la figura 1.17.

La potencia de recepción en un enlace de radio puede ser calculada por la siguiente ecuación:

$$P_{in} = P_{out} - \sum A_F + \sum G - A_{FE} - A_o - A_G - A_L$$

Donde

- $P_{in}$  = Potencia de recepción (dBm)
- $P_{out}$  = Potencia de transmisión (dBm)
- $A_F$  = Pérdida en el alimentador de la antena (dB)
- $G$  = Ganancia de la antena (dB)
- $A_{FE}$  = Pérdida en el espacio libre (dB)
- $A_o$  = Pérdida por obstáculos (dB)
- $A_G$  = Atenuación por gases (dB)
- $A_L$  = Pérdida adicional (dB)

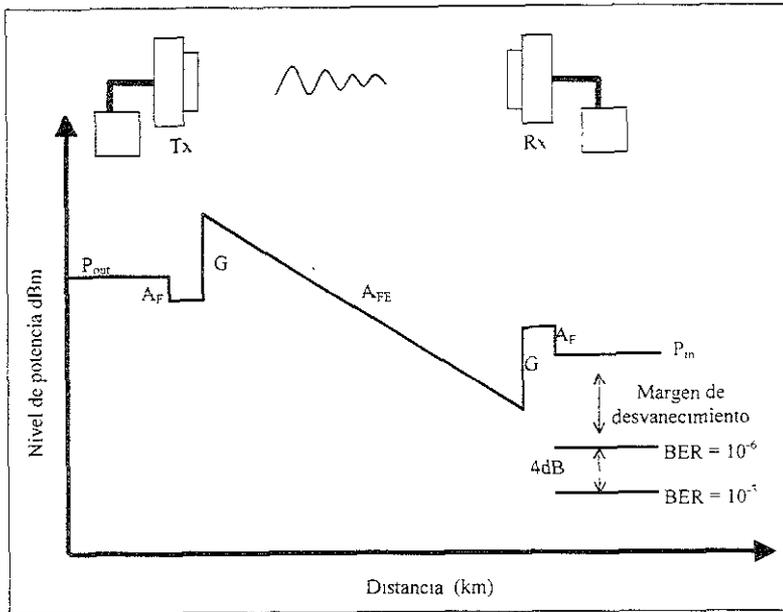


Figura 1.17 Diagrama del Enlace

### 1.3.6. Margen de desvanecimiento.

La señal de recepción varía con respecto del tiempo debido al desvanecimiento. La señal a la entrada del receptor calculada con el Diagrama del Enlace es válida solamente para condiciones donde no se contempla desvanecimiento. El sistema debe estar dimensionado para proporcionar un suficiente margen para el umbral de recepción o *margen de desvanecimiento*.

El margen de desvanecimiento tiene que ser lo suficientemente grande para evitar la pérdida de la señal de recepción y a la vez lo suficientemente pequeño para impedir la saturación por exceso de la señal en el equipo, ya que en cualquiera de las dos condiciones tendríamos errores en la información. Usualmente el margen de desvanecimiento está arriba de los 40 dB. El clima, la situación topográfica y la longitud de la trayectoria son

factores decisivos para la sensibilidad al desvanecimiento de un enlace de microondas cualquiera.

Los desvanecimientos típicos que se toman en consideración normalmente son los provocados por la precipitación pluvial, por la propagación en multitrayectoria y por la refracción atmosférica.

La probabilidad calculada de que ocurran los tipos de desvanecimiento sobre un enlace de microondas dado, debe estar subsecuentemente acotada por los factores definidos de *calidad* y *disponibilidad* del enlace adoptados y estandarizados por la ITU.

### **1.3.7. Diversidad.**

Diversidad, significa que la onda de radio puede alcanzar al receptor por medio de dos o más vías o trayectorias. La señal de recepción proviene de diferentes trayectorias con desvanecimiento propio e independientes en cada una de ellas. En el caso del mini link, la señal más grande o potente se selecciona. Sin embargo, en algunos otros equipos la señal se combina para obtener una señal compuesta de la suma. Las diversidades más frecuentemente usadas son: *Diversidad de Espacio* y *Diversidad de Frecuencia* (figura 1.18).

La diversidad ser usada si una trayectoria proyectada es severamente influenciada por desvanecimiento debido a la propagación por multitrayectoria. *La diversidad reduce los efectos del desvanecimiento, pero también incrementa la cantidad de equipo requerido para el enlace.* Un problema en los enlaces de microondas, es la dificultad de contrarrestar las condiciones atmosféricas severas y las reflexiones de las ondas de radio en superficies planas demasiado extensas, originadas por trayectorias largas. Este es el caso de enlaces que cruzan áreas con agua y que dependen de una atmósfera inestable, de esta forma se hace necesario un arreglo con diversidad.

La diversidad de espacio emplea una antena transmisora y dos antenas receptoras. Las dos antenas de recepción captan las señales provenientes de diferentes trayectorias de propagación. Esto requiere un par de antenas para cada sitio del enlace, una unidad para la selección de la mejor señal de recepción en cada terminal.

En la diversidad de frecuencia la misma señal se transmite simultáneamente sobre dos frecuencias diferentes. Las frecuencias diferentes provocan desvanecimientos particulares para cada señal de recepción. Sólo una antena se requiere en cualquier sitio del enlace, pero una unidad selecciona la mejor señal de recepción y en consecuencia se debe duplicar el equipamiento en cada transmisor y receptor.

Por cuestiones económicas, a menudo se sugiere el uso de diversidad de espacio en lugar de diversidad en frecuencia, debido al costo de las frecuencias en el mercado. En casos extremos una combinación de ambos esquemas de diversidad pueden ser empleados.

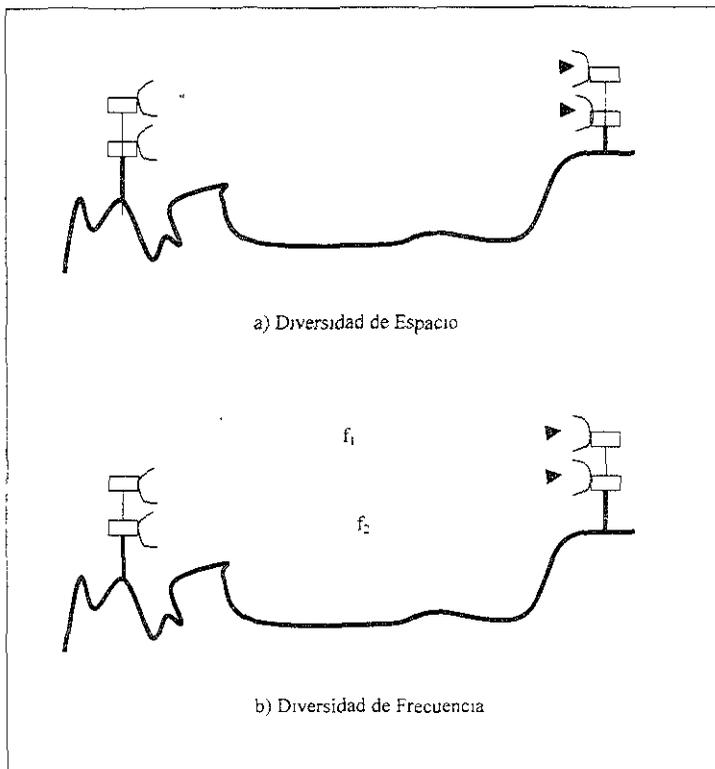


Figura 1.18 Esquemas de diversidad

### 1.3.8. Disponibilidad y Calidad.

Las bases para el dimensionamiento de las conexiones en una red algunas veces provienen de un requerimiento operacional del usuario, el cual describe la disponibilidad de una conexión y la calidad requerida durante el tiempo en funcionamiento del enlace. Un dimensionamiento estándar desarrollado por la ITU-T a menudo se utiliza para obtener una disponibilidad y calidad aceptadas internacionalmente para todas las partes de una red completa que será planeada. La propagación de ondas de radio, las características del equipo, el tiempo de restablecimiento después de una reparación y los problemas por interferencia son los principales factores que se consideran cuando se dimensiona una red, la cual reúne los requerimientos estándar recomendados por la ITU-T.

Los estándares están basados en dos recomendaciones principalmente:

- ITU-T Recomendación G.821, utilizada para conexiones digitales a 64 kbps.
- ITU-T Recomendación G.826, utilizada para conexiones digitales con velocidades arriba de 2.048 kbps (estándar europeo) ó 1.544 kbps (estándar americano)

Las recomendaciones definen los términos medibles para la calidad y la disponibilidad y una meta estándar para el dimensionamiento de conexiones digitales. La recomendación G.821 define los siguientes términos de disponibilidad:

- AT, (Available Time), El tiempo de disponibilidad comienza en el primer segundo en un período de 10 segundos consecutivos, en el cual cada uno tiene un BER (Bit Error Rate), menor que  $1 \times 10^{-3}$ .
- UAT (Unavailable Time), El Tiempo de indisponibilidad comienza cuando el BER en cada segundo es mayor que  $1 \times 10^{-3}$  durante diez segundos consecutivos. Estos segundos se consideran como tiempo indisponible.
- $AT+UAT=TT$  (Total Time), tiempo total de vida estudiado.

La recomendación G.821 también define los siguientes términos de calidad:

- ES (Erroneous Second). El segundo erróneo está definido como un segundo que contiene uno o más bits erróneos en la trama de datos.
- SES (*Severely Erroneous Second*). El segundo severamente erróneo está definido como un período de un segundo durante el cual el BER es mayor que  $1 \times 10^{-3}$ . Consecuentemente un SES es también un ES.
- DM (*Degraded Minute*). El minuto degradado está definido por la resta de AT-SES y luego agrupando los segundos restantes en minutos. Cada minuto contiene un BER mayor que  $1 \times 10^{-6}$  y es considerado un minuto degradado.
- ES, SES y DM son calculados solamente durante AT.

La recomendación G.826 define los siguientes términos de disponibilidad:

- AT, el tiempo de disponibilidad comienza con el principio de diez segundos consecutivos con ningún evento SES. Estos diez segundos son considerados como tiempo de disponibilidad.
- UAT, El tiempo de indisponibilidad con el principio de diez segundos consecutivos con SES. Estos diez segundos se consideran como tiempo de indisponibilidad.
- $AT + UAT = TT$

La recomendación G.826 define los siguientes términos de calidad:

- EB (*Erroneous Block*). El bloque o trama errónea está definido como un grupo de uno o más bits incorrectos.
- ES, el segundo erróneo está definido como un período de un segundo durante el cual uno o más bloques están distorsionados.
- SES, el segundo severamente erróneo está definido como un período de un segundo en el cual 30% o más de los bloques transmitidos están distorsionados.
- Un bloque está definido como un grupo de bits consecutivos en una conexión digital donde cada bit pertenece solamente a un bloque. Por ejemplo, en una tasa de 2.048 kbps podrá contener 2048 bits por bloque.
- EB, ES y SES están calculados solo durante AT.

La ITU-R recomienda específicamente tiempos de disponibilidad del 99.9994% en un enlace, en consecuencia, se tienen tiempos de indisponibilidad de 0.0006%. Esto es, por ejemplo: si un enlace tiene un

tiempo de vida (TT) igual a 50 años, el tiempo de indisponibilidad será de 0.0003 años, es decir, 150 minutos por año aproximadamente, tiempo en el cual el equipo estaría fuera de servicio (sin tráfico). Es obvio que este tiempo no necesariamente significa falla del equipo de microondas.

### 1.3.9. Plan de frecuencia.

El objetivo de la planeación de frecuencias es, asignar adecuadamente las frecuencias a la red de tal forma que se obtenga un nivel suficientemente bajo de interferencia y que ésta no le afecte a la disponibilidad y calidad de los radio-enlaces de microondas. Una red libre de interferencias por frecuencia, es rara y económicamente no viable. En muchos casos la planeación de frecuencia se calcula con un nivel de interferencia dando un umbral máximo de deterioro en la recepción de 3 dB. Esto provoca un incremento del margen de desvanecimiento de 3 dB.

La selección de dos frecuencias de transmisión diferentes para el mismo enlace, es de primordial importancia para evitar riesgos de interferencia. El plan de frecuencias se facilitará utilizando una de las matrices de frecuencias estandarizadas por la ITU-T. Algunos puntos a considerar durante la planeación de frecuencia son:

- La reutilización de frecuencias, que es repetir las frecuencias tanto como sea posible.
- El uso de buenas antenas, con una buena relación frente-atrás y una gran supresión de lóbulos laterales.
- No utilizar radios de microondas con potencias de transmisión tan altas que las necesarias.

Algunos casos de interferencia entre sistemas son:<sup>4</sup>

- Dos planes de frecuencias en repetidores.

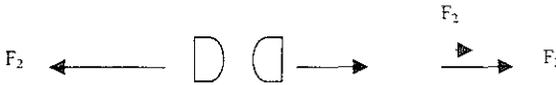


<sup>4</sup> Harris Corporation Op Cit , p242

- Recibir una señal trasera.



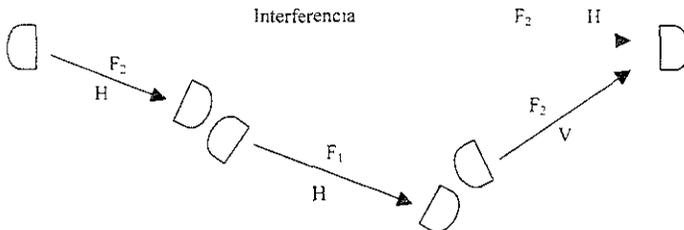
- Inducir radiación a un sistema trasero



- Cuatro planes de frecuencia



- Lanzar más allá de dos y cuatro planes de frecuencia



## CAPITULO II

### DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MINI LINK 7E

En cada sitio del enlace de microondas, el mini link 7E está constituido de tres partes básicamente, como se ilustra en la figura 2.1. Estas tres partes son: los elementos externos (1), los elementos internos (2) y el cable de radio (3).

La Unidad de Radio (RAU Radio Unit) y el Módulo de Antena componen los elementos ubicados en la intemperie del sitio o también conocidos como elementos externos. La unidad de radio es independiente de la capacidad de tráfico; sin embargo, suministra varias sub-bandas de frecuencia para transmitir en 7 GHz. La antena y la radio llegan por separado, pero en la instalación siempre van juntas. Para sistemas protegidos con redundancia, se deben instalar dos unidades de radio y una o dos antenas por cuestiones de seguridad. También existen varios tipos de módulos de antenas, las cuales varían por su diámetro y obviamente por la ganancia que le proporcionan a la señal de transmisión.

Los elementos instalados en el interior del sitio son completamente independientes de la banda de frecuencia; sin embargo, estos determinan las diferentes capacidades de tráfico que maneja el mini link 7E. Estos elementos interiores son: el Gabinete para el Módulo de Acceso (AMM Access Module Magazin), la Unidad de Modem (MMU ModeM Unit) y otras unidades opcionales como las unidades de conmutación y acceso. Para sistemas configurados con redundancia se deben instalar invariablemente dos unidades de modem y una unidad de conmutación por cada sitio. Además cuando se requiere un canal telefónico para comunicar los sitios en la red de mini link o sólo entre los dos puntos de un enlace, se necesita instalar la unidad de acceso y servicio.

Finalmente la última parte, pero no menos importante del mini link es el cable de radio, éste es un cable coaxial que une a la unidad de radio con su respectiva unidad de modem en cada sitio del enlace. En el cable viajan tanto la señal de recepción como la de transmisión, el voltaje de

alimentación para la RAU, además los comandos de control y alarmas para el buen funcionamiento del enlace de microondas.

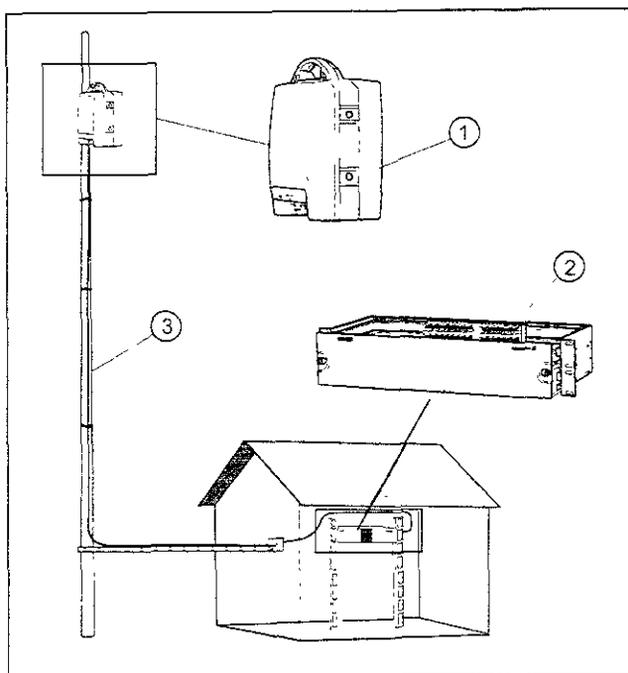


Figura 2.1 Componentes del mini link 7E.<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Ericsson Telecom Mini Link E. Installation Manual Sweden 1998, p 3

## 2.1. Elementos de intemperie para el enlace.

La Unidad de Radio es el elemento que determina la frecuencia de la señal portadora en un enlace de microondas, la cual puede variar desde 7.1 GHz hasta 7.7 GHz, en intervalos de 250 KHz. Sin embargo, como un ancho de banda de 600 MHz ( $7.7 \text{ GHz} - 7.1 \text{ GHz} = 0.6 \text{ GHz}$ ) en una unidad de radio es demasiado grande, por esta razón existen varias unidades de radio en el mini link 7E para que manejen las diferentes sub-bandas de todos los este intervalos.

El Módulo de Antena constituye la parte complementaria de los elementos externos, el cual está construido para manejar la banda de los 7 GHz en el mini link. El módulo puede instalarse y adaptarse para manejar tanto la polarización *vertical* como la *horizontal* en la etapa de radiofrecuencia; su reflector es un paraboloide que permite direccionar la señal de transmisión hacia un punto específico, evitando así interferencias con otros enlaces.

A continuación, se describirán cada uno de los elementos para intemperie del enlace de microondas construido con mini link 7E, así como las características del cable de radio.

### 2.1.1. Unidad de Radio.

La unidad de radio es una caja impermeablemente y sellada, con una haza para transportarla y subirla a la torre para su instalación. La unidad de radio se fija en la parte trasera del módulo de antena y ésta última a la torre. (figura 2.2)<sup>7</sup>

La potencia de salida para la transmisión en la unidad de radio varía desde 1 dBm hasta 28 dBm, sin embargo, si se requiere una señal más baja en potencia, existe un atenuador que debe ajustarse en la unidad para lograr una salida tan pequeña como -16 dBm.

Algunas de las sub-bandas que manejan las unidades de radio se describen en la tabla 2.1. Por ejemplo, para la unidad de radio con una sub-banda 11, cuya frecuencia de portadora puede seleccionarse desde una frecuencia de 7429.75 MHz hasta 7482.25 MHz en intervalos de 0.25 MHz, sólo tiene

<sup>7</sup> Ericsson, Mini Link Product Catalogue Sweden 1999, p 18

52.5 MHz de ancho de banda de la banda total de 600 MHz que maneja el mini link 7E. Así existen aproximadamente 64 sub-bandas y en consecuencia se ocupan 64 unidades de radio para manejar toda la banda de los 7 GHz.

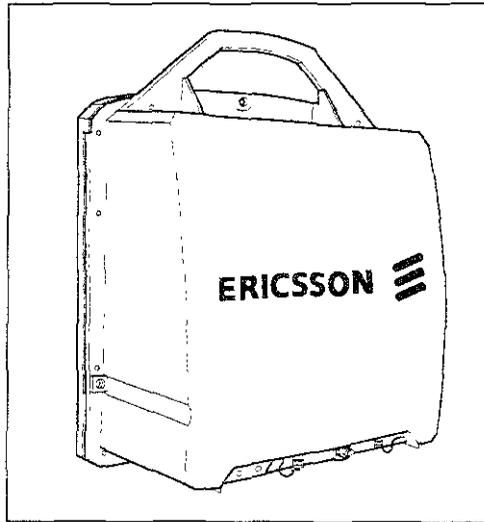


Figura 2.2. Unidad de Radio

Una observación importante es que, la unidad de radio con código 11 sólo puede trabajar con la unidad de radio con código 15 en un enlace de microondas, debido a que ambas están sintonizadas para manejar frecuencias de transmisión diferentes y separadas 154 MHz una de la otra (columna Duplex de la tabla 2.1). Así, si alguna de estas unidades llegara a dañarse se debe emplear el mismo código para sustituirla, por que de lo contrario nunca se podrán enlazar; ya que la frecuencia de transmisión de una, es la frecuencia de recepción de la otra. La sub-banda con código 32 es compatible con con la 36 y así sucesivamente.

Existen cuatro columnas en la tabla 2.1 que indican los intervalos de frecuencia de transmisión para cada una de las capacidades de tráfico que

maneja el mini link 7E. Sin embargo, como puede observarse es el mismo intervalo, con la diferencia de que el inicio de cada intervalo se desplaza un poco debido al ancho de banda del tráfico a transportar. Así, para un tráfico de 2x2 Mbps se tiene un ancho de banda de 3.5 MHz, mientras que para los tráficos de 8, 2x8 y 34+2 Mbps son de 7, 14 y 28 Mhz respectivamente.

Sub-banda código	Duplex (MHz)	Intervalo de Frecuencias de transmisión (MHz) en pasos de 0.25MHz			
		2x2Mbps	8Mbps	2x8Mbps	34+2Mbps
11	154	7429.75/7482.25	7431.50/7480.50	7435.00/7477.00	7442.00/7470.00
15	154	7583.75/7636.25	7585.50/7634.50	7589.00/7631.00	7596.00/7624.00
32	161	7154.25/7210.25	7156.00/7208.50	7159.50/7205.00	7166.50/7198.00
36	161	7315.25/7371.25	7317.00/7369.50	7320.50/7366.00	7327.50/7359.00
43	161	7482.25/7538.25	7484.00/7536.50	7487.50/7533.00	7494.50/7526.00
47	161	7643.25/7699.25	7645.00/7697.50	7648.50/7694.00	7655.50/7687.00
54	168	7192.75/7245.25	7194.50/7243.50	7198.00/7240.00	7205.00/7233.00
58	168	7360.75/7413.25	7362.50/7411.50	7366.00/7408.00	7373.00/7401.00
61	168	7415.75/7468.25	7417.50/7466.50	7421.00/7463.00	7428.00/7456.00
65	168	7583.75/7636.25	7585.50/7634.50	7589.00/7631.00	7596.00/7624.00
72	154	7157.75/7210.25	7159.50/7208.50	7163.00/7205.00	7170.00/7198.00
76	154	7311.75/7364.25	7313.50/7362.50	7317.00/7359.00	7324.00/7352.00
83	161	7307.25/7363.25	7309.00/7361.50	7312.50/7358.00	7319.50/7351.00
87	161	7468.25/7524.25	7470.00/7522.50	7473.50/7519.00	7480.50/7512.00
94	168	7528.75/7581.25	7530.50/7579.50	7534.00/7576.00	7541.00/7569.00
98	168	7696.75/7749.25	7698.50/7747.50	7702.00/7744.00	7709.00/7737.00

Tabla 2.1. Plan de frecuencia del mini link 7E

### 2.1.2. Módulo de Antena.

Un módulo de antena comprende al reflector, el alimentador y el herraje para montarse a la torre como se ilustra en la figura 2.3. El módulo de antena está disponible en varios diámetros para obtener mayor ganancia.

Ahora con la introducción de la antena HP (High Performance, alto rendimiento) se ha logrado suprimir en gran medida los lóbulos laterales del patrón de radiación, logrando así una gran directividad y evitando considerablemente la interferencia entre otros enlaces.

Para seleccionar la polarización del campo eléctrico de la señal de transmisión, es necesario girar 90° el alimentador de la antena, de esta forma se puede seleccionar una polarización horizontal o vertical.

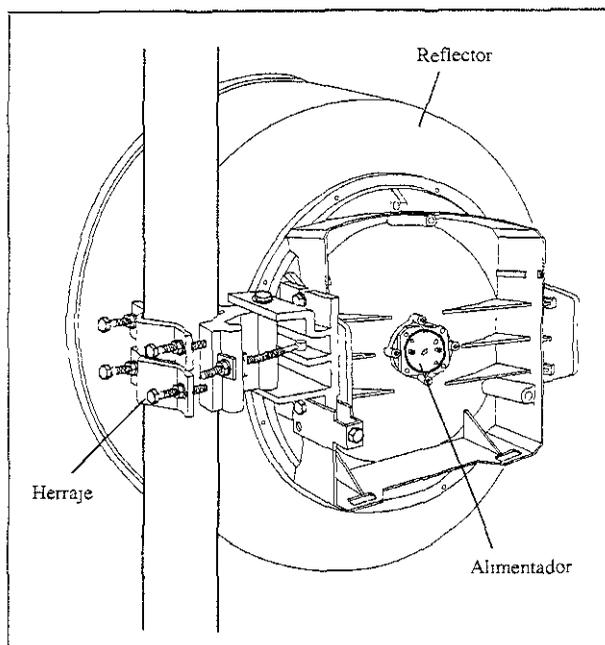


Figura 2.3. Módulo de antena

En la tabla 2.2. se ilustran los diámetros ( $\phi$ ) de las antenas para 7 GHz con sus respectivas ganancias, a mayor diámetro mayor ganancia. Por ejemplo una antena con un diámetro de 60 cm tiene una ganancia de 30.6 dB, es decir tiene una ganancia de 30.6 dB más que una antena isotrópica o ideal que radia en forma esférica.

Usualmente las antenas de mayor diámetro como la de 3 metros se manejan para enlaces tan largos que podrían alcanzar hasta los 80 Km en condiciones donde el desvanecimiento sea mínimo, también son empleadas cuando se requiere ganancia extra en el enlace.

Por otra parte, las antenas con un diámetro de 60 cm se utilizan para enlaces cortos conocidos como “de última milla”, es decir cuando se conecta al usuario final a la red de microondas.

Diámetro $\phi$	Ganancia dB
0.6m	30.6
1.2m	36.6
1.8	40.6
2.4m	43.0
3.0m	44.8

Tabla 2.2. Ganancia de las antenas

### 2.1.3. Cable de radio.

El cable de radio es un coaxial RG8 con impedancia de 50  $\Omega$  y 10 mm de diámetro como se puede ver en la figura 2.4. Este cable une físicamente la unidad de radio con la unidad de modem, por él se transportan cuatro señales principalmente: la señal de transmisión, la señal de recepción, comandos de control y el voltaje de alimentación para la unidad de radio.

La máxima longitud del cable es de hasta 200m entre la unidad de modem y la unidad de radio, mientras que; si se usa cable con mayor diámetro (por ejemplo de 16 mm) se tendrá una longitud hasta de 400 m. Un conector *N* estándar se utiliza en el cable de radio para la RAU.

Para evitar descargas eléctricas sobre el cable de radio, debido a la lluvia, éste es aterrizado cada 50 metros cuando su longitud excede los 100 m. ésta es una recomendación proporcionada por el fabricante del mini link 7E.

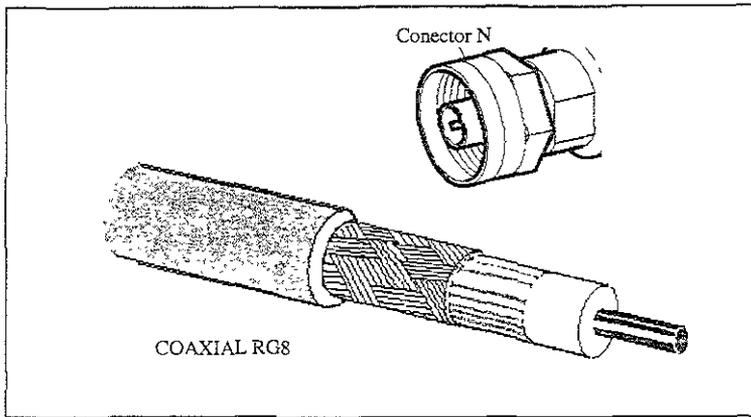


Figura 2.4. Cable de radio para el mini link.

#### 2.1.4. Accesorios externos.

Dentro de los accesorios externos está el *power splitter* que no es más que un acoplador utilizado para conectar dos unidades de radio con un solo módulo de antena, como se puede ver en la figura 2.5. Este power splitter se utiliza para enlaces con diversidad o protección 1+1 donde por cuestiones de espacio en la torre sólo una antena puede ser instalada. En la figura se alcanza a ver dos ranuras de guía onda donde son acopladas las antenas utilizando un par de guía onda del tipo flexible, como se muestra estas ranuras están con diferente polarización tanto Horizontal como Vertical.

Otro de los accesorios importantes para la parte externa de un enlace es sin duda el atenuador de microondas (figura 2.5), el cual presenta una atenuación de 11dB ó 20 dB a la señal de transmisión. Este atenuador se coloca en la unidad de radio, antes de ser montada al módulo de antena y con el sistema totalmente apagado, es recomendada su utilización para enlaces de muy corta distancia ya que evita la distorsión de la señal recibida debido a la saturación en la RAU. Esta saturación se alcanza a un nivel de -20 dBm aproximadamente.

Solo para mencionar algunos otros accesorios, el mini link cuenta con tripies para colocar la antena en una instalación sobre un edificio que no requiera torre muy alta, también está el kit universal de instalación para colocar la antena sobre un muro o alguna torre donde el herraje de montaje no pueda ser utilizado. Por último, está también el vástago para aterrizar la unidad de radio y protegerla así de los rayos en alguna tormenta eléctrica

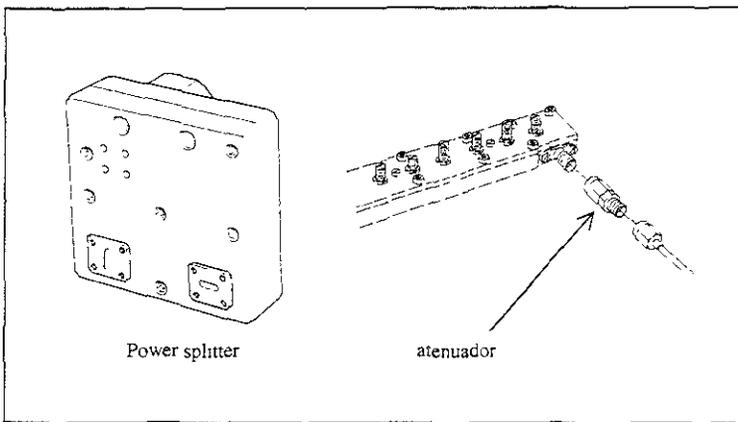


Figura 2.5. Accesorios externos.

## 2.2. Elementos internos para el enlace.

Los elementos internos del enlace determinan la capacidad de tráfico del enlace de microondas que puede ser desde una hasta diecisiete señales de 2 Mbps. También proporcionan los controles para el ajuste de los parámetros del enlace como: la frecuencia de la portadora, la potencia de transmisión etc. Además de proporcionar la lectura del nivel de la señal de recepción.

Los componentes internos que constituyen el enlace de microondas son: la Unidad de Modem, la Unidad de Conmutación y Multiplexación, la Unidad de Acceso y Servicio y el Módulo de Acceso. Estas cuatro unidades representan la interfaz del usuario con el equipo de microondas, ya que a través de ellas podemos conectar la información a transmitir, así como de observar el estado que guarda el enlace. A continuación se describen cada uno de ellos.

### 2.2.1.Unidad de Modem.

La Unidad de Modem ó MMU es la tarjeta que se encarga de recibir en primera instancia la señal de tráfico que va a ser transmitida a través del enlace. Esta unidad además de multiplexar las señales de tráfico, para obtener una trama única, también se encarga de modularla y así subirla a través del cable coaxial hasta la unidad de radio como una señal de frecuencia intermedia (FI).

Considerando que la comunicación en un enlace es bidireccional, también la unidad de modem recibe la señal de tráfico de la unidad de radio para procesarla y entregarla como la señal de recepción haciendo el proceso inverso que en la señal de transmisión, es decir, demodulación y demultiplexación.

La figura 2.6 ilustra físicamente la forma de la unidad de modem. En la parte central contiene una pantalla (1) para visualizar la frecuencia, la potencia, el nivel de recepción y las alarmas del enlace. El conector de tráfico (2) está ubicado en el lado izquierdo del frente de la tarjeta, mientras que el cable coaxial se conecta en el extremo derecho (3) junto al conector de alimentación (4).

Existen cuatro tipos de MMU, que se diferencian por la capacidad de tráfico que manejan cada una de ellas, como se ilustra en la tabla 2.2. Así se tiene la MMU 2x2 que maneja dos señales tributarias de 2 Mbps como capacidad máxima de tráfico, la MMU 4x2/8 puede transportar cuatro de 2 Mbps ó bien una de 8 Mbps, la MMU 2x8 lleva hasta dos tributarias de 8 Mbps y finalmente la MMU 34+2 que trabaja con una de 34 Mbps y otra de 2 Mbps; sin embargo, esta última puede transportar diecisiete de 2 Mbps conectándola con una SMU 16x2 como se verá más adelante.

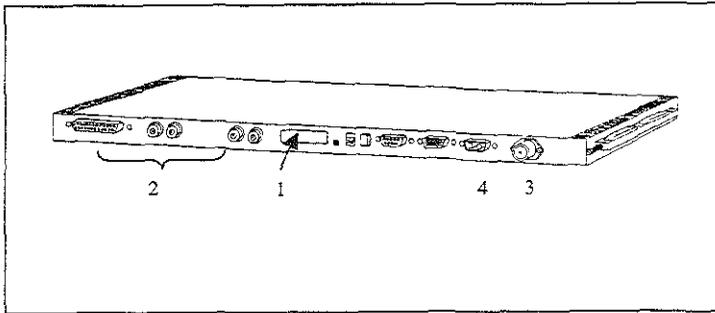


Figura 2.6. Unidad de Modem.

Tipo de MMU	Capacidad de Tráfico
MMU 2x2	2 de 2Mbps
MMU 4x2/8	4 de 2Mbps
MMU 2x8	8 de 2Mbps
MMU 34+2	17 de 2Mbps

Tabla 2.2. Tipos de MMU

### 2.2.2. Unidad de Conmutación y Multiplexaje.

La Unidad de Conmutación y Multiplexación (SMU por sus siglas en inglés de Switch Multiplexer Unit) se utiliza para enlaces en configuración 1+1, debido a su función de conmutado. (figura 2.7).

Un sistema o enlace en configuración 1+1 significa que la SMU se conecta a dos MMU con su respectiva RAU, con la finalidad de tener un enlace disponible en caso de que uno llegara a fallar, logrando así mayor confiabilidad en el enlace. De esta manera la SMU puede conmutar el tráfico a la MMU del enlace que se encuentra en buenas condiciones.

La SMU recibe el tráfico del usuario que será enviado a través del enlace, canalizándolo a cualquiera de las dos MMU que tiene conectadas a su salida. La selección de la MMU, que transportará el tráfico, va de acuerdo al estado en que se encuentra cada una de ellas en ese momento, lo anterior tiene mucha relación con el BER (Bit Error Rate, tasa de bits erróneos) entregado por cada *hop* o enlace, así el enlace con el BER más bajo será el que transportará el tráfico.

Existen tres tipos de SMU de acuerdo a la tabla 2.3. La SMU Sw (Switch) tiene las interfases de tráfico en la parte frontal, estas interfases en sus diferentes capacidades de 2, 8 ó 34 Mbps, como se puede observar en la figura 2.7. De esta manera la SMU Sw puede acoplarse a las diferentes MMU disponibles para trabajar como un conmutador exclusivamente.

La SMU 8x2 solamente trabaja con las Unidades de Modem 2x8 debido a que esta MMU no tienen entradas para tributarias de 2 Mbps sino sólo de 8 Mbps. En esta situación la SMU funciona como un Multiplexor de ocho flujos de 2 Mbps los cuales son agrupados para obtener dos tributarias de 8 Mbps y así poder inyectarlas a la MMU 2x8. Lo mismo sucede para la SMU 16x2, solamente que ésta lo hace con la MMU 34+2 con la diferencia que aquí se insertan dieciseis de 2 Mbps agrupados en un solo flujo de 34 Mbps.

El tráfico que sale de las SMU se canalizan a sus respectivas MMU a través del circuito impreso o *back plane* proporcionado por el Magazin del Módulo de Acceso en cada sitio. Es importante señalar la funcionalidad de Multiplexación que tiene la SMU se utiliza como: un conmutador, un multiplexor a ambas cosas.

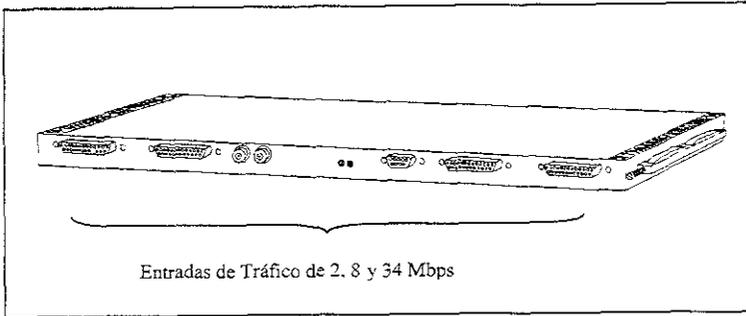


Figura 2.7. Unidad de Conmutación Sw

Tipo de SMU	Capacidad de Tráfico
SMU Sw	2X2, 4x2, 8, 2x8, 34+2.
SMU 8x2	8x2
SMU 16x2	17x2

Tabla 2.3. Tipos de SMU

### 2.2.3. Unidad de Acceso y Servicio.

La Unidad de Acceso y Servicio (SAU Service Access Unit) tiene dos funciones principales, una de ellas es unir todos los enlaces de mini link de una red, con el objeto de transferir alarmas y datos del estado de cada uno de ellos hacia un punto central para facilitar su mantenimiento. Por otro lado, la unidad también proporciona una interfaz para conectar un teléfono

de servicio en cada sitio para comunicarse con el personal de mantenimiento que labora en otro sitio.

Una tarjeta de acceso SAU se instala para cada enlace de microondas. es así como esta unidad contiene toda la información de mantenimiento relacionada con cada enlace. Para poder transferir la información de mantenimiento de un enlace hacia otro, se deben interconectar las SAU de cada enlace por medio de su interfaz RS-232. Sin embargo, si dos MMU de dos enlaces diferentes coinciden en un mismo sitio y a su vez están instaladas en un mismo magazin, entonces no requerirán tarjetas SAU para compartir la información de mantenimiento de cada uno.

Así, la SAU se requiere para unir dos magazines en un sitio, por lo tanto, sólo una SAU se coloca en cada magazin y manejará la información de mantenimiento de los enlaces instalados en ese magazin en particular.

Cuando se utiliza la SAU para conectar el teléfono de servicio se debe instalar invariablemente una SAU en cada extremo del enlace o bien una SAU con teléfono de servicio por sitio.

Existen tres tipos de SAU: la Básica, la Expansión 1 y la Expansión 2. La SAU Básica se emplea para acceso solamente, la SAU Expansión 1 que además de usarse para acceso también proporciona dos canales digitales de servicio para poder enviar cualquier información que se desee a través del enlace con una capacidad de 64 kbps cada uno, por último, la SAU Expansión 2 es muy similar a la Expansión 1; con la diferencia de que sólo tiene un canal digital y uno analógico para el teléfono de servicio.

Las tres SAU cuentan también con una interfaz, de reelevadores y adaptadores, donde se puede extraer las alarmas que existen en el enlace y conectar alarmas externas del sitio para visualizarlas tanto local, como remotamente, todo ésto para facilitar el trabajo de mantenimiento del mini link en el propio sitio

La figura 2.8 muestra la parte frontal de la SAU expansión 2, donde se observan las interfases de acceso (1), el conector RG11 para el teléfono analógico de servicio (2), una interfaz digital para transmisión de datos al sitio remoto (3) y por último un conector DB25 (4) donde son extraídas las alarmas generadas localmente para conectarlas a un panel luminoso, también en éste conector sirve de acceso a las alarmas externas que son

ajenas al enlace de microondas, como la falla de la red eléctrica en el sitio, la intrusión al contenedor, entre otras.

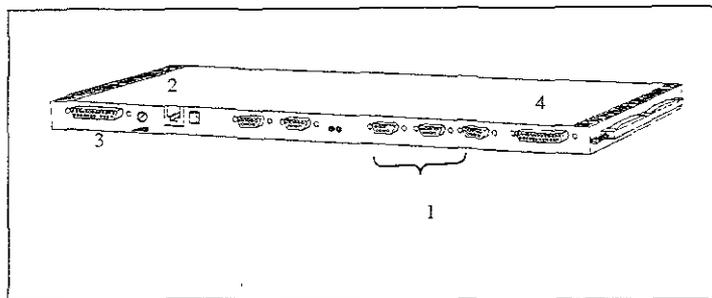


Figura 2.8. SAU Expansión 2

#### 2.2.4. Magazin de Acceso.

El magazin de módulo de acceso (AMM Access Module Magazine) se utiliza para alojar las diferentes tarjetas con que puede contar un enlace de microondas con equipo mini link (figura 2.9).

Hay tres tipos de AMM como puede observarse en la tabla 2.4. El AMM 1U tiene la capacidad de sólo una tarjeta MMU, el AMM 2U-3 permite la instalación de cuatro tarjetas: una SAU, dos MMU y una SMU, por último el magazin AMM 4U, el cual es el más grande, ya que se le pueden colocar siete tarjetas: una SAU, cuatro MMU y dos SMU.

No es necesario llenar cada uno de los magazines para armar un enlace, pero si es importante colocar cada tarjeta en su ranura correspondiente en el magazin, de lo contrario; el enlace tendrá problemas.

Los magazines AMM 2U-3 y AMM 4U tienen una tarjeta de circuito impreso (backplane) que sirve para transferir información de mantenimiento

entre MMU-SAU alojadas en él y el tráfico de la SMU a cada una de las MMU en un enlace protegido 1+1.

Tipo de Magazín	Capacidad de Tarjetas
AMM 1U	1MMU
AMM 2U-3	1SAU + 2MMU + 1SMU
AMM 4U	1SAU + 4MMU + 2SMU

Tabla 2.4. Tipos de Magazines de Acceso

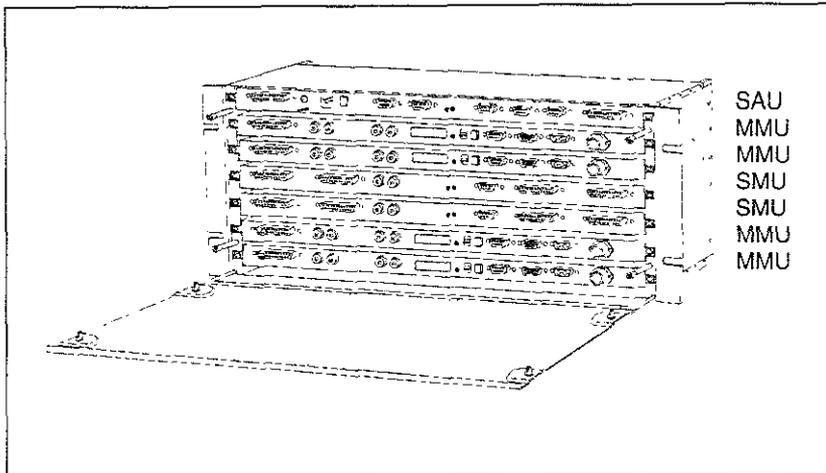


Figura 2.9. AMM 4U

### 2.2.5. Accesorios internos.

El mini link 7E cuenta con una gran variedad de accesorios ubicados en el interior del sitio para ayudar a que la eficiencia del enlace se incremente (figura 2.10). Uno de estos accesorios es la interfaz desbalanceada de 2 Mbps. Es desbalanceada porque tiene conectores para tráfico con cable coaxial de  $75 \Omega$ , sin derivación a tierra. Esta interfaz permite el arreglo correcto y estético de los cables de las tributarias que en ocasiones son demasiados. Además de permitir el acoplamiento de impedancias de las tributarias con la MMU, donde la primera es de  $75 \Omega$  usualmente y la segunda siempre es de  $120 \Omega$ .

Por otra parte, también existen ventiladores de aire y equipo de enfriamiento para los sitios que tienen gran cantidad de equipamiento de tarjetas que generan grandes cantidades de calor. Estos sistemas ayudan a prolongar la vida útil de las tarjetas evitando su desgaste por calentamiento.

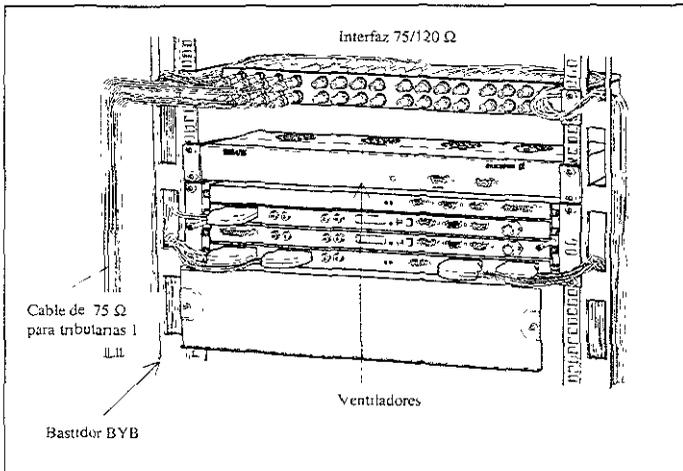


Figura 2.10. Accesorios internos.

Para colocar varios magazines del mini link 7E se puede emplear el bastidor BYB contemplado en la lista de accesorios, el cual cumple con el estándar europeo ETSI de 19 pulgadas de ancho y que es adaptable con otros sistemas de telecomunicaciones instalados en el propio sitio.

### **2.3. Estructura de una red de Mini Link 7E.**

La red de Mini Link 7E está constituida por una gran cantidad de enlaces que cubren un área extensa similar a la de un país (figura 2.11). Estos enlaces pueden ser configurados sin protección (1+0) para casos en donde el tráfico no sea tan importante o no exista riesgo de que el enlace se pueda caer. Sin embargo, existen puntos donde se debe de asegurar la confiabilidad de nuestro enlace, por ejemplo: en sucursales bancarias donde se manejan datos extremadamente costosos, es aquí entonces, donde se emplean las configuraciones con protección (1+1).

Un ejemplo muy práctico de red de Mini Link es el empleado en la telefonía celular, donde todas las celdas están conectadas entre sí mediante enlaces de microondas y éstas a su vez a la central telefónica. El empleo de Mini Link 7E en celular es muy grande debido a su fácil y rápida instalación y mantenimiento.

En una red de Mini Link 7E la transferencia de información de mantenimiento es muy importante ya que ésta nos asegura el buen funcionamiento de cada uno de los enlaces en la red y por consiguiente de cada uno de los sitios que constituyen la red. Para lograr la transferencia de información de mantenimiento a través de los enlaces y concentrarla en un punto central de supervisión, se requiere como ya se vió anteriormente, de tarjetas de acceso y servicio SAU.

El centro de supervisión es el lugar donde converge toda la información de mantenimiento de la red, la información de mantenimiento se compone principalmente de: alarmas, datos de los parámetros ajustados y cantidad de equipamiento en cada sitio de la red. Toda la información de mantenimiento llega a un servidor instalado en el centro de supervisión, el servidor tiene un software de supervisión de Mini Links para visualizar toda la información que llega de la red, este software es el Netman y es una herramienta verdaderamente importante para esta tarea.

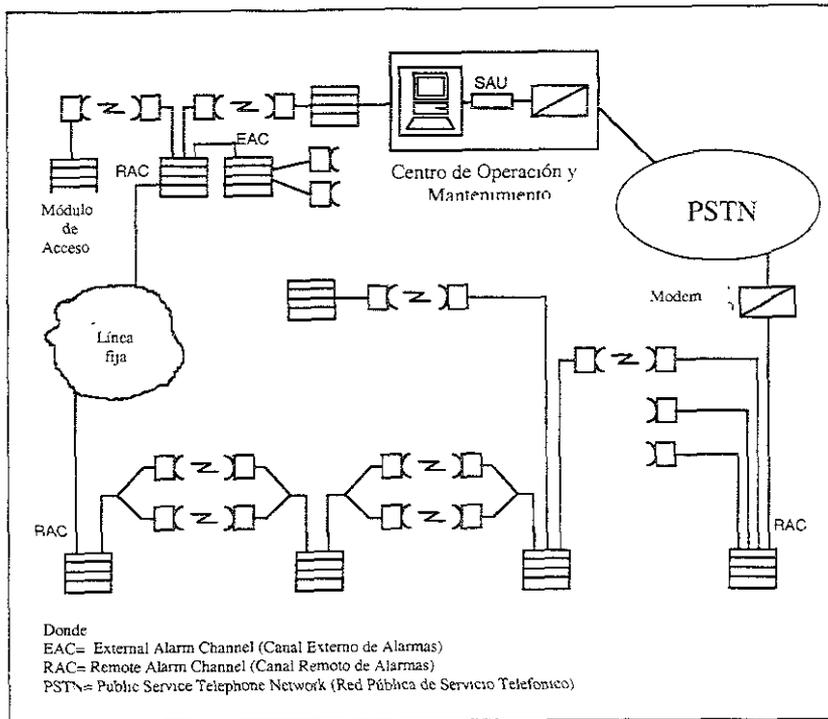


Figura 2.11. Ejemplo de una red de mini link.

El Netman es un programa elaborado exclusivamente para supervisar mini links, este software funciona en un servidor con Windows NT. El programa trabaja dividiendo a la red de mini links en diferentes sub-redes, cada una con aproximadamente cien enlaces, cada sub-red transfiere la información de mantenimiento al servidor utilizando el protocolo TCP IP y SNMP para la transferencia de datos en una red.

### 2.3.1. Terminales de red.

Una terminal es un extremo del radio-enlace de microondas ubicado en la zona geográfica de la red<sup>3</sup>.

Normalmente, una terminal es el punto donde se insertan y se extraen las tributarias de tráfico del usuario para ser transportadas a través de la red de microondas; sin embargo, existen también terminales que funcionan como repetidores, en los cuales no se extrae ni se inserta el tráfico sino que se enruta hacia otra terminal para transportarlo hacia otro lugar.

Las configuraciones de las terminales pueden ser con protección 1+1 ó sin protección 1+0 y depende, *sin duda de la cantidad e importancia del tráfico que se maneja a través del enlace.*

#### 2.3.1.1. Terminal sin protección 1+0.

Una terminal sin protección es aquella que cuenta solamente con una tarjeta MMU de cualquier capacidad en su magazin, una Unidad de Radio con su correspondiente Módulo de Antena y un cable de Radio; todo esto en cada extremo del enlace.

El término 1+0 significa que existe un enlace trabajando entre dos sitios de una red con cero enlaces en espera o de protección.

La figura 2.12 ilustra claramente los elementos básicos que se emplean en los enlaces mencionados dentro de toda una red de microondas.

---

<sup>3</sup> Ericsson Mini Link E. Planning and Engineering Manual Op Cit., p 3-5

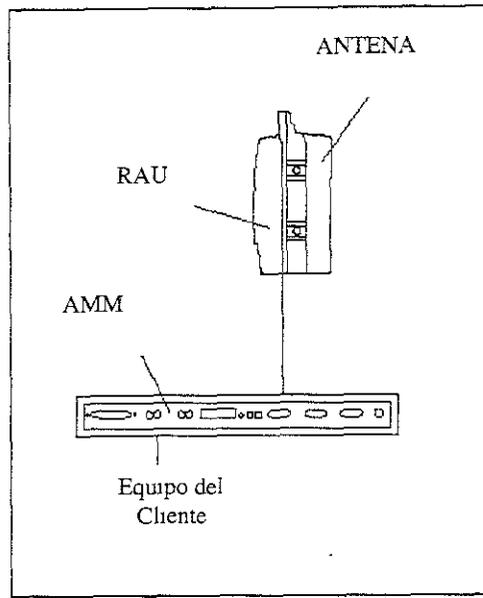


Figura 2.12. Terminal sin protección 1+0

### 2.3.1.2. Terminal con protección 1+1.

La terminal con una configuración 1+1 tienen en realidad dos enlaces que unen dos sitios dentro de toda una red de microondas; en otras palabras, para armar una terminal con protección se deben duplicar cada uno de los componentes del enlace, pero además se añade una tarjeta SMU para hacer el trabajo de seleccionar el enlace que va a trabajar.

En esta estructura, por consiguiente, se puede tener un enlace trabajando o transportando el tráfico y otro permanece en espera y sólo funcionará

cuando el otro falle. Sin embargo, en la actualidad se pueden emplear los dos enlaces para transportar el tráfico simultáneamente y sólo uno se selecciona para obtener la recepción, de esta forma se dispone de la protección mucho más rápido que si permaneciera apagado.

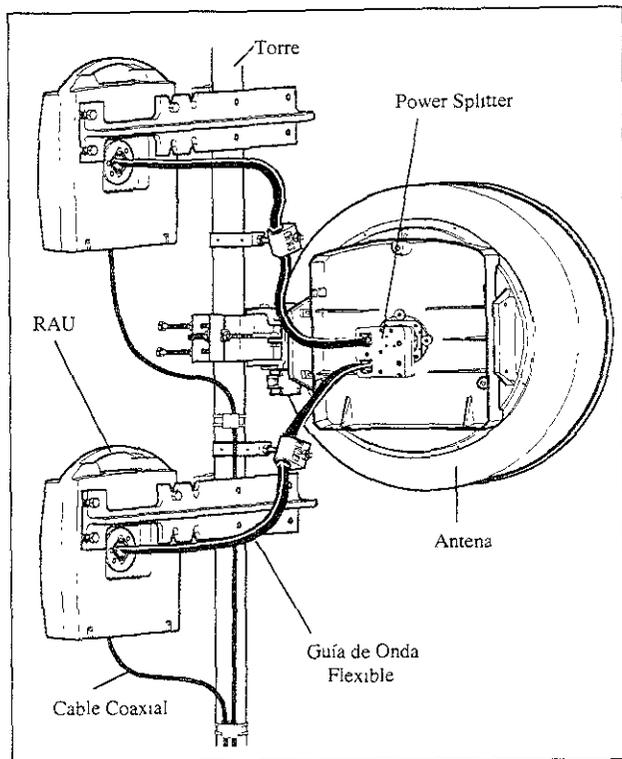


Figura 2.13. Terminal con protección 1+1.

Cuando se utilizan ambos enlaces para transportar el tráfico de forma simultánea se tienen dos opciones: la primera es cuando sólo una unidad de radio transmite y dos reciben en cada extremo, además se emplea sólo una

frecuencia de transmisión; la segunda opción es cuando las dos unidades de radio en cada sitio transmiten y reciben, utilizando dos frecuencias de transmisión diferentes. A estos dos modos de transmisión se le conocen como: *Hot-standby* y *Working-standby* respectivamente.

Otra característica muy importante de este tipo de configuración de terminal es que se puede instalar sólo un módulo de antena para las dos Unidades de Radio en cada sitio, colocando el *power splitter*, como se puede observar en la figura 2.13. Lo anterior es muy práctico y comúnmente utilizado para sitios donde la torre está muy saturada de antenas y no hay suficiente espacio para colocar otras dos.

### 2.3.1.3. Terminal sin protección 2+0.

La terminal sin protección 2+0 se considera cuando se tienen dos enlaces sin protección e independientes que unen dos sitios de la red, pero utilizando un módulo de antena común; ésto se logra con la ayuda de power splitter de polarización cruzada colocado en el módulo de antena.

Cada enlace transporta su tráfico en particular y diferente del otro enlace, así se pueden tener dos MMU con diferente capacidad en cada terminal y alojadas en el mismo Magazin de acceso. Es importante hacer notar que en un enlace de mini link se deben instalar las MMU de la misma capacidad en cada sitio, porque de lo contrario no se logrará la comunicación a través del mismo.

La estructura 2+0 es muy utilizada para lugares donde la capacidad de un enlace es insuficiente y en consecuencia se requiere la instalación de otro, empleando parte de la infraestructura existente en cada sitio. Es muy común en campo encontrar enlaces donde cada vez converge más tráfico y se hace necesario su crecimiento.

### 2.3.2. Módulo de Acceso a la red.

Para interconectar toda una red completa de enlaces de microondas con mini link 7E para el intercambio de *información de control y alarmas para* cuestiones de mantenimiento, se requiere de la tarjeta de Acceso y Servicio SAU, como ya se explicó anteriormente.

Los dos canales externos de alarmas permiten unir más de dos tarjetas SAU pertenecientes a diferentes Magazines. La conexión es en forma serial, es decir, el puerto EAC2 de la primera SAU se conecta directamente al EAC1 de la segunda SAU y si existiera en el sitio otro magazin con su respectiva SAU, ésta tercera se uniría a las otras dos conectando su canal EAC1 con el EAC2 de la SAU anterior.

Una vez que se han unido los magazines de diferentes enlaces que convergen en un sitio en particular, pueden intercambiar información de mantenimiento entre ellos. Siguiendo la técnica de conexión de los EAC, se puede crear el intercambio de información a través de toda la red de enlaces de microondas, sin embargo, la utilización del bus del EAC está limitado por su longitud debido a que es aproximadamente de 1200 metros o 32 puertos EAC a lo largo de él, esto restringe su utilización en un sitio exclusivamente.

Para contrarrestar esta limitante, existe otro puerto muy similar al EAC conocido como Canal de Acceso Remoto (RAC Remote Access Channel). Este canal se utiliza para interconectar un magazin de otro enlace de microondas que se encuentra alejado y aislado de la red de mini links, pero requiere de la ayuda de dos modems y una línea telefónica.

Es suficiente que un extremo del enlace de microondas se conecte al EAC para poder incorporarlo a la red. Así, el otro extremo queda supervisado debido al enlace de microondas; por lo tanto; se puede conectar otro magazin en el otro extremo de la red para quedar en cascada y lograr su enlace. Este tipo de conexión es muy útil cuando se instalan repetidores a lo largo de una trayectoria demasiado extensa.

En la figura 2.14 se muestra la interconexión de dos magazines del mini link 7E en un sitio a través del EAC, también se observan dos cosas muy importantes, un canal de Extensión del Canal Externo de Alarmas (BR/EAC: Branching External Alarm Channel) que es muy común en sitios

donde se encuentra el teléfono de servicio compartido por varios enlaces, por otra parte, también se observa la conexión de otro magazin de microondas con características diferentes, no obstante, utiliza el canal EAC.

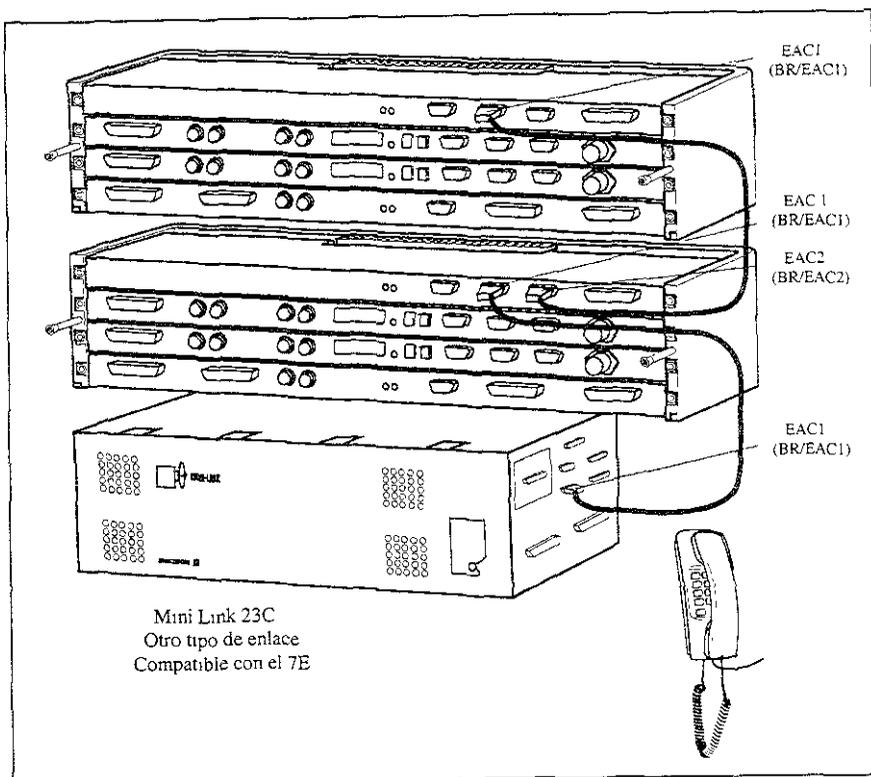


Figura 2.14 Conexión del Canal de Alarmas Externas

### 2.3.3. Sitio.

El sitio es la localización geográfica donde se encuentran las terminales de enlace de microondas con mini link. Las terminales comparten en el sitio algunos recursos como alojamiento, el abastecimiento de energía, el clima o aire acondicionado , entre otras cosas.

Los magazines de módulos de acceso pueden, pero no necesariamente, ser interconectados entre sí para construir una red de operación y mantenimiento, como se explicó en el punto 2.3.2. Lo anterior se ilustra claramente en la figura 2.15, donde se observa que en el sitio existen dos módulos de acceso con cuatro enlaces cada uno y que además están interconectados para la transferencia de la información de mantenimiento y operación.

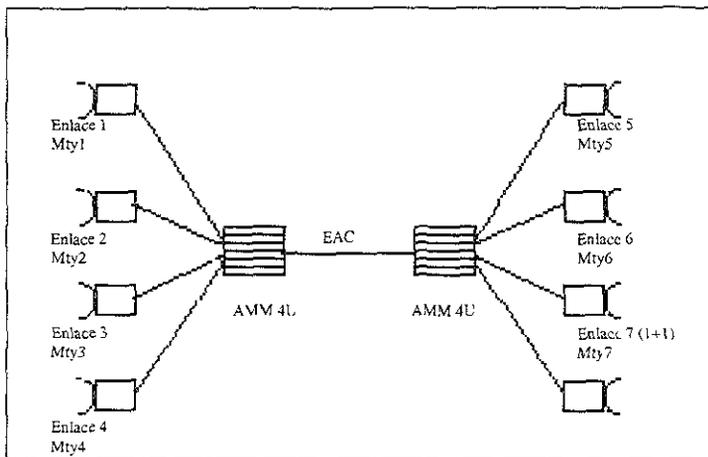


Figura 2.15 Sitio de un enlace de microondas.

Normalmente se asigna una identidad a cada terminal de un enlace con mini link, esta identidad se constituye de cuatro letras o números, siendo

mayúsculas o minúsculas. Por lo general, las tres primeras letras corresponden al nombre de la región en el país y el último dígito *corresponde al número del enlace que hay en ese sitio*. Ejemplo, para la ciudad de Monterrey su abreviación sería *mty* ó *MTY*; por lo tanto, se tendrían identidades como *mty1*, *mty2*, *mty3*, si en ese sitio existieran tres enlaces. Sin embargo, en Europa es común encontrar configuraciones donde al sitio se le identifica por números, siendo estos los tres primeros dígitos de la identidad, mientras que al enlace se le asigna una letra del alfabeto para completar los cuatro caracteres.

#### **2.3.4. El software Netman.**

El Netman es una herramienta de administración de red de microondas con mini link que se utiliza para centralizar la supervisión, operación y mantenimiento. El Netman provee una extensa cantidad de funciones para fallas y manejo de comandos de configuración de enlaces. Teóricamente el Netman no tiene limitaciones en el número de enlaces que puede administrar.

El Netman opera bajo la plataforma de Microsoft Windows NT 4.0 y una computadora personal estándar que funcione como servidor. Algunas de las funciones que se encuentran son: creación de la lista de los sitios que se encuentran en la red, estructurar sub-redes de mini links para acelerar el acceso a cada terminal, disponer de toda la configuración en frecuencia, potencia y capacidad de tráfico en cada terminal de la red, actualizar el software a cada terminal vía remota, manejo de alarmas y pruebas de mantenimiento correctivo.

En la primer columna de la figura 2.16 se muestra la lista de las identidades de todas las terminales que existen en una sub-red de microondas, y en el lado izquierdo, marcada con una sombra, la lista de las redes que constituyen toda la red, para este caso se tiene una sola red llamada Network . Por otra parte, la figura 2.17 ilustra la pantalla completa de un enlace seleccionado (esto se logra haciendo doble clic con el mouse de la computadora en la identidad), se *aprecia en forma amigable la antena y cada una de las unidades que constituyen el enlace, con toda la información de los parámetros transmisión y recepción.*

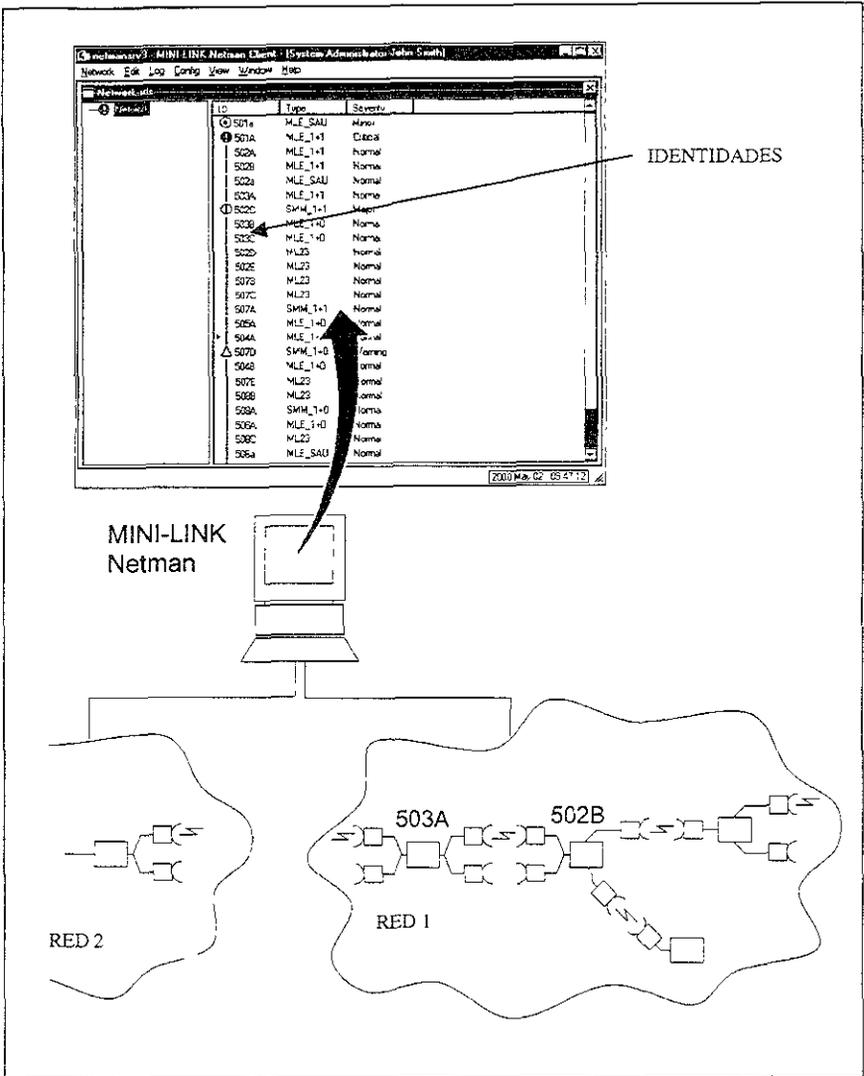


Figura 2.16. Administrador de Elementos en Red, Netman.

Para apoyar al mini link existe el MSM (Mini Link Service Manager Administrador de Servicio a Mini Links), el cual se encarga, al igual que el Netman, de gestionar una red de mini links constituida de hasta cien enlaces o doscientas terminales con su respectiva identidad, además de proporcionar las herramientas necesarias para la instalación y puesta en servicio de un enlace en forma local sin la necesidad de llevar el Netman hasta el sitio de la instalación.

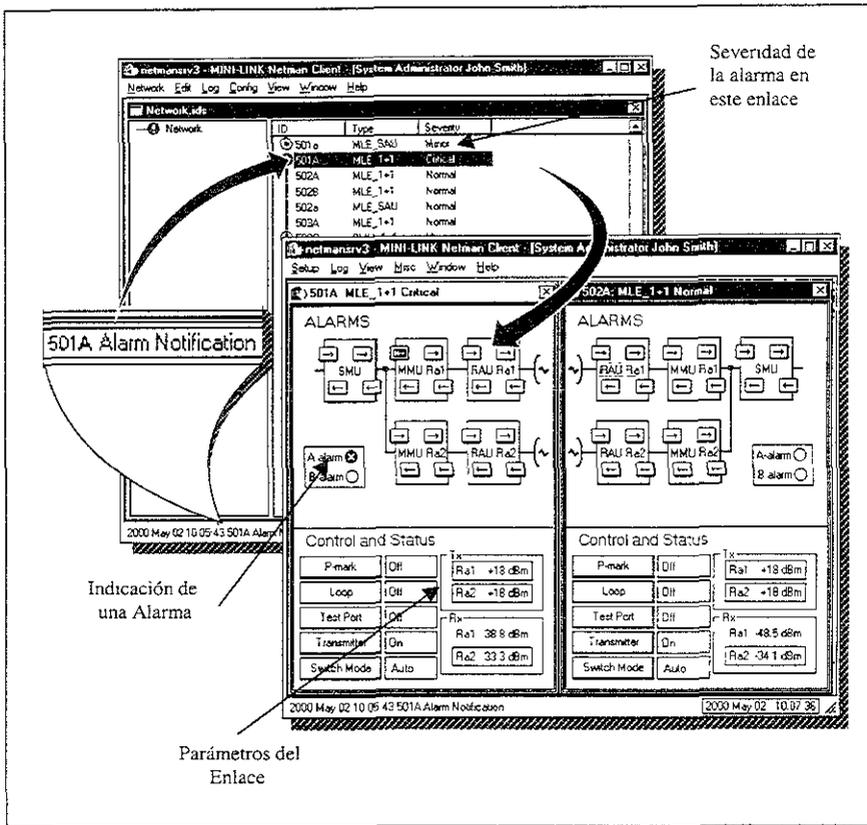


Figura 2.17. Ventana de un enlace de mini link en el Netman.

## CAPITULO III

### ANALISIS DESCRIPTIVO DEL PROCESAMIENTO DE LOS DATOS EN EL MINI LINK 7E

La principal señal de información que se maneja en un enlace de microondas con el mini link 7E es el tráfico del usuario y es a la vez la única razón y objetivo del enlace de microondas, transportar los datos desde un punto a otro con la calidad y confiabilidad requerida por el cliente y exigida por los estandares internacionales, son en realidad, el sentido de la existencia de un enlace de microondas. Las tributarias o señales de tráfico son proporcionadas por el mismo cliente en un formato estándar conocido como E1 de 2.048 Mbps, el cual se transporta a través del espacio al extremo remoto del enlace donde se recibido con las mismas características con que se conectó al equipo de microondas.

El minilink es en realidad solo un medio de transporte que enlaza dos puntos extremos utilizando, para tal fin, un medio como el aire y las microondas.

Además del tráfico, dentro del mini link, se utilizan otras señales necesarias para controlar el traslado de los datos, estas señales son: comandos de instrucción y alarmas, donde las primeras se utilizan para el control de los módulos en el enlace y las segundas son señales indicativas utilizadas para avisar que algún módulo o etapa del sistema de microondas está trabajando de forma anormal. Tanto los comandos de control como las alarmas son necesarias para garantizar que el trabajo de todos los módulos dentro del equipo de microondas sea el adecuado y en consecuencia la señal de tráfico llegue a su destino de una forma segura y correcta.

Existe una cuarta señal que utiliza el mini link para su alimentación, que sin su existencia sería imposible su funcionamiento, esta señal es de corriente directa y energiza cada uno de los módulos que se encuentran dentro del sistema de microondas. Este voltaje de alimentación es proporcionado por sistemas de suministro externos al enlace, normalmente pueden ser de +24

voltios cuando el *mini link* se coloca en una radiobase, o bien de  $-48$  voltios cuando se instala en una central telefónica.

En este capítulo se analizará el procesamiento de la señal de tráfico o datos dentro de todas las etapas y módulos del *mini link* en un enlace de microondas, así como la utilización de las otras tres señales involucradas para tal fin. El análisis será desde el momento en que los datos se conectan a la unidad de Modem, su paso por el cable de radio, su procesamiento en la unidad de Radio hasta llegar a la antena parabólica, analizando las etapas de multiplexación, codificación y modulación de los datos.

De esta manera, también se analizarán los datos en la forma inversa, es decir, en la etapa de recepción, desde su llegada a la antena, su detección en la RAU, su bajada por el cable de radio, la entrada a la MMU y finalmente la forma en que se entregan al usuario final.

La forma de abordar este análisis será con la ayuda de los diagramas de bloques de cada uno de los módulos que constituyen el sistema de microondas, que son obviamente proporcionados por el fabricante europeo Ericsson, así mismo, con las mediciones realizadas con un osciloscopio y un analizador espectral apeándonos a las recomendaciones de la ITU-T.

### **3.1.Unidad de Modem.**

Las MMUs comprenden los bloques funcionales mostrados en las figuras 3.1 y 3.2. Para el primer caso se observan las interfases de tráfico, el multiplexor, el demultiplexor del tráfico y canales de servicio, el modulador, el demodulador de la trama para el radio, la interfaz del cable coaxial que va a la RAU, el procesador de control y supervisión y finalmente el convertidor de DC/DC. Mientras que para la MMU 4x2 se agrega una tapa de multiplexaje y demultiplexaje de 2/8.

En lo subsecuente se tratarán las funciones y características de cada uno de estos bloques, así como el procesamiento que cada uno de ellos desempeña en los datos en el *mini link*.

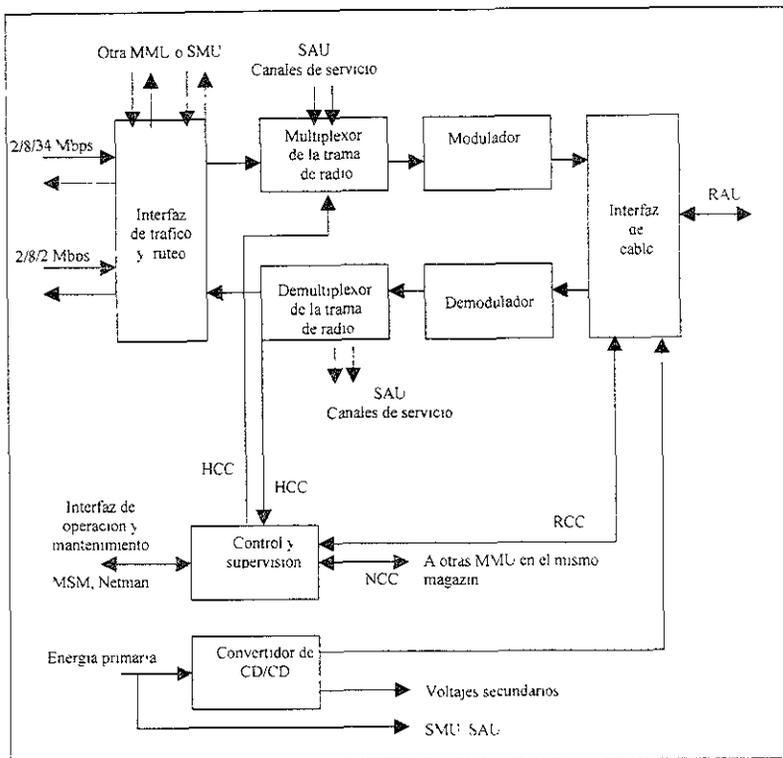


Figura 3.1. Diagrama a bloques de las MMU's 2x2, 2x8 y 34+2.8

<sup>8</sup> Ericsson. Mini Link Technical Description Sweden 1999, p 49

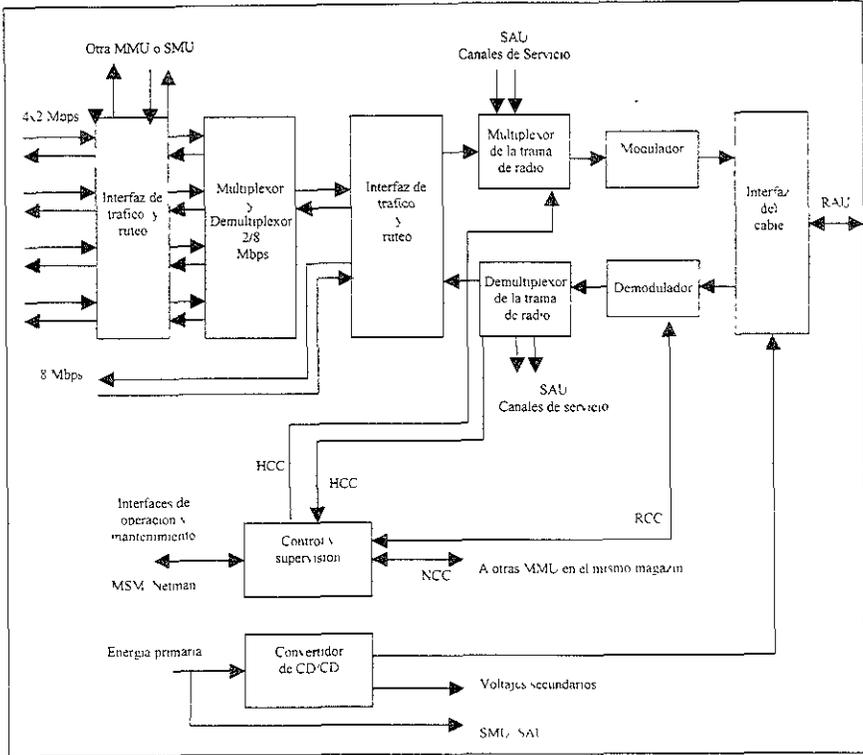


Figura 3.2. Diagrama a bloques de la MMU 4x2/8

### 3.1.1 Tributarias de Tráfico.

A continuación se analizarán las características de las señales de tributarias con velocidades de 2.048, 8.448 y 34.368 Mbps de acuerdo a las recomendaciones G.703, G.704, G.742 y G.751 de la ITU-T.

#### 3.1.1.1 Interfaz a 2.048 Mbps.

La longitud de trama básica de 2.048 Mbps está formada por 256 bits, numerados del 1 al 256 y agrupados en octetos o canales de 64 kbps. La frecuencia de repetición de la tributaria es de 8000 Hz, además con un código de línea HDB3 (bipolar de alta densidad de tercer orden).<sup>9</sup>

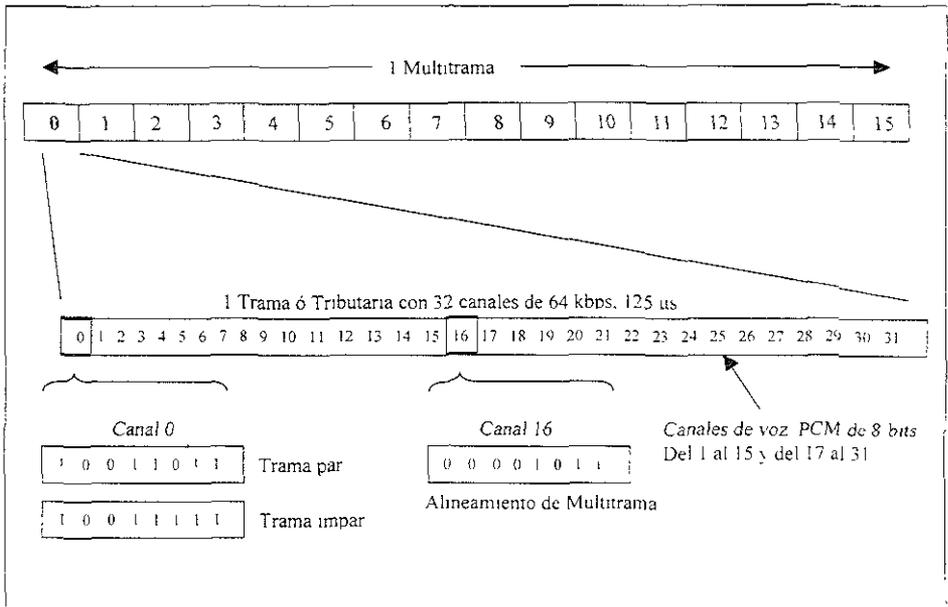


Figura 3.3. Estructura de una Trama y Multitrama para una interfaz de 2.048 Mbps

<sup>9</sup> ITU-T G 704 Physical/electrical characteristics of hierarchical digital interfaces Helsinki 1998

La figura 3.3 muestra en síntesis la estructura de una tributaria de 2.048 Mbps con sus 32 canales de 8 bits cada uno, los cuales se repiten cada 125  $\mu$ s ó cada 8000 Hz. además de que la figura ilustra un grupo de 16 tramas que conforman una Multitrama.

*El canal 0 de cada trama está destinado exclusivamente a la alineación de la trama, contando para ésto con dos octetos básicos que indican si la trama es par o impar, estas dos palabras de 8 bits son muy importantes para mantener la sincronía entre el receptor y el transmisor en el sistema de comunicación. Cabe hacer mención que el octeto que indica trama impar puede variar su sexto bit más significativo, debido a que es común su utilización para indicar una alarma de pérdida de alineamiento de trama, si éste bit es un UNO lógico indica tal situación.*

Por otra parte, en la trama CERO de una multitrama el canal 16 sirve para cuestiones de alineamiento de multitrama indicando cuando comienza ésta. Su combinación es practicamente la que se muestra en la figura 3.3; sin embargo, cuando por alguna causa se pierde la alineación del comienzo de la multitrama el receptor envía un estado lógico UNO en el tercer bit más significativo del octeto indicando así la alarma. Es importante remarcar que esta palabra de alineamiento de multitrama solamente se inserta en la trama cero de una multitrama, porque en las 15 tramas restantes este octeto se utiliza principalmente para señalar el estado de los 30 canales de voz a lo largo de la trama.

Los canales sobrantes en una trama se utilizan para transportar canales de voz digitalizados previamente, mediante el proceso PCM (Pulse Code Modulation, Modulación por pulsos codificados) de 8 bits. Estos octetos se repiten a una frecuencia de 8 kHz por lo que la velocidad de transmisión por canal es de  $8 \text{ bits} \times 8 \text{ kHz} = 64 \text{ kbps}$ .

Todos los bits en una trama se codifican empleando el código de línea HDB3 para tal fin, donde los bits UNO binario se representan generalmente por impulsos alternados positivos y negativo, y los bits CERO binario por espacios sin polaridad; sin embargo, se establecen excepciones, especificadas en los distintos códigos, para el caso de cadenas de bits CEROS consecutivos en la señal binaria.<sup>10</sup>

<sup>10</sup> ITU-T Recomendación G 701 the modified alternate mark inversion codes Término 9005

Cada bloque de tres o cuatro CEROS consecutivos se reemplazan por 000V (cero, cero, cero, violación) donde, V representa una violación al código AMI (Alternate Mark Inversion, inversión de marcas alternadas) de esta manera insertando bits de violación y alternando su polarización se evita la componente de corriente continua en la tributaria, tal y como se muestra en la figura 3.4.

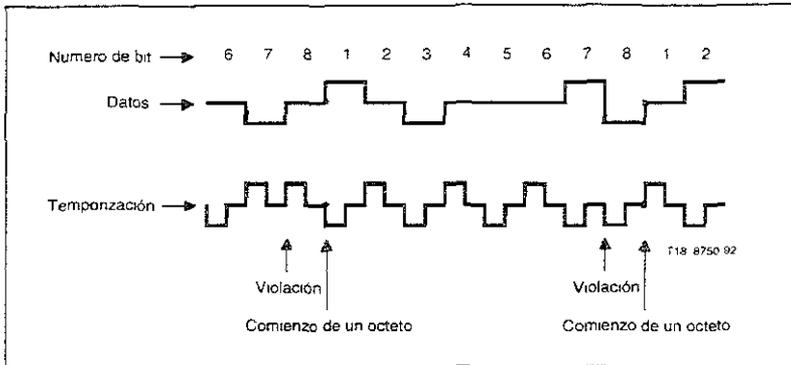


Figura 3.4. Código de línea HDB3.

Finalmente y según la recomendación G.703, la cual indica que a la entrada y salida del sistema de microondas, el pulso debe tener las características mostradas en la figura 3.5 y detalladas en el cuadro 3.1 para asegurar la inmunidad adecuada contra las reflexiones de señales que puedan producirse en el interfaz debido a irregularidades de impedancia entre los repartidores digitales del cliente y los accesos de entrada y salida del equipo de microondas, por lo tanto, los accesos de entrada y salida deberán cumplir los siguientes requisitos:

Contemplar una impedancia nominal de  $75 \Omega$  para la interfaz de pares coaxiales o bien de  $120 \Omega$  para la interfaz de pares simétricos, además de

aterrizar el conductor exterior del par coaxial o el blindaje del par simétrico.<sup>11</sup>

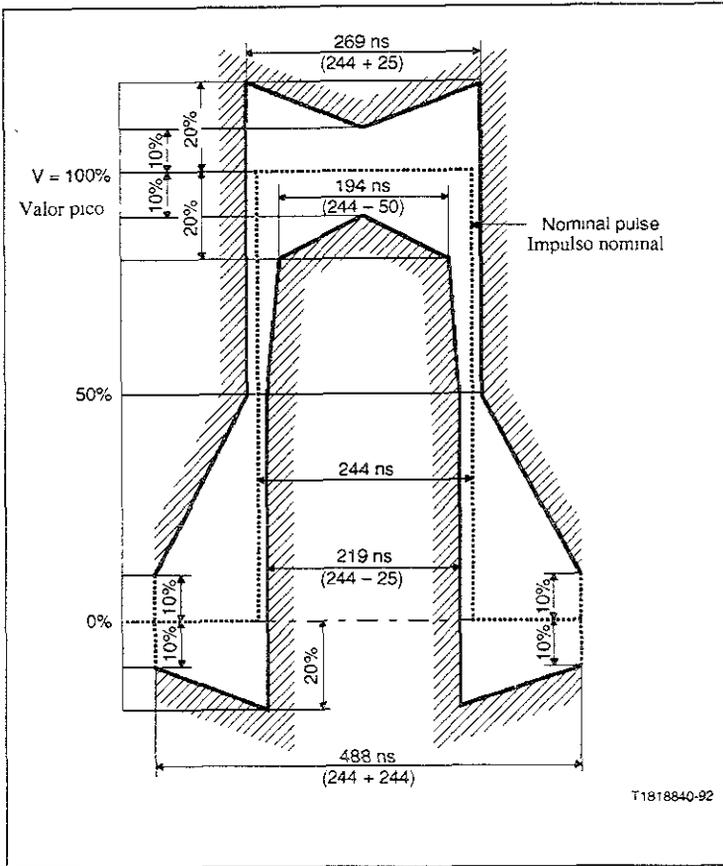


Figura 3.5. Plantilla para el impulso de una interfaz a 2.048 Mbps

<sup>11</sup> ITU-T G 703 Physical/electrical characteristics of hierarchical digital interfaces. Helsinki, 1998.

Forma del impulso (forma nominal rectangular)	Todas las marcas de una señal deben ajustarse a la plantilla (figura 15-G.703) independientemente del signo. El valor $V_c$ corresponde al valor nominal de $V_{cr}$ .	
Partes en cada sentido de transmisión	Un par coaxial (véase el § 6.4)	Un par simétrico (véase el § 6.4)
Impedancia de carga de prueba	75 ohmios, resistiva	120 ohmios, resistiva
Tensión nominal de cresta de una marca (impulso)	2,37 V	3 V
Tensión de cresta de un espacio (ausencia de impulso)	$0 \pm 0,237$ V	$0 \pm 0,3$ V
Anchura nominal del impulso	244 ns	
Relación entre la amplitud de los impulsos positivos y la de los negativos en el punto medio del intervalo del impulso	De 0,95 a 1,05	
Relación entre la anchura de los impulsos positivos y la de los negativos en los puntos de semiamplitud nominal	De 0,95 a 1,05	

Cuadro 3.1 Especificaciones para los accesos de entrada y salida G.703.

### 3.1.1.2 Interfaz a 8.448 Mbps.

La señal de 8.448 Mbps se generan a través de la multiplexación de 4 tributarias de 2.048 Mbps, estructuradas en una trama de 848 bits, de éstos, 206 bits corresponden a cada una de las afluentes de 2.048 Mbps y los 24 bits restantes de la trama sirven para alineación de trama, bits de justificación e indicadores de alarma.<sup>12</sup>

<sup>12</sup> ITU-T G 742 Second order digital multiplex equipment operating at 8448 kbit/s and using positive justification 1993

De acuerdo a la recomendación G.742 de la ITU-T, la velocidad binaria nominal es de 8.448 Mbps con una tolerancia de  $\pm 30$  ppm (partes por millón), lo cual indica que puede sufrir variaciones de 30 bits por cada millón, por tanto, la cantidad de bits por trama puede variar hasta 1056 bits con el mismo periodo de 125  $\mu$ s, de aquí que a este tipo de señales se les conoce también como plesiócronicas o casi síncronas.

El cuadro 3.2 muestra la estructura para la señal de 8.448 Mbps de acuerdo a la recomendación G.742. Obsérvese que las 4 afluentes tienen una velocidad de 2.048 Mbps. La trama está dividida en cuatro grupos de 212 bits cada uno; nótese que en el grupo I los primeros 10 bits corresponden a la señal de alineación de trama con un formato fijo (1111010000). El bit 11 se utiliza para transmitir una indicación de alarma (UNO lógico) al equipo distante cuando se detectan condiciones de avería en el equipo local como: pérdida de alguna afluente de 2.048 Mbps o pérdida de la propia señal de 8.448 Mbps que se recibe, pérdida de la alineación de trama, entre otras; el bit 12 del grupo en cuestión está reservado para uso nacional, es decir, en un trayecto digital que atravesase una frontera con otro país, el valor de este bit se pone a UNO lógico.

Los bits de cada afluente se alternan formando subgrupos de 4 bits correspondientes a cada entrada de 2.048 Mbps, de esta forma hay 206 subgrupos de 4 bits cada uno repartidos en los cuatro grupos a lo largo de la trama de 8.048 Mbps, sin embargo, los 12 bits que faltan para completar los 848 de la trama son para el control de justificación y están al principio de los grupos II, III y IV.

Se considera pérdida la alineación de la trama cuando se reciban incorrectamente, en sus posiciones previstas, cuatro señales consecutivas de alineación de trama. Cuando ésto suceda, el dispositivo de alineación de trama deduce que se ha recuperado la alineación hasta que se detecte la presencia de tres señales consecutivas de alineación. Sin embargo, puede utilizarse cualquier estrategia adecuada, siempre que la calidad de funcionamiento obtenida sea por lo menos tan eficaz como la recomendada, en otras palabras, se puede ser más estricta la recuperación de la trama hasta que se reciban más de tres señales de alineación.

Velocidad binaria de los afluentes (kbps)	2048
Número de afluentes	4
Estructura de trama	Plan de numeración de bits
Señal de alineación de trama (1111010000)	Grupo I 1 a 10
Indicación de alarma destinada al equipo multiplexor distante	11
Bit reservado para uso nacional	12
Bits procedentes de los afluentes	13 a 212
Bits de control de justificación de los afluentes	Grupo II 1 a 4
Bits procedentes de los afluentes	5 a 212
Bits de control de justificación de los afluentes	Grupo III 1 a 4
Bits procedentes de los afluentes	5 a 212
Bits de control de justificación de los afluentes	Grupo IV 1 a 8
Bits procedentes de los afluentes	9 a 212
Longitud de la trama	848 bits
Bits por afluente	206 bits

Cuadro 3.2 Estructura de trama para la multiplexación a 8.448 Mbps.

Cuando se detecta la pérdida de alguna afluente de 2.048 Mbps a la entrada del multiplexor, los espacios asignados a este flujo son substituídos por una Señal de Indicación de Alarma (AIS Alarm Indicator Signal) de UNOS lógicos en toda la tributaria de 8.448 Mbps y el bit 11 es puesto en estado lógico de UNO también. De esta manera en el lado receptor, al momento de demultiplexar las 4 afluentes una de ellas solo dará como resultado la cadena de UNOS (AIS) indicando pérdida de la afluente en el lado del transmisor.

Por último, las características eléctricas de la señal de 8.448 Mbps se describen en el cuadro 3.3 para líneas coaxiales de transmisión y en la figura 3.6 se ilustra la plantilla que complementa los niveles eléctricos de la señal en base a la recomendación G.703 antes citada.

Forma del impulso (forma nominal rectangular)	Todas las marcas de una señal válida deberán ajustarse a la plantilla (figura 16), independientemente del signo
Par(es) en cada sentido de transmisión	Un par coaxial (véase 10.4)
Impedancia de carga de prueba	75 ohmios resistiva
Tensión nominal de cresta de una marca (impulso)	2.37 V
Tensión de cresta de un espacio (ausencia de impulso)	0 V $\pm$ 0,237 V
Anchura nominal del impulso	59 ns
Relación entre las anchuras de los impulsos positivos y la de los negativos en el punto medio del intervalo del impulso	De 0,95 a 1,05
Relación entre las anchuras de los impulsos positivos y los negativos para los puntos de semiamplitud nominal	De 0,95 a 1,05
Máxima fluctuación de fase cresta a cresta en un puerto de salida	Véase la cláusula 2/G.823

Cuadro 3.3. Especificaciones eléctricas para la interfaz a 8.448 Mbps.  
Recomendación G.703



### 3.1.1.3. Interfaz a 34.368 Mbps.

La señal de 34.368 Mbps de tercer orden, se genera a partir de la multiplexación de 4 afluentes de segundo orden a 8.448 Mbps. La estructura de la tributaria para este flujo comprende ahora 1536 bits, de los cuales 378 corresponden a cada una de las afluentes de 8.448 Mbps y además se conservan los 24 bits para alineación, bits de justificación e indicadores de alarma como en la trama de segundo orden.<sup>13</sup>

Velocidad binaria de los afluentes (kbps)	8448
Número de afluentes	4
Estructura de trama	Plan de numeración de bits
Señal de alineación de trama (1111010000)	Grupo I 1 a 10
Indicación de alarma destinada al equipo multiplexor distante	11
Bit reservado para uso nacional	12
Bits procedentes de los afluentes	13 a 384
Bits de control de justificación de los afluentes	Grupo II 1 a 4
Bits procedentes de los afluentes	5 a 384
Bits de control de justificación de los afluentes	Grupo III 1 a 4
Bits procedentes de los afluentes	5 a 384
Bits de control de justificación de los afluentes	Grupo IV 1 a 8
Bits procedentes de los afluentes	9 a 384
Longitud de la trama	1536 bits
Bits por afluente	378 bits

Cuadro 3.4 Estructura de trama para la multiplexación a 34.368 Mbps.

<sup>13</sup> ITU-T G 751. Digital multiplex equipments operating at the third order bit rate of 34 368 kbit/s and the fourth order bit rate of 139 264 kbit/s and using positive justification 1993

El cuadro 3.4 muestra la estructura para la señal de 34.368 Mbps de acuerdo a la recomendación G.751. La trama está dividida en cuatro grupos de 384 bits cada uno; al igual que en la trama de 8 Mbps en el grupo I los primeros 10 bits corresponden a la señal de alineación de trama con un formato fijo (1111010000). El bit 11 se utiliza para transmitir una indicación de alarma al equipo distante, el bit 12 está reservado para uso nacional. Los bits de cada afluente se alternan formando subgrupos de 4 bits correspondientes a cada entrada de 8.448 Mbps, de esta forma hay 378 subgrupos de 4 bits cada uno repartidos en los cuatro grupos a lo largo de la trama de 34.368 Mbps, sin embargo, los 12 bits que faltan para completar los 848 de la trama son para el control de justificación y están al principio los grupos II, III y IV.

Las características eléctricas de la señal de 34.368 Mbps se describen en el cuadro 3.5 para líneas coaxiales de transmisión y en la figura 3.7 se ilustra la plantilla que complementa los niveles eléctricos de la señal en base a la recomendación G.703 antes citada.

Forma del impulso (forma nominal rectangular)	Todas las marcas de una señal válida deberán ajustarse a la plantilla (figura 17G, *03) independientemente del signo
Par(es) en cada sentido de transmisión	Un par coaxial (véase el § 8.4)
Impedancia de carga de prueba	75 ohmios, resistiva
Tensión nominal de cresta de una marca (impulso)	1.0 V
Tensión de cresta de un espacio (ausencia de impulsos)	0 V $\pm$ 0.1 V
Anchura nominal del impulso	14.55 ns
Relación entre la amplitud de los impulsos positivos y la de los negativos en el punto medio del intervalo del impulso	D <sub>c</sub> 0.95 a 1.05
Relación entre la anchura de los impulsos positivos y la de los negativos, en los puntos de semiamplitud nominal	D <sub>c</sub> 0.95 a 1.05

Cuadro 3.5. Especificaciones eléctricas para la interfaz a 34.368 Mbps.  
Recomendación G.703

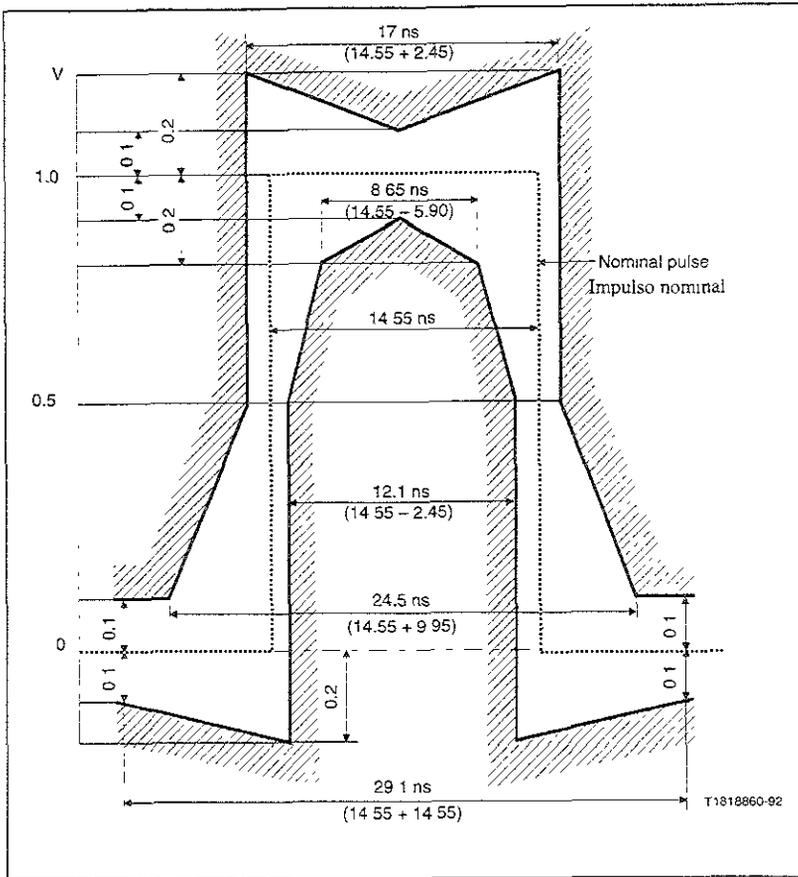


Figura 3.7. Máscara para el impulso de una interfaz a 34.368 Mbps.

### 3.1.2. Interfaz de tráfico y ruteo.

La interfaz de tráfico es un punto de conexión donde convergen las señales de tráfico del usuario. Tanto la entrada, como la salida de las señales se conectan en la parte frontal de la tarjeta MMU, luego son regeneradas y decodificadas de HDB3 a código NRZ (Non Return to Zero, no regreso a cero) para luego enrutarlas al multiplexor de la trama de radio. Si la MMU comparte el mismo AMM con otras unidades de modem, las señales de tráfico pueden ser traídas por el backplane desde una segunda MMU o bien desde una SMU, siempre y cuando estas tributarias correspondan a la misma velocidad binaria y capacidad de la MMU en cuestión.

El enrutamiento de tráfico entre MMU's del mismo magazin facilita la operatividad de enlaces de microondas con repetidor, porque no se requiere la conexión entre las partes frontales de cada MMU, sino que las tributarias pasan a través del backplane del magazin, disminuyendo de esta forma la utilización de cables para tributarias y la posibilidad de una interfaz desbalanceada de 2 Mbps.

La figura 3.8 ilustra la interfaz de tráfico y ruteo para las MMU's 2x2, 2x8 y 34+2, obsérvese que sólo existen dos conexiones bidireccionales por el frente de la tarjeta (lateral izquierda de la figura) para cualquier caso, porque para la MMU 2x2 serían dos de 2.048 Mbps, dos de 8.448 Mbps para la MMU 2x8 y finalmente para la MMU 34+2 sería una para la señal de 34.368 Mbps más otra para la señal de 2.048 Mbps. Además, nótese que la posible conexión de tráfico proveniente de otra MMU ó SMU a través del backplane (parte superior de la figura).

Para la MMU 4X2/8 (figura 3.9) se requieren 4 conexiones bidireccionales si trabaja con cuatro señales de tráfico de 2.048 Mbps o bien 4 accesos a través del backplane por si estas tributarias son enviadas desde otra MMU ó SMU que comparten el mismo magazin, estas tributarias se pasan a la segunda etapa del procesamiento que es un multiplexor de 2 a 8 Mbps para lograr una señal de 8.448 Mbps que se conecta a una segunda interfaz de tráfico y ruteo. Sin embargo, cuando se utiliza la MMU para una señal de tráfico de 8.448 Mbps, ésta se inserta directamente a la segunda interfaz de tráfico y ruteo. Hay que recordar que todas las tributarias son bidireccionales, es decir, que tienen dos cables de los cuales uno es para la transmisión y otro para la recepción.

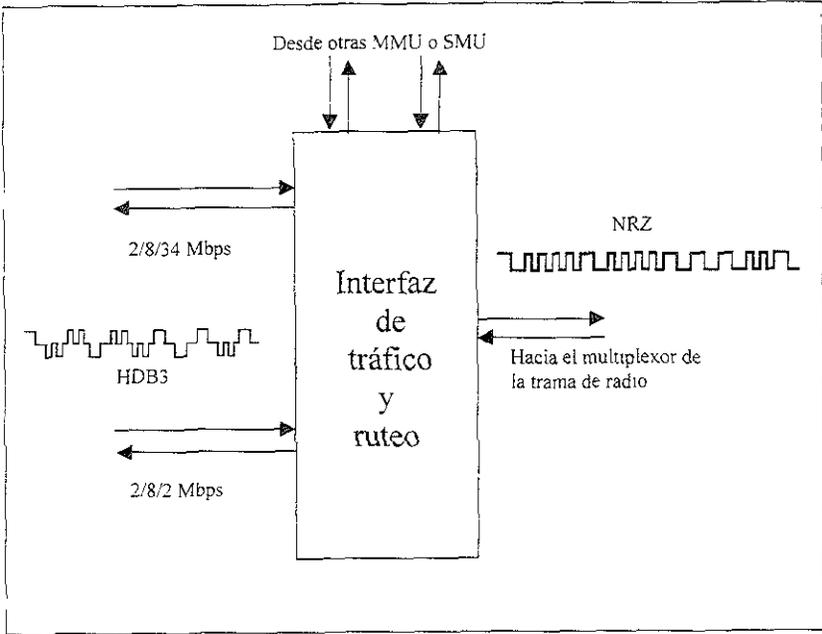


Figura 3.8. Interfaz de tráfico y ruteo para las MMU's 2x2, 2x8 y 34+2

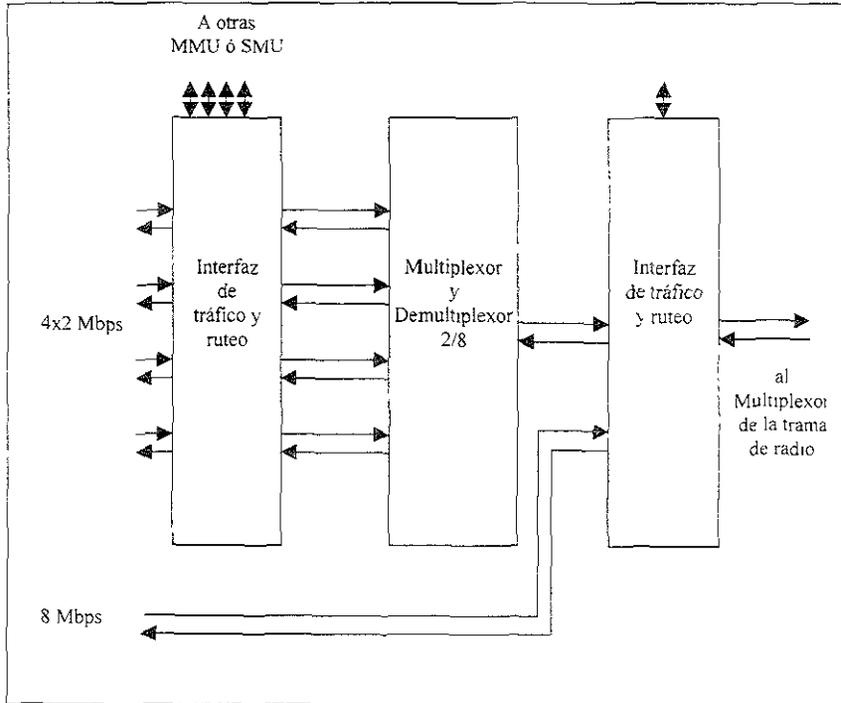


Figura 3.9. Interfaz de tráfico y ruteo para la MMU 4x2/82

### 3.1.3. Control y supervisión.

El sistema de control y supervisión está compuesto de un microprocesador ubicado en las unidades MMU, sus principales funciones son: recolectar alarmas de cada etapa de la MMU, establecer los parámetros del enlace y la ejecución de pruebas de rutinas para mantenimiento. Todas las fallas que se originan en el enlace son indicadas con un led rojo ubicado en el frente de la tarjeta MMU (véase la figura 3.10), sin embargo, si el enlace está trabajando en perfectas condiciones el led rojo se apaga y así permanece, mostrando la operación normal del equipo. El microprocesador envía los datos del estado del enlace al netman a través de un puerto de comunicación serial RS-232 de operación y mantenimiento) ubicado en el frente de la tarjeta MMU.

Los procesadores de las MMU colocadas en el mismo AMM están en constante comunicación a través de un canal de comunicación de nodo NCC (Node Communication Channel) proporcionado por el backplane del magazin. Por otro lado, la comunicación entre MMU de un enlace se logra mediante un canal especial a través del propio enlace de microondas, conocido como HCC de Hop Communication Channel. Estos canales de comunicación son importantes para el monitoreo de alarmas remotas, el intercambio de parámetros de ajuste en el enlace (como la frecuencia y potencia de transmisión y recepción en ambos extremos), además de la cantidad de equipo que existe en el extremo distante; sin embargo, el procesador de la MMU conoce estos parámetros siempre y cuando haya comunicación con el microprocesador de su RAU a través del RCC (Radio Communication Channel, Canal de Comunicación para el Radio), el cual es proporcionado por el cable coaxial que une la MMU con la RAU. Estos tres canales de comunicación se ilustran en la figura 3.11.

La comunicación a través del HCC se direcciona al multiplexor de la trama de radio para mezclarse con el tráfico que será enviado hasta la MMU remota, mientras que el NCC se conecta de forma local al backplane del AMM y *finalmente los datos que viajan por el RCC son apuntados hacia la interfaz del cable coaxial para que estos puedan llegar a la RAU.* Todos estos canales de comunicación son bidireccionales.

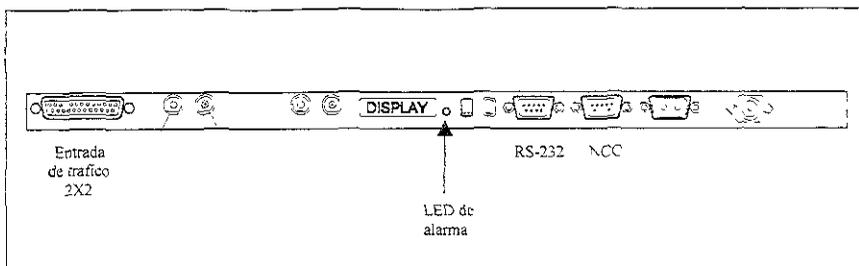


Figura 3.10. Frente de la MMU 2X2 mostrando el Led de alarma y la interfaz RS-232

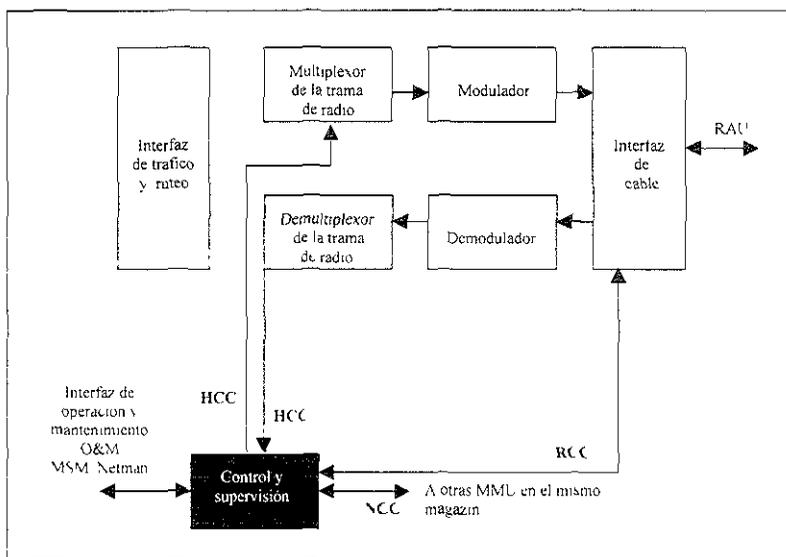


Figura 3.11. Canales de comunicación NCC, HCC y RCC

### 3.1.4. Multiplexor y Demultiplexor de la trama de radio.

La trama de radio es un flujo de datos único, derivado de tres diferentes tipos de señales unidas por un multiplexor, la cual se envía al otro extremo del enlace de microondas. Dichas señales son: El tráfico del usuario, la información de control del HCC y el canal de servicio de la SAU en caso de que esta última esté disponible en el enlace (ver figura 3.12).

Si hay ausencia de datos de tráfico en lugar de éste se envía una señal indicadora de alarma AIS de acuerdo a la recomendación G.703. El canal HCC se establece para el intercambio de control e información de supervisión entre los extremos del enlace a una velocidad de 64 kbps, además, dos canales de servicio están disponibles en la trama de radio independientes uno del otro y de 64 kbps también.

Los datos de tráfico, el HCC y los canales de servicio son intercalados con otros bits en la trama de radio, estos bits son de relleno para ajustar la velocidad de la trama con el reloj de referencia del multiplexor y a la vez garantizar que la trama dure 125  $\mu$ s. Además de los bits de relleno son intercalados con bits de corrección de errores FEC (Forward Error Correction), bits de chequeo y una cadena de 12 bits de encabezado para cuestiones de alineación de trama (FAS Frame Aligning Signal), como se observa en la figura 3.13 para el ejemplo de la trama de radio de la MMU 2x2.

Las velocidades de la trama de radio para el tráfico de 2 Mbps y 2x2 Mbps son: 2.2758 Mbps y 4.5195 Mbps respectivamente, por supuesto considerando todos los bits mencionados anteriormente. En la etapa de recepción la trama de radio se desintegra en el demultiplexor de la trama y todos los datos son enrutados a sus respectivas etapas, el HCC se envía a la etapa de control y supervisión, el tráfico a su interfaz con el usuario o hacia el backplane según sea el caso, los canales de servicio para la SAU; todo ésto no sin antes verificar los bits de FEC que vienen estructurados a lo largo de 8 tramas de radio y que determinan si todos los datos están llegando sin errores considerables (se contempla una tasa de errores considerables cuando el BER está por debajo de  $10^{-6}$ ), además el FEC permite corregir los errores sin solicitar una retransmisión del punto remoto.

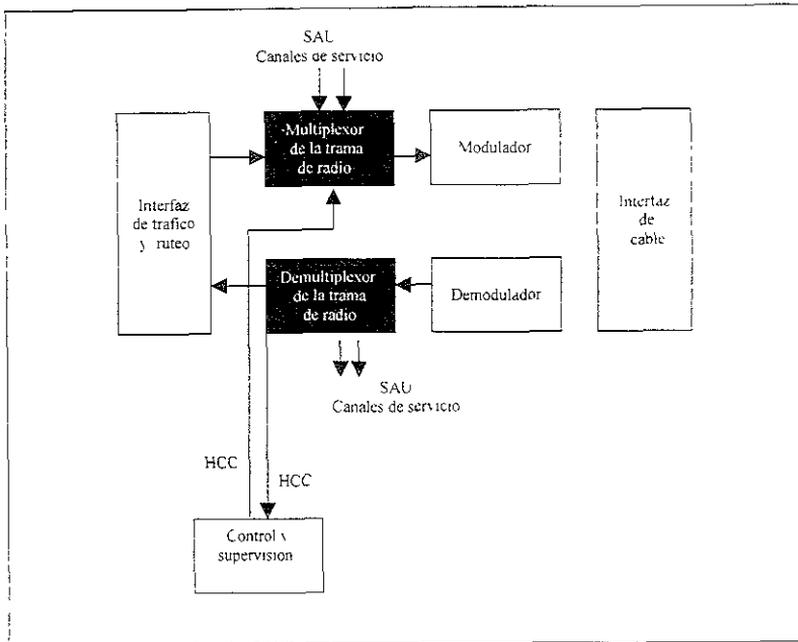


Figura 3.12. Flujo de datos que entran y salen de Multiplexor Demultiplexor de la trama de radio

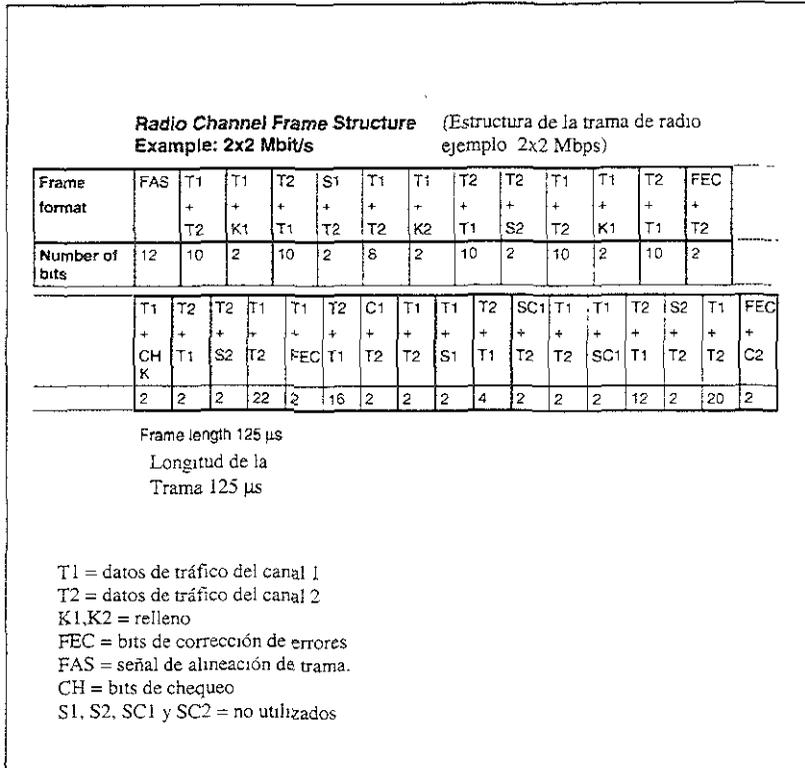


Figura 3.13 Estructura de la trama de radio para tráfico de 2x2 Mbps

### 3.1.5. Modulador y Demodulador.

La trama de datos provenientes del Multiplexor de la trama de radio se introduce a la etapa de modulación, donde se monta sobre una señal analógica de 350 Mhz, empleando la técnica de modulación C-QPSK (Complex Envelope Offset Quadrature Phase Shift Keying). Esta técnica es una variante de QPSK optimizada para una alta eficiencia a partir de tener una envolvente compleja I y Q (I inphase y Q quadrature) lo que ofrece una alta discriminación a la interferencia.

Modular es el proceso de montar la fuente de información en una señal portadora con la perturbación de la amplitud o la fase de esta portadora, dando como resultado una señal con un ancho de banda mayor en su espectro. Esta señal modulada al pasar por un canal de comunicación, como lo es la atmósfera, el ruido la corrompe dando como resultado una señal modulada con ruido al llegar al receptor. éste último tiene que tratar de recuperar la información.<sup>14</sup>

En el modulador se generan dos flujos de datos binarios dados por las expresiones  $I = m_1(t)$  y  $Q = m_2(t)$  a partir de la trama de radio. Por lo que la señal modulada  $g(t)$  C-QPSK con portadora  $A_c$  está dada por la siguiente expresión:

$$g(t) = A_c [ m_1(t) + jm_2(t) ]$$

La portadora se modifica en su fase por dos flujos de bits en cuadratura, a esta cuadratura se le señala con  $j$  extraída de la representación compleja de la señal analógica a modular. La portadora se modifica en su fase a partir de la suma o combinación de I y Q, por lo que al tener dos variables el número máximo de combinaciones binarias es 4, así se tiene cuatro señales portadoras con la misma frecuencia y amplitud, pero con un desfase de  $90^\circ$  entre ellas debido a cada una de las combinaciones de I y Q, como se observa en la figura 3.14a y 3.14b. De esta forma si se tiene un flujo para la componente I de "01100" y para la componente Q de "01010" entonces la señal modulada en C-QPSK se muestra en la figura 3.15.

<sup>14</sup> Leon W Couch Mobile Communication Handbook Florida, 1999

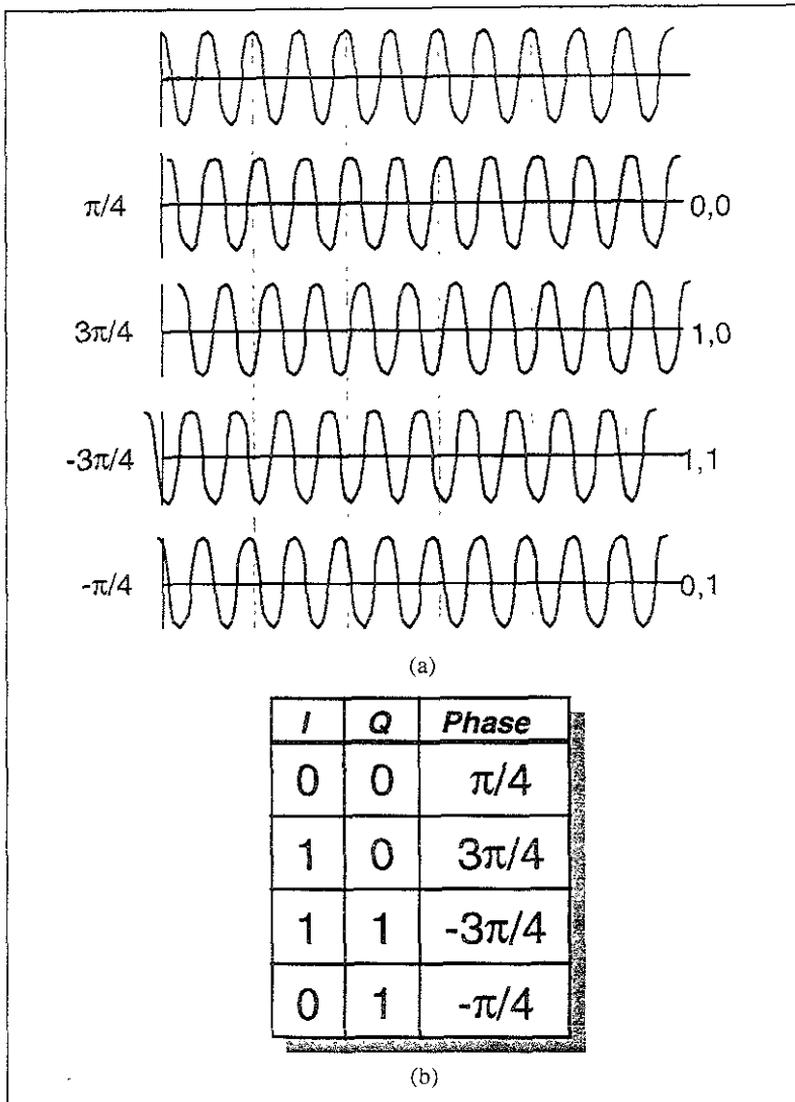


Figura 3.14a 4 portadoras defasadas 90°. 3.14b combinaciones de I y Q.

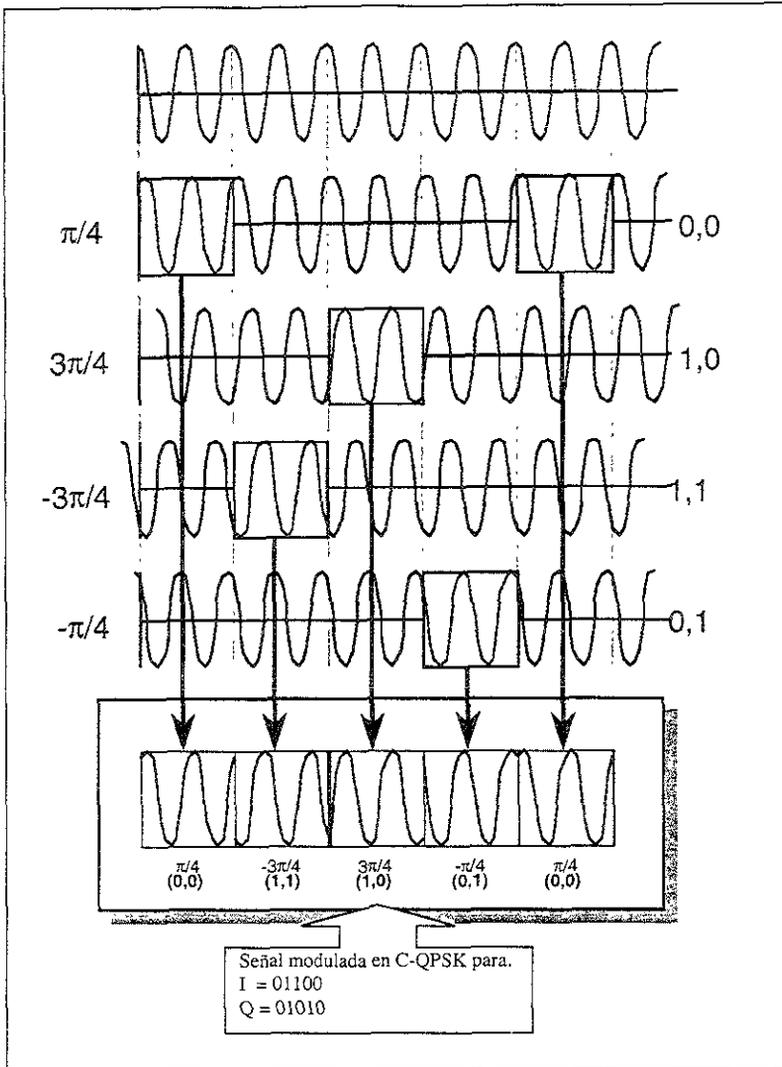


Figura 3.15 Modulación C-QPSK.

Para observar todos los cambios posibles entre la componente I y la componente Q se mapean las transiciones de fase para un flujo de datos aleatorio como se ilustra en la figura 3.16. Normalmente las situaciones críticas son a  $180^\circ$ , es decir, cuando I y Q cambian de estado lógico simultáneamente y obligan a la portadora a pasar por el origen creando así un rendimiento en la potencia de transmisión muy bajo; para evitar esto el modulador desplaza medio bit a la componente I creándole un *offset* para que las transiciones de ambas componentes no sean simultáneas y no pasen por el origen, a esto se le conoce como Complex Envelope Offset Quadrature Phase Shift Keying, figura 3.17.

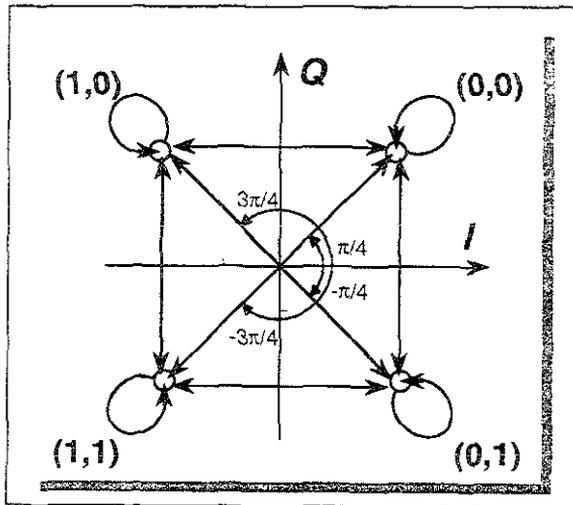


Figura 3.16. Transiciones de estado de I y Q en C-QPSK

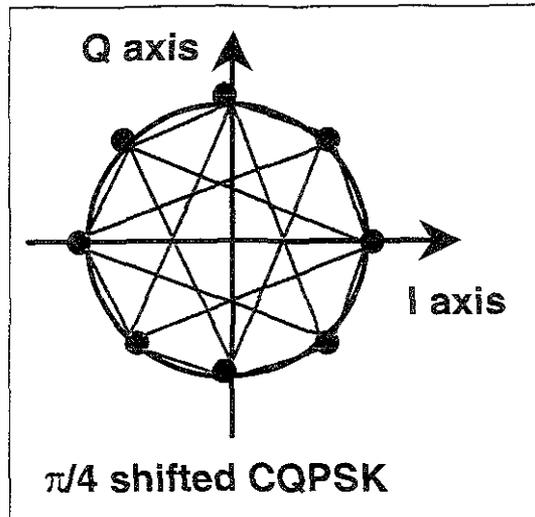


Figura 3.17 Transiciones de estado de I y Q en C-QPSK con desplazamiento

El modulador consiste de un oscilador controlado por voltaje operando a 350 MHz como subportadora de FI (Frecuencia Intermedia) para la transmisión de la señal de la trama de radio. La etapa demoduladora se encarga de realizar el procesamiento inverso, por lo que al recibir la señal de FI de recepción proveniente de la interfaz de cable, la demodula observando las transiciones de la fase de ésta, para obtener los dos flujos I y Q conocidos y necesarios para derivar la trama de radio original enviada desde la MMU remota. La FI de recepción es recibida a una frecuencia de 140 MHz. La figura 3.18 resume el procesamiento de las etapas de modulación y demodulación dentro de las MMU's utilizadas en el mini link

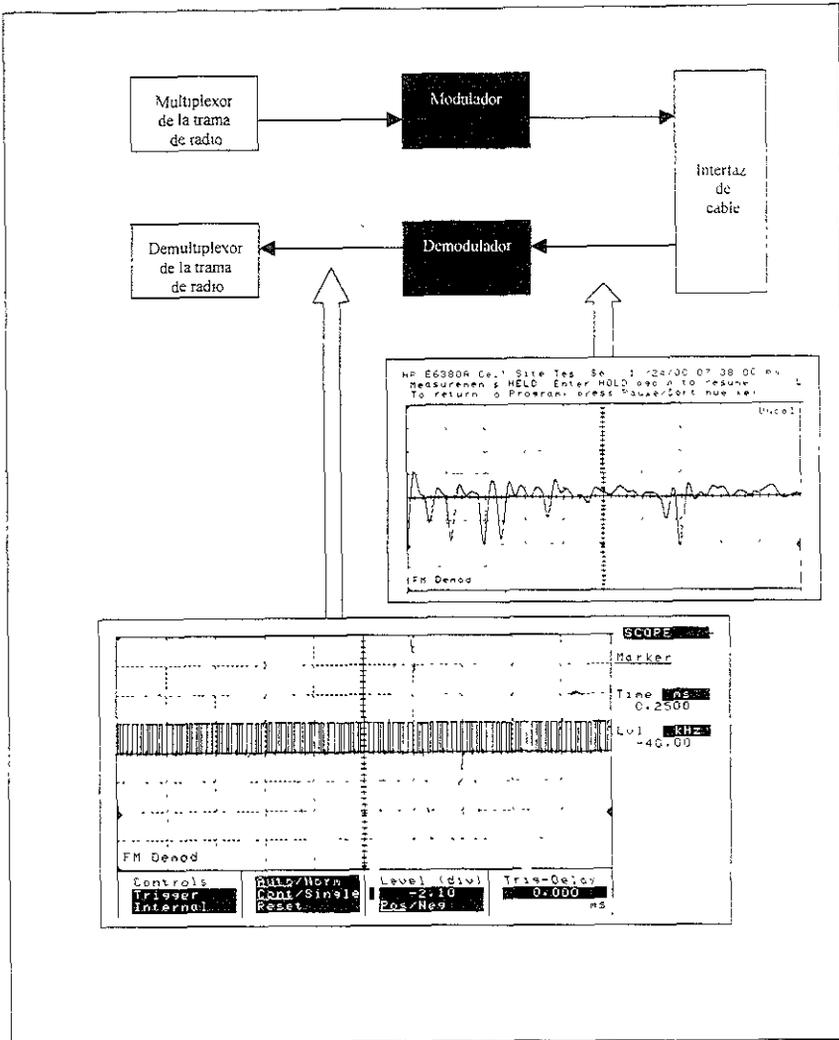


Figura 3.18. Modulación y demodulación de la trama de radio.

### 3.1.6. Interfaz de cable.

La señal modulada en C-QPSK proveniente de la etapa de modulación se conecta a la interfaz de cable para su envío a la Unidad de Radio a través del coaxial empleando una frecuencia intermedia de 350 MHz; por el otro lado, la recibe el demodulador a una frecuencia de 140 MHz como se ejemplifica en la figura 3.19.

La señal de control y alarmas que transporta el canal de comunicación RCC también se conecta a la misma interfaz del cable coaxial, sin embargo, este canal no viaja en forma de datos binarios como lo hace el HCC, sino que se emplea la modulación ASK (Amplitude Shift Keying) para montar estos bits previamente sobre una portadora analógica de 6.5 MHz para transmitirlos y recibirlos en el microprocesador de la RAU, el cual envía sus datos de control a la MMU en una frecuencia de 4.5 MHz también en ASK y por el RCC.

Finalmente, la corriente de alimentación para que la RAU funcione adecuadamente se inserta a la misma interfaz con un nivel arriba del normal que es de 48 volts (aproximadamente de 60 volts) previniendo una caída de tensión a lo largo del coaxial por ser ésta una señal de corriente continua.

Las señales de datos y energía son multiplexadas en frecuencia dentro de la interfaz de cable, para facilitar esta multiplexación las señales deben llegar desplazadas en frecuencia con su respectiva modulación, así entonces, se tiene que se usa C-QPSK a 350 y 140 MHz para tráfico y ASK a 6.5 y 4.5 MHz para RCC. Para la componente de corriente directa no hace falta desplazarla en frecuencia debido a que es una señal de corriente directa.

La modulación por desplazamiento en amplitud ASK (Amplitude Shift Keying), utilizada para transportar los datos del canal RCC a través del cable coaxial, se ilustra en la figura 3.20, donde cada bit es substituido por una onda sinusoidal de diferente amplitud, pero con la misma frecuencia, así como se tienen sólo dos estados lógicos (1 y 0) también dos amplitudes de señal analógica.

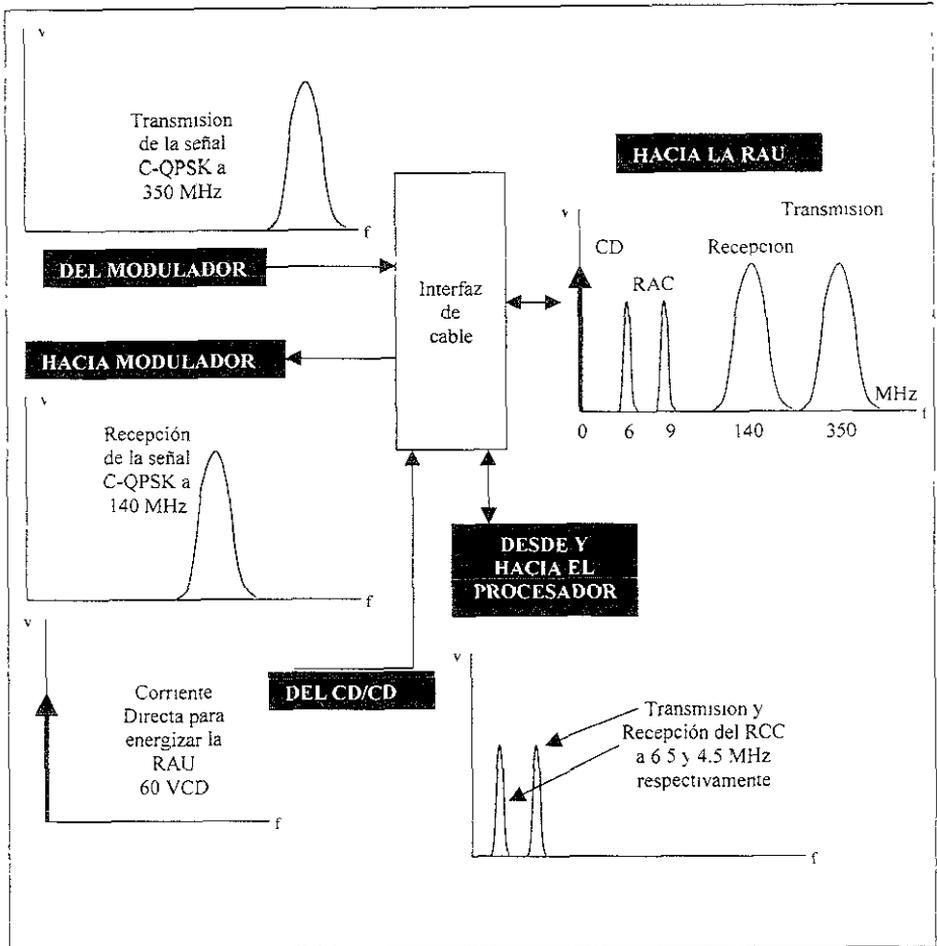


Figura 3.19. Entradas y salidas de la interfaz de cable.

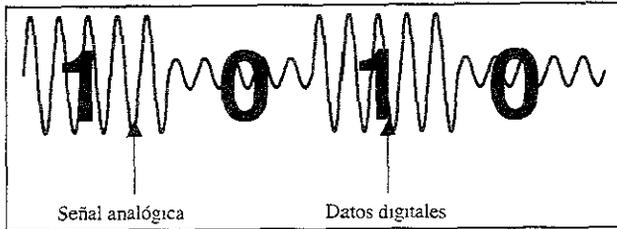


Figura 3.20. Modulación ASK para el canal RCC digital.

### 3.2. Unidad de Radio 7E.

La unidad de radio contempla diversas etapas de procesamiento, dentro de las cuales están: la interfaz de cable, el transmisor de RF (Radio Frecuencia), el filtro sintonizado, el alimentador y el receptor de RF, como puede verse en la figura 3.21 el interior de la RAU 7.

El diagrama de bloques de la figura 3.22 muestra la secuencia del procesamiento de la información dentro del Radio. Comienza con la interfaz de cable que recibe las cuatro señales que se transportan a través del coaxial provenientes de la MMU, los procesadores de FI, el transmisor de RF para subir la señal de transmisión al nivel de las microondas, el filtro duplexor que se acopla a la antena para radiar la señal procesada. Al mismo tiempo la señal de recepción se adapta al mismo filtro duplexor para direccionarla a la etapa de Receptor de RF donde se extraen los datos de la señal de microondas proveniente del extremo remoto, los datos se entregan al procesador de FI y luego se envían a la MMU.

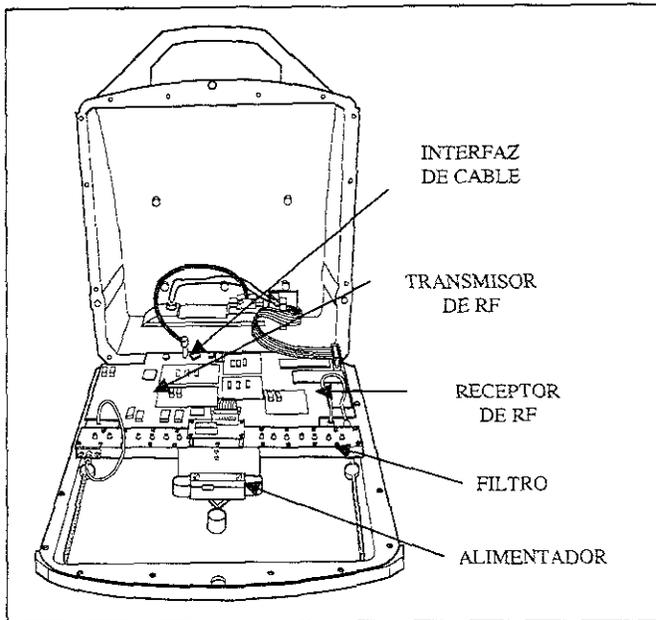


Figura 3.21. Vista interior de la Unidad de Radio.

Las señales de control y alarmas que llegan por el cable coaxial son enrutadas al procesador de control y supervisión para ajustar los niveles adecuados en los parámetros de transmisión del enlace. Finalmente la alimentación de CD es canalizada por el convertidor de CD/CD para energizar todas las etapas de la RAU.

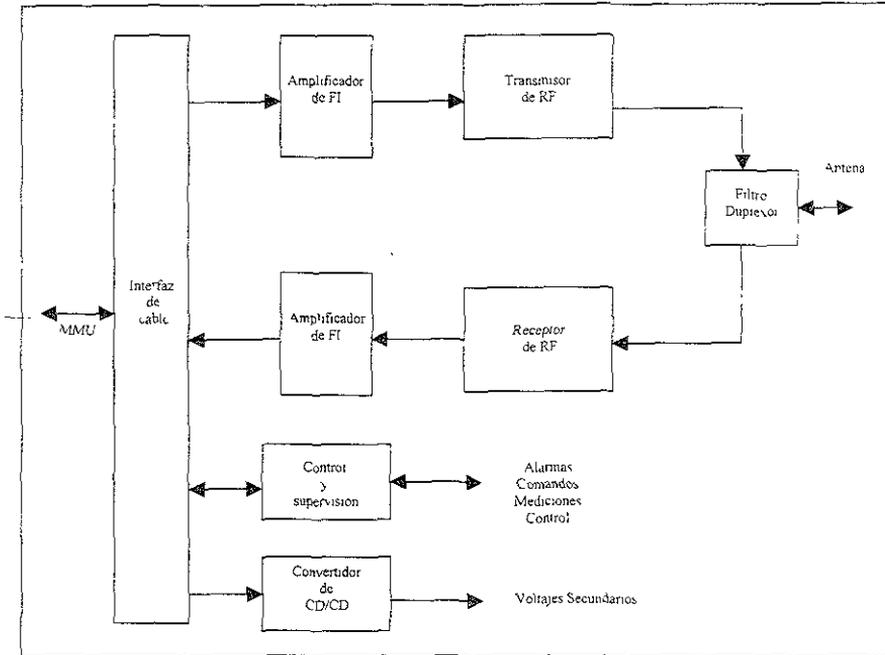


Figura 3.22. Diagrama a bloques de la RAU7.

### 3.2.1. Interfaz de cable.

La señal de entrada a la Interfaz del cable coaxial desde la MMU está compuesta de la información de tráfico de transmisión con una frecuencia intermedia FI de 350 MHz, los comandos de control y ajuste en una frecuencia de 6.5 MHz y la corriente directa de 60 vcd para energizar los dispositivos electrónicos dentro de la misma RAU. Además, por la interfaz de cable se envía la señal de tráfico de recepción sobre una subportadora de 140 MHz para su procesamiento en la MMU, las alarmas de la RAU junto con los niveles de la señal de recepción, la temperatura, etc.

Así el tráfico de recepción y transmisión están modulados en C-QPSK, de acuerdo al punto 3.1.5. (ver figura 3.15), también las señales de control y alarmas lo están en ASK (figura 3.20), utilizando varias subportadoras para facilitar su transportación a través del cable coaxial.

La interfaz de cable en la RAU 7E actúa como una serie de filtros pasa banda, el cual canaliza a sus respectivas etapas de procesamiento las señales que llegan del cable, acoplando las impedancias entre estas etapas a  $50 \Omega$  del coaxial. Además, la interfaz incluye una protección de sobre voltaje derivado de alguna descarga eléctrica en épocas lluviosas o del mismo convertidor de cd en la MMU.

### 3.2.2. Amplificadores de Frecuencia Intermedia.

En esta etapa se amplifica la señal de FI debido a la severa atenuación que existe en el cable de radio cuando la longitud de éste es muy grande (de 2 a 3 dB de atenuación aproximadamente) además, considerando la etenuación en los conectores N para el coaxial la amplificación se hace necesaria de alguna manera. El amplificador tiene un control automático de ganancia para compensar la atenuación mencionada, el nivel de dicho control sirve, además, para generar una alarma indicadora de bajo nivel de la señal IF en la transmisión para visualizarse en la MMU.

El amplificador de transmisión de FI está sintonizado para trabajar exclusivamente a 350 MHz, mientras que el amplificador de recepción lo hace a 140 MHz que son las frecuencias de las subportadoras de FI para el tráfico. Después de amplificarse la señal de recepción se conecta a la interfaz de cable, no sin antes tomar una pequeña porción de esta señal y alimentarla a un detector calibrado para así obtener una medición más exacta de la entrada que se recibe desde el extremo remoto del enlace.

La figura 3.23 muestra la etapa amplificadora de FI para la señal de transmisión en la RAU 7E, ejemplificando la forma de aumentar el nivel de la señal.

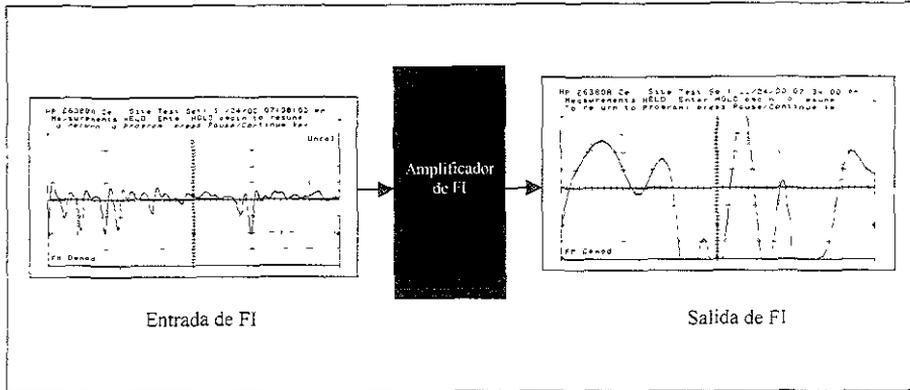


Figura 3.23. Entrada y salida del amplificador de FI

### 3.2.3. Transmisor de Radio Frecuencia.

El transmisor de RF está constituido por un convertidor de subida (Up converter), un oscilador PLL y además de un amplificador de potencia. La figura 3.24 muestra la estructura del transmisor de RF y sus tres etapas, desde la entrada de la señal en FI, su desplazamiento a las microondas y finalmente su amplificación para obtener así la señal de RF que se utiliza como enlace entre los dos puntos de comunicación.

El oscilador PPL (Phase locked loop) sirve para entregar la microonda con una considerable potencia y para proporcionar un rango de frecuencias que son seleccionables en pasos de 0.25 MHz desde la MMU. Este oscilador juega un papel muy importante en el desempeño del sistema debido a la precisión con que debe ser generada la microonda, para ello se vale de un cristal de cesio controlado por temperatura como señal de referencia  $\phi_{ref}$ . El oscilador es un sistema de control con realimentación negativa que utiliza

un detector de fase PD (Phase Detector), un filtro paso bajas LPF (Low Pass Filter), un oscilador controlado por voltaje VCO (Voltage Control Oscillator) y un divisor de frecuencia FD (Frequency Divisor) como se observa en la figura 3.25.<sup>15</sup>

El VCO genera una salida que depende a la vez de un voltaje de corriente directa como control, el cual proviene del procesador de la RAU. El detector de potencia compara la fase de la señal de referencia contra la fase dividida del VCO y genera una señal de corrección proporcional a la diferencia de fase utilizada para evitar cualquier desplazamiento de la frecuencia portadora; la función de filtro LPF es atenuar las bandas laterales que pudiera tener la señal de referencia, además de darle forma a su fase suprimiendo su ruido; la selección de la frecuencia de salida  $\phi$  se completa con la variación del divisor FD a lo largo de cierto intervalo que cubre la frecuencia deseada como portadora.

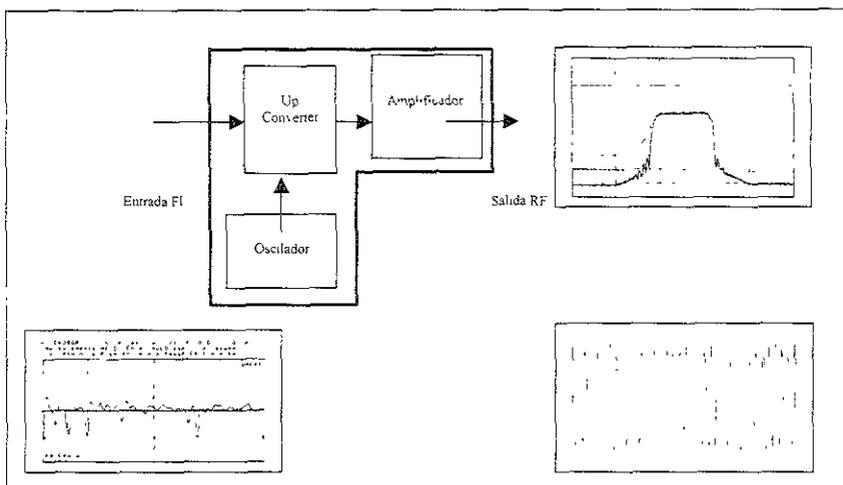
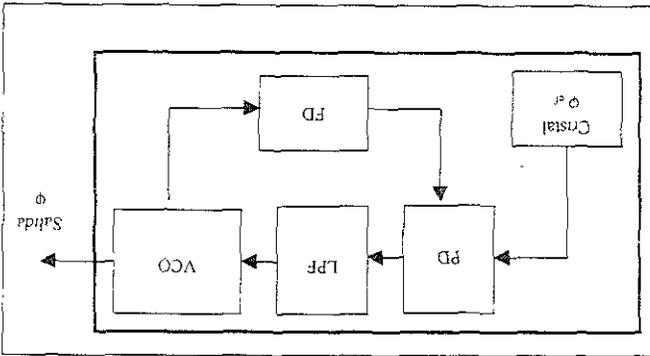


Figura 3.24 Entrada y salida del transmisor de RF.

<sup>15</sup> Seely, Warren L. The RF and Microwave Handbook Florida 2001, pp 5 7-5 8

Figura 3.25 Oscilador PLL



El convertidor de subida mezcla la señal de frecuencia intermedia con la de microondas generada por el oscilador para obtener una señal única en la banda de 7 GHz con los datos de la trama de radio.

El amplificador de salida incrementa el nivel de la potencia de la señal de microondas ajustándola en base a la selección realizada en la MMU y con la ayuda de la etapa de control en la RAU. El amplificador tiene una ganancia fija de 30 dB lo cual ayuda para obtener una potencia de transmisión alrededor de 28 dBm. Con la ayuda de un arreglo de diodos GUN puede atenuar la señal hasta 1 dBm en pasos de 0,5, tal y como se mencionó en el capítulo II.

### 3.2.4. Filtro de Radio Frecuencia.

El filtro de RF es una cavidad resonante utilizado en el mini link para sintonizar la microonda de recepción y al mismo tiempo funciona como duplexor permitiendo el paso simultáneamente de la transmisión hacia el alimentador de la antena parabólica, la señal de recepción proveniente del alimentador se inyecta al receptor de RF a través de un camino diferente al de la transmisión. La figura 3.26 muestra la colocación del filtro de RF dentro de la RAU.

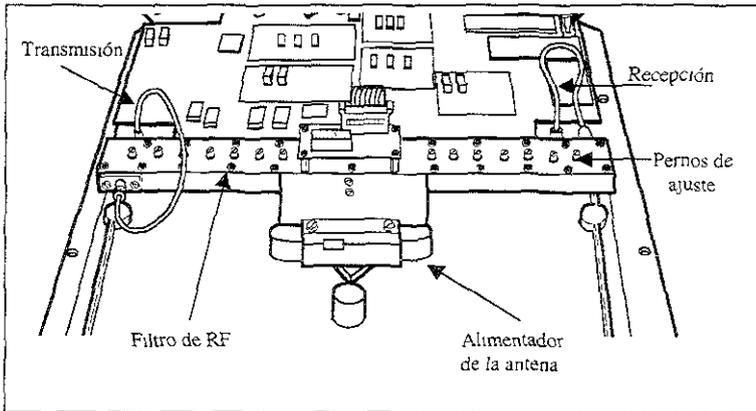


Figura 3.23 Filtro de RF

El filtro de RF tiene un ancho de banda de 250 MHz aproximadamente con una frecuencia central variable, la cual puede ser ajustada por medio de un grupo de pernos alojados en la parte superior del filtro. Este ajuste se realiza para poder utilizar el mismo filtro en cualquier RAU dentro de la banda de los 7 GHz.

### 3.2.5. Receptor de Radio Frecuencia.

La etapa de recepción realiza la función inversa de un transmisor de RF, convierte la señal de RF (7 GHz), recibida del extremo remoto del enlace, a una señal de frecuencia intermedia de 140 MHz para su procesamiento en la MMU. La Figura 3.27 ilustra las sub-etapas del receptor de RF las cuales son: un LNA (Low Noise Amplifier, amplificador de bajo nivel de ruido), un convertidor de bajada (Down Converter), el oscilador de recepción y un filtro que hace la función a la vez de amplificador de FI.

La señal de recepción se inyectada a la etapa receptora desde la salida del filtro de RF, donde se amplifica mediante un LNA, el cual determina en gran medida la inmunidad al ruido del sistema de microondas, también aplica suficiente ganancia de la señal recibida y establece la impedancia de 50  $\Omega$  a un bajo consumo de potencia. Este amplificador de bajo nivel de ruido esta fabricado con Circuitos Integrados Monolíticos de Microondas MIC que reducen el tamaño de la etapa de recepción además de proveer un alto grado de selectividad a la entrada.<sup>15</sup>

La señal de RF se pasa luego a un convertidor de bajada donde se mezcla con una señal local entregada por el oscilador y mediante el proceso de diferenciación y sumatoria se elimina la portadora de microondas para obtener los datos de información, sin embargo todavía modulada en QPSK con una frecuencia de FI de 140 MHz.

Finalmente, el bloque de filtrado y amplificación detalla la señal que será entregada a un procesador de FI que le dará más potencia a la señal para su transportación por el cable coaxial, tal y como se explicó en la sección 3.2.2. del presente capítulo.

<sup>15</sup> Seely, Warren L. Op. Cit. p. 5.3

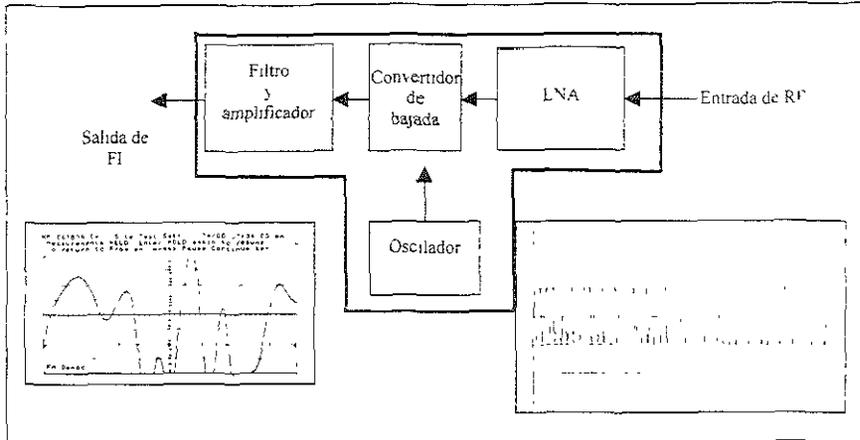


Figura 3.27 Bloques funcionales del receptor de RF.

### 3.2.6. Control y supervisión.

La unidad de radio contiene un microprocesador para control y supervisión cuyas funciones principales son:

- Colectar las alarmas de la RAU para enviarlas a la MMU.
- Interpretación de comandos provenientes de la MMU.

Las alarmas que se envían a la MMU son visualizadas desde los leds colocados en el frente de la tarjeta o bien desde la pantalla; mientras que los comandos procesados en la etapa de control sirven para activación y desactivación de la RAU, para generar un Loop de RF en situaciones de mantenimiento y también para seleccionar la frecuencia y la potencia de transmisión.

### 3.3. Unidad de Multiplexaje y Conmutación.

En la sección 2.2.2. del capítulo II fue tratado el tema de los tres tipos de SMU con que cuenta el sistema mini link, los cuales son: la SMU Sw, la SMU 8x2 y la SMU 16x2. El diagrama a bloques de la estructura de cada una de las SMU se muestran en las figuras 3.28, 3.29 y 3.30 respectivamente, estos tres diagramas tienen tres bloques funcionales comunes: Control y Supervisión, Lógica de Conmutación 1+1 y el Convertidor cd/cd, además existe una sección que los diferencia entre ellos referente al procesamiento del tráfico debido a que la 8x2 como la 16x2 realizan funciones de multiplexación por su utilización para manejar tributarias de 2 Mbps en su acoplamiento con las MMU 2x8 y 34+2 respectivamente porque estas últimas no cuentan con interfases de tráfico para 2 Mbps.

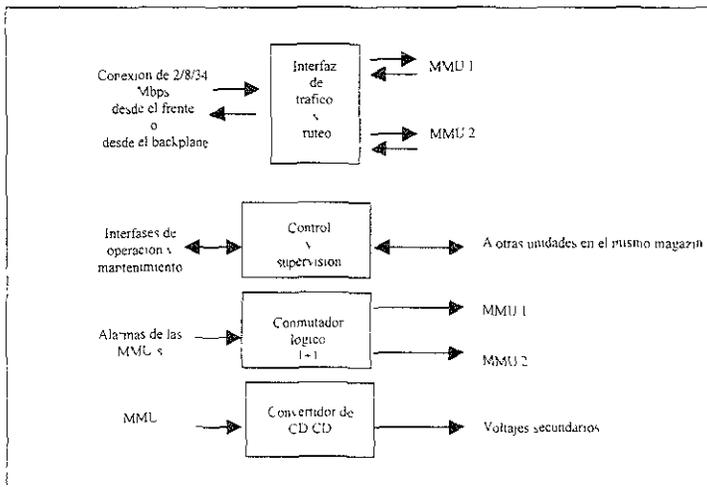


Figura 3.28 Diagrama de bloques de la SMU Sw.

La SMU Sw no desempeña la función de multiplexación en el sistema por que solo tiene la interfaz de tráfico y ruteo, sin embargo, ésta tiene la peculiaridad de adaptar cualquier velocidad de tributaria para cualquiera de las MMU's colocadas en el magazin, de esta forma se tiene disponible la interfaz para 2.048, 8.448 y 34.368 Mbps.

Las SMU's 8x2 y 16x2 son utilizadas para conmutar las MMU's 2x8 y 34x2 en enlaces con protección 1+1, para cuestiones de multiplexación solamente o bien para ambas funciones.

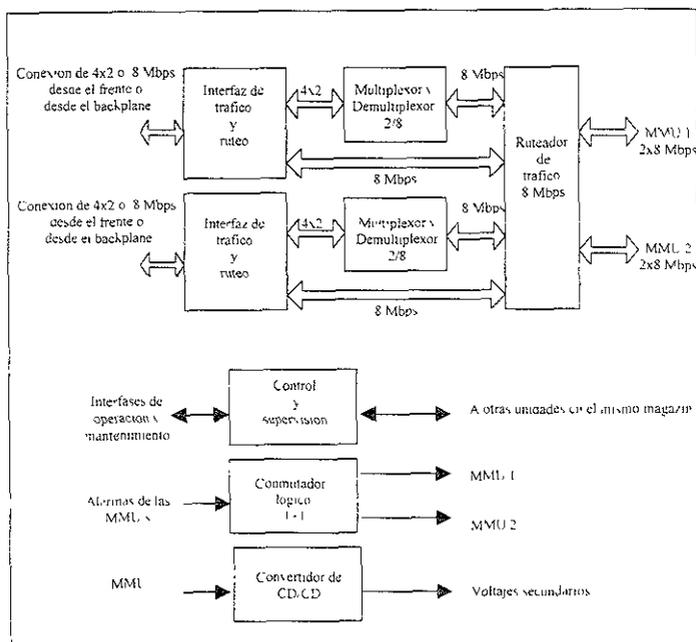


Figura 3.29 Diagrama de bloques de la SMU 8X2.

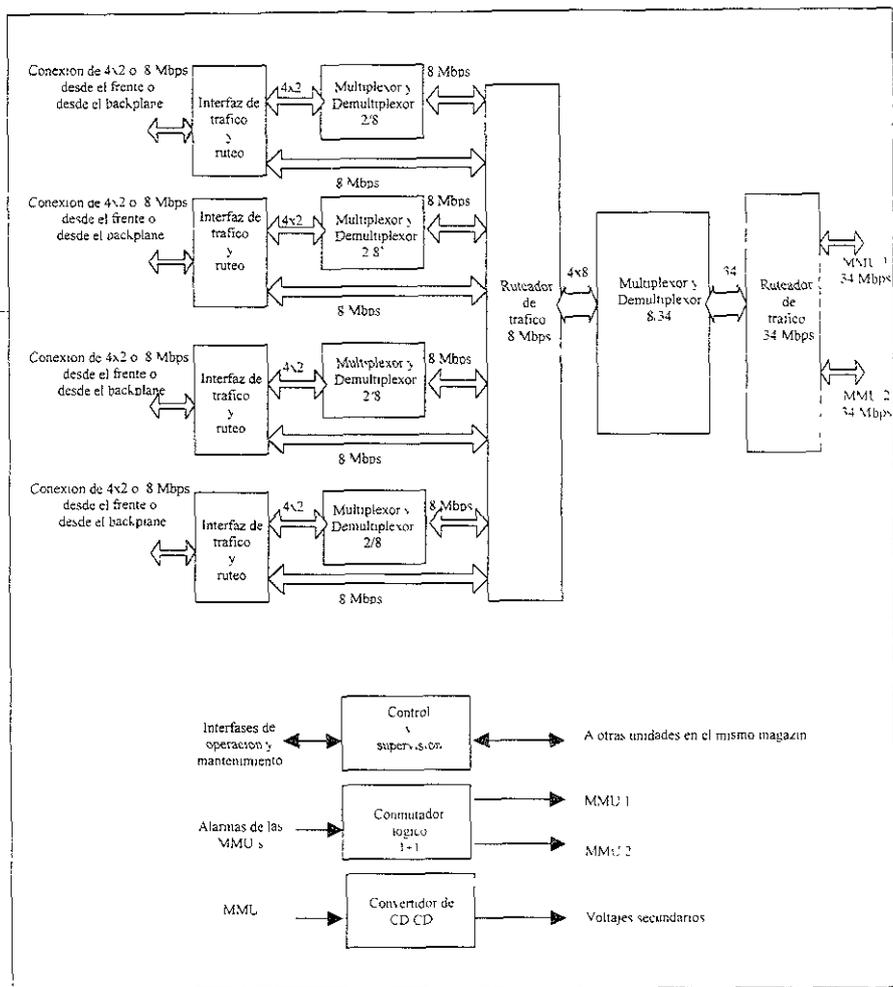


Figura 3.30 Diagrama de bloques de la SMU 16x2.

### 3.3.1. Interfaz de tráfico y ruteo.

La entrada y la salida de los datos del usuario se conectan por el frente de la SMU o bien desde el backplane del módulo de acceso, llegando en primera instancia a la interfaz de tráfico y ruteo. Las tributarias conectadas por el frente son regeneradas para evitar algún error por distorsión de cada impulso y decodificadas de HDB3 a código NRZ, como se observa en la figura 3.31.

Para la SMU Sw, la interfaz de tráfico recibe por el frente cualquier velocidad de tributaria a transmitir y la enruta a las dos MMU conectadas a su salida mientras que las interfases de tráfico de las SMU 2x8 y 16x2 solo reciben tráfico de 2 Mbps por el frente, aunque pueden recibir el tráfico de 2 y 8 Mbps, pero por el backplane exclusivamente.

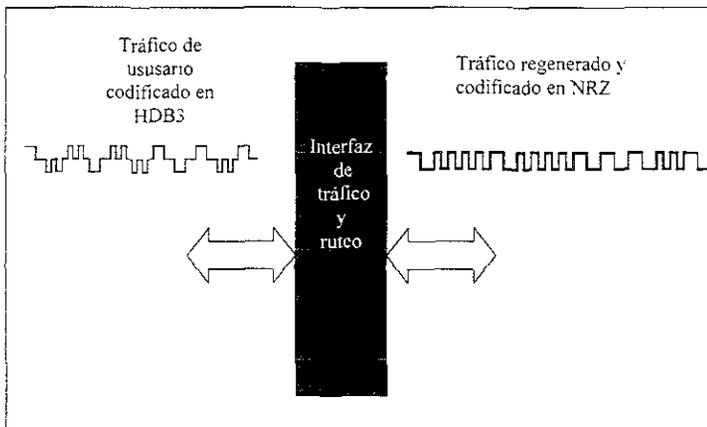


Figura 3.31. Interfaz de tráfico y ruteo.

### 3.3.2. Etapa de multiplexaje y demultiplexaje.

El multiplexor y demultiplexor que se utiliza en las SMU's siempre tiene cuatro entradas, las cuales se conocen como afluentes y una salida llamada tributaria, cuya característica principal es la de tener una mayor velocidad de desplazamiento con respecto de las afluentes. Ambas señales, tributaria y afluente son bidireccionales contando con dos líneas una para transmitir y otra para recibir; todo ésto se ilustra en la figura 3.32, donde también se observa que el multiplexor/demultiplexor no altera el código de línea de las tributarias sino lo conserva en NRZ.

Para el caso de los multiplexores y demultiplexores de 2/8, la velocidad de las afluentes es de 2.048 Mbps y la velocidad de la tributaria es de 8.448 Mbps de acuerdo a la recomendación G.742 de ITU-T. En los multiplexores y demultiplexores de 8/34 sus velocidades son de 8.448 y 34.368 Mbps para afluentes y tributaria respectivamente en concordancia con la recomendación ITU-T G.751.

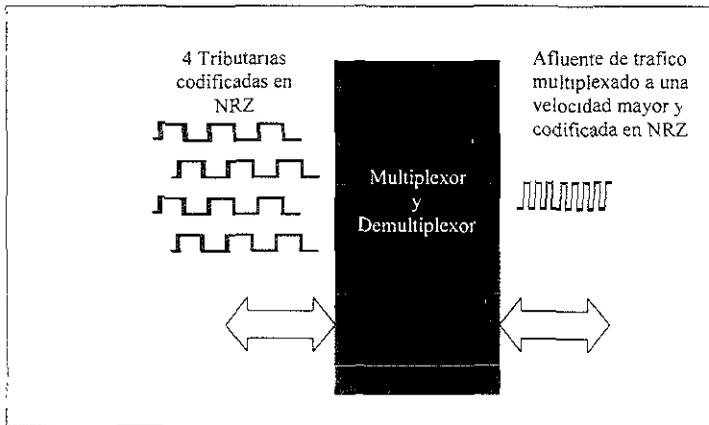


Figura 3.32 Multiplexor y demultiplexor para las SMU's.

### 3.3.3. Conmutador lógico 1+1.

El SMU contiene toda la circuitería del conmutador lógico para sistemas protegidos en esta funcionalidad, el conmutador lógico controla la conmutación del transmisor y el receptor en las RAU's, seleccionando la RAU que transmite y la que recibe, esta conmutación se controla manual ó automáticamente. La selección manualmente aplica desde el frente de la MMU o bien con una computadora personal, mientras que la selección automática depende de varios factores.

La selección automática del transmisor solamente aplica para sistemas en hot standby y se basa en la información de las alarmas de cada transmisor de la RAU o bien de la MMU, por lo tanto una alarma con alta prioridad predomina sobre una alarma de baja prioridad entonces, la RAU con alarmas de menor prioridad transmite la señal.

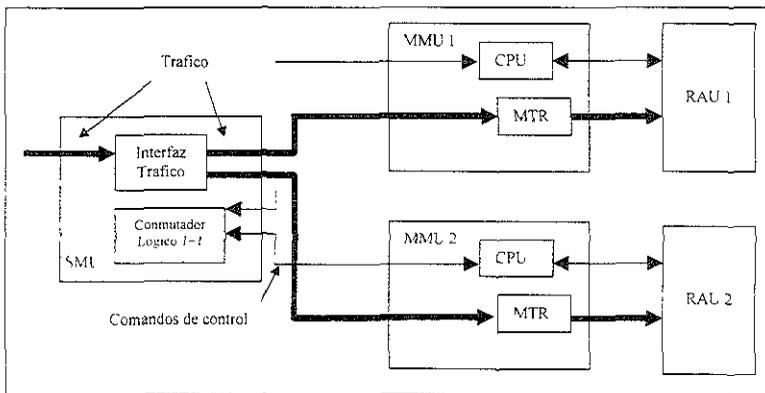


Figura 3.33. Conmutación de la protección 1+1 en transmisión.

La figura 3.33 muestra como la SMU conecta el tráfico a las dos MMU y éstas a su vez lo envían a las dos RAU's, sin embargo, solo una RAU lo transmite basándose en la señal de control originada por el conmutador lógico 1+1 de la SMU. La interfaz de tráfico de la SMU envía los datos del

usuario al multiplexor de la trama de radio (MTR) de cada MMU, mientras que el conmutador lógico 1+1 hace lo mismo con los comandos, pero con la etapa de control y supervisión (cpu) de las mismas MMU's.

La conmutación en la recepción es de dos tipos: por falla del equipo y por bajo nivel de señal recibida. La selección se basa sobre la información de alarmas de la sección receptora de la RAU y MMU. Las alarmas son colectadas por la etapa de control y supervisión de la MMU y enviadas al conmutador lógico 1+1 de la SMU.

Las dos RAU's reciben tráfico simultaneamente y lo tienen disponible para conectarse a las dos MMU's, sin embargo, solamente una MMU se selecciona para canalizar estos datos a la interfaz de tráfico y ruteo de la SMU, esta selección la realiza el conmutador lógico con la ayuda de dos llaves de paso ubicadas tanto en la entrada como en la salida de cada MMU, como se observa en la figura 3.34.

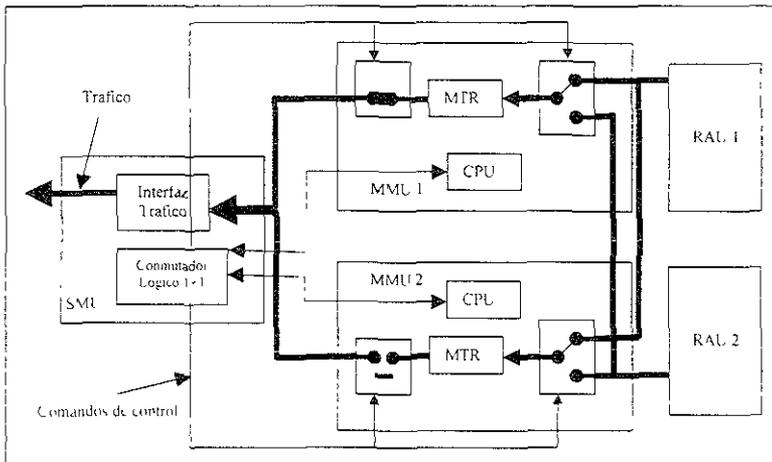


Figura 3.34. Conmutación de la protección 1+1 en recepción.

### **3.3.4. Control y supervisión.**

La etapa de control y supervisión, al igual que otras unidades, está constituido de un microprocesador cuyas funciones principales son: recolectar alarmas, ajustar los parámetros del sistema y ejecutar pruebas de mantenimiento. Este microprocesador se comunica con los otros microprocesadores del sistema vía el NCC del magazin.

La etapa de control y supervisión también controla la función que realiza el conmutador lógico 1+1 para tomar la decisión de selección de transmisor y receptor para sistemas trabajando con protección.

### **3.4. Unidad de acceso y servicio.**

La unidad de acceso y servicio SAU provee algunas características adicionales como los canales de usuario, el canal de servicio telefónico, canales EAC para la comunicación de alarmas entre magazines como se explicó en la sección 2.2.3 del capítulo II.

Los diagramas a bloques de las SAU's básica, expansión 1 y expansión 2 se muestran en la figura 3.35, 3.36 y 3.37 respectivamente, estos diagramas tienen en común los bloques funcionales de control, interfaz de comunicación y convertidor de cd. Las SAU's expansión 1 y 2 se diferencian de la básica por sus dos canales de servicio para usuario, dos digitales para la primera, un analógico y un digital para la segunda.

El procesador de la SAU desempeña el enrutamiento de los canales EAC para su conexión con otras etapas de control y supervisión del mismo magazin a través del NCC, además de controlar la información de los canales de servicio para su direccionamiento hacia las MMU's del magazin por medio del backplane.

Los canales EAC conectados por el frente de la SAU se reciben desde otros magazines hacia la interfaz de comunicación para su procesamiento y análisis en la misma tarjeta SAU.

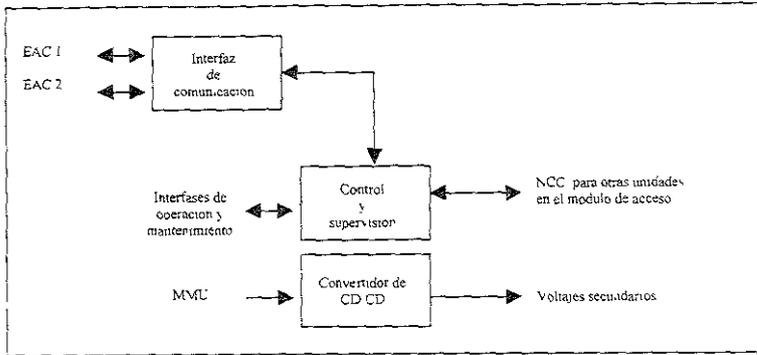


Figura 3.35 Diagrama de bloques de la SAU básica.

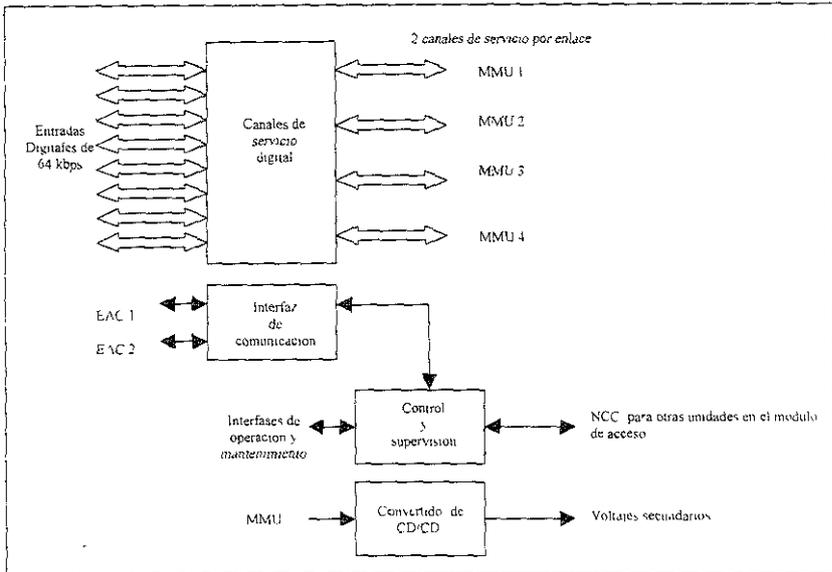


Figura 3.36 Diagrama de bloques de la SAU Exp 1.

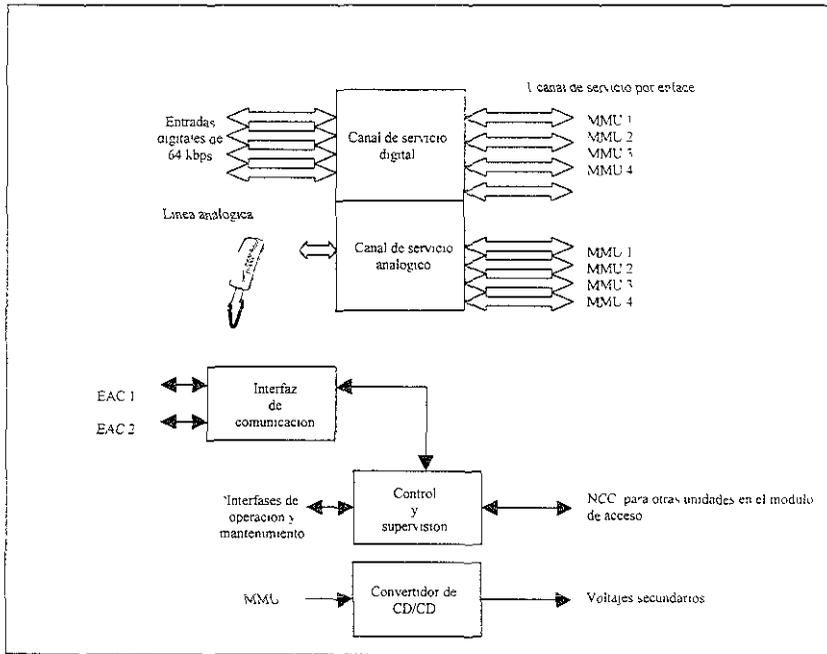


Figura 3.37 Diagrama de bloques de la SAU Exp 2.

### 3.4.1. Canales de servicio.

Los canales de servicio solo están disponibles para las SAU's exp 1 y exp 2. Son dos los canales digitales por enlace utilizados en la SAU exp 1, los cuales son bidireccionales y tienen una velocidad de transmisión máxima de 64 kbps de acuerdo a la recomendación G.703 de la ITU-T y además

utilizan un conector DB25. Estos canales digitales son a menudo empleados para el intercambio de información entre computadoras colocadas en ambos extremos del enlace. Esta información es multiplexada en la trama de radio como datos de usuario como se explicó en la sección 3.14.

La SAU exp 2 también maneja dos canales de servicio, sin embargo, solo uno es digital como en la exp 1, el segundo canal de servicio de la SAU exp 2 es analógico; de ésta forma permite la conexión de un teléfono de servicio para cuestiones de mantenimiento en la red de enlaces de microondas.

El canal analógico tiene una interfaz de dos hilos de acuerdo a la recomendación G.712 , un conector modular RJ11 y una impedancia de 600 ohms con un nivel de salida de hasta 4 dB.<sup>16</sup>

En las figuras 3.36 y 3.37 se observa que cada canal de servicio tiene cuatro entradas y cuatro salidas debido a que está pensada la posible instalación de la SAU en un magazin AMM 4U donde son colocadas hasta cuatro MMU's para cuatro posibles enlaces, de esta forma cada enlace tiene sus dos canales de servicio disponibles.

---

<sup>16</sup> ITU-T G 712 Coding of analogue signals by pulse code November 1996

## CONCLUSIONES

El análisis descriptivo del procesamiento de los datos en el mini link 7E se realizó satisfactoriamente, debido a la importante accesibilidad de la información por parte del fabricante y su gran disponibilidad al permitir el acceso a sus recursos para ejecutar las mediciones del desempeño del sistema de microondas.

Este análisis fue realizado en base a los diagramas a bloques de los subsistemas del mini link 7E y a las gráficas de las señales involucradas en las unidades, corroborando de esta forma los aspectos teóricos del enlace construido con este equipo de microondas para comunicación.

Las señales fueron estudiadas empezando por la Unidad de Modem en el momento en que la información del usuario se conecta a la interfaz de tráfico de dicha unidad, hasta la salida por la interfaz del cable coaxial. Obviamente pasando por las diversas etapas del Modem, como el multiplexor de la trama de radio que se encarga de estructurar el paquete de información que se envía hasta el extremo remoto del enlace, la forma de mezclar o intercalar todos los bits del tráfico, de los canales de servicio, de los canales de control, entre otras, teniendo así la información en banda base del sistema; también la etapa de modulación donde se convierte el paquete de información binaria a una señal analógica obteniendo así, la señal de frecuencia intermedia y poder transmitirla a través del cable coaxial conectado a la MMU.

Así mismo, se vio que todas las señales involucradas en el mini link 7E están restringidas y reglamentadas por el formato dictado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones, por lo que, el sistema cumple con todos los estándares internacionales recomendados y permisos nacionales otorgados por la COFETEL. Un pequeño extracto referente a los formatos de las señales de datos basados en las recomendaciones de la ITU-T se encuentra en el apéndice de este trabajo de investigación; se prefirió integrar las recomendaciones en su idioma original para contar con una copia fiel de las mismas. No obstante, durante el desarrollo del trabajo se hizo referencia continuamente a ellas.

Durante la tesis se habló exclusivamente de señales de tráfico del usuario, por llamarlo de una forma general puesto que el mini link por su flexibilidad, se emplea para una gran variedad de servicios de comunicación, como en la telefonía celular, en la conexión de los cajeros automáticos a la red de bancos, en empresas que cuentan con un conmutador privado y requieren acceso a la red pública de teléfonos rentando de esta manera sólo troncales digitales de conmutación, en fin, en todas esas aplicaciones que tengan E1's para transportar desde un punto a otro y a través de trayectorias tan cortas como cientos de metros o tan largas como hasta 100 km.

Además de las señales de tráfico y servicio en el mini link, están los comandos de control y las alarmas generadas por las unidades, que también intervienen en el procesamiento de la información. Como se observó, estas señales son verdaderamente importantes para el buen desempeño de todo el sistema, porque garantizan su funcionamiento y facilitan la maniobrabilidad para el operador del servicio, manteniéndolo bajo monitoreo constante; ya que dichas alarmas se envían a un servidor, el cual concentra toda la información concerniente a la red de mini links que se pudieran tener. Tal servidor contiene la interfaz gráfica NETMAN que hace amigable el control de la red.

Dentro de la Unidad de Radio, se estudiaron las etapas que la constituyen, analizando la forma en como el convertidor de microondas genera la señal de radiofrecuencia para mezclarla con la señal de frecuencia intermedia proveniente de la MMU; consiguiendo de esta forma la microonda que se radia en la antena con una potencia tal que permite su detección en el otro extremo del enlace. La antena remota recibe dicha señal y la entrega al convertidor de bajada para realizar el procesamiento pero en sentido inverso, esto significa que se separa la señal de frecuencia intermedia de la radiofrecuencia portadora para enviarla hasta la MMU local a través del cable coaxial.

Una vez recibida la señal de frecuencia intermedia en la Unidad de Modem del extremo remoto, ésta la demodula, eliminando la subportadora y consiguiendo de esta manera el paquete binario original: sin embargo, los bits contenidos en el paquete están desordenados debido a la multiplexación de los diferentes flujos de datos que lo estructuran, por lo tanto, se ordenan

y se mandan a sus respectivas etapas para continuar con el procesamiento adecuado. Con referencia al tráfico del usuario, éste se envía a una interfaz para convertir el código de línea NRZ utilizado en el mini link al código estándar internacional HDB3 y entregarlo finalmente al usuario destino.

Como en casi todos los sistemas de comunicación duplex, los datos en el mini link también son bidireccionales, es decir, en ambos extremos del enlace se realiza todo el procesamiento de la información antes comentada, contando de esta forma con un enlace de microondas punto a punto duplex.

Adicionalmente, este análisis dio como resultado el conocimiento de otras características que complementan el funcionamiento del *mini link*, entre las cuales están dos interesantes, el teléfono de servicio para situaciones de mantenimiento y un sistema de protección que permite tener un enlace de comunicación redundante proporcionando una mayor confiabilidad al usuario.

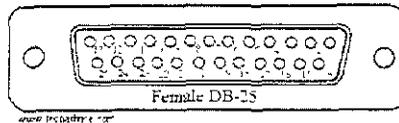
Finalmente se concluye que los enlaces terrestres de microondas son lo suficientemente confiables como la fibra óptica o el cable de cobre, a pesar de su gran vulnerabilidad a las condiciones meteorológicas que tiene. Sin embargo, su rápida disponibilidad y su fácil operación lo tienen bajo la preferencia de muchos operadores. Pero su alto grado de utilización en la actualidad podría llevarnos a consecuencias de salud lamentables debido a la cantidad de potencia que radían.

## GLOSARIO DE TERMINOS

AIS.	Alarm Indication Signal. (Señal Indicadora de Alarma).
ANSI	Instituto Americano de Normas. Organización que desarrolla y aprueba normas de los Estados Unidos.
AMI.	Alternate Mark Inversion Code. Código de línea que emplea una señal ternaria para transportar dígitos binarios, en el cual los «unos» binarios consecutivos están representados por elementos de señal cuya polaridad alterna normalmente entre positiva y negativa, pero tienen la misma amplitud, y los «ceros» binarios están representados por elementos de señal de amplitud nula.
AMM.	Access Module Magazin. (Gabinete de Acceso).
ASK.	Amplitude Shift Keying. (Modulación por desplazamiento de amplitud).
BER.	Bit Error Rate. (Relación de bits erróneos).
Bit.	Unidad mínima de información digital que puede ser tratada por un ordenador. Proviene de la contracción de la expresión binary digit (dígito binario).
Canal.	Medio de transmisión unidireccional de señales entre dos puntos.
CPU.	Unidad de Procesamiento Central.
C-QPSK	Complex Envelope Offset Quadrature Phase Shift Keying (Modulación por desplazamiento de fase y envolvente compleja).

**dB.** Decibel. Representación logarítmica de la relación entre dos señales. El dBm es la relación logarítmica de una señal con respecto de 1 miliwatt.

**DB25.** Conector de 25 pines que se utiliza para unir computadoras a periféricos.



**DC.** Direct Current. (Corriente Directa).

**Demultiplexor.** Equipo que descompone una señal digital compuesta en sus señales digitales constitutivas.

**Desvanecimiento.** Cualquier alteración o degradación de los parámetros (fase, amplitud o polarización) de una onda electromagnética.

**EAC.** External Alarm Channel. (Canal Externo de Alarmas).

**ETSI.** European Telecommunication Standar Institute. (Instituto Europeo de Estándares en Telecomunicaciones).

**FEC.** Forward Error Correction. Método de corrección de errores hacia adelante.

**FI.** Frecuencia Intermedia.

**Frecuencia.** Número de ciclos que una señal completa en un segundo.

**GPS.** Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global). Formado por una constelación de satélites artificiales que, comunicados con un segmento de control y con receptores GPS, pueden determinar la posición de cualquier punto sobre el cual se encuentre el receptor en cuestión.

HCC.	Hop Communication Channel. (Canal de Comunicación del Enlace de Microondas).
HDB3.	Código de línea de alta densidad binaria de tercer orden.
Interfaz.	Interfaz a través de la cual las señales que han de transferirse y sus señales de temporización asociadas se transmiten en el mismo sentido.
ITU-R.	Unión Internacional de Telecomunicaciones para Radio.
	Unión Internacional de Telecomunicaciones.
ITU-T.	Light Emissor Diodo (Diodo Emisor de Luz).
LED.	Low Noise Amplifier (Amplificador de bajo nivel de ruido)
LNA.	Low Pass Filter (Filtro Pasa Bajas) Circuito electrónico que permite el paso solamente de señales con baja frecuencia.
LPF.	
Mbps.	Mega bits por segundo. Cantidad de Millones de bits transmitidos en un segundo de tiempo.
Microondas.	Las microondas son ondas de radiofrecuencia y están comprendidas desde 1 GHz hasta 300 GHz. La longitud de onda de las señales de microondas (considerando que se propagan en el vacío), está comprendida entre 30 cm y 1 mm
MMU.	Modem Unit. (Unidad de modulación y demodulación).
Modem.	MODulador-DEModulador.
MTR.	Multiplexor de la trama de radio.
Multiplexor.	Equipo que combina mediante multiplexación por división en el tiempo dos o más señales digitales afluentes para formar una señal digital compuesta única.

- afluentes para formar una señal digital compuesta única.
- Multitrama.** Conjunto cíclico de tramas consecutivas en el cual se puede identificar la posición relativa de cada una de ellas.
- Multitrayectoria.** Reflexiones provenientes de los edificios, la superficie de la tierra o de las interfases horizontales entre diferentes capas en la atmósfera.
- NCC.** Node Communication Channel. (Canal de comunicación del nodo).
- NRZ.** Non Return to Zero. (No retorno a cero).
- PLL.** Phase locked loop. (Phase de lazo cerrado).
- PSTN.** Public System Telephony Network. (Red pública del sistema telefónico).
- RAC.** Remote Access Channel. (Canal de acceso remoto).
- Radiofrecuencia.** Porción del espectro electromagnético cuyas frecuencias comprenden desde los 3 kHz hasta los 300 GHz.
- RAU.** Radio Unit. (Unidad de Radio).
- RCC.** Radio Communication Channel. (Canal de comunicación de la unidad de radio).
- Red.** Grupo de elementos interconectados entre sí para integrar una plataforma de comunicación.
- RF.** Radio Frecuencia
- RS-232.** Recommended Standard 232. (Estándar recomendado 232) Se trata del principal medio por el cual se conecta un ordenador a un periférico (sobre todo el modem). La interfase tiene 25 conexiones denominadas DB25, aunque existe otro de sólo nueve, denominado DB9. Es

	un estándar de Electronic Industry Association (EIA). Es también conocido como: IEEE-448.
SAU.	Service Access Unit. (Unidad de acceso y servicio).
Sitio.	El sitio es la localización geográfica donde se encuentran las terminales de enlace de microondas con mini link.
SMU.	Switch Multiplexer Unit. (Unidad de Conmutación y Multiplexaje).
SNMP.	Simple Network Management Protocol. (Protocolo simple de direccionamiento de red) Uno de los protocolos pertenecientes a la familia TCP/IP utilizado para gestionar grandes redes, 'Internet' por excelencia. SNMP se encarga de realizar funciones de direccionamiento de red.
Software.	Programas que realizan tareas específicas, como procesamiento de texto o administración de base de datos
TCP-IP.	Protocolo de Control de transmisión. En Internet, Protocolo estándar que permite que dos computadoras conectadas a Internet establezca una conexión confiable.
Trama.	Conjunto cíclico de intervalos de tiempo consecutivos en el cual se puede identificar la posición relativa de cada uno de ellos.
Tributaria.	Señal binaria con cierta velocidad de transmisión generada a partir cuatro o más afluentes de menor velocidad. También conocida como tráfico de usuario.
Tropósfera.	El nivel más bajo de la atmósfera terrestre, localizada entre la superficie de la tierra y 17 km de altura. Caracterizada por contener nubes y por tener una temperatura menor conforme se incrementa la altura.
VCO.	Voltage Controlled Oscillator. (Oscilador Controlado por voltaje)

## APENDICE

**Recomendaciones G.703, G.704, G.742 y G.751 de la ITU-T.**

## ITU-T RECOMMENDATIONS SERIES

- Series A Organization of the work of the ITU-T
- Series B Means of expression: definitions, symbols, classification
- Series C General telecommunication statistics
- Series D General tariff principles
- Series E Overall network operation, telephone service, service operation and human factors
- Series F Non-telephone telecommunication services
- Series G Transmission systems and media, digital systems and networks**
- Series H Audiovisual and multimedia systems
- Series I Integrated services digital network
- Series J Transmission of television, sound programme and other multimedia signals
- Series K Protection against interference
- Series L Construction, installation and protection of cables and other elements of outside plant
- Series M TMN and network maintenance: international transmission systems, telephone circuits, telegraphy, facsimile and leased circuits
- Series N Maintenance: international sound programme and television transmission circuits
- Series O Specifications of measuring equipment
- Series P Telephone transmission quality, telephone installations, local line networks
- Series Q Switching and signalling
- Series R Telegraph transmission
- Series S Telegraph services terminal equipment
- Series T Terminals for telematic services
- Series U Telegraph switching
- Series V Data communication over the telephone network
- Series X Data networks and open system communications
- Series Y Global information infrastructure
- Series Z Programming languages



INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION

**ITU-T**

TELECOMMUNICATION  
STANDARDIZATION SECTOR  
OF ITU

**G.703**

(10/98)

SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA,  
DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS

Digital transmission systems – Terminal equipments –  
General

---

**Physical/electrical characteristics of hierarchical  
digital interfaces**

ITU-T Recommendation G.703

(Previously CCITT Recommendation)

## 9 Interface at 2048 kbit/s

### 9.1 General characteristics

Bit rate: 2048 kbit/s  $\pm$  50 ppm

Code: High density bipolar of order 3 (HDB3) (a description of this code can be found in Annex A)

Overvoltage protection requirement: refer to Recommendation K.41

### 9.2 Specifications at the output ports

See Table 7.

Table 7/G.703 – Digital interface at 2048 kbit/s

Pulse shape (nominally rectangular)	All marks of a valid signal must conform with the mask (see Figure 15) irrespective of the sign. The value V corresponds to the nominal peak value.	
Pair(s) in each direction	One coaxial pair (see 9.4)	One symmetrical pair (see 9.4)
Test load impedance	75 ohms resistive	120 ohms resistive
Nominal peak voltage of a mark (pulse)	2.37 V	3 V
Peak voltage of a space (no pulse)	$0 \pm 0.237$ V	$0 \pm 0.3$ V
Nominal pulse width	244 ns	
Ratio of the amplitudes of positive and negative pulses at the centre of the pulse interval	0.95 to 1.05	
Ratio of the widths of positive and negative pulses at the nominal half amplitude	0.95 to 1.05	
Maximum peak-to-peak jitter at an output port	Refer to clause 2/G.823	



A nominal aggregate signal, encoded into HDB3 and having a pulse shape as defined in the pulse mask, shall have added to it an interfering signal with the same pulse shape as the wanted signal. The interfering signal should have a bit rate within the limits specified in this Recommendation, but should not be synchronous with the wanted signal. The interfering signal shall be combined with the wanted signal in a combining network, with an overall zero loss in the signal path and with the nominal impedance 75 ohms (in the case of coaxial-pair interface) or 120 ohms (in the case of symmetrical-pair interface), to give a signal-to-interference ratio of 18 dB. The binary content of the interfering signal should comply with Recommendation O.151 ( $2^{15} - 1$  bit period). No errors shall result when the combined signal, attenuated by up to the maximum specified interconnecting cable loss, is applied to the input port.

NOTE – A receiver implementation providing an adaptive rather than a fixed threshold is considered to be more robust against reflections and should therefore be preferred.

#### **9.4 Grounding of outer conductor or screen**

The outer conductor of the coaxial pair or the screen of the symmetrical pair shall be connected to the bonding network both at the input port and the output port.

NOTE 1 – The cable routing is important if leaving the system block. Consult Recommendation K.27 for guidance.

NOTE 2 – The direct connection of the outer conductors of co-axial cables to the bonding network at the transmit and receive interfaces may, because of differences in earth potential at each end of the cable, result in unwanted current flowing in the outer conductor, through connectors and through the receiver input circuitry. This may result in errors or even permanent damage. To prevent this problem, DC isolation may be introduced between the outer conductor and bonding network at the receive interface. The method of DC isolation must not compromise the EMC compliance of the equipment and the overall installation.

NOTE 3 – The use of isolation to the bonding network is for further study.



INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION

**ITU-T**

TELECOMMUNICATION  
STANDARDIZATION SECTOR  
OF ITU

**G.704**

(10/98)

SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA,  
DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS

Digital transmission systems – Terminal equipments –  
General

---

**Synchronous frame structures used at 1544,  
6312, 2048, 8448 and 44 736 kbit/s hierarchical  
levels**

ITU-T Recommendation G.704

(Previously CCITT Recommendation)

## **5.1 Interface at 2048 kbit/s carrying 64 kbit/s channels**

### **5.1.1 Frame structure**

#### **5.1.1.1 Number of bits per 64 kbit/s channel time slot**

Eight, numbered 1 to 8.

#### **5.1.1.2 Number of 64 kbit/s channel time slots per frame**

Bits 1 to 256 in the basic frame carry 32-octet interleaved time slots numbered 0 to 31.

#### **5.1.1.3 Allocation of the bits of 64 kbit/s channel time slot 0**

See Table 5A in 2.3.2.

### **5.1.2 Use of other 64 kbit/s channel time slots**

Each of the 64 kbit/s channel time slots 1 to 15 and 17 to 31 can accommodate, for example, a PCM-encoded voiceband signal according to Recommendation G.711 or a 64 kbit/s digital signal

The 64 kbit/s channel time slot 16 may be used for signalling. If not needed for signalling, in some cases it may be used for a 64 kbit/s channel in the same way as time slots 1 to 15 and 17 to 31.

### **5.1.3 Signalling**

The use of 64 kbit/s channel time slot 16 is recommended for either common channel or channel-associated signalling as required.

The detailed requirements for the organization of particular signalling systems will be included in the specifications for those signalling systems

#### **5.1.3.1 Common channel signalling**

The 64 kbit/s channel time slot 16 may be used for common channel signalling systems up to a rate of 64 kbit/s. The method of obtaining signal alignment will form part of the particular common channel signalling specification.

#### **5.1.3.2 Channel-associated signalling**

This subclause contains the recommended arrangement for the use of the 64 kbit/s capability of channel time slot 16 for channel-associated signalling

##### **5.1.3.2.1 Multiframe structure**

A multiframe comprises 16 consecutive frames (whose structure is given in 5.1.1 above) and these are numbered from 0 to 15

The multiframe alignment signal is 0000 and occupies digit time slots 1 to 4 of 64 kbit/s channel time slot 16 in frame 0.

### 5.1.3.2.2 Allocation of 64 kbit/s channel time slot 16

When 64 kbit/s channel time slot 16 is used for channel-associated signalling, the 64 kbit/s capacity is sub-multiplexed into lower-rate signalling channels using the multiframe alignment signal as a reference.

Details of the bit allocation are given in Table 14.

**Table 14/G.704 – Bit allocation of channel associated 64 kbit/s time slot 16 for channel-associated signalling**

Time slot 16 of frame 0	Time slot 16 of frame 1		Time slot 16 of frame 2		---	Time slot 16 of frame 15	
0000xyxx	abcd channel 1	abcd channel 16	abcd channel 2	abcd channel 17	---	abcd channel 15	abcd channel 30
<p>NOTE 1 – Channel numbers refer to telephone channel numbers. 64 kbit/s channel time slots 1 to 15 and 17 to 31 are assigned to telephone channels numbered from 1 to 30.</p> <p>NOTE 2 – This bit allocation provides four 500 bit/s signalling channels designated a, b, c and d for each channel for telephone and other services. With this arrangement, the signalling distortion of each signalling channel introduced by the PCM transmission system, will not exceed <math>\pm 2</math> ms.</p> <p>NOTE 3 – When bits b, c or d are not used they should have the values: b = 1, c = 0, d = 1.</p> <p>It is recommended that the combination 0000 of bits a, b, c and d should not be used for signalling purposes for channels 1 to 15.</p> <p>NOTE 4 – x = Spare bit, to be set to 1 if not used. y = Bit used for alarm indication to the remote end. In undisturbed operation, set to 0, in an alarm condition, set to 1.</p>							

### 5.2.1 One $n \times 64$ kbit/s signal on the tributary side of a multiplex equipment

Time slots of the 2048 kbit/s frame are filled as follows:

- TS0: According to 2.3,
- TS16: Reserved for the accommodation, if required, of a 64 kbit/s signalling channel
  - If  $2 < n < 15$ , TS1 to TS $n$  are filled with  $n \times 64$  kbit/s data [see Figure 3 a)].
  - If  $15 < n < 30$ , TS1 to TS15 and TS17 to TS( $n + 1$ ) are filled with  $n \times 64$  kbit/s data [see Figure 3 b)].
  - Remaining time slots are filled with all 1s.

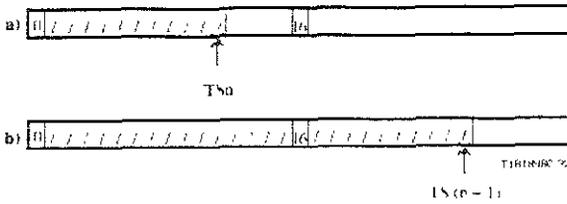


Figure 3/G.704

### 5.2.2 One or more $n \times 64$ kbit/s signal on the multiplexed signal side of a multiplexing equipment

For any one  $n \times 64$  kbit/s signal, time slots of the 2048 kbit/s frame are filled as follows:

- TS0 According to 2.3.
- TS16 Reserved for the accommodation, if required, of a 64 kbit/s signalling channel

TS (x) of the 2048 kbit/s frame is designated as the time slot into which the first time slot of the  $n \times 64$  kbit/s is accommodated.

- If  $x < 15$  and  $x + (n - 1) < 15$ , or, if  $x^3 > 17$  and  $x + (n - 1) < 31$ , then the filling of time slots is from TS (x) to TS (x + n - 1) [see Figure 4 a) and b)];
- If  $x + (n - 1)^3 > 16$ , then the filling of time slots is from TS (x) to TS15 and TS17 to TS (x + n) [see Figure 4 c)].

NOTE - Once  $n \times 64$  kbit/s signal has been accommodated into the multiplexed signal, care should be taken in the interpretation of the above rules to ensure that further such signals only use the time slots which remain spare

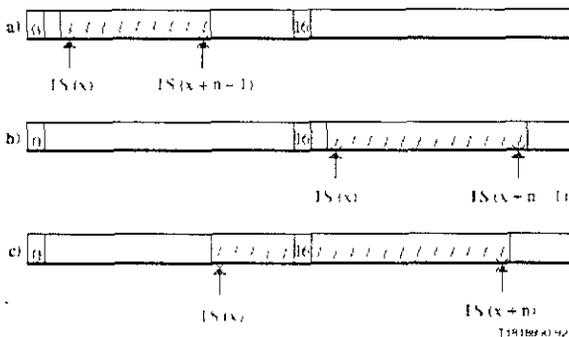


Figure 4/G.704



INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION

**ITU-T**

TELECOMMUNICATION  
STANDARDIZATION SECTOR  
OF ITU

**G.742**

**GENERAL ASPECTS OF DIGITAL TRANSMISSION  
SYSTEMS**

**TERMINAL EQUIPMENTS**

---

**SECOND ORDER DIGITAL MULTIPLEX  
EQUIPMENT OPERATING AT 8448 kbit/s  
AND USING POSITIVE JUSTIFICATION**

**ITU-T Recommendation G.742**

(Extract from the *Blue Book*)

## Recommendation G.742

### SECOND ORDER DIGITAL MULTIPLEX EQUIPMENT OPERATING AT 8448 kbit/s AND USING POSITIVE JUSTIFICATION

*(Geneva, 1972; further amended)*

#### 1 General

The second order digital multiplex equipment using positive justification, described below, is intended for use on digital paths between countries using 2048 kbit/s primary multiplex equipments

#### 2 Bit rate

The nominal bit rate should be 8448 kbit/s.

The tolerance on that rate should be  $\pm 30$  parts per million (ppm).

#### 3 Frame structure

Table 1/G 742 gives

- the tributary bit rate and the number of tributaries,
- the number of bits per frame;
- the bit numbering scheme,
- the bit assignment,
- the bunched frame alignment signal

TABLE 1/G 742  
8448-kbit/s multiplexing frame structure

Tributary bit rate (kbit/s)	2048
Number of tributaries	4
Frame structure	Bit number
Frame alignment signal (1111010000)	<i>Set I</i> 1 to 10
Alarm indication to the remote digital multiplex equipment	11
Bit reserved for national use	12
Bits from tributaries	13 to 212
	<i>Set II</i>
Justification control bits $C_{j1}$ (see Note)	1 to 4
Bits from tributaries	5 to 212
	<i>Set III</i>
Justification control bits $C_{j2}$ (see Note)	1 to 4
Bits from tributaries	5 to 212
	<i>Set IV</i>
Justification control bits $C_{j2}$ (see Note)	1 to 4
Bits from tributaries available for justification	5 to 8
Bits from tributaries	9 to 212
Frame length	848 bits
Bits per tributary	206 bits
Maximum justification rate per tributary	10 kbit/s
Nominal justification ratio	0.424

Note -  $C_{ji}$  indicates the  $i$ th justification control bit of the  $j$ th tributary

#### 4 Loss and recovery of frame alignment and consequent action

Loss of frame alignment should be assumed to have taken place when four consecutive frame alignment signals have been incorrectly received in their predicted positions

When frame alignment is assumed to be lost, the frame alignment device should decide that such alignment has effectively been recovered when it detects the presence of three consecutive frame alignment signals

The frame alignment device having detected the appearance of a single correct frame alignment signal, should begin a new search for the frame alignment signal when it detects the absence of the frame alignment signal in one of the two following frames

Note - As it is not strictly necessary to specify the detailed frame alignment strategy, any suitable frame alignment strategy may be used provided the performance achieved is at least as efficient in all respects as that obtained by the above frame alignment strategy

#### 5 Multiplexing method

Cyclic bit interleaving in the tributary numbering order and positive justification is recommended

The justification control signal should be distributed and use the  $C_{jn}$ -bits ( $n = 1, 2, 3$ , see Table 1/G.742)

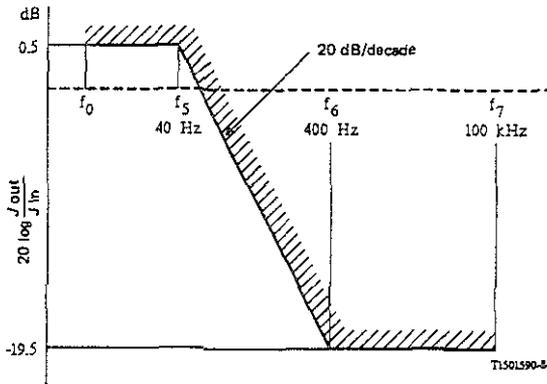
Positive justification should be indicated by the signal 111, no justification by the signal 000 Majority decision is recommended

Table 1/G.742 gives the maximum justification rate per tributary and the nominal justification ratio

## 6 Jitter

### 6.1 Jitter transfer characteristic

A 2048 kbit/s signal, modulated by sinusoidal jitter, should be subject to a muldex jitter transfer characteristic within the gain/frequency limits given in Figure 1/G.742 The equivalent binary content of the test signal should be 1000



*Note 1* - The frequency  $f_0$  should be less than 20 Hz and as low as possible (e.g. 10 Hz), taking into account the limitations of measuring equipment

*Note 2* - To achieve accurate measurements, the use of a selective method is recommended with a bandwidth sufficiently small referred to the relevant measurement frequency, but not wider than 40 Hz

*Note 3* - The need to tolerate spurious responses greater than -19.5 dB in the frequency range  $f_6$  to  $f_7$  is for further study

FIGURE 1/G.742

### 6.2 Tributary output jitter

The peak-to-peak jitter at a tributary output in the absence of input jitter should not exceed 0.25 UI when measured in the frequency range up to 100 kHz.

When measured with an instrument incorporating a bandpass filter having a lower cutoff frequency of 18 kHz, a roll-off of 20 dB/decade and an upper limit of 100 kHz, the peak-to-peak output jitter should not exceed 0.05 UI with a probability of 99.9% during a measurement period of 10 s

*Note* - For interfaces meeting the national high Q option, detailed in Recommendation G.703, the lower cutoff frequency for the above measurement should be 700 Hz.

### 6.3 Multiplex signal output jitter

In the case where the transmitting timing signal is derived from an internal oscillator, the peak-to-peak jitter at

10.2.2 Alarm indication to the remote multiplex equipment generated by changing from the state 0 to the state 1 bit 11 of Set 1 at the 8448 kbit/s output of the multiplexer.

10.2.3 AIS (see Notes 1 and 2 below) applied to all four 2048 kbit/s tributary outputs from the demultiplexer

10.2.4 AIS (see Notes 1 and 2 below) applied to the 8448 kbit/s output of the multiplexer.

10.2.5 AIS (see Note 2 below) applied to the time slots of the 8448 kbit/s signal at the output of the multiplexer, corresponding to the relevant 2048 kbit/s tributary

The method of transmitting the AIS at the output port of the multiplexer in time slots corresponding to a faulty input tributary, should be such that the status of the justification control digits is controlled so as to ensure that the AIS is within the tolerance specified for that tributary.

TABLE 2/G 742  
Fault conditions and consequent actions

Equipment part	Fault condition (see § 10.1)	Consequent actions (see § 10.2)				
		Prompt maintenance alarm indication generated	Alarm indication to the remote multiplex equipment generated	AIS applied		
				To all the tributaries	To the composite signal	To the relevant time slots of the composite signal
Multiplexer and demultiplexer	Failure of power supply	Yes		Yes, if practicable	Yes, if practicable	
Multiplexer only	Loss of incoming signal on a tributary	Yes				Yes
Demultiplexer only	Loss of incoming signal at 8448 kbit/s	Yes	Yes	Yes		
	Loss of frame alignment	Yes	Yes	Yes		
	Alarm indication received from the remote multiplex equipment					

Note - A Yes in the table signifies that a certain action should be taken as a consequence of the relevant fault condition. An open space in the table signifies that the relevant action should not be taken as a consequence of the relevant fault condition, if this condition is the only one present. If more than one fault condition is simultaneously present the relevant action should be taken if, for at least, one of the conditions, a Yes is defined in relation to this action.

*Note 1* - The bit rate of the AIS at the output of the multiplexer equipment or at the output of the demultiplexer equipment should be in accordance with the interface specifications

*Note 2* - The equivalent binary content of the AIS at 2048 kbit/s and 8448 kbit/s is nominally a continuous stream of 1s. The strategy for detecting the presence of the AIS should be such that the AIS is detectable even in the presence of an error ratio  $1 \cdot 10^{-3}$ . However, a signal, with all bits except the frame alignment signal in the 1s state, should not be mistaken for an AIS.

### 10.3 *Time requirements*

The fault detection and the application of the consequent actions listed in §§ 10.2.2 to 10.2.5, including the detection of AIS, should be completed within a time limit of 1 ms.



INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION

**ITU-T**

TELECOMMUNICATION  
STANDARDIZATION SECTOR  
OF ITU

**G.751**

**GENERAL ASPECTS OF DIGITAL TRANSMISSION  
SYSTEMS**

**TERMINAL EQUIPMENTS**

---

**DIGITAL MULTIPLEX EQUIPMENTS  
OPERATING AT THE THIRD ORDER  
BIT RATE OF 34 368 kbit/s AND THE FOURTH  
ORDER BIT RATE OF 139 264 kbit/s AND  
USING POSITIVE JUSTIFICATION**

**ITU-T Recommendation G.751**

*(Extract from the Blue Book)*

---

## Recommendation G.751

### DIGITAL MULTIPLEX EQUIPMENTS OPERATING AT THE THIRD ORDER BIT RATE OF 34 368 kbit/s AND THE FOURTH ORDER BIT RATE OF 139 264 kbit/s AND USING POSITIVE JUSTIFICATION

(Geneva, 1976; further amended)

#### 1 General characteristics

1.1 There should be a 4th-order bit rate of 139 264 kbit/s in the digital hierarchy which is based on the 2nd-order bit rate of 8448 kbit/s

There should be two methods of achieving the 4th-order bit rate.

*Method 1* - by using a 3rd-order bit rate of 34 368 kbit/s in the digital hierarchy.

*Method 2* - by directly multiplexing sixteen digital signals at 8448 kbit/s

The digital signals at the bit rate of 139 264 kbit/s obtained by these two methods should be identical

1.2 The existence of the above two methods implies that the use of the bit rate of 34 368 kbit/s should not be imposed on an Administration that does not wish to realize the corresponding equipment

1.3 In accordance with the above two methods, the following realizations of digital multiplex equipments using positive justification are recommended

*Method 1* - Realization by separate digital multiplex equipments: one type which operates at 34 368 kbit/s and multiplexes four digital signals at 8448 kbit/s; the other type which operates at 139 264 kbit/s and multiplexes four digital signals at 34 368 kbit/s

The multiplexing for the 34 368 kbit/s digital multiplex equipment is recommended in § 1.4 below, while further specification of this equipment is given in § 2 below

The multiplexing for the 139 264 kbit/s digital multiplex equipment is recommended in § 1.5 below, while further specification of this equipment is given in § 3 below

*Method 2* - Realization by a single digital multiplex equipment which operates at 139 264 kbit/s and multiplexes sixteen digital signals at 8448 kbit/s.

The digital multiplexing for the 139 264 kbit/s bit rate should be achieved by multiplexing, in accordance with § 1.5 below, four digital signals at 34 368 kbit/s, each of which is obtained by multiplexing, in accordance with § 1.4 below, four digital signals at 8448 kbit/s. Further specification of this equipment is given in § 4 below

#### 1.4 Multiplexing four digital signals at 8448 kbit/s

##### 1.4.1 Bit rate

The nominal bit rate should be 34 368 kbit/s

The tolerance on that rate should be  $\pm 20$  parts per million (ppm)

##### 1.4.2 Frame structure

Table 1/G 751 gives

- the tributary bit rate and the number of tributaries.

- the number of bits per frame,
- the bit numbering scheme,
- the bit assignment,
- the bunched frame alignment signal

TABLE 1/G 751  
34 368 kbit/s multiplexing frame structure

Tributary bit rate (kbit/s)	8448
Number of tributaries	4
Frame structure	Bit number
Frame alignment signal (1111010000)	Set I
Alarm indication to the remote digital multiplex equipment	1 to 10
Bit reserved for national use	11
Bits from tributaries	12
	13 to 384
Justification service bits $C_{j1}$ (see Note)	Set II
Bits from tributaries	1 to 4
	5 to 384
Justification service bits $C_{j2}$ (see Note)	Set III
Bits from tributaries	1 to 4
	5 to 384
Justification service bit $C_{j3}$ (see Note)	Set IV
Bits from tributaries available for justification	1 to 4
Bits from tributaries	5 to 8
	9 to 384
Frame length	1536 bits
Bits per tributary	378 bits
Maximum justification rate per tributary	22 375 kbit/s
Nominal justification ratio	0.436

Note -  $C_{jm}$  indicates the  $m$ th justification service bit of the  $j$ th tributary

#### 1.4.3 Loss and recovery of frame alignment

Loss of frame alignment should be assumed to have taken place when four consecutive frame alignment signals have been incorrectly received in their predicted positions.

When frame alignment is assumed to be lost, the frame alignment device should decide that such alignment has effectively been recovered when it detects the presence of three consecutive frame alignment signals.

The frame alignment device having detected the appearance of a single correct frame alignment signal, should begin a new search for the frame alignment signal when it detects the absence of the frame alignment signal in one of the two following frames.

*Note* - As it is not strictly necessary to specify the detailed frame alignment strategy, any suitable frame alignment strategy may be used provided the performance achieved is at least as efficient in all respects as that obtained by the above frame alignment strategy.

#### 1.4.4 *Multiplexing method*

Cyclic bit interleaving in the tributary numbering order and positive justification is recommended. The justification control signal should be distributed and use the  $C_{jn}$ -bits ( $n = 1, 2, 3$ , see Table I/G 751). Positive justification should be indicated by the signal 111, no justification by the signal 000. Majority decision is recommended.

Table I/G 751 gives the maximum justification rate per tributary and the nominal justification ratio.

#### 1.4.5 *Service digits*

Two bits per frame are available for service functions. Bit 11 of Set 1 is used to transmit an alarm indication to the remote multiplex equipment when specific fault conditions are detected in the multiplex equipment (see §§ 2.5 and 4.5 below). Bit 12 of Set 1 is reserved for national use. On a digital path crossing the border, this bit is fixed at 1.

**BIBLIOGRAFIA**

1. Ortega L. Ma. De Jesús. "Prácticas y laboratorio de teoría electromagnética 1". Apuntes de la ENEP Aragón México, Julio de 1989.
2. Frank Baylin. "Televisión doméstica vía satélite". Baylin/Gale productions. México 1985.
3. Ericsson Telecom. Mini Link E Planning and Engineering Manual. Sweden 1997.
4. R. U. Laine. "Digital Microwave Systems Applications Seminar". Harris Corporation, EUA 1997.
5. Paul E. Tippens. Física Conceptos y Aplicaciones. McGraw-Hill México 1981.
6. Ericsson Telecom. Mini Link E, Installation Manual. Sweden 1998.
7. Ericsson Telecom. Mini Link Product Catalogue. Sweden 1999.
8. Ericsson Telecom. Mini Link Technical Description. Sweden 1999
9. ITU-T G.704. Physical/electrical characteristics of hierarchical digital interfaces. Helsinki, 1998.

10. ITU-T G.701. the modified alternate mark inversion codes. Helsinki, 1993.
11. ITU-T G.703. *Physical/electrical characteristics of hierarchical digital interfaces*. Helsinki, 1998.
12. ITU-T G.742. Second order digital multiplex equipment operating at 8448 kbit/s and using positive justification. Helsinki, 1993.
13. ITU-T G.751. Digital multiplex equipments operating at the third order bit rate of 34 368 kbit/s and the fourth order bit rate of 139 264 kbit/s and using positive justification. Helsinki, 1993.
14. Leon W. Couch. *Mobile Communication Handbook*. Universidad de Florida, 1999.
15. Seely, Warren L. *The RF and Microwave Handbook*. Boca Raton Florida, 2001.
16. ITU-T G.712. Digital transmission systems – Terminal equipments – Coding of analogue signals by pulse code. Helsinki, November 1996.